

TRABAJO FIN DE GRADO

**PROYECTO DE EJECUCIÓN DE UN REACTOR ANAEROBIO
PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y TÉRMICA
A PARTIR DE LA COMBUSTIÓN DE BIOGÁS OBTENIDO DE LA
CODIGESTIÓN DE UNA MEZCLA DE ESTIÉRCOL Y SORGO**

Autor

JOSÉ PUYUELO CITOLER

Tutor

ERNESTO PERNA DE MUR

Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural

Explotaciones Agropecuarias

Noviembre 2023



Escuela Politécnica
Superior - Huesca
Universidad Zaragoza



Proyecto de ejecución de un reactor anaerobio para la producción de energía eléctrica y térmica a partir de la combustión de biogás obtenido de la co-digestión de una mezcla de estiércol y sorgo.

- Elaborado por José Puyuelo Citoler.
- Dirigido por Ernesto Perna de mur
- Presentado en la convocatoria de Noviembre del año 2023

RESUMEN

Estando nuestro modelo de producción y consumo actualmente fundado en la idea de la economía circular, se hace inevitable no plantearnos como podemos contribuir cada uno de nosotros, particulares y empresas, al aprovechamiento de los residuos que generamos en nuestra actividad. En este punto, el presente Proyecto tiene por objeto el estudio técnico-económico para la implementación de una planta de biogás que será alimentada con dos productos generados por la actividad agrícola-ganadera: el estiércol y el sorgo. La transformación del sorgo y el estiércol dará lugar al biogás, una energía renovable que contribuirá, en la medida de la dimensión de la planta, a reducir la dependencia de las energías fósiles. Todo ello alineado con los ODS de la Agenda 2030.

PALABRAS CLAVE: Biogás, Economía circular, Energías renovables.

ABSTRACT

Our current production and consumption model is based on the idea of the circular economy. In this situation, it becomes inevitable to consider how each of us, individuals and businesses, can contribute to the utilization of the waste generated in our activities. At this point, the purpose of this project is to conduct a technical-economic study for the implementation of a biogas plant that will be fed with two products generated by agricultural-livestock activities: manure and sorghum. The transformation of sorghum and manure will result in biogas, a renewable energy that, to the extent of the plant's capacity, will help reduce dependence on fossil fuels. All of this is in line with the Sustainable Development Goals of the 2030 Agenda.

KEY WORDS: Biogas, Circular Economy, Renewable Energies.

El Trabajo de Fin de Grado que presento para su exposición y defensa es original y todas las fuentes utilizadas para su realización han sido debidamente citadas en el mismo.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	6
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	8
3. OBJETIVOS DEL PROYECTO	10
4. CARACTERIZACIÓN DE LA EXPLOTACIÓN Y SITUACIÓN	12
5. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA.....	13
6. FUNDAMENTOS DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA	16
6.1 Fases de la digestión anaerobia	17
6.2 Parámetros que afectan al proceso.....	20
6.2.1 <i>Parámetros operacionales o de funcionamiento</i>	20
6.2.2 <i>Parámetros ambientales</i>	24
6.3 Sistemas de digestión anaerobia para el tratamiento de residuos orgánicos	28
6.4 Factores determinantes en la producción de biogás	34
6.4.1 <i>Características del sustrato</i>	35
6.4.2 <i>Acondicionamiento o pre-tratamiento del sustrato</i>	37
6.4.3 <i>Post- tratamiento, depuración o acondicionamiento del biogás</i>	38
6.5 Productos digestión anaerobia	44
6.5.1 <i>El biogás</i>	44
6.5.2 <i>Digestato</i>	48
7. CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS EN LA EXPLOTACIÓN.....	50
7.1 Caracterización de la mezcla	54
8. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE DIGESTIÓN PARA EL PROYECTO.....	55
8.1 Definición del sistema de digestión.....	56
8.2 Modelo Chen-Hashimoto.....	57
8.3 Rendimientos del proceso.....	60
9. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE BIOGÁS PROYECTADA.....	62
10. INGENIERÍA DE LA ESTRUCTURA.....	65
10.1 Dimensionamiento del digestor	65
10.2 Dimensionamiento del tanque de digestato	67
10.3 Dimensionamiento de los elementos del digestor	68
10.3.1 <i>Gasómetro</i>	69
10.3.2 <i>Sistema de alimentación</i>	70
10.3.3 <i>Agitador</i>	73

10.3.4	<i>Unidad de co-generación (CHP)</i>	74
10.3.5	<i>Separador de líquidos sólidos</i>	79
11.	INGENIERÍA DE LAS INSTALACIONES	82
11.1	Instalación hidráulica	82
11.1.1	Fluidos incomprensibles o líquidos	83
11.1.2	<i>Fluidos comprensibles o gaseosos</i>	86
11.2	Equipos de bombeo	88
11.3	INSTALACIÓN DE GAS	91
11.3.1	<i>Elementos de seguridad de la instalación gasista</i>	91
11.3.2	<i>Sistemas de purificación del biogás</i>	93
12.	DIMENSIONAMIENTO DEL INTERCAMBIADOR	96
13.	INSTALACIÓN ELÉCTRICA	98
14.	INSTALACIÓN DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS	101
15.	INSTALACIONES AUXILIARES	101
16.	MEMORIA AMBIENTAL	102
16.1	REPERCUSIÓN DE LAS ACTIVIDADES EN EL MEDIO AMBIENTE	105
17.	PRESUPUESTO	108
18.	ESTUDIO DE VIABILIDAD	109
	BIBLIOGRAFÍA	110
	ÍNDICE DE TABLAS	117
	ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	119
	ANEJOS	121
	ÍNDICE DE ANEJOS	122

1. INTRODUCCIÓN

Se redacta el presente 'Proyecto de ejecución de un reactor anaerobio para la producción de energía eléctrica y térmica a partir de la combustión de biogás obtenido de la co-digestión de una mezcla de estiércol y sorgo' previa solicitado por la sociedad GANADOS ARCAS S.L.

El propósito de este encargo es la elaboración de un estudio técnico-económico para la implantación de una planta de biogás cuyo digestor será alimentado mediante una mezcla compuesta por los residuos animales generados en la propia explotación; estiércol, y el sorgo, un cultivo energético cultivado en la misma explotación.

Para lograr implantar este sistema se realiza un exhaustivo estudio, valorando distintas posibilidades en cuanto a elementos y tecnología empleada en la digestión anaerobia, eligiendo aquellos componentes que mejor se adaptan a nuestro caso. Por otro lado, se propone un uso adecuado del biogás generado, estableciendo un sistema de cogeneración obteniendo energía eléctrica y térmica. Por último, se otorga un valor añadido al digestato resultante tras la digestión, siendo un producto muy apropiado para su uso agrícola reduciendo así el uso de fertilizantes minerales en la explotación. De esta forma, se controla en todo momento las necesidades de nitrógeno principalmente para evitar, en la medida de lo posible, cualquier problema medioambiental.

Con todo ello, se logra contribuir a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero además de establecer un modelo de desarrollo territorial, fomentando la retención de población y abordando un problema grave en la zona, como es la despoblación. Esto implica promover el crecimiento sostenible de la región y sentar las bases para la posible instalación de futuras empresas.

Dejando la justificación medioambiental a un lado, el diseño de la planta de biogás propuesta y el uso que se hace de ella en cuanto a generación y venta de energía tanto eléctrica como térmica hace necesario, aparte de lo mencionado anteriormente, la elaboración de un estudio económico para evaluar la rentabilidad de dicha planta desde diferentes escenarios

Este proyecto también contribuirá además a la obtención del título académico correspondiente al Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural.

Objetivos de Desarrollo Sostenible. Este proyecto puede contribuir a varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas de la agenda 2030, contribuyendo en cierta medida a su logro.

ODS 7: Energía asequible y no contaminante: La generación de energía a partir del biogás promueve el acceso a una fuente de energía sostenible y contribuye a la reducción de la contaminación.

ODS 9: Industria, innovación e infraestructura: El desarrollo y la operación de una planta de biogás implican infraestructura y tecnología innovadora, lo que fomenta el crecimiento industrial sostenible.

ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles: El uso de biogás para la generación de energía puede aplicarse en entornos urbanos y rurales, contribuyendo a la sostenibilidad de las comunidades al abordar las necesidades energéticas.

ODS 12: Producción y consumo responsables: La producción de energía a partir de biogás promueve un enfoque más responsable y sostenible en la gestión de los recursos naturales.

ODS 13: Acción por el clima: El biogás es una fuente de energía renovable que ayuda a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que contribuye a la mitigación del cambio climático.

ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres: El uso de residuos orgánicos para producir biogás puede reducir la contaminación del suelo y contribuir a la conservación de los ecosistemas terrestres.

ODS 17: Alianzas para lograr los objetivos: La colaboración entre gobiernos, empresas y organizaciones es esencial para la implementación exitosa de proyectos de biogás, lo que encaja con la idea de alianzas sostenibles

En resumen, este proyecto tiene el potencial de impactar positivamente en varios ODS al promover la producción de energía sostenible, la gestión de residuos, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y el desarrollo de comunidades sostenibles.

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La implementación de una planta de biogás en España representa una oportunidad estratégica para avanzar hacia una economía circular más sostenible y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Aunque en Europa esta tecnología está ampliamente extendida, en España aún no se ha explorado completamente su potencial. Este proyecto se centra en establecer una planta de biogás en una explotación ganadera, aprovechando eficientemente los residuos orgánicos para generar energía renovable y contribuir al desarrollo sostenible del país. A continuación, se detallan las razones fundamentales que respaldan esta iniciativa:

En primer lugar, garantizamos el cumplimiento normativo y gestión de residuos. La creciente presión normativa en el sector agrícola-ganadero para reducir las emisiones contaminantes, especialmente de amoníaco, ha creado la necesidad de abordar eficientemente la gestión de estiércoles. La implementación de una planta de biogás se alinea con estas normativas al proporcionar una solución efectiva para el tratamiento de residuos orgánicos, permitiendo a los agricultores y ganaderos cumplir con las regulaciones ambientales de manera sostenible.

Esta implementación, además, también contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. La generación de biogás a partir de residuos orgánicos evita la liberación directa de metano, un potente gas de efecto invernadero, a la atmósfera. En lugar de contribuir al cambio climático, estos residuos se convierten en una fuente de energía renovable, ayudando a reducir las emisiones netas de gases de efecto invernadero y promoviendo un enfoque más sostenible para la producción de energía.

Este sistema de producción de energía renovable tiene una ventaja clara respecto al resto de sistemas de producción de energía renovable. Se trata de un sistema de producción independiente a las condiciones climáticas. La producción de biogás proporciona una fuente constante de energía renovable, independiente de las condiciones climáticas. A diferencia de otras fuentes de energía renovable, como la solar o eólica, la planta de biogás puede operar de manera continua, lo que garantiza un suministro constante de electricidad y calor. Esta independencia climática aumenta la confiabilidad y la estabilidad del suministro energético.

Gracias a la implantación de una planta de biogás conseguimos una optimización de la gestión de residuos. La planta de biogás cierra el ciclo de vida de los residuos orgánicos al transformarlos en una fuente valiosa de energía. Esto no solo reduce la presión sobre los vertederos y la contaminación del suelo, agua y aire, sino que también

ofrece una solución efectiva para los agricultores y ganaderos que enfrentan desafíos en la gestión de sus estiércoles.

Este sistema de manejo de los residuos agrícolas y ganaderos muestra un compromiso con la sostenibilidad y la economía circular. Ya que, mediante la implementación de una planta de biogás no solo tiene beneficios ambientales y económicos, sino que también demuestra un compromiso con las prácticas agrícolas y ganaderas sostenibles. Esto contribuye a la construcción de una imagen positiva para la región, posicionándola como referente en la adopción de soluciones respetuosas con el medio ambiente, aprovechando al máximo los recursos producidos en la explotación.

En conclusión, la instalación de una planta de biogás en España representa una estrategia integral para abordar desafíos ambientales, cumplir con regulaciones, mejorar la gestión de residuos y contribuir activamente a la transición hacia una economía más sostenible y circular.

3. OBJETIVOS DEL POYECTO

El objetivo principal del presente proyecto es el dimensionamiento y estudio de la viabilidad económica de la implantación de una planta de biogás en la explotación agrícola ganadera de estudio. Estableciendo un modelo de economía circular, con el propósito de reducir la dependencia de insumos externos. A través de este proyecto se busca analizar un nuevo modelo de explotación agrícola-ganadera muy extendido en países como Alemania o Italia, pero desconocido en España.

En la actualidad, la explotación cuenta con tierras de cultivo suficientes para destinar todo el estiércol generado en las granjas. Sin embargo, estas tierras se encuentran dispersas a lo largo del término municipal, y unido con la orografía, encarece el reparto tanto en horas como en combustible. Esta serie de problemas, así como el auge de los insumos agrícolas, ha motivado a considerar la posibilidad de cambiar el tipo de gestión que se realiza a día de hoy. Además del rédito económico que supondría la venta del excedente producido, tanto en energía como en digestato.

Por lo que, a través de este proyecto se estudiarán las diferentes alternativas de digestión anaerobia, eligiendo el proceso que mejor se adapte a las necesidades y dimensionando sus instalaciones en función de las producciones de la explotación. De esta forma, evaluaremos el proyecto técnica y económicamente estudiando así su viabilidad.

Además, en el propio proyecto se establecen los siguientes objetivos secundarios que vienen acorde con el sistema de economía circular:

1. Medioambiental: A través de la digestión anaerobia conseguimos evitar la utilización de productos minerales, así como la descontaminación de los residuos ganaderos. De esta forma se favorece la eliminación de los gases de efecto invernadero generados en la explotación, y la reducción de los gases contaminantes producto de la elaboración de los productos minerales.
2. Agricultura ecológica: La independencia de productos minerales nos posibilita la transformación de la explotación a agricultura ecológica sin la pérdida de rendimientos por deficiencia en fertilización, ya que, a través de la mineralización del estiércol, este se comporta como un abono mineral, pero totalmente orgánico, consiguiendo un rédito económico extra.
3. Económico: A través de la digestión anaerobia generamos una serie de recursos cuyos excedentes son destinados a la venta. Estos incluyen excedente energético, tanto eléctrico como térmico, así como el fertilizante orgánico generado.

4. Energía renovable: Mediante la energía generada en el proyecto, se contribuye a cumplir los niveles establecidos por la agenda 2030 en cuanto a energía renovable se refiere.
5. Proyección a la comunidad: El establecimiento de una planta de biogás debe servir como modelo de gestión de residuos ganaderos. Debe percibirse como un modelo de reutilización de residuos orgánicos para la generación de recursos (biogás y efluente orgánico), a la vez que se reduce el potencial contaminante de los mismos.

Para poder cumplir los objetivos hay que llevar a cabo los siguientes pasos de la manera más exhaustiva posible: analizar la situación actual, diseñar una alternativa acorde a dicha situación y evaluar dicha alternativa de manera justificada.

4. CARACTERIZACIÓN DE LA EXPLOTACIÓN Y SITUACIÓN

La sociedad GANADOS ARCAS S.L cuenta con una explotación agrícola-ganadera dedicada a la cría de ganado bovino. En ella se desarrollan tres etapas diferenciadas, la fase de cría, fase de recría y finalmente la de cebo. Cada una de las fases cuenta con 120 animales, lo que suma un conjunto de 360 terneros en su conjunto.

El emplazamiento de este proyecto se realiza en la localidad de Olsón, perteneciente al municipio de Aínsa-Sobrarbe en la provincia de Huesca. El proyecto se desarrollará a una altura de 608 m sobre el nivel del mar en las siguientes coordenadas (google Earth)

- Latitud: 42°16'46"N
- Longitud: 0°07'46"E

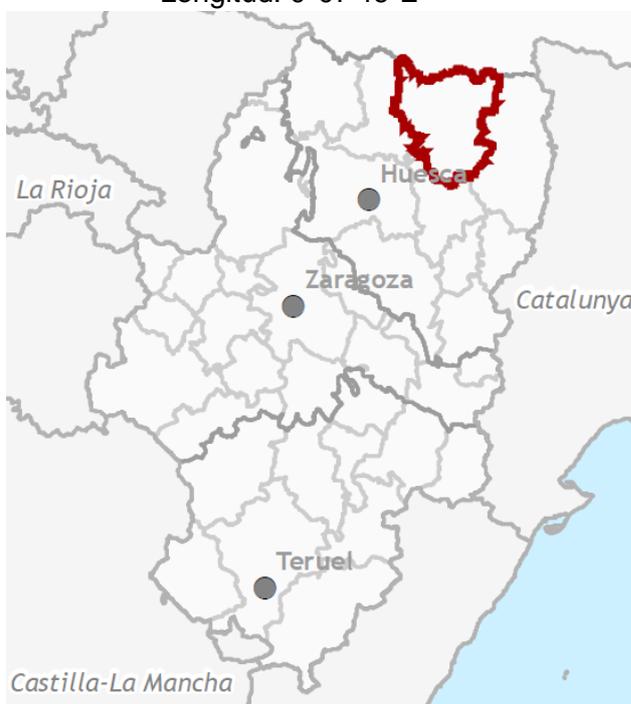


Ilustración 1. Mapa geográfico de la situación de la Comarca del Sobrarbe. Fuente: icearagon.aragon.es



Ilustración 2. Mapa geográfico de la situación de Olsón. Fuente: icearagon.aragon.es

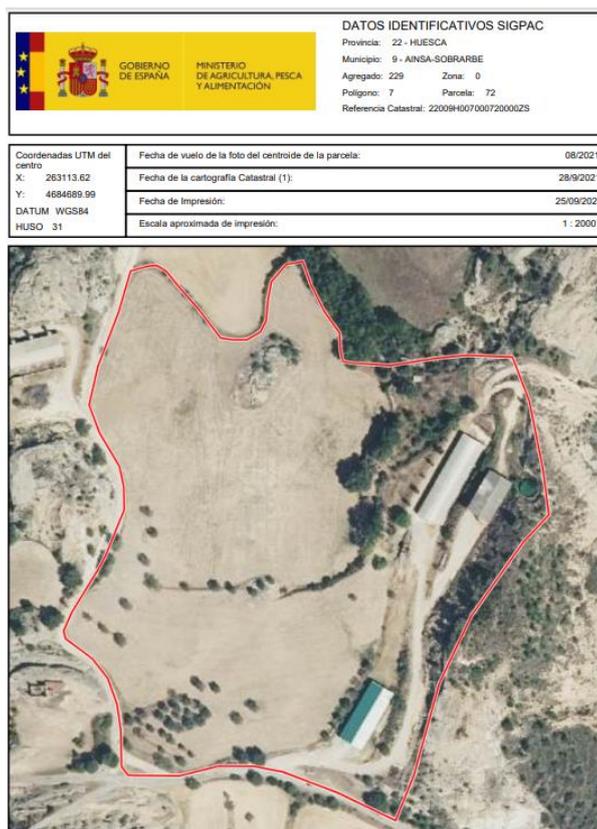


Ilustración 3. Mapa detallado de la ubicación de la explotación a estudio. Fuente: sigpac.mapama.gob.es

5. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

La localidad de Olsón pertenece al término municipal de Aínsa-Sobrarbe, en la comarca del Sobrarbe, al norte de la provincia de Huesca, en el pre-pirineo aragonés. La configuración del relieve y la diversidad de exposiciones dan lugar a un extenso abanico de matices climáticos locales. La zona de estudio la hemos clasificado en función del reparto de pluviométrico y de la mayor o menor influencia oceánica y continental. De modo que, al situarnos en la zona central del pirineo aragonés, desaparece la influencia oceánica, por lo que podríamos considerar un clima de tipo Submediterráneo Húmedo con cierta influencia del continental, con una precipitación equinoccial clara, ya que la pluviometría se distribuye entre primavera y otoño, perdiendo importancia la precipitación invernal. Los inviernos son fríos debido a la influencia continental y los veranos secos y calurosos, además de grandes contrastes térmicos entre el día y la noche.

Para el análisis de la climatología de la localidad de Olsón, se ha recurrido al estudio de los datos climáticos obtenidos de la Oficina del Regante, gestionada por el gobierno de Aragón provenientes de la localidad de Banastón, ya que es la estación más cercana a la localidad de estudio.

Para ello se ha recogido, las precipitaciones acumuladas, las temperaturas máximas, mínimas y medias recogidas mensualmente entre los años 2004 y 2023 y se han procesado mediante el programa informático Excel para su representación en forma de gráficos.

	Temperatura media mensual (°C)	Temperatura media máxima (°C)	Temperatura media mínima (°C)	Temperaturas máximas absolutas (°C)	Temperaturas mínimas absolutas (°C)
Enero	2.99	17.42	-7.09	20.9	-10.57
Febrero	4.78	19.16	-5.89	23.42	-11.02
Marzo	8.19	23.1	-4.66	28.8	-11.55
Abril	11.55	25.99	-1.39	31.61	-5.75
Mayo	15.72	30.22	2	35.13	-1.56
Junio	20.48	35.44	6.57	41.97	2.55
Julio	23.67	37.67	9.93	41.59	6.61
Agosto	22.95	37.55	9.06	42.69	6.76
Septiembre	18.48	32.72	5.18	37.95	-0.31
Octubre	13.69	28.28	0.99	33.19	-2.9
Noviembre	7.35	20.78	-3.95	24.21	-10.28
Diciembre	3.6	16.5	-5.89	22.15	-9.22
Anual	12.79	27.07	0.41	31.97	-3.94

Tabla 1. Análisis térmico de la localidad de Olsón. Fuente: elaboración propia

La temperatura media de la media anual es de 12,79°C, siendo ligeramente inferior a la media nacional. Observamos gran variabilidad térmica en los propios meses llegando a diferencias superiores a 35°C en un mismo mes. Lo mismo ocurre en la diferencia térmica entre la media de medias máximas absolutas y la media de medias mínimas absolutas anuales, siendo superior a 35°C, indicándonos la influencia del clima continental. En general, como hemos comentado en la introducción se trata de un clima con inviernos fríos, con temperaturas extremas próximas a -12°C, y los veranos muy calurosos, con temperaturas superiores a los 40°C en ciertos casos, siguiendo la tónica general de grandes contrastes térmicos.

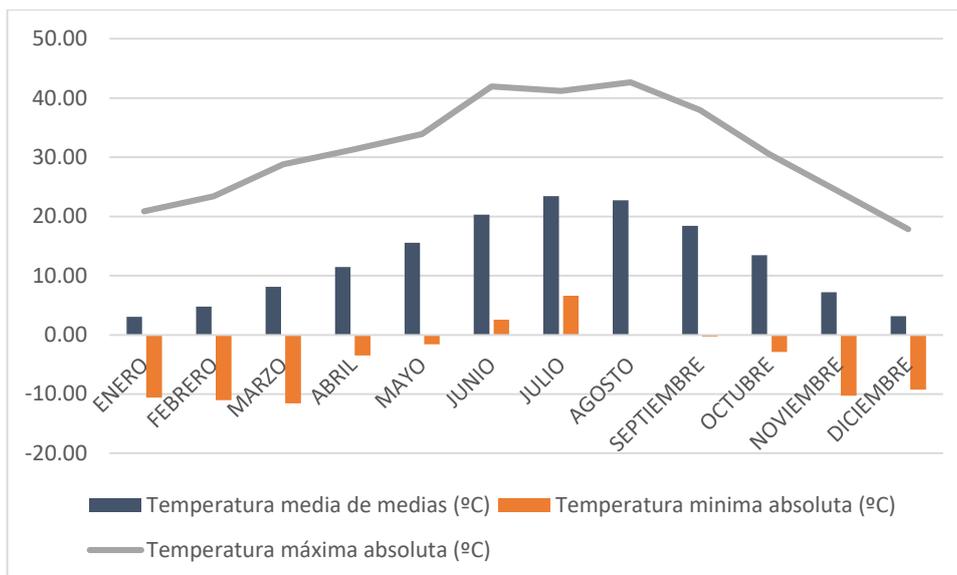


Ilustración 4. Gráfico con temperaturas mensuales máximas, mínimas y media de medias realizado a partir de la estación de meteorología de Banastón entre 2004 y 2023. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de la Oficina del Regante (2023)

En lo referente a la pluviometría, al tratarse de una zona próxima al pirineo, concretamente en el pre-pirineo, las precipitaciones se podrían considerar elevadas, particularmente en las estaciones de otoño y primavera.

Es importante señalar que estas cifras pueden experimentar cambios significativos de un año a otro, con fluctuaciones que llegan a alcanzar diferencias de 100 a 200 mm anuales. En términos generales, el promedio anual de precipitación oscila entre 550 y 750 mm.

MES	PRECIPITACIÓN MEDIA
ENERO	47,10
FEBRERO	37,52
MARZO	77,60
ABRIL	95,18
MAYO	67,27
JUNIO	66,37
JULIO	48,12
AGOSTO	40,94
SEPTIEMBRE	74,04
OCTUBRE	84,37
NOVIEMBRE	66,86
DICIEMBRE	39,73

Tabla 2. Precipitación media mensual (2004-2023)

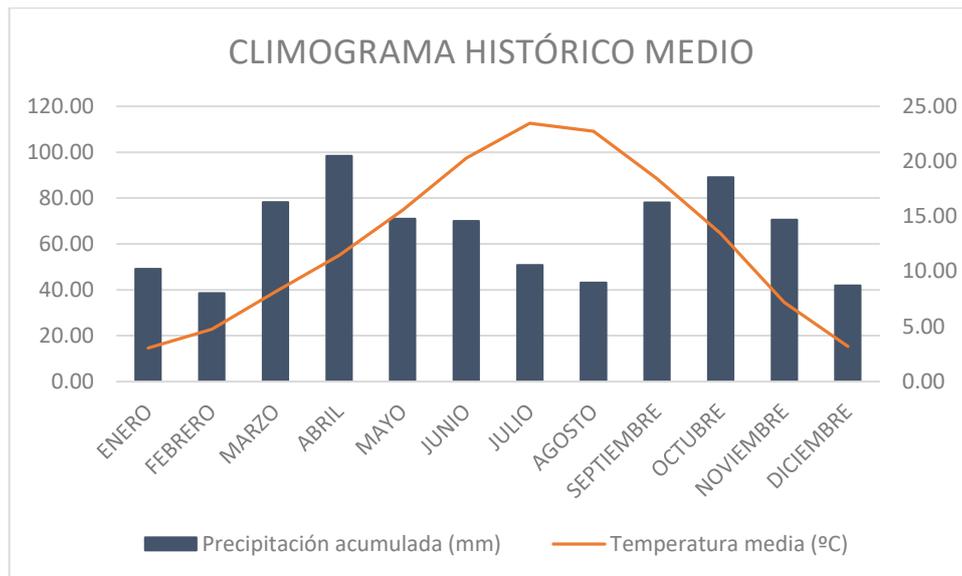


Ilustración 5. Diagrama ombrotérmico de Gausson realizado mediante los datos de temperaturas medias y precipitaciones medias del municipio de Banastón (2004-2023). Fuente: elaboración propia a partir de los datos de la Oficina del Regante (2023)

6. FUNDAMENTOS DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA

La digestión anaerobia, también llamada como biometanización o producción de biogás, es un proceso biológico donde la materia orgánica se degrada en ausencia de oxígeno mediante la acción de un conjunto de microorganismos. Como resultado de este proceso se obtiene el digestato o residuo orgánico rico en componentes fertilizantes (nitrógeno, fosforo y potasio) y el biogás, el cual es una mezcla de gases constituido principalmente por metano (50- 70% CH₄) y dióxido de carbono (30-50% CO₂) además de trazas de otros elementos en pequeñas cantidades como el ácido sulfhídrico (<2% SH₂) y otros gases (NH₃, N₂, H₂) (Lorenzo Acosta y Obaya Abreu, 2005, p. 36).

Este proceso de digestión anaeróbica permite convertir gran cantidad de residuos, como restos vegetales, estiércoles, efluentes de la industria alimentaria y fermentativa, de la industria de la papelera y de algunas industrias químicas, en subproductos útiles. Todos estos tipos de residuos se pueden tratar de forma independiente o mediante la combinación de estos, mediante un proceso llamado codigestión. En este tipo de digestión más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose solo un 10% de la energía en crecimiento de los microorganismos fermentativos (Varnero Moreno, 2011, p. 13).

El proceso de digestión anaerobia afecta a los siguientes parámetros (Campos, Elías y Flotats, 2012):

- Reduce los malos olores de las deyecciones
- Reduce la concentración de la materia orgánica

- Reduce el contenido de sólidos
- Reduce el contenido de microorganismos patógenos, especialmente si se realiza en régimen termofílico
- El nitrógeno orgánico se transforma en amoniacal que va a tener un valor agronómico.

6.1 Fases de la digestión anaerobia

La digestión anaerobia es un proceso complejo debido al número de reacciones bioquímicas que tienen lugar, así como la cantidad de microorganismos involucrados en ellas (Varnero Moreno, 2011, p. 18).

Estudios bioquímicos y microbiológicos dividen este proceso en cuatro fases o etapas consecutivas y diferenciadas, donde intervienen grandes poblaciones de bacterias en el proceso de degradación del sustrato (Palau Estevan, 2016):

- Hidrólisis
- Etapa fermentativa o acidogénica
- Etapa acetogénica
- Etapa metanogénica

Estas poblaciones se diferencian en función de sus velocidades de crecimiento y de la diferente sensibilidad a cada compuesto intermedio como inhibidor (por ejemplo, H_2 , ácido acético o amoníaco producido en la acidogénesis de aminoácidos) (Santolaria Capdevila, 2014).

Esto implica que cada etapa presentará diferentes velocidades de reacción según la composición del sustrato y que el desarrollo estable del proceso global requerirá de un equilibrio que evite la acumulación de compuestos intermedios inhibidores o la acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV), que podría producir una bajada del pH. Para la estabilidad del pH es importante el equilibrio CO_2 -bicarbonato. (IDAE, 2007, p. 12).

En general, tal y como dice Flotats (2010), la velocidad global del proceso depende de la velocidad de la etapa más lenta, la cual depende de la composición del sustrato. Para sustratos solubles, la etapa limitante suele ser la metanogénesis, y la estrategia que permite aumentar la velocidad consiste en adoptar diseños de digestores que permitan una elevada concentración de microorganismos acetogénicos y metanogénicos en el reactor. Para residuos donde la materia orgánica se encuentra en forma de partículas, como las deyecciones ganaderas, la hidrólisis es la etapa limitante. Una de las estrategias principales para aumentar la velocidad del proceso, consiste en disminuir el tamaño de las partículas'.

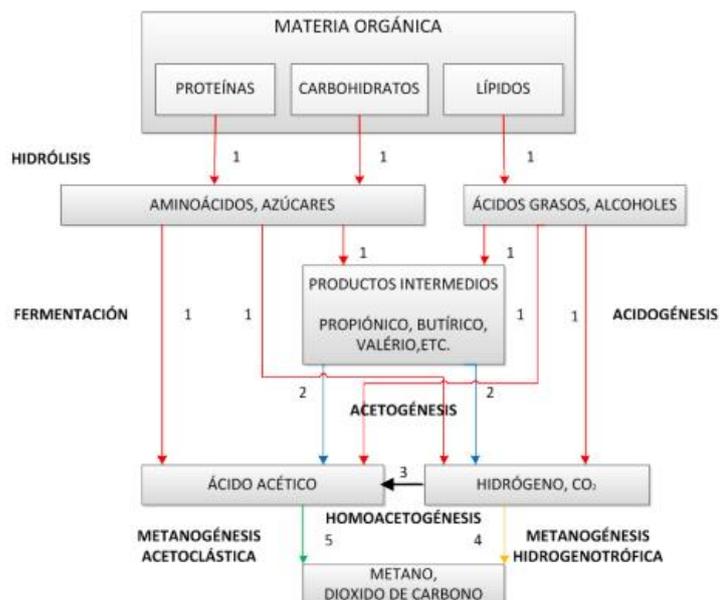


Ilustración 6. Esquema del proceso de digestión anaerobia (Pavlostathis y Giraldo-Gómez, 1991). 1) Bacterias fermentativas; 2) Bacterias acetogénicas; 3) Bacterias homoacetogénicas; 4) Bacterias metanogénicas hidrogenotróficas; 5) Bacterias metanogénicas acetoclásticas

Hidrólisis. La primera fase es la hidrólisis de la materia orgánica, donde los compuestos complejos; proteínas, hidratos de carbono y lípidos, se hidrolizan en moléculas solubles y degradables como azúcares, aminoácidos, alcoholes y ácidos de cadena larga por medio de enzimas extracelulares producidas por los microorganismos fermentativos (Palau Estevan, 2016).

La fase hidrolítica suele ser la etapa limitante a la velocidad global del proceso, sobre todo cuando se tratan residuos con alto contenido de sólidos, principalmente los residuos ganaderos, ya que son materiales lignocelulósicos formados principalmente por lignina, celulosa y hemicelulosa. Esto es debido a que la lignina es un material muy resistente a la degradación por parte de los microorganismos anaeróbicos, afectando también a la biodegradabilidad de la celulosa, de la hemicelulosa y de otros hidratos de carbono (Santolaria Capdevila, 2014).

El grado de hidrólisis y la velocidad del proceso, además de depender de la composición bioquímica del sustrato, depende de otros factores como el tamaño de las partículas, de los niveles de pH o de la temperatura del proceso (Pavlostathis y Giraldo-Gómez, 1991). Los pretratamientos físico-químicos, cuyo principal efecto es la reducción del tamaño de las partículas, producen un aumento de la tasa de hidrólisis, suponiendo un beneficio para el proceso general, reduciendo los tiempos de retención al ser la etapa limitante en la velocidad global del proceso.

Así mismo, en general, el aumento de la temperatura provoca un aumento de la tasa de hidrólisis, independientemente del compuesto que se trate (Varnero Moreno, 2011, p. 18).

Acidogénesis. En la acidogénesis tiene lugar la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos que pueden ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas, tales como el ácido acético, ácido fórmico, hidrogeno y dióxido de carbono (Santolaria Capdevila, 2014), además de ácidos de cadena más corta como el ácido butírico, propiónico, valérico o láctico, los cuales serán convertidos por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa del proceso (Palau Estevan, 2016).

Este grupo de bacterias es muy importante en el proceso ya que además de producir alimento para los grupos de bacterias posteriores, eliminan cualquier traza de oxígeno disuelto en el sistema (Varnero Moreno, 2011, p. 20).

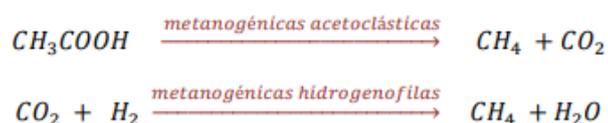
Acetogénesis. Como hemos visto antes, en la acidogénesis se producen productos que pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos, y otros compuestos orgánicos más reducidos que tienen que ser oxidados por las bacterias acetogénicas en productos más sencillos como el ácido acético, hidrogeno y dióxido de carbono para que puedan ser aprovechados por las bacterias metanogénicas (Stams, 1994).

Las reacciones que se llevan a cabo en esta etapa son energéticamente difíciles, por lo que se necesita la interacción con los organismos metanogénicos u otros organismos consumidores de hidrógeno molecular (Stams, 1994), el cual es el principal inhibidor de la acetogénesis (Fukuzaki et al., 1990). Ya que una elevada presión de hidrógeno se reduce la formación de acetato, produciendo preferentemente ácido propiónico, butírico o etanol en vez de metano.

A esta altura del proceso, la mayoría de las bacterias anaerobias ya han extraído todo el alimento de la biomasa, y como resultado de su metabolismo, eliminan sus propios productos de desecho de sus células. Estos productos son los ácidos grasos volátiles, los cuales servirán de sustrato para las bacterias metanogénicas de la etapa final (Varnero Moreno, 2011, p. 21).

Metanogénesis. Esta es la última etapa del proceso, donde los microorganismos metanogénicos pueden ser considerados los más importantes dentro del consorcio de microorganismos anaerobios, ya que son los encargados de la formación del metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂) además de la eliminación del medio los productos generados en los grupos anteriores (Palau Estevan, 2016).

Dentro de esta fase se pueden diferenciar dos grandes grupos de bacterias metanogénicas, el primer grupo, los *acetoclásticos*, que convierten el acetato en metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), y el segundo grupo, las bacterias *hidrogenotróficas*, que utilizan el hidrogeno (H₂) como donante de electrones y el dióxido de carbono (CO₂) como receptor de los mismos para la formación de metano (CH₄) (NAMA Facility, 2018).



Se ha demostrado que la principal vía para la producción de metano en los reactores anaeróbicos es la descarboxilación del ácido acético, representando aproximadamente el 70% de la producción total, mientras el metano restante proviene de los sustratos de ácido carbónico, ácido fórmico y metanol (Varnero Moreno, 2011, p. 21).

6.2 Parámetros que afectan al proceso

La actividad metabólica involucrada en el proceso de producción de biogás se ve afectada por diversos factores, debido a que cada grupo de bacterias que intervienen en las distintas etapas del proceso responden de forma diferencial a la influencia de estos factores. El conocimiento de los parámetros ambientales y operacionales que afectan al proceso de fermentación anaerobia, es la base para el control correcto de la operación, alcanzando un equilibrio entre la velocidad de los procesos productivos de ácidos (hidrólisis y acidogénesis) y de los procesos generadores de metano (metanogénesis). Para alcanzar dichas condiciones deseadas y posibilitar el adecuado desarrollo de los microorganismos, debemos atender a diferentes factores físicos y químicos que condicionan el proceso de digestión anaeróbica (Lorenzo Acosta y Obaya Abreu, 2005). Los factores más importantes que influyen la producción de biogás los clasificamos en parámetros operacionales y parámetros ambientales:

6.2.1 Parámetros operacionales o de funcionamiento

Los parámetros operacionales hacen referencia a las condiciones y factores físicos de trabajo en los reactores. Los factores que ejercen mayor influencia sobre el desempeño de la digestión anaeróbica son:

Temperatura. La temperatura es una condición determinante para la actividad de cualquier microorganismo, afectando directamente a la velocidad de producción de ácidos y al rendimiento del proceso. De forma general, se observa que al incrementar la

temperatura provoca una aceleración de las reacciones químicas y biológicas del proceso, aumentando la producción de biogás. Hay que tener en cuenta que variaciones bruscas de temperaturas pueden provocar una desestabilización del proceso (Mejía Sánchez, 1996).

En el proceso de digestión anaerobia pueden darse tres intervalos de temperatura donde las bacterias llevan a cabo sus funciones metabólicas.

RANGO DE TEMPERATURA	°C
PSICROFÍLICO	<20
MESOFÍLICO	20-45
TERMOFÍLICO	50-5

Tabla 3. Rangos de temperatura para el proceso de digestión anaerobia (Flotats, 2010)

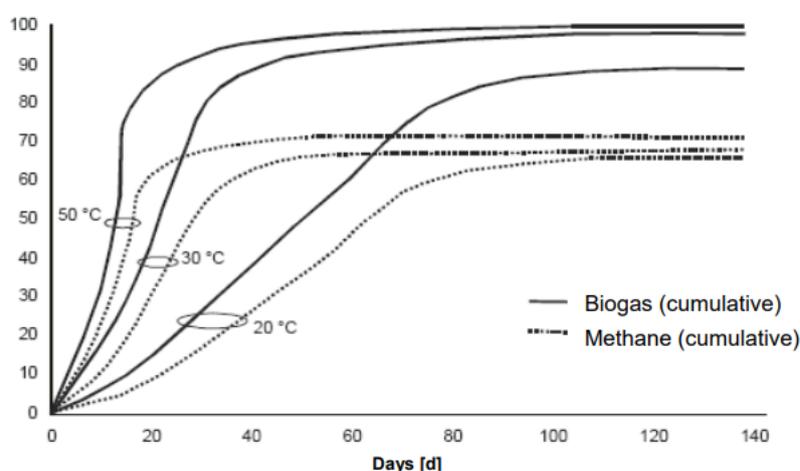


Ilustración 7. La Figura 3.7 muestra las tasas de producción relativa de biogás según la temperatura y el tiempo de retención (Al Seadi, T.; Rutz, D. et al., 2008)

El rango de temperatura mesofílico es el más habitual en el que operan las plantas de biogás debido a que elevar las temperaturas a niveles demasiados altos requieren un importante gasto energético, además de que provoca un aumento de la tasa de descomposición. Operar en este rango nos ofrece rendimientos de gas relativamente altos además de mantener una buena estabilidad del proceso, con cierta tolerancia a pequeños cambios de temperatura (Pacual, Ruiz, Gómez, Flotats y Fernández, 2011).

En la actualidad se está implementando cada vez más el rango termofílico para conseguir una mayor velocidad del proceso. Sin embargo, el régimen termofílico suele ser más inestable a cualquier cambio de las condiciones de operación y presenta mayores problemas de inhibición del proceso (Varnero Moreno, 2011).

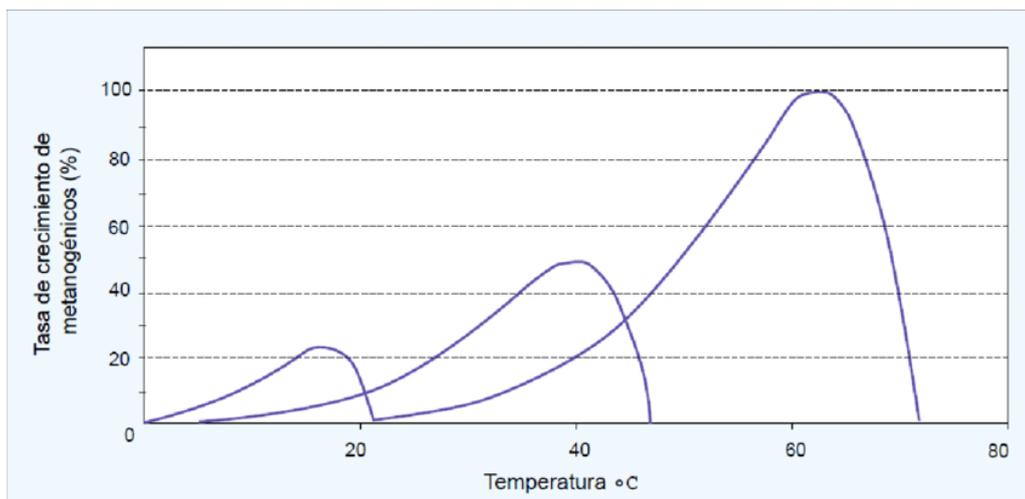


Ilustración 8. Tasa de crecimiento de los microorganismos metanogénicos psicrofílicos, mesofílicos y termofílicos (Varnero Moreno, 2011)

Agitación. El objetivo de la agitación del material a digerir en los reactores, consiste en conseguir un buen mezclado y homogenización del sustrato con la población bacteriana, favorecer la salida de gases, evitar la formación de espumas, de costras superficiales además de sedimentos en el fondo del reactor, evitar espacios muertos, así como mantener una temperatura uniforme en todo el reactor (Elias Castells, 2005).

El grado de agitación debe ser moderado, en ningún caso ha de ser violenta, ya que podría destruir los flóculos o agregados de bacterias, necesarios para mantener un proceso estable. La agitación puede ser mecánica, mediante turbinas o agitadores de baja velocidad, o neumática, que consiste en la inyección del gas a una presión adecuada provocando un burbujeo del propio gas recirculado (Fernández García, 2016).

La potencia demandada para cubrir las necesidades energéticas varía en función del volumen y de la forma del digestor. Normalmente los valores se encuentran comprendidos entre 10 y 100 W·H/m³·día (Elias Castells, 2005).

Tiempo de retención hidráulica. El tiempo de retención hidráulica (TRH) es el tiempo necesario para lograr la completa degradación de la materia orgánica en el digestor. Corresponde al cociente entre el volumen del digestor y el caudal a tratar, y se expresa en unidades de tiempo. Este está íntimamente ligado con los parámetros del proceso como la temperatura, así como el tipo de sustrato a digerir (IDAE, 2007).

$$TRH = \frac{V_R}{\dot{V}}$$

V_R = volumen del reactor (m³)

\dot{V} = Caudal de tratamiento (m³/d)

Para el cálculo del tiempo de retención se debe tener en cuenta el régimen de temperatura con el que se trabaja en el interior del tanque. A mayor temperatura, más

rápido se desarrollan los microorganismos y más rápido se produce la degradación de la biomasa

En la Ilustración 9 se indica la tendencia general de los índices de eliminación de materia orgánica (expresada en forma de sólidos volátiles, SV) y de producción específica de gas, por unidad de volumen de reactor, en función del tiempo de retención.

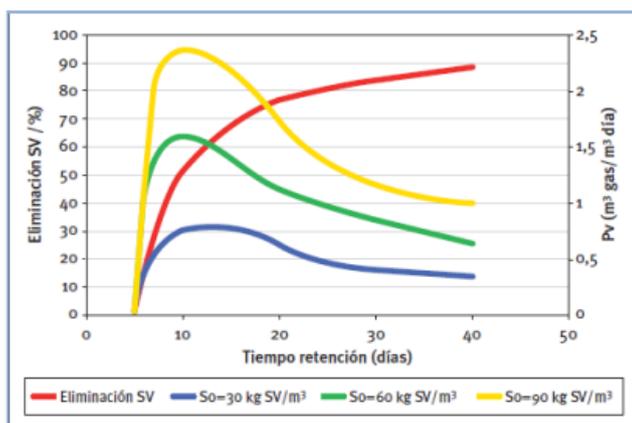


Ilustración 9. Eliminación de sólidos volátiles, SV(%) y producción volumétrica de gas Pv (m³.biogás/ m³.día) para un reactor anaerobio continuo de mezcla completa, en función del tiempo de retención hidráulico. Fuente: Centro GIRO (Gestión Integral de Residuos Orgánicos)

En general, los tiempos de retención en la digestión de residuos ganaderos varían mucho según el tipo de residuo, los más usuales son de 15 a 30 días en condiciones mesofílicas, y de 12 a 14 en condiciones termofílicas (Monnet, 2003). Hay que tener en cuenta que existe un tiempo mínimo por debajo del cual el reactor no presenta actividad, en el caso de las deyecciones ganaderas, el periodo puede ir de los 3 a los 7 días (Flotats et al., 2008).

La fracción de materia orgánica degradada aumenta al aumentar el TRH, sin embargo, la producción volumétrica de metano disminuye al aumentar el TRH una vez que se sobrepasa el tiempo de retención óptimo (Santolaria Capdevila, 2014) El máximo de producción de metano por unidad de volumen de reactor se alcanza con un 40 – 60% del sustrato eliminado (NAMA Facility, 2018).

Por lo tanto, cabe destacar que la máxima degradación de la materia orgánica no coincide con la máxima producción de gas por unidad de volumen del reactor. Es por ello, que este aspecto es de suma importancia desde el punto de vista económico, ya que, si se quiere conseguir la máxima eficiencia productiva de metano por unidad volumétrica del reactor, debemos ajustar el tiempo de retención hidráulica a este valor, aunque la degradación no sea elevada.

Velocidad de carga orgánica (VCO). La velocidad de carga orgánica es la cantidad de materia orgánica introducida en el digestor por unidad de volumen y tiempo,

se calcula como el cociente entre la concentración de SV en la entrada y el tiempo de retención (Palau Estevan, 2016).

$$VCO = \frac{\dot{V} \cdot [SV]_o}{V_R}; \quad \left[\frac{\text{kg SV}}{\text{m}^3 \cdot \text{d}} \right]$$

V_R = volumen del reactor (m^3)
 \dot{V} = Caudal de tratamiento (m^3/d)
 $[SV]_o$ = Concentración de materia orgánica ($\text{kg SV}/\text{m}^3$)

Cuando la carga orgánica es muy elevada, el tiempo de retención es menor, de manera que la descomposición de la materia orgánica disminuye, reduciendo la producción de biogás por unidad de materia orgánica. Normalmente se trabaja con valores de carga orgánica no superiores a 3,5 – 4 Kg SV/M³.dia (Flotats et al., 2008).

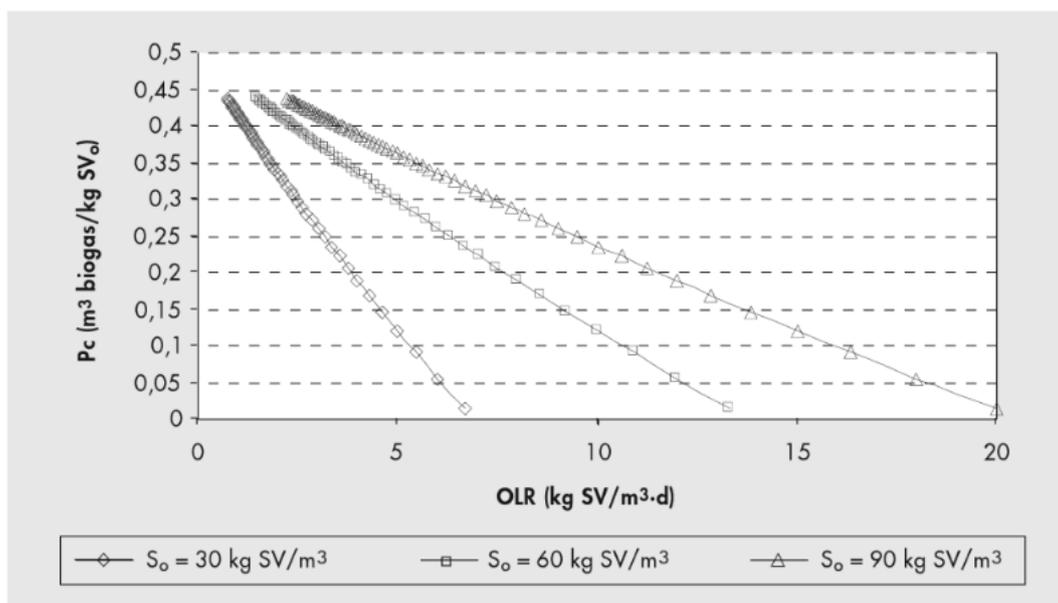


Ilustración 10. producción de gas por unidad de carga en función de la velocidad de carga orgánica (OLR) (Elías Castells, 2005, p. 631).

Como se observa en el gráfico, las mayores producciones de biogás se consiguen a velocidades de carga orgánica menores, es por ello que hay que encontrar un valor óptimo de carga, con el objetivo de conseguir un equilibrio técnico/económico para cada instalación y residuo a tratar.

6.2.2 Parámetros ambientales

Los parámetros ambientales hacen referencia a la condiciones y naturaleza del sustrato, que deben controlar y mantenerse para el correcto desarrollo del proceso:

pH y alcalinidad. Los microorganismo anaerobios necesitan un pH en torno a la neutralidad, es por ello que el intervalo óptimo de pH para la correcta operación del proceso de digestión anaerobia se sitúa entre 6,5 y 8 (Flotats et al., 2008). Una disminución del pH por debajo de valores de 4,5- 5 trae como consecuencia la inhibición de la actividad de las bacterias metanogénicas, provocando una disminución de la velocidad de digestión y, por lo tanto, el descenso en la producción de metano (Monnet, 2003). Este descenso del pH

puede deberse a diversas causas como pueden ser, amplias variaciones de temperatura, carga orgánica excesiva o la presencia de sustancias no deseables (Palau Estevan, 2016).

La alcalinidad es una medida de la capacidad tampón del medio, que es la capacidad que posee el sistema de mantener el pH estable frente a la adición de cantidades pequeñas de ácidos o bases fuertes, los dos principales factores que afectan la caída del Ph son el ácido carbónico y los ácidos volátiles (Cajigas Ceron; Pérez Vidal; Torres Lozada, 2005). La presencia y concentración de un compuesto tampón depende tanto de la composición del sustrato, como de la carga orgánica total (Fernández García, 2016).

En el rango en torno a la neutralidad, cuando los ácidos volátiles aumentan, el principal equilibrio químico que controla la alcalinidad es el dióxido de carbono-bicarbonato, de modo, que cuando la alcalinidad debida a los ácidos volátiles supera la alcalinidad debida al bicarbonato, el sistema se inestabiliza, pudiendo provocar sensibles caídas de Ph (Cajigas Ceron; Pérez Vidal; Torres Lozada, 2005).

En algunos casos como pueden ser las aguas residuales, las cuales tiene una baja capacidad buffer, es necesario controlar el pH de forma artificial, con el objetivo de evitar una bajada del pH debida a los ácidos generados en la segunda fase del proceso. (Fernández García, 2016). En el caso de los residuos ganaderos, los cuales contienen grandes cantidades de amonio, permiten una autorregulación del pH, trabajando en todos los casos en torno a la neutralidad (Mejía Sánchez, 1996).

Potencial Redox. Para un adecuado crecimiento de las poblaciones metanogénicas estrictas, el valor del potencial redox es necesario que se mantenga lo suficientemente bajo, entre unos valores de -220 Mv a -350 Mv a pH neutro, de manera que se asegura un ambiente fuertemente reductor, necesario para un buen desarrollo de las bacterias anaerobias (NAMA Facility, 2018).

Relación C/N. La relación entre la cantidad de carbono y nitrógeno presente en los materiales orgánicos está indicada por la relación C/N. La relación óptima de C/N en las digestiones anaerobias se encuentra entre 20/1 y 30/1. Unos valores altos indican una rápida consumición del nitrógeno por parte de los microorganismos, provocando una baja producción de metano. Por el contrario, una baja relación C/N provoca una acumulación de amonio y un aumento del pH en valores superiores a 8,5. Esto conlleva la inhibición de la actividad microbiana, ya que es toxico para las bacterias metanogénicas provocando la inhibición del proceso (Monnet, 2003).

Normalmente los residuos ganaderos proporcionan una suficiente concentración de nutrientes, siendo más común la presencia de problemas por exceso que por falta de

nutrientes. De tal forma, una forma de equilibrar la relación de C/N se basa en mezclar residuos con diferentes concentraciones de nutrientes (Fernández García, 2016).

Materiales	%C	%N	C/N
Residuos animales			
Bovinos	30	1,30	25:1
Equinos	40	0,80	50:1
Ovinos	35	1,00	35:1
Porcinos	25	1,50	16:1
Caprinos	40	1,00	40:1
Conejos	35	1,50	23:1
Gallinas	35	1,50	23:1
Patos	38	0,80	47:1
Pavos	35	0,70	50:1
Excretas humanas	2,5	0,85	3:1
Residuos vegetales			
Paja trigo	46	0,53	87:1
Paja cebada	58	0,64	90:1
Paja arroz	42	0,63	67:1
Paja avena	29	0,53	55:1
Rastrojos maíz	40	0,75	53:1
Leguminosas	38	1,50	28:1
Hortalizas	30	1,80	17:1
Tubérculos	30	1,50	20:1
Hojas secas	41	1,00	41:1
Aserrín	44	0,06	730:1

Tabla 4. Valores promedio C/N en algunos residuos disponibles. Fuente: Varnero y Arellano (1991)

Presencia de tóxicos e inhibidores. Diversas sustancias presentes en los digestores anaerobios, producto del crecimiento de las colonias de microorganismos en el sustrato, pueden resultar inhibitoras de las reacciones bioquímicas que tienen lugar en el sistema anaerobio, e incluso tóxicas, provocando la detención del funcionamiento del sistema (Mejía Sánchez, 1996).

Dicha inhibición depende, en principal medida de la concentración de los propios inhibidores, los cuales pueden variar de acuerdo con la composición del sustrato o biomas, además de etapa anaerobia predominante en el reactor (NAMA Facility, 2018).

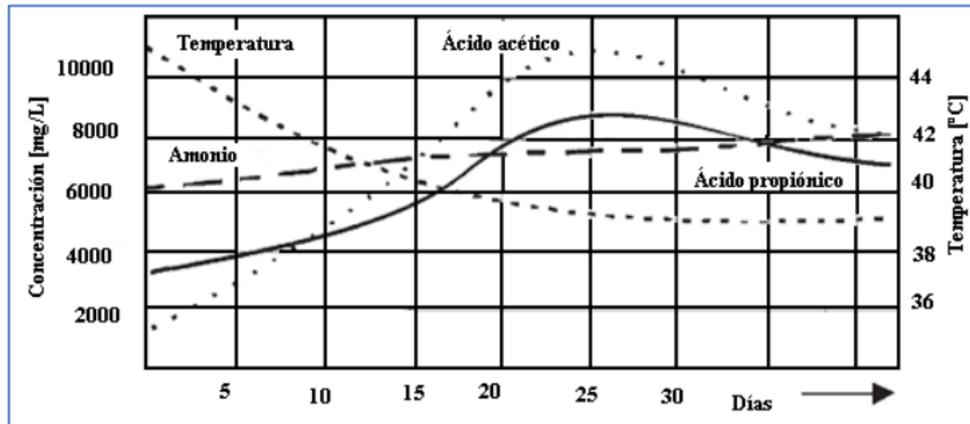


Ilustración 11. Concentración de amonio, ácido acético y propiónico a los diferentes días y según los cambios de temperatura (Deublein y Steinhauser, 2008).

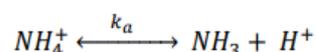
Se debe hacer una distinción entre los inhibidores que ingresan al digestor a través del sustrato y aquellos que se forman durante la degradación del sustrato.

En el primer caso, la presencia de desinfectantes en el estiércol o purines, y en menor medida, de antibióticos, pueden causar la inhibición del proceso. También hay que tener en cuenta la concentración de metales pesados como el cobre (Cu), que podemos encontrar valores apreciables en las deyecciones ganaderas, donde se ha observado una reducción a la mitad en la actividad de las bacterias en concentraciones de Cu de 200mg/L (Flotats et al., 2008).

Entre los inhibidores más importantes durante la degradación del sustrato, se encuentran los ácidos volátiles (AGV), el ácido sulfúrico y el amoniaco libre (NH₃), el cual es el inhibidor más importante en las deyecciones ganaderas aumentando a medida que sube el pH y la temperatura (Fernández García, 2016).

La concentración a partir de las cuales el amoniaco libre (NH₃) se considera inhibidor no está definida claramente, ya que básicamente dependen del estado de aclimatación de las bacterias, así como de pH y de la temperatura. Podríamos considerar que las concentraciones a partir de las cuales comenzaríamos a notar los problemas están comprendidas entre 200 mg N/L y 700mg N/L (Elias Castells, 2005).

El amoniaco y el amoniaco libre se encuentran en equilibrio, sin embargo si se produce un aumento del pH y/o de la temperatura, este se desplaza a la derecha aumentando la concentración de amoniaco libre:



La tabla muestra una lista orientativa con varios inhibidores:

Inhibidor	Concentración inhibitoria	Comentarios
Oxígeno	>0,1 mg/L	Inhibición de los microorganismos anaeróbicos
Amoniac libre	>200 mg NH ₃ /L y, >1100 mg NH ₃ /L en sistemas más aclimatados	El efecto inhibitorio se eleva a medida que se eleva el valor del pH y la temperatura. Gran adaptabilidad de las bacterias.
Ácidos grasos volátiles	>2000 mg HAC/L	El efecto inhibitorio se eleva a medida que cae el valor del pH. Gran adaptabilidad de las bacterias.
Sulfuro de hidrógeno	>50 mg H ₂ S/L	El efecto inhibitorio se eleva a medida cae el valor del pH
Metales pesados	Cu>50 mg/L Zn>150 mg/L Cr> 100 mg/L	Sólo los metales disueltos tienen un efecto inhibitorio.
Desinfectantes, antibióticos	No especificado	Efecto inhibitorio específico para el producto.

Tabla 5. Inhibidores en procesos de descomposición anaeróbica y concentraciones perjudiciales (Henze, 1995).

6.3 Sistemas de digestión anaerobia para el tratamiento de residuos orgánicos

Hoy en día existen numerosas tecnologías enfocadas al tratamiento de los residuos orgánicos, las cuales dependen de las condiciones de diseño del sistema, del tipo de digester empleado y del modo de presentación de los sustratos a ser fermentados.

A la hora de clasificar dichos biodigestores se pueden seguir varios criterios:

- El tipo de digester (mezcla completa o de flujo pistón)
- De la temperatura de trabajo (mesofílica o termofílica)
- Numero de fases del proceso (una o dos fases)
- El contenido en materia seca del sustrato orgánico (digestión humedad o seca)

En este apartado vamos a realizar un análisis de los diferentes tipos de biodigestores, clasificados en función de la forma de alimentación, así como en sus diferentes configuraciones.

De esta manera, podríamos afirmar que el diseño de los digestores anaerobios y de sus instalaciones auxiliares depende, fundamentalmente, del tipo y volumen de los materiales a digerir, es decir, el porcentaje de solidos totales que poseen los residuos que se introducen en el digester. Por lo tanto, el tipo de biodigester a elegir dependerá fundamentalmente del tipo de residuo que vayamos a tratar.

En la siguiente tabla podemos observar la clasificación de los diferentes reactores anaerobios más utilizados para tratar residuos ganaderos, atendiendo al modo de operación y configuración espacial del digester:

Reactor de mezcla completa	Sin recirculación	REACTOR DE MEZCLA TOTAL	
		REACTOR DE FLUJO PISTÓN	
	Con recirculación	REACTOR DE CONTACTO	
Reactor con retención de biomasa	Sin recirculación	<i>Inmovilización sobre un soporte</i>	FILTROS ANAEROBIOS
			LECHOS FLUIDIZADOS
		<i>Agregación o floculación de biomasa y su retención por gravedad</i>	LECHOS DE LODOS
Sistemas discontinuos		REACTORES DE 1ª GENERACIÓN	
Otros sistemas (sistemas híbridos)		SISTEMAS EN DOS ETAPAS	
		SISTEMAS EN DOS FASES	
		OTROS	

Tabla 6. clasificación de reactores anaerobios para residuos ganaderos (García Pejenaute, 2012).

A continuación, se exponen y describen detalladamente las características de las alternativas propuestas:

Digestor de mezcla completa. La principal característica de este tipo de digestores es que la concentración tanto de sustrato como de microorganismos es similar en todos los puntos del volumen de fermentación, esto se logra gracias al sistema de agitación que se dispone en este tipo de reactores, el cual puede ser de muy diversos tipos; mecánico, mediante palas o hélices de eje vertical u horizontal) o neumática (recirculación de biogás a presión) y nunca violenta (Elias Castells, 2005).

Este tipo de digestor no ofrece problemas de diseño además de ser el más sencillo en su concepción y el más ampliamente utilizado en las plantas de biogás agroindustriales en Europa. Se trata de reactores cilíndricos verticales cerrados, que suelen ser de acero u hormigón armado donde su capacidad máxima no es superior a 2500m³ con el objetivo de mantener más fácilmente una temperatura homogénea en toda la biomasa (Pacual, Ruiz, Gómez, Flotats y Fernández, 2011).

Comparativamente a otros reactores, el tiempo de retención necesario es alto, debido a que no existe una fijación de biomasa, es decir, los microorganismos abandonan el digestor junto con el material digerido, provocando que, la concentración de cualquier especie, que se mantiene en el reactor en régimen estacionario sea la misma que la que se pierde en el efluente. Esto conlleva una disminución de la velocidad de metabolización de los sustratos ya que depende de la concentración de los microorganismos en el reactor (Elias Castells, 2005).

Este tipo de reactor opera de manera continua donde la alimentación del sustrato al digestor puede ser de forma continua o semicontinua; varias veces al día. Generalmente se aplican procesos de digestión vía húmeda; donde el porcentaje de sólidos totales (ST) no es superior a un 10% debido a que aumentar los niveles de sólidos contribuye al aumento del consumo energético en agitación y transporte (Carrasco Allendes, 2015).

Asimismo, estos digestores pueden operar con recirculación, también denominado como reactor anaerobio de contacto, donde se añade un desgasificador y un decantador para el efluente del reactor, recirculando la biomasa decantada al interior del reactor principal. Se ha comprobado que, regulando la recirculación, es posible conseguir tiempos de retención hidráulica más bajos que con un reactor simple sin recirculación, debido al aumento del tiempo de retención de los microorganismos (IDAE, 2007).

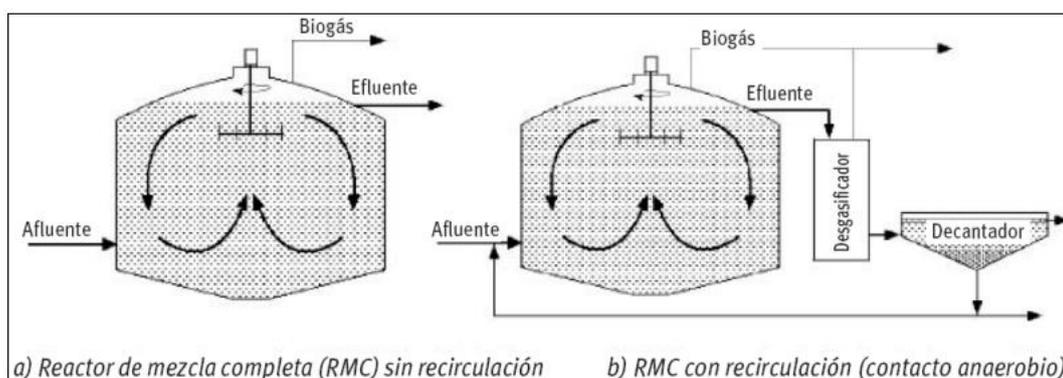


Ilustración 12. Esquema de configuración de un reactor de mezcla completa (Carrasco Allendes, 2015).

Digestor flujo pistón o “plug-flow”. El digestor de flujo pistón se trata de un reactor horizontal, donde la materia obedece al desplazamiento horizontal a través del reactor de forma tubular, entrando por un extremo y saliendo el efluente por el extremo contrario (Carrasco Allendes, 2015).

Estos digestores suelen estar dotados por una agitación lenta, mediante palas mezcladoras, que además de mezclar el sustrato, favorecen al desplazamiento horizontal de la materia.

A diferencia con los digestores de mezcla completa, la principal característica de este sistema de digestión es que la concentración de cualquier sustancia varía en cada sección transversal del digestor (Pacual, Ruiz, Gómez, Flotats y Fernández, 2011) siendo la concentración del sustrato, al igual que la tasa de crecimiento de microorganismos más elevada en la entrada del reactor que a la salida. Este hecho hace que la concentración media en el reactor sea superior a la correspondiente a mezcla completa provocando una disminución del tiempo de retención (Elias Castells, 2005).

Generalmente, este sistema es apropiado para la digestión de sustratos de mayor viscosidad, con concentraciones de sólidos totales (entre 20 y 40% ST), como son los residuos ganaderos como el estiércol o residuos municipales, ya que su configuración facilita el transporte de la materia sin un gasto excesivo en energía. Este sistema también favorece el rendimiento de degradación de la materia orgánica, siendo superior respecto a los de mezcla completa (Elias Castells, 2005).

En función del volumen y material, el coste del este tipo de digestor, supone alrededor de un 15-20% de los costes de inversión de la planta de biogás. El principal inconveniente que presenta este sistema en comparación con los de mezcla completa, es la mayor inversión que hay que realizar por unidad de volumen. Sin embargo, este mayor coste suele compensarse por el menor volumen de digestor requerido debido al menor tiempo de retención además de la simplificación en el proceso de pretratamiento (Pacual, Ruiz, Gómez, Flotats y Fernández, 2011).

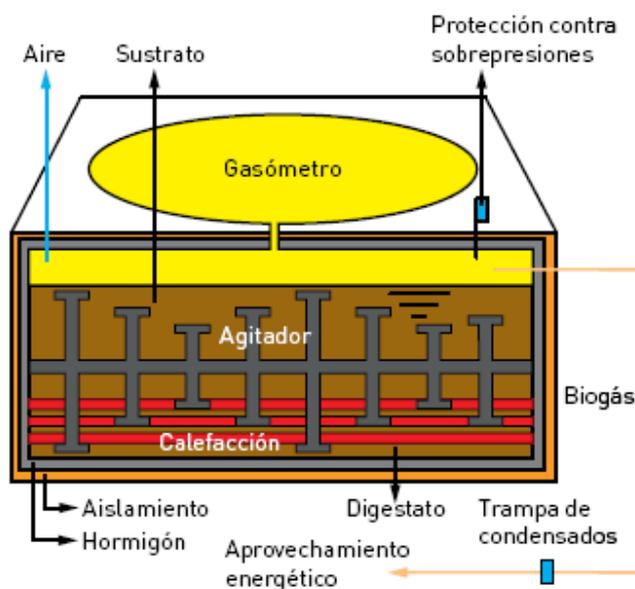


Ilustración 13. Digestor flujo pistón (Pacual, Ruiz, Gómez, Flotats y Fernández, 2011).

Biodigestores con retención de biomasa. Utilizando sistemas que retengan la biomasa podemos aumentar la estabilidad de los microorganismos, evitando, por un lado, el lavado de estos, y por otro lado optimizar la actividad microbiana en la digestión de los sustratos, reduciendo el tiempo de retención de la biomasa.

Existen tres tipos diferentes de reactores:

- Reactores con inmovilización de la biomasa sobre un soporte; Filtro anaerobio o lechos fluidizado.
- Reactores con retención mediante gravedad; Reactores de lecho de lodos.

Filtro anaerobio. En este sistema las bacterias anaerobias están fijadas a la superficie de un soporte inerte formando biopelículas (lecho fijo con flujo descendiente) o

atrapadas en los intersticios de éste (filtro anaerobio con flujo ascendente). El soporte puede ser de materia cerámico o plástico.

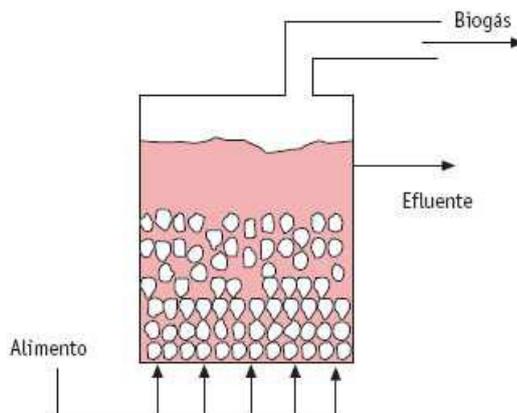


Ilustración 14. Digestores de filtros anaerobios. Fuente: Informe de vigilancia Tecnológica Madrid "Situación actual de la producción de biogás y su aprovechamiento".

Este sistema ha sido extensamente aplicado para el tratamiento de aguas residuales de la industria agroalimentaria, además de existir experiencias piloto para el tratamiento de la fracción líquida de los residuos ganaderos (Elias Castells, 2005).

Reactores de lecho de lodos (Sistema UASB). Este tipo de reactores se basan en las propiedades de floculación o agregación de las bacterias metanogénicas, formando gránulos o consorcios (generalmente del orden de 0,5 y 2mm de diámetro) que por sedimentación se mantienen en el interior del reactor siempre que exista un régimen hidráulico constante de flujo ascendente. Estos gránulos resisten al lavado del sistema de reacción, permitiendo cargas hidráulicas elevadas (Agencia Andaluza de la Energía, 2011).

El diseño más común es el *Up-flow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB), el cual es un cilindro vertical diseñado para separación efectiva de las tres fases participantes del proceso: gas (biogás), líquido (solución) y sólido (lodos). La alimentación se deposita en el fondo del reactor y su flujo a través de éste provoca que los lodos, que portan los microorganismos, se configuren como gránulos no susceptibles al lavado, favoreciendo la digestión anaerobia (Pérez Santana, 2022).

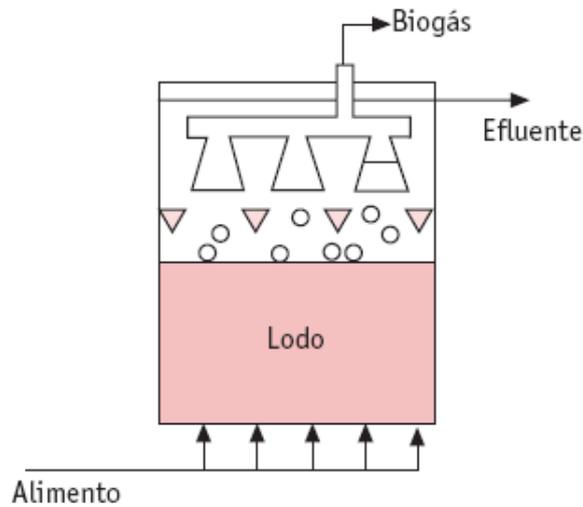


Ilustración 15. Digestores de lecho de lodos UASB. Fuente: Informe de vigilancia Tecnológica Madrid "Situación actual de la producción de biogás y su aprovechamiento"

Sistemas discontinuos. Los reactores discontinuos, también llamados reactores tipo batch consiste en un simple reactor herméticamente sellado, el cual opera por ciclos.

El reactor es alimentado una vez al ciclo, y se realiza con mezcla de residuos frescos, normalmente residuos ganaderos con lecho de paja, los cuales contienen alta concentración de sólidos (30-40%) que dificultan la adopción de sistemas de bombeo (Monnet, 2003)

En este sistema, la biotransformación ocurre hasta que se completa el proceso de digestión, donde la evolución temporal de la producción de biogás sigue la misma tendencia que la curva típica de crecimiento de microorganismos. Por lo que no hablamos de tiempos de retención, sino de tiempos de digestión. Una vez transcurrido el tiempo de digestión, se retira el efluente y se procede a añadir material nuevamente (Elias Castells, 2005).

La eficiencia de este proceso respecto a los sistemas continuos es más escasa, teniendo en cuenta que existen tiempos muertos entre ciclos, sin embargo, se trata de un sistema interesante para la digestión de residuos sólidos teniendo en cuenta la flexibilidad que nos aporta, además de sus menores costes de operación (Carrasco Allendes, 2015).

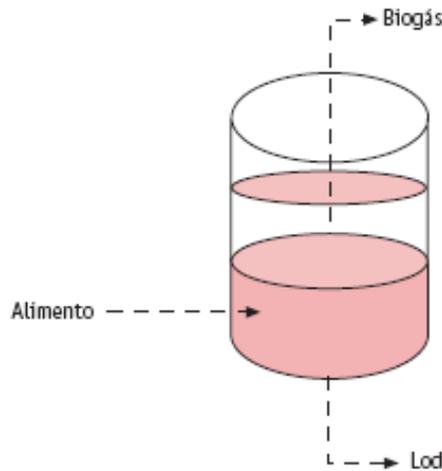


Ilustración 16. Digestor discontinuo. Fuente: Informe de Vigilancia Tecnológica Madrid "Situación actual de la producción de biogás y de su aprovechamiento".

Digestor de dos fases. La digestión anaerobia se realiza en dos fases mediante dos reactores en serie, en los cuales se realizan respectivamente, la hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis. En cada una de ellas participan diferentes tipos de microorganismos con características metabólicas diferentes.

En cada uno de los reactores se realiza una parte del proceso de fermentación, es decir, en el primero se realiza la acidogénesis y en el otro la metanogénesis. El objetivo de esta separación en fases es conseguir un tiempo de retención global inferior al correspondiente a un único reactor de mezcla completa. La separación es de tipo cinético, controlando el tiempo de retención de cada reactor, el cual será inferior en el primero, debido a las más altas tasas de crecimiento de las bacterias acidogénicas. Este tipo de sistema ha sido aplicado con éxito para la digestión de residuos con alta concentración de azúcares y bajo contenido en sólidos, pero no para residuos con fibras y en general, sustratos cuyo limitante es la hidrólisis (IDAE, 2007).

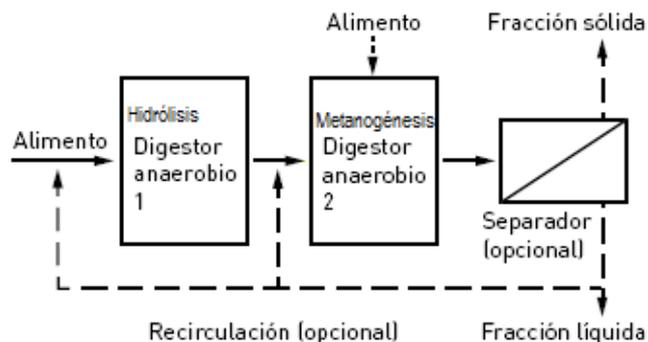


Ilustración 17. Digestor en sistema de dos fases (Pacual, Ruiz, Gómez, Flotats y Fernández, 2011).

6.4 Factores determinantes en la producción de biogás

La alimentación del digestor va a depender del tipo de reactor, además del tipo de materia orgánica empleada. Para el transporte de residuos con un contenido de sólidos

totales inferiores a 15% se puede emplear tuberías o bombas, y, para sustratos sólidos fibrosos, sistemas de tornillo sin fin. Es muy importante tener en cuenta que los residuos destinados a la digestión anaerobia no deben ser almacenados durante demasiado tiempo, ya que la productividad del biogás decaería muy deprisa al producirse fermentaciones espontáneas. Según el Estudio de Biomasa de IDAE (2007), tiempos de almacenaje superiores a 3 meses pueden reducir su potencial de producción en más del 70%.

6.4.1 Características del sustrato

El presente trabajo final de carrera se centra en el tratamiento de los residuos procedentes del sector primario, en concreto de los desechos de origen ganadero, los cuales, suponen una fuente de contaminación muy importante, siendo un problema ambiental.

Según la Directiva 2.008/98/CE, residuo es: "*Cualquier sustancia u objeto del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención o la obligación de desprenderse*". Es decir, todos aquellos sustratos que han sido generados en las actividades de producción, transformación y consumo que no han generado ningún valor económico en el contexto en el que han sido generados (García Pejenaute, 2012).

De modo que, los residuos orgánicos de interés pertenecientes al sector primario, se pueden agrupar en:

- Residuos Agrícolas
- Residuos Forestales
- Residuos Ganaderos

Los residuos más importantes por volumen generado son principalmente los residuos ganaderos derivados de las deyecciones animales: estiércoles y gallinaza como residuos sólidos, y los purines como residuos líquidos. Además de los residuos ganaderos, también podríamos destacar los cultivos energéticos como sustratos importantes en la generación de biogás.

En la actualidad, la producción de biogás a partir de biomasa agrícola es de creciente importancia ya que ofrece beneficios ambientales considerables (Chynoweth, 2004), además de ser una fuente adicional de ingresos para los agricultores.

Los cultivos agrícolas que podríamos considerar óptimos para la digestión anaerobia son; el maíz (*Zea mays*), plantas forrajeras (*Poaceae*), trébol (*Trifolium*), así como derivados del sudan (*Sorghum bicolor*, *sorghum sudanense*) o la remolacha forrajera (*Beta vulgaris*).

A continuación, se describen unos parámetros característicos de cada residuo a tener en cuenta para su futura valorización energética en forma de biogás, los cuales serán de gran influencia en el dimensionamiento del digestor.

Sólidos totales / Humedad. Consiste en la cantidad de materia que queda como residuo después de secado o evaporación del agua a 105°C (PSE PROBIOGAS, 2009). Se define como la cantidad de sólidos que contiene el sustrato. Se trata de un valor que puede ser muy variable dependiendo de cada residuo, por lo general los residuos de origen animal, especialmente el purín porcino, tienen un contenido inferior a 7%, mientras que otros estiércoles, como los de bovino pueden superar el 20%. El porcentaje óptimo en la mezcla a digerir en el digestor debe ser del 10 – 15% (Fernández García, 2016).

Sólidos volátiles. Los sólidos volátiles o masa volátil corresponden al volumen de masa orgánica que contiene el sustrato, la cual se volatiliza tras la incineración de los sólidos totales (ST) a 550°C (Flotats et al., 2008)

El conocimiento de los sólidos volátiles de un residuo es de gran importancia, ya que se trata del porcentaje de biomasa, que realmente produce biogás, el resto se trata de trazas inorgánicas, humedad y otras materias que no producen biogás (Fernández García, 2016).

El porcentaje de sólidos volátiles se mide respecto al de sólidos totales (% SV S.T), variando entre el 70- 95% en los residuos orgánicos agroindustriales. Aquellos residuos que tienen un porcentaje inferior al 60% de sólidos volátiles respecto a sólidos totales, no suelen considerarse buenos sustratos para la digestión anaerobia (Flotats et al., 2008)

Demanda química de oxígeno (DQO). La demanda química de oxígeno indica la cantidad total de oxígeno que es necesaria para oxidar la materia orgánica a CO_2 amoníaco y agua. Este parámetro se emplea como medida indirecta de la concentración de materia orgánica del residuo a tratar (Flotats et al., 2008).

A efectos prácticos, las dos medidas principales de la materia orgánica que se utilizan en digestión anaerobia son el contenido de sólidos volátiles (SV) y la demanda química de oxígeno (DQO), siendo la que más información nos proporciona del proceso.

Para un sistema anaeróbico la DQO se considera un parámetro conservativo, de modo que, la DQO de entrada, debe ser igual a las DQO de salida:

$$DQO_{ENTRADA} = DQO_{digestato} + DQO_{gases} = DQO_{digestato} + DQO_{CH_4}$$

Como el CO_2 que sale en la composición del biogás tiene un DQO nula (es una molécula oxidada), la DQO que falta en el digerido para igualar la entrada estará en forma de CH_4 . Esto se traduce en:

2,857 kg de DQO por m^3 de CH_4

De modo que se necesita 1Kg de oxígeno para oxidar $0,35m^3$ de metano en condiciones normales de presión y temperatura (1 atm, $0^\circ C$ de T). Se trata de una relación muy interesante para predecir la cantidad de metano que se va a producir de un residuo, en función del oxígeno eliminado (IDAE, 2007).

6.4.2 Acondicionamiento o pre-tratamiento del sustrato

Antes de producirse la alimentación del reactor, es necesario una homogenización de la mezcla de sustratos, y en ocasiones puede ser necesario un pre-tratamiento de la biomasa, con el objetivo de acondicionar la materia prima para obtener mejores rendimientos de transformación a biogás, aumentando la producción y la calidad de este, además de reducir tiempos de retención y creando unas condiciones óptimas para el crecimiento microbiano.

El principio fundamental de la etapa se basa en facilitar la degradación de la materia prima, aumentando la superficie de contacto o degradando parcialmente la biomasa. Este proceso se suele aplicar a los sustratos que contiene altas cantidades de lignina, celulosa y hemicelulosa, para mejorar su digestibilidad.

Existen los siguientes tipos de pretratamiento:

Térmico. Este pretratamiento consiste en la inyección de calor al sustrato. El objetivo de los pretratamientos térmicos es doble, por un lado, se aumenta la solubilidad de los compuestos presentes en el sustrato (aumento de la biodisponibilidad) y por otra parte, elimina los microorganismos patógenos dependiendo de la temperatura que se alcance en el proceso. Además, también se ha observado que aumenta los niveles de metano producidos en la digestión (Carrasco Allendes, 2015).

Físico. Este tipo de pretratamiento consiste en reducir el tamaño de las partículas del sustrato mediante técnicas como maceración o trituración, con el objetivo de incrementar la superficie específica de contacto, de modo que se consiga una mayor solubilización de la materia orgánica. Este sistema se suele aplicar para aquellos sustratos que están formados por materiales de origen estructural, como celulosa o lignina, que son difíciles de degradar (Fernández García, 2016).

Químico. Este tratamiento se basa en la adición de compuestos químicos al sustrato para conseguir una degradación parcial del sustrato, eliminando estructuras complejas y de baja biodegradabilidad, aumentando la actividad de los microorganismos. Los pretratamientos ácidos y alcalinos consisten como su nombre indica en la adición de

compuestos ácidos o básicos respectivamente. Se han utilizado principalmente agentes oxidantes para este tipo de tratamiento, siendo la ozonización y la peroxidación las principales técnicas (Torrecilla del Rey, 2021).

Biológico. Los pretratamientos biológicos consisten en la incorporación exógena de microorganismo que facilitan la degradación de materiales insolubles y poco biodegradables (Torrecilla del Rey, 2021). Algunos tratamientos biológicos más representativos son los fúngicos, ensilado y tratamientos enzimáticos, que se realizan principalmente sobre sustratos que están formados por materiales de origen estructural, como son los cultivos energéticos. En el caso del ensilado se trata de un proceso fermentativo que permite la conservación de sustratos vegetales a lo largo del año gracias a la producción de ácido láctico, que provoca la ruptura de los azúcares y una disminución del pH, impidiendo el crecimiento de bacterias inhibidoras así como fermentaciones espontáneas (Lorente Sistiaga, 2021).

6.4.3 Post- tratamiento, depuración o acondicionamiento del biogás

El biogás no es absolutamente puro, pues contiene partículas y trazas de otros gases los cuales condicionan su posterior uso. Es por ello que, todas estas impurezas deben ser eliminadas dependiendo del uso que tendrá el biogás.

La purificación del biogás es importante por dos razones principales. En primer lugar, para aumentar el poder calorífico del biogás, ya que el grado de pureza y la concentración de metano, son los principales factores a tener en cuenta en términos de potencial calorífico del biogás, que varía entre 15 MJ /Nm^3 30 MJ /Nm^3 (Abatzoglou y Boivin, 2009). En segundo lugar, debemos satisfacer los requisitos específicos de ciertas máquinas a fin de poder utilizarlas posteriormente (Varnero Moreno, 2011).

Dentro de los principales contaminantes que afectan al potencial energético del biogás destacan el ácido sulfhídrico (H_2S), el dióxido de carbono (CO_2) y el amoníaco (NH_3). Dependiendo de la composición del sustrato utilizado en la digestión anaerobia, el biogás bruto puede presentar concentraciones de ácido sulfhídrico que varían entre 100 ppm e 10000 ppm, y en casos extremos hasta 30000 ppm. Este ácido es un gas que además de ser corrosivo y tóxico, confiere un mal olor. En relación con la salud humana sabemos que una exposición continuada a una baja concentración de (H_2S) puede provocar irritación de la mucosa además de dolores de cabeza, concentraciones superiores a 200 ppm pueden llegar a causar paradas respiratorias y superiores a 700 ppm durante más de 30 minutos, la muerte (Kunz et al., 2022). Es por ello por lo que la eliminación del sulfuro de hidrogeno se vuelve una necesidad, no solo para conservar el correcto estado

de los conductores, máquinas equipos y tecnología involucrados en su transporte, uso y aplicación, sino también para preservar la vida de todo personal encargado de las operaciones englobadas en la producción de biogás, evitando del mismo modo emitir emisiones de gases tóxicos a la atmosfera (Garcia-Arriaga et al., 2010).

El dióxido de carbono (CO_2) es uno de los principales constituyentes del biogás, correspondiéndole un volumen entre el 30-50% interfiriendo directamente en el potencial energético del biogás por ser inerte en términos de combustión además ocupar volumen.

El amoniaco (NH_3) es otro contaminante habitual en el biogas, originado a partir de residuos agrícolas, y se encuentra presente en valores que varían entre 50 mg/m^3 a 100 mg/m^3 (Petersson, 2013). El amoniaco, al igual que el ácido sulfhídrico presenta propiedades corrosivas y tóxicas.

En este contexto, es necesario la implantación de tecnologías de tratamiento de biogás desde el punto de vista de la salud como del medio ambiente e impacta en el funcionamiento y eficiencia del equipo de co-generación (Del Valle Morero, Gropelli, y Campanella, 2011).

SUSTANCIAS CONTAMINANTES EN EL BIOGÁS Y SUS EFECTOS	
SUSTANCIAS	EFFECTOS
H_2S	- Corrosión - Toxicidad - Formación de ácido sulfúrico
Agua	- Formación de condensados - Formación de soluciones ácidas
CO_2	- Reducción de poder calorífica
Partículas	- Decantación, obturación
NH_3	- Formación de óxidos de nitrógeno durante la combustión

Tabla 7. Sustancias contaminantes en el biogás y sus efectos. Fuente: "El sector del biogás agroindustrial en España" (MARM, 2010).

Dependiendo del uso final que tenga el biogás, será necesaria una limpieza del mismo más o menos exhaustiva. Esta limpieza será más refinada cuando se utilice como combustible de vehículos, se inyecte a la red de gas natural o se utilice en pilas de combustible.

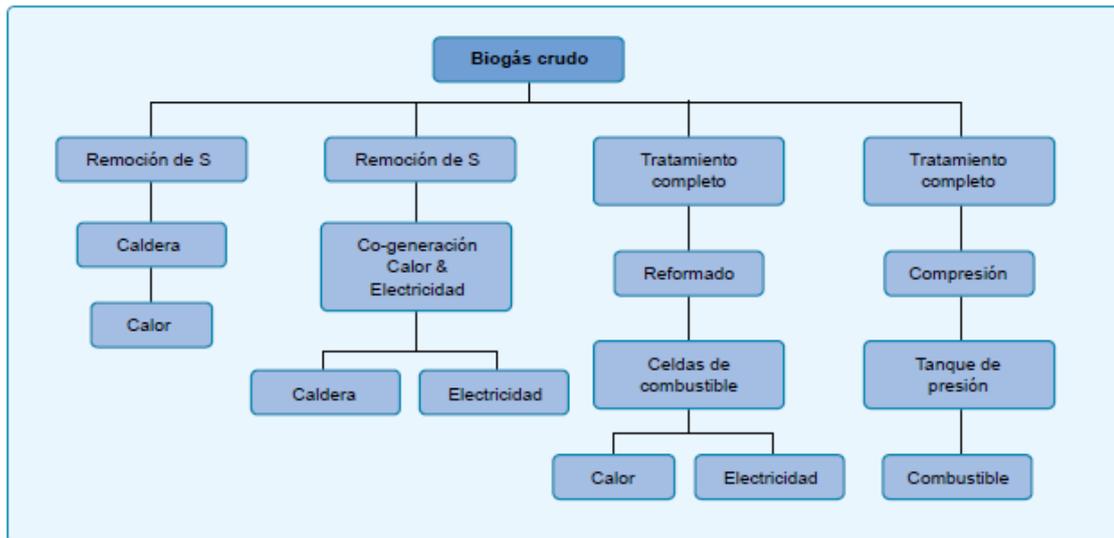


Ilustración 18. Alternativas de utilización de biogás y sus requerimientos de purificación

A continuación, se procede a describir las técnicas más comunes de depuración de los gases que conforman el biogás:

Desulfuración. El sulfuro de hidrógeno en combinación con el vapor de agua en el biogás crudo, en presencia de oxígeno, puede formar ácido sulfúrico (H_2SO_4) el cual es muy corrosivo para los motores y sus componentes, además de tóxico. (Merck Index, 1996). Es por ello la necesidad de implementar sistemas de eliminación del sulfuro de hidrógeno.

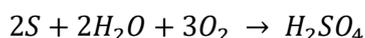
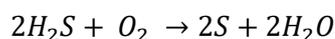
Estos procesos de remoción de H_2S , también llamados desulfuración, pueden ser biológicos, químicos o físicos. La elección del proceso dependerá del uso destinado para el biogás. Cuando la desulfuración de H_2S es gruesa, se puede aplicar dentro del propio digestor, en el gasómetro, mientras cuando necesitamos una separación del H_2S fina, entonces es necesario un proceso externo más complejo y costoso (GIZ México, 2019).

Los tratamientos físico-químicos para la desulfuración han sido utilizados con amplitud, sobre todo en corrientes de gas con altas concentraciones de H_2S (mayores a 3500ppmv) (van Groenestijn y Hesselink, 1993). Sin embargo, al cabo de investigaciones orientada al desarrollo de procesos eficaces y eficientes en la eliminación del sulfuro de hidrógeno, se ha apuntado a los tratamientos biológicos.

Muchos investigadores coinciden en afirmar que los tratamientos físico-químicos son más costosos que los biológicos, debido a los costos de funcionamiento, es por ello que se tiende a utilizar los procesos biológicos sobre los procesos físico-químicos (GIZ México, 2019).

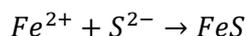
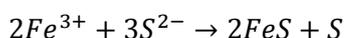
- **Eliminación de H_2S durante la digestión anaerobia.** Consiste en la eliminación del propio H_2S durante el proceso de digestión anaerobia.

Desulfuración biológica interna. Esta técnica se basa en la oxidación microbiológica del H_2S , a compuestos de fácil eliminación, como el azufre elemental (S) o sulfatos (SO_4) mediante el uso de microorganismos. La oxidación del H_2S puede ocurrir en presencia o ausencia de oxígeno.



En el caso de los microorganismos aeróbicos que atacan el H_2S es necesario la inyección de pequeñas cantidades de aire o hidrogeno en el espacio superior del digestor, para que se desarrollen unas bacterias sulfoxidantes, responsables de la transformación del sulfuro de hidrogeno (H_2S) en azufre elemental (MARM, 2010). Se trata de un proceso simple y de bajo costo utilizado cuando el contenido de azufre del gas es relativamente bajo, consiguiendo una disminución del 95% de H_2S (Del Valle Morero, Gropelli, y Campanella, 2011).

Dosificación de sales férricas. Se basa en la adición de compuestos férricos al sustrato directamente en el digestor o en un tanque de pre mezcla, como el óxido de hierro. Mediante la reacción de los iones de hierro con el H_2S , se forman sulfatos insolubles como el sulfuro de hierro (FeS) y azufre elemental, que precipitan debido a su baja solubilidad en agua (Del Valle Morero, Gropelli, y Campanella, 2011).



Este método es muy eficiente en los casos que existen grandes cantidades de H_2S en el sustrato, pero no lo es tanto en conseguir concentraciones suficientemente bajas en el biogás para su posterior uso.

- **Eliminación de H_2S después de la digestión anaerobia.**

Desulfuración biológica externa. Consiste en hacer pasar el biogás a través de un bio-filtro lleno de un material inerte, sobre el que se adhieren las bacterias sulfoxidantes, responsable de la eliminación del contaminante. El biogás, que entra por la parte interior del bio-filtro donde se encuentra con un flujo a contracorriente de una solución acuosa. Esta solución donde se disuelve el H_2S , contiene: gas condensado, el azufre que se va eliminando y nutrientes para las baterías.

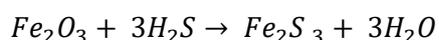
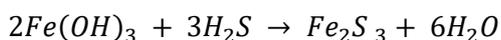
Se trata de un sistema biológico de eliminación de H_2S , que no utiliza productos químicos y prácticamente ningún combustible. En este sistema antes de entrar el biogás al

filtro se añade entre 4-6% de aire para la subsistencia de las bacterias (Fernández García, 2016). Con este sistema es posible una eficiencia de remoción de por encima del 99%.

Una de las ventajas más importante de los tratamientos biológicos sobre los procesos físico-químicos es que pueden llevarse a cabo a temperatura y presiones ambientales, por lo que elimina la necesidad de uso de energía para el calentamiento y la composición. Transformando los contaminantes en sustancias no peligrosas sin acumulación de subproductos o desechos de fácil manejo, con unos costes de operación bajos y un balance energético adecuado (Revah y Noyola, 1996)

Adsorción en carbón activo. En el caso de generación de biogás libre de oxígeno con concentraciones moderadas a elevadas de sulfuro de hidrógeno (H_2S), el H_2S molecular se adhiere a la superficie del carbón activado. No obstante, la eficacia de la descontaminación suele ser insuficiente en esta etapa. Para abordar esta limitación, se impregna el carbón activado con catalizadores con el propósito de acelerar la reacción de oxidación del H_2S a azufre elemental. Existen diversos agentes catalizadores disponibles para este fin. Por ejemplo, se puede impregnar el carbón activado con yoduro de potasio (KI) a una concentración de 1-5% en peso, únicamente en presencia de oxígeno y agua. El H_2S se disuelve en la capa de agua que rodea al carbón activado y no reacciona con el oxígeno a temperaturas bajas (entre 50 y 70 °C) y bajo una presión de operación de 7 a 8 bar (Varnero Moreno, 2011).

Adsorción en compuestos de hierro. En este procedimiento corresponden a una desulfuración seca, donde el H_2S es adsorbido sobre varios óxidos metálicos, como el hidróxido de hierro ($Fe(OH)_3$) u óxido de hierro (Fe_2O_3). Formando sulfuro de hierro FeS . Las reacciones que tiene lugar entre el óxido y el hidróxido de hierro con el H_2S son:



En este sistema se utilizan torres de plástico o acero inoxidable, donde las masas de óxido o hidróxido de hierro quedan aglomeradas capa por capa, impregnadas en lana de acero, chips de madera o pellets de madera (Varnero Moreno, 2011).

Es crucial garantizar que el biogás no esté saturado de agua antes de introducirlo en el sistema de adsorción con óxidos metálicos, ya que esto evitará la reducción de la superficie reactiva debido a la condensación.

- **Eliminación del agua.**

Cuando el biogás se extrae de los biodigestores para su transformación en energía, generalmente se encuentra saturado en vapor de agua con una humedad relativa elevada.

La presencia de vapor de agua en nuestro sistema, disminuye drásticamente el PCI del biogás, facilita la formación de ácidos corrosivos y provoca la acumulación de agua en las tuberías.

Es por ello la necesidad de instalar unos sistemas capaces de eliminar la totalidad de la humedad y así evitar la acumulación de condensados en la línea de gas, equipos y maquinas.

Existen varios métodos capaces de eliminar o reducir el vapor de agua en el biogás, clasificándose en dos grupos, métodos de condensación, que se basan en la separación física del agua, y métodos de secado.

Dentro de los métodos de condensación se incluyen trampas de humedad, hidrociclones o deshumidificación, mientras que, en los métodos de secado, podemos incluir unidades de enfriamiento o de compresión.

Normalmente este proceso de secado se realiza antes de la purificación del biogás (NAMA Facility, 2018).

Remoción del dióxido de carbono (CO_2). La eliminación del dióxido de carbono del biogás incrementa el valor calorífico del gas, ya que conseguimos una concentración de metano superior al 95%. Esta etapa realiza solamente cuando el objetivo es la obtención de biometano. Además, se trata de la etapa más importante en cuanto a costes de inversión. Existen cuatro métodos diferentes para la eliminación del CO_2 :

Absorción física. Se trata de un método fácil y económico donde se utiliza agua presurizada como absorbente. Se trata de un proceso contra-corriente donde el biogás crudo es rociado desde la superficie de la columna, de modo que se disuelve el CO_2 en agua, saliendo por el fondo de la columna de alimentación (Del Valle Morero, Gropelli, y Campanella, 2011).

Lavado a presión con polietilenglicol. Se trata de un sistema similar al anterior, con la diferencia que el lavado se realiza con solventes orgánicos como el polietilenglicol, ya que estos gases, (CO_2 y el H_2S) son más solubles en este disolvente, mientras que el metano no se disuelve (Varnero Moreno, 2011).

Adsorción con tecnología de oscilación de presión (PSA). Esta tecnología posibilita la obtención de metano altamente puro y se fundamenta en el fenómeno en el cual, bajo condiciones de presión específicas, los gases tienden a adherirse a superficies sólidas (adsorción). A medida que la presión aumenta, se incrementa la cantidad de gas adsorbido. Al reducir la presión, el gas se libera o desadsorbe. Este procedimiento puede emplearse

para separar los gases presentes en una mezcla, ya que distintos gases muestran diferentes afinidades por diversas superficies sólidas.

El tamiz de carbón molecular se puede utilizar como adsorbente, donde las moléculas son absorbidas en las cavidades del tamiz, a presiones y temperaturas elevadas. Posteriormente el proceso cambia las condiciones y la presión baja para desorber el CO_2 del tamiz del carbón y ser liberado (Varnero Moreno, 2011).

Separación por membrana. La base de esta técnica se basa en que algunos componentes del gas crudo pueden ser transportados a través de una membrana delgada mientras que otros son retenidos. El transporte de cada componente está gobernado por la diferencia de presión parcial sobre la membrana y de la permeabilidad del componente en el material de la membrana (Del Valle Morero, Gropelli, y Campanella, 2011).

Los diafragmas difusionales son ampliamente aceptados en el proceso de purificación del biogás. En este método, los componentes del biogás atraviesan un diafragma de acuerdo con su estructura molecular (por ejemplo, el sulfuro de hidrógeno lo hace 60 veces más rápido que el metano, y el dióxido de carbono 20 veces más rápido que el metano). Es esencial tener en cuenta que, en todo momento, una parte sustancial del metano atraviesa el diafragma y se pierde junto con las impurezas. De modo que, la selectividad en esta separación depende del material que constituye el diafragma (Varnero Moreno, 2011).

6.5 Productos digestión anaerobia

Como resultado de la digestión anaerobia se forman dos productos, el biogás y un efluente estabilizado denominado digestato. En el presente artículo se abordarán los diferentes sistemas de aprovechamiento energético del biogás existente, así como la descripción y aprovechamiento del digestato.

6.5.1 El biogás

El biogás es un gas combustible cuya composición depende fundamentalmente del tipo de sustrato utilizado en la digestión anaerobia, por regla general está compuesto por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) y mezclado en pequeñas porciones por otros gases, como el ácido sulfhídrico (H_2S), hidrógeno (H_2) y el amoníaco (NH_3).

Debido a su bajo contenido en metano (50 -75%) tiene un poder calorífico inferior al del gas natural, entre 5 KWh/m^3 - $7,5\text{ KWh/m}^3$ dependiendo de la composición del metano.

La composición media del biogás puede ser considerada la siguiente:

Composición media del biogás %	
Metano CH_4	50-75%
Dioxido de carbono CO_2	25-45%
Vapor de agua H_2O	1-2%
Nitrógeno N	1-5%
Hidrógeno H_2	0-3%
Sulfuro de hidrógeno H_2S	0,01 -0,5%
Oxígeno O_2	0,1-1%

Tabla 8. Composición media del biogás. Fuente: "El sector del biogás agroindustrial en España" (MARM, 2010)

6.5.1.1 Aprovechamiento del biogás

El poder calorífico del biogás va a depender de la proporción de metano que esté formado, por lo que depende directamente del sustrato digerido como hemos comentado anteriormente. De modo que, podríamos estipular una composición media de metano del 65% siendo su poder calorífico de 5750 kcal/Nm^3 , confiriéndole unas características combustibles ideales para su aprovechamiento energético en motores de cogeneración, calderas, turbinas, pudiendo por tanto generar electricidad, calor o ser utilizado como biocarburante.

A continuación, se procede a describir brevemente los diferentes sistemas de aprovechamiento de biogás:

Sistemas de producción de calor. Esta es la forma más sencilla de utilizar el biogás, la cual se basa en la quema directa en calderas o quemadores con el fin de producir calor y ser consumido en la propia ubicación o ser transportado por tuberías hasta los usuarios finales si necesidad de ninguna mejora del combustible, ya que el nivel de contaminación del gas no restringe su utilización tanto como en el caso de otras aplicaciones (Lorente Sistiaga, 2021).

Generación de electricidad o combinación de calor y electricidad:

Producción de electricidad. Existen diversas formas de generar electricidad, y una de ellas involucra el empleo de motores de combustión, incluyendo tanto los que funcionan con gasolina (conocidos como motores de ciclo Otto) como los que utilizan gasóleo (motores de ciclo diésel). En este contexto, el biogás puede ser empleado como una fuente

de combustible viable para estos motores, siempre y cuando se realice un proceso de acondicionamiento previo.

El biogás en sí mismo posee algunas características particulares, como su baja capacidad lubricante, un contenido de humedad significativo y un bajo Poder Calorífico Inferior (PCI), lo que lo hace menos propenso a la detonación. Por este motivo, aquellos motores que funcionan con biogás deben ser objeto de ciertas adaptaciones. Tanto los motores de encendido por compresión, como los motores de encendido provocado (ciclo de Otto), necesitan estar equipados con un carburador especializado, diseñado para suministrar de manera precisa la mezcla adecuada de aire y gas para su funcionamiento óptimo (Fernández García, 2016).

Producción combinada de calor y electricidad (CHP). El aprovechamiento energético más habitual del biogás es mediante la combustión en motores de cogeneración, obteniendo unos rendimientos en energía eléctrica de entre 35-40% y en energía térmica de entre 40 y 50%, consiguiendo una eficiencia total de hasta un 90% (MARM, 2010).

Como se enuncia en Fraile (2008) “La cogeneración es un término ya bastante conocido. Cogeneración significa producción simultánea de dos o más de energía. Normalmente las energías generadas son electricidad y calor, aunque puede ser también energía mecánica y calor”.

Los sistemas más comunes de plantas de cogeneración son las centrales térmicas tipo bloque (BTTP) con motores de combustión acoplados a un generador. Estos generadores suelen tener una rotación constante de 1500 rpm para ser compatibles con la frecuencia de la red (50 Hz) (Al Seadi, Rutz et al., 2008).

Utilizando estos sistemas combinados de calor-electricidad (CHP por sus siglas en inglés, *Combined Heat and Power*) se aprovecha de mejor manera la energía proveniente de la combustión del biogás, obteniendo un potencial mayor en contraste a una central convencional, que utiliza el biogás para producir electricidad o calor, por separado (Carrasco Allendes, 2015).

El uso de biogás en estos sistemas requiere la remoción de H_2S (en contenidos inferiores a las 100 ppm) y vapor de agua, ya que ambos gases provocan el deterioro del sistema de cogeneración debido a la corrosión.

Microturbinas. Existe la posibilidad de utilizar microturbinas para generar electricidad, agrupadas en serie las cuales nos permiten operar con gases de bajo poder

calorífico, con un contenido de metano mínimo de 30-35%. La capacidad eléctrica de las microturbinas suele ser inferior a 200kW.

El funcionamiento de estas es muy sencillo, el biogás es comprimido en una cámara de combustión a alta presión (3-5 bar), donde se combina con el aire. Esta mezcla de aire y biogás se enciende, lo que resulta en un aumento de temperatura y la expansión de la mezcla gaseosa en la turbina. Este proceso desencadena un movimiento rotatorio que impulsa el generador eléctrico (Al Seadi, Rutz et al., 2008).

Combustible para vehículos. La purificación del biogás permite su utilización como combustible para los vehículos, siendo una realidad desde hace bastante tiempo en países como Suecia o Alemania (NAMA Facility, 2018).

Para esto, el biogás debe tener una calidad similar al gas natural, por lo que debe ser purificado y acondicionado para su uso, reduciendo los valores de CO_2 , H_2S , O_2 y agua, y elevando los niveles de metano hasta el 95% (Varnero Tornero, 2011).

El biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto a gasolina como diésel siendo uno de los combustibles más limpios con un mínimo impacto ambiental y en salud humana (Monnet, 2003).

Inyección a red gas natural. Al igual que para el caso del uso del biogás como combustible para vehículos, este también debe ser depurado para ser inyectado a la red, obteniendo un biometano con unas propiedades similares a la de gas natural, con valores de metano superiores al 95% donde el contenido de CO_2 no deberá superar en ningún caso 2mol % y el porcentaje de O_2 hasta 0,3 mol%. Además de las exigencias de depuración, es necesaria la compresión del biometano hasta la presión demandada en la red, repercutiendo en los costes de inversión (Chiva Vicent et al. 2018).

Propiedad (*)	Unidad	Mínimo	Máximo
Metano (CH ₄)	mol %	95	-
CO	mol %	-	2
H ₂	mol %	-	5
Compuestos Halogenados: - Flúor / Cloro	mg/m ³	-	10/1
Amoníaco	mg/m ³	-	3
Mercurio	µg/m ³	-	1
Siloxanos	mg/m ³	-	10
Benceno, Tolueno, Xileno (BTX)	mg/m ³	-	500
Microorganismos	-	Técnicamente puro	
Polvo / Partículas	-	Técnicamente puro	

(*) Tabla expresada en las siguientes condiciones de referencia: [0°C, V(0°C, 1.01325 bar)]

Tabla 9. Especificaciones de calidad del gas procedente de fuentes no convencionales introducido en el sistema gasista. Fuente: Protocolo de detalle O1 (PD-01) de Medición, calidad y odorización de gas.

6.5.2 Digestato

El producto final residual de la digestión anaerobia es el digestato, se trata de un subproducto semi-líquido estabilizado, que es necesario gestionar adecuadamente para asegurar la viabilidad del proceso, de forma compatible con el medio ambiente (PROBIOGAS, 2011). La estabilización de los residuos orgánicos previo a su incorporación al suelo tiene como objetivo acelerar la descomposición y mineralización de los sustratos, para obtener un subproducto orgánico más estable biológicamente, enriquecido en compuestos húmicos y libre de patógenos (Vera-Reza et al., 2006).

Algunas instalaciones disponen de un sistema de separación líquido-sólido, permitiendo la separación en dos fracciones, la líquida y la sólida. Las alternativas de separación del líquido son principalmente la filtración o la centrifugación, siendo la filtración la más empleada, debido a las altas demandas energéticas de la centrifugación (Carrasco Allendes, 2015).

Por ello, “existen diferentes estrategias para la gestión de los materiales, mientras que el digerido sólido es de fácil manejo, pudiendo ser comparadas con un estiércol sólido, la fracción líquida requiere ser almacenada para bien ser utilizada en agricultura o ser depurada para su reciclado o reutilización como fuente de humedad para el proceso anaerobio” (PROBIOGAS, 2011).

El residuo orgánico que se descarga del digestor se trata de un lodo-líquido con excelentes propiedades fertilizantes, constituido por una fracción orgánica, que no se

degrada completamente, y la biomasa microbiana producida. Durante el proceso de fermentación en el digestor, se remueven los gases generados, metano. Dióxido de carbono y ácido sulfhídrico y quedándose en el efluente todos los nutrientes originales, Nitrógeno, fosforo y potasio contenido en la materia prima (Fernández García, 2016).

Sin embargo, se ha observado que tiempos de retención de 55 días se producen reducciones en los contenidos de estos nutrientes del orden de 50%, 30% y 77%, respectivamente (Vivan et al., 2010).

Por lo tanto, la calidad del digestato o su potencial para uso agronómico va a depender de diversos factores, como la composición de los residuos digeridos, el tipo de digestor y la tecnología empleada, la eficiencia de los sistemas de pretratamiento del sustrato, así como la dilución del digestato en agua (Kunz et al., 2022).

Atendiendo al sistema de digestión anaerobia empleado, los digeridos son líquidos, pero también se produce un material sólido en aquellas instalaciones que tiene un separador de sólido-líquido como hemos comentado anteriormente. En las tablas 10 y 11 se muestran las características de digestatos brutos y sólidos obtenidos de diversas fuentes (PROBIOGAS, 2011):

Parámetro	Diversos sustratos orgánicos ^a	FORM ^b	Purines ^c			FORM ^d
			PC	PV	PC+PV	
MS (%)	4,8	14,2	3,0	7,4	4,9	3,9
pH	8,1	8,2	8,0	8,0	7,8	-
Sales (g/l MF)	19,8	-	-	-	-	-
MO (%)	60,7	44,8	-	-	-	64,4
C/N	3,7	10,2	-	-	-	-
N (g/kg MF)	6,1	3,0	4,0	3,9	4,2	5,4
N-NH ₄ (g/kg MF)	-	1,6	3,0	1,5	2,2	3,8
P ₂ O ₅ (g/kg MF)	1,7	1,8	2,0	1,4	1,9	1,1
K ₂ O (g/kg MF)	2,1	4,5	-	5,1	3,3	1,7
CaO (g/kg MF)	-	7,3	-	-	-	-
MgO (g/kg MF)	0,2	2,3	-	-	-	-

n=número de muestras. FORM: fracción orgánica de residuos municipales, MS: materia seca, MO: materia orgánica, N: nitrógeno total y MF: materia fresca.

^aSiebert y col. (2008): muestras de digeridos (n=167) producidos en plantas alemanas; ^bEdelmann y col. (2004): n=13; ^cChadwick (2007) y Smith y col. (2007): cerdo (PC, n=1), vacuno (PV, n=28) y mezcla (n=6), y ^dPalm (2008): n=7.

Tabla 10. Características de los digeridos encontrados en la bibliografía (PROBIOGAS, 2011).

Parámetro	Diversos sustratos orgánicos ^a	Diversos sustratos orgánicos ^b	Estiércol vacuno ^c	Gallinaza ^d
MS (%)	32,6	53,1	-	-
pH	8,0	8,5 (1:2)	7,5 (1:25)	8,5 (1:25)
Sales (g/l MF)	4,1	9,7	CE: 2,0 dS/m (1:25)	CE: 1,7 dS/m (1:25)
MO (%)	57,1	50,3	72,2	39,1
C/N	12,3	-	-	-
N (% MS)	2,9	1,5	2,4	1,5
P ₂ O ₅ (% MS)	1,3	0,8	3,4	5,3
K ₂ O (% MS)	0,9	2,9	4,4	2,7
CaO (% MS)	-	6,5	3,7	6,1
MgO (% MS)	0,9	1,1	1,3	1,0

n=número de muestras. MS: materia seca, MF: materia fresca, CE: conductividad eléctrica, MO: materia orgánica y N: nitrógeno total.

^aSiebert y col. (2008): muestras de digeridos (n=43) producidos en Alemania; ^bFuchs y col. (2008): muestras de digeridos producidos en Suiza y ^{c,r}Sánchez y col. (2008).

Tabla 11. Características de los digeridos sólidos (fracción sólida separada) encontrados en la bibliografía (PROBIOGAS, 2011)

Por lo tanto, dentro de las estrategias de gestión que se pueden aplicar al digestato son las siguientes:

- Utilización del digestato bruto en agricultura, sin la separación líquidos-sólidos
- Desarrollo de productos fertilizantes, dándole un valor añadido al digestato, ya sea mediante el compostaje del digestato sólido, o mediante la preparación de fertilizantes líquidos o sólidos, consiguiendo una mayor concentración y eficiencia del producto.

7. CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS EN LA EXPLOTACIÓN

En el presente capítulo se procede a la caracterización de los residuos considerados para el dimensionamiento de la planta de biogás, analizando cada sustrato por separado y mencionando sus características y problemas asociados, así como las características de la mezcla final.

Como mencionamos anteriormente, la digestión anaerobia se va a realizar a partir de la combinación de los estiércoles generados en la propia explotación, con la utilización del sorgo como cultivo energético. La razón principal que respalda nuestra decisión de mezclar ambos sustratos, radica en el hecho de que, a través de esta combinación, logramos incrementar la eficiencia del proceso en términos de producción de metano por unidad de sustrato, en comparación con la digestión de ambos productos por separado. Como resultado, esto mejora la viabilidad del proceso.

Debido a ello, se va a analizar la situación actual en cuanto a cantidad y tipo de residuo que se genera en la explotación.

Para ello, es necesario un estudio sobre las características de los diversos residuos a partir de los cuales se va a obtener biogás que sirva de combustible para el motor cogenerador. No es fácil tipificar la composición y la cantidad de los estiércoles animales, ya que presentan una gran variabilidad. Esta variabilidad es debida, en primer lugar, a factores biológicos como la especie o el tipo de animal. En segundo lugar, también influyen cuestiones relativas al tipo de explotación que condiciona el manejo, por ejemplo, el tipo de cama empleado (cama o serrín), el agua perdida por los bebederos o el tipo de alimentación que siguen (MARM, 2010).

Tras comparar diferentes fuentes bibliográficas, se han elegido los siguientes valores medios para los estiércoles bovinos. Cabe destacar que las siguientes características son solo de referencia y deben ser validadas en el momento de evaluar un proyecto con este tipo de residuos.

Parámetro	Unidad	Media
Densidad	kg L ⁻¹	0,8
Sólidos totales (ST)	g ST kg ⁻¹	19
Sólidos volátiles (SV)% st	g SV kg ⁻¹	80
Demanda química de oxígeno (DQO)	g O ₂ kg ⁻¹	97,09
Nitrógeno total Kjeldahl (NTK)	g NTK kg ⁻¹	2,4
Nitrógeno amoniacal total (NH ₄ ⁺ -N)	g NH ₄ ⁺ -N kg ⁻¹	0,8
Nitrógeno orgánico (N _{org})	g N _{org} kg ⁻¹	1,6
Fósforo (P)	g P kg ⁻¹	1,1
Potasio (K)	g K kg ⁻¹	2,48
Calcio (Ca)	g Ca kg ⁻¹	3,86
Magnesio (Mg)	g Mg kg ⁻¹	0,90
C/N	g C g ⁻¹ N	20
pH	-	8,7

Tabla 12. Valores medios para los estiércoles bovinos

Respecto a la utilización de cultivos energéticos, unos de los principales motivos por lo que se emplean sustratos de origen vegetal, es debido a su elevada relación C/N y su elevado contenido en Demanda Química de Oxígeno (DQO). En nuestro caso, se ha elegido el sorgo debido a la situación donde nos encontramos.

El sorgo es una planta de la familia de las gramíneas, el cual presenta una notable capacidad de resistencia a la sequía gracias a su sistema radicular altamente eficiente. Este sistema radicular es el doble de eficiente respecto al del maíz, de modo que, lo convierte en una elección ideal para el entorno donde nos encontramos, ya que se trata de un secano húmedo, con periodos de escasez de lluvia en verano principalmente. A pesar de estas condiciones, los rendimientos de materia seca se mantienen elevados,

demostrando ser un cultivo de elevada productividad que requiere significativamente menos agua en comparación con otros cultivos de verano similares (Parralejo Alcobendas, 2020).

Acorde a la temática tratada en este trabajo, el sorgo puede ser empleado como sustrato susceptible de degradarse en un proceso anaerobio, denominado codigestión anaeróbica. Son muchos los autores que han llevado a cabo multitud de experimentos enfocados en la producción de biogás a partir de sorgo, como es el caso de Dareioti y Kornaros (2015) en *Anaerobic mesophilic co-digestion of ensiled sorghum* donde identifican el sorgo como una “promesa de cultivo energético”.

La biomasa del sorgo está compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, mientras que su fracción de azúcares solubles es rica en glucosa y sacarosa (Dareioti y Kornaros, 2015). Estos azúcares solubles fermentables son la principal fuente de producción de bioetanol y biogás (Amon, 2007). Por lo general, la celulosa y las hemicelulosas pueden ser degradadas por microorganismos anaerobios, sin embargo, su asociación con la lignina, que actúa como barrera física, limita esta degradación (Dareioti y Kornaros, 2015).

Estas limitaciones pueden ser superadas mediante métodos de pretratamiento, que rompen la unión entre los polisacáridos y la lignina, facilitando el acceso de las enzimas hidrolíticas durante la digestión anaerobia (Mosier et al. 2005).

Como podemos observar en el artículo *Particle Size Reduction during Harvesting of Crop Feedstock for Biogas Production I: Effects on Ensiling Process and Methane Yields* (Herrmann et al., 2012), un método de pretratamiento consiste en reducir el tamaño de las partículas durante la cosecha del material fresco, provocando un aumento de la tasa de degradación, que se acompaña de un aumento en los rendimientos de metano. La reducción del tamaño de las partículas provoca dos efectos en las propiedades del sustrato. En primer lugar, se crean nuevas áreas superficiales que exponen áreas hasta ahora inaccesibles para el ataque enzimático. En segundo lugar, la cristalinidad de la celulosa se reduce y se destruyen los compuestos lignocelulósicos complejos, lo que pone a disposición sustancias no digeribles hasta entonces para la formación de metano (Palmowski y Müller, 2000).

Los resultados del anterior estudio citado, muestran que los efectos del proceso del ensilado pueden complementarse con los efectos de la reducción del tamaño de la partícula, ya que como podemos ver en la tabla 13, los sólidos volátiles (ODM%) perdidos tras el ensilado, son menores cuanto menor es la longitud de la partícula, de modo que los rendimientos de metano aumentaran. De igual forma, (Herrmann et al., 2011), sugirieron

que los rendimientos de metano en referencia a los *ODM_{added}* aumentan con el aumento de contenido de ácido acético, ácido butírico y alcohol en los ensilados. Los productos de fermentación acumulados del ensilado muestran un mayor potencial de producción de metano que la fermentación de los azúcares de la materia fresca cuando no se consideran las pérdidas por almacenamiento (ensilaje).

En resumen, acorde con la literatura, la fecha de cosecha, el nivel de madurez, la longitud del corte y el ensilado pueden afectar en el rendimiento del metano. El ensilaje es visto por la mayoría de los autores como uno de los mejores pretratamientos, pudiendo llegar a aumentar hasta un 9% los rendimientos de metano. La combinación entre los efectos del ensilado y la reducción del tamaño de las partículas puede provocar un aumento de hasta un 13% el rendimiento del metano (Wannasek, Ortner, Amon et al., 2017).

Feedstock	Nominal chopping length (mm)	Silage density (kg DM m ⁻³)	ODM loss (%)	pH (-)	Lactic acid (% DM)	Acetic acid ^a (% DM)	Butyric acid ^b (% DM)	Ethanol ^c (% DM)	NH ₃ -N (g kg ⁻¹ DM)
Laboratory particle size reduction									
Sorghum	4	259	4.4 (±0.8)	3.8	5.0 (±0.2)	1.2 (±0.2)	0.5 (±0.3)	0.8 (±0.1)	0.44
	6	233	6.4 (±1.3)	4.0	3.9 (±0.5)	1.1 (±0.3)	0.1 (±0.1)	1.1 (±0.4)	0.36
	8	228	8.7 (±1.6)	4.0	3.8 (±0.3)	0.8 (±0.0)	0.3 (±0.2)	1.1 (±0.3)	0.49
	12	219	8.7 (±0.3)	4.0	3.9 (±0.1)	1.1 (±0.0)	0.4 (±0.2)	1.3 (±0.2)	0.37
	16	215	11.3 (±2.6)	4.1	3.6 (±0.2)	1.1 (±0.1)	0.4 (±0.2)	1.3 (±0.1)	0.28

Tabla 13. Densidades de ensilado, pérdidas de almacenamiento y productos de fermentación en el ensilado de forrajes picados con distintas longitudes nominales en el momento de la cosecha (valores medios de triplicados, las desviaciones estándar figuran entre paréntesis) (Herrmann et al., 2012).

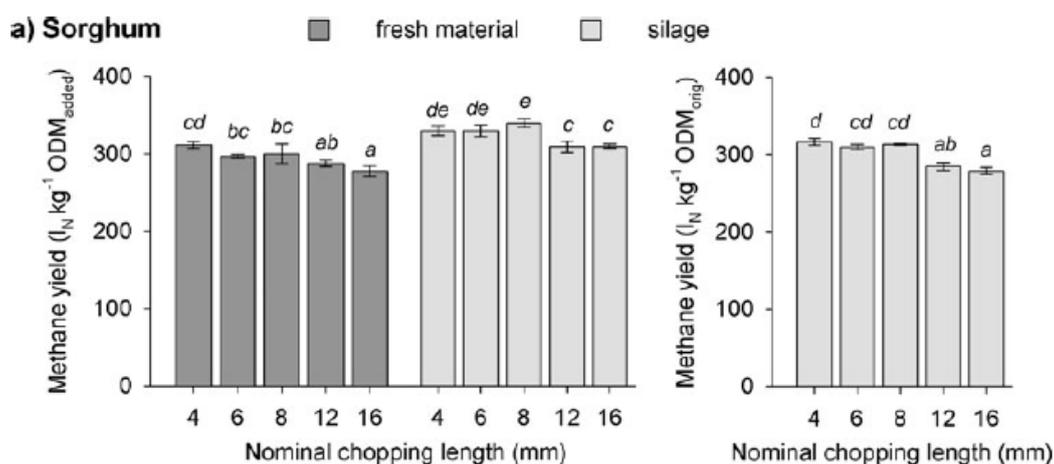


Tabla 14. Rendimiento de metano en función de las diferentes medidas de corte y de si el material es fresco o ensilado (Herrmann et al., 2012)

Por tanto, con el fin de incrementar la producción de metano y asegurar una adecuada conservación del sorgo, implementaremos los tratamientos previamente mencionados (ensilado y picado del sorgo). De esta manera, obtendremos unas características específicas en el sorgo, ideales para su posterior tratamiento anaerobio.

Parámetro	Unidad	Media
Silage Densidad	Kg MS m ⁻³	231
Sólidos totales (ST)	g ST kg ⁻¹	30,8
Sólidos volátiles (SV)	g SV kg ⁻¹	88,9
Demanda química de oxígeno (DQO)	g O ₂ L ⁻¹	-
Nitrógeno amoniacal total (NH ₄ ⁺ -N)	g NH ₄ ⁺ -N kg ⁻¹ ST	0,36
Nitrógeno orgánico (N _{org})	g N _{org} kg ⁻¹	-
Fósforo (P)	g P kg ⁻¹	0,64
Potasio (K)	g K kg ⁻¹	1,75
Calcio (Ca)	g Ca kg ⁻¹	0,59
Magnesio (Mg)	g Mg kg ⁻¹	0,57
C/N	g C g ⁻¹ N	30
pH	-	4,0
Alcalinidad total	g CaCO ₃ kg ⁻¹	13,42

Tabla 15. Características del sorgo ensilado

7.1 Caracterización de la mezcla

La digestión anaerobia solamente a base de silaje de sorgo, no funciona correctamente dado que no se generan las condiciones ideales para la degradación por parte de las bacterias. De esta forma, mediante la mezcla con estiércol, conseguimos el inóculo de bacterias necesario para la degradación de la materia.

La codigestión, es decir, la digestión en base a la mezcla de dos o más sustratos, tiene unas ventajas significativas en comparación con la digestión de un solo sustrato, ya que, con esta estrategia conseguimos un mayor equilibrio de los nutrientes, promoviendo unas condiciones homogéneas y estables para el digestor. (Gruber, Hilbert y Sheimberg, 2010). Con la codigestión aprovechamos la sinergia de las mezclas y, de esta forma compensamos las carencias de cada uno de los sustratos por separado, aumentando significativamente la producción de biogás en cada planta de tratamiento (Sebastián Nogués, García Galindo y Rezeau, 2010).

Por las razones mencionadas, la mezcla de estiércoles con materia de alta potencial como los silajes de plantas enteras, constituyen una forma de sumar dos materias. El uso de este tipo de mezclas para la producción de biogás es una forma muy común en Europa, particularmente en Alemania (Murphy, Braun, Weilaand y Wellinger, 2011).

El objetivo del presente estudio, es llevar a cabo una codigestión mediante la mezcla de los estiércoles generados en la explotación junto con el sorgo, mejorando los valores del sustrato a digerir, aumentando la producción de metano por m³ de reactor, y con ello la viabilidad del proyecto.

Una vez conocida la composición de cada residuo y la proporción que estarán incluidos en la mezcla a digerir procedemos a caracterizar la mezcla propuesta:

Parámetro	Unidad	Estiercol	Sorgo
Densidad	kg L ⁻¹	0,8	0,231
Sólidos totales (ST)	g ST kg ⁻¹	19	30,8
Sólidos volátiles (SV)% st	g SV kg ⁻¹	80	86
Demanda química de oxígeno (DQO)	g O ₂ kg ⁻¹	97,09	-
Nitrógeno total Kjeldahl (NTK)	g NTK kg ⁻¹	2,4	-
Nitrógeno amoniacal total (NH ₄ ⁺ -N)	g NH ₄ ⁺ -N kg ⁻¹	0,8	0,84
Nitrógeno orgánico (N _{org})	g N _{org} kg ⁻¹	1,6	-
Fósforo (P)	g P kg ⁻¹	0,92	0,61
Potasio (K)	g K kg ⁻¹	2,48	-
Calcio (Ca)	g Ca kg ⁻¹	3,86	0,59
Magnesio (Mg)	g Mg kg ⁻¹	0,90	0,57
C/N	g C g ⁻¹ N	20	30
pH	-	8,7	4,0
Alcalinidad total	g CaCO ₃ kg ⁻¹	13,42	13,42

Tabla 16. Características de la mezcla propuesta

La mezcla que se va a digerir está compuesta por una mezcla de estiércol y sorgo en una proporción 65%-35%, calculada en el Anejo 2 *cuantificación de los residuos a introducir en el digestor*.

Esta mezcla a su vez la vamos a diluir con el inóculo extraído de la digestión en una proporción 1:1, tras la separación mediante el separador líquidos-sólidos del digestato y la recirculación de la parte líquida.

Residuo	Estiércol	Sorgo	Inóculo	TOTAL
Cantidad (KG/día)	4152	2260	6412	12824
Proporción (%)	32,37%	17,63%	50%	100%

Tabla 17 Composición de la mezcla de sustratos. Fuente: Elaboración Propia

8. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE DIGESTIÓN PARA EL PROYECTO

Los conocimientos adquiridos en los capítulos anteriores se han puesto ahora como base para la iniciación de las discusiones. De modo que, en este capítulo, se definirá el sistema de digestión elegido, mostrando un análisis detallado de la planta de biogás a implantar, con el objetivo de observar la factibilidad técnica y económica.

Una vez caracterizada la mezcla de sustratos a tratar y de haber definido el sistema de biodigestión, se definirán de una manera precisa los elementos que constituirán dicha planta de biogás, llevando a cabo un dimensionamiento estimado de cada uno de los elementos.

En este capítulo se definirá el sistema de digestión que se llevará a cabo, seleccionando el tipo de digestor y estableciendo los rendimientos obtenidos durante el proceso de digestión.

8.1 Definición del sistema de digestión

Para el presente proyecto, el proceso tecnológico seleccionado se basa en un sistema de biodigestión de mezcla completa con recirculación, que combina las etapas de hidrólisis y metanogénesis en un solo tanque.

Se valoró la opción de una digestión en dos fases, pero por motivos de costes, se descartó, ya que la reducción del tamaño de los reactores, no compensaba con el hecho de tener que adquirir dos equipos.

De modo que, los motivos principales que llevaron a tomar esta decisión son los siguientes:

- Se trata de un sistema adecuado para tratar residuos ganaderos.
- Es el tipo de digestor más sencillo en su concepción y más ampliamente utilizado en las plantas de biogás Europeas.
- Esta tecnología es aplicable a cualquier mezcla de residuos, siempre y cuando el contenido en sólidos en el interior del digestor no supere el 10%.
- Se trata de un digestor muy versátil (operaciones en continuo o semicontinuo) con un buen funcionamiento y un coste reducido respecto a otros digestores.

En cuanto al modo de operación, se va a optar por el modo semicontinuo, de modo que cada 12 horas unas bombas transportaran de manera automático una determinada cantidad de materia al interior del digestor. De modo que evitamos sobrecargas y ahorramos tiempo y mano de obra.

El tratamiento que se empleará en nuestra planta de biogás será mesofílico (rango de 35-42°C) ya que es el proceso más estable, con menos requerimientos energéticos y el más comúnmente empleado para tratar los residuos orgánicos (García Pejenaute, 2012).

La digestión seleccionada será, mediante vía húmeda, debido a su sencillez y su amplio abanico de información, con un porcentaje de sólidos totales en el interior del tanque de 10%.

En la siguiente tabla se resumen el diseño del proceso seleccionado y sus respectivos motivos:

Régimen de operación → Semicontinuo
Se selecciona un régimen de operación semicontinuo puesto que la producción de biogás es uniforme en el tiempo y más alta que en los digestores discontinuos
Temperatura de operación → 37° → Sistema mesófilo
Se ha seleccionado trabajar en el rango mesófilo, ya que se trata de una temperatura óptima para el crecimiento de las bacterias, además de ser un proceso bastante controlado con unos tiempos de retención razonables
Configuración del sistema → Sistema de una sola etapa
La digestión anaerobia se realiza en una sola etapa, ya que se trata de sistemas más sencillos en la construcción, además de poseer mayor facilidad de manejo con menores costes de operación
Tiempo de retención (TRH) → 31 días
El tiempo de retención será de 31 días calculado a partir del modelo Chen-Hashimoto
Contenidos en sólidos del sustrato → Digestión Húmeda
En base a la mezcla de sustratos a digerir, el contenido de sólidos totales es del 10% en el interior del tanque, por lo que se llevara a cabo la digestión por vía húmeda

Tabla 18. Diseño del proceso seleccionado y sus respectivos motivos

8.2 Modelo Chen-Hashimoto

El diseño del biodigestor implica el uso de ecuaciones matemáticas para representar con precisión el comportamiento del sistema en diversas condiciones de operación. En el presente proyecto se ha optado por aplicar el modelo cinético desarrollado por Chen y Hashimoto, el cual ha sido ampliamente reconocido y utilizado para la digestión de residuos ganaderos. Las ecuaciones utilizadas al aplicar el modelo de Chen-Hashimoto a reactor de mezcla completa con recirculación están desarrolladas en el *Anejo 4. Modelo Chen-Hashimoto para la digestión anaerobia*.

A continuación, se muestra un resumen de las ecuaciones que forman el modelo matemático de Chen-Hashimoto:

MODELO DE CHEN-HASHIMOTO PARA LA DIGESTIÓN ANEROBIA	
Parámetro	Ecuación
S: concentración del sustrato en el digestor	$S = \frac{K}{(\theta\mu_{max} - 1 + K)} \cdot S_o$
E: eficiencia en la eliminación del sustrato (%)	$E = 1 - \frac{S}{S_o} = 1 - \frac{K}{(\theta\mu_{max} - 1 + K)}$
Pc: Producción de gas específica	$P_c = G_o \left(1 - \frac{K}{\theta\mu_{max} - 1 + K} \right) = G_o \cdot E$
Pv: Producción de gas por unidad de tiempo y volumen del reactor	$P_v = G_o * \frac{S_o - S}{\theta} = \frac{S_o G_o}{\theta} * E = \frac{Q}{V} * S_o G_o * E$
μ_{max} : es la tasa máxima de crecimiento	$\mu_{max} = 0,013 \cdot T - 0,129$
K: Parámetro cinético adimensional	$K = 0,6 + 0,021 \cdot e^{0,05S_o}$

Tabla 19 Modelo Chen-Hashimoto aplicado al digestor. Fuente: elaboración propia

Donde,

S_0 = Concentración del sustrato inicial de la mezcla ($\text{kg SV} \cdot \text{m}^{-3}$)

θ = tiempo de retención hidráulico (días)

G_0 = Producción de gas por unidad de sustrato eliminado ($\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{kg SV}$)

Q = caudal masico de entrada (m^3/dia)

V = volumen del reactor (m^3)

A partir de las siguientes ecuaciones, se ha llevado a cabo los cálculos necesarios para el posterior dimensionamiento del reactor. Estos cálculos están desarrollados en el *Anejo 5. Cálculos del digestor*, en el apartado Aplicación del modelo Chen-Hashimoto, obteniendo las curvas de depuración y producción volumétrica de gas en función del tiempo de retención Hidráulico para nuestra mezcla de estiércol y sorgo:

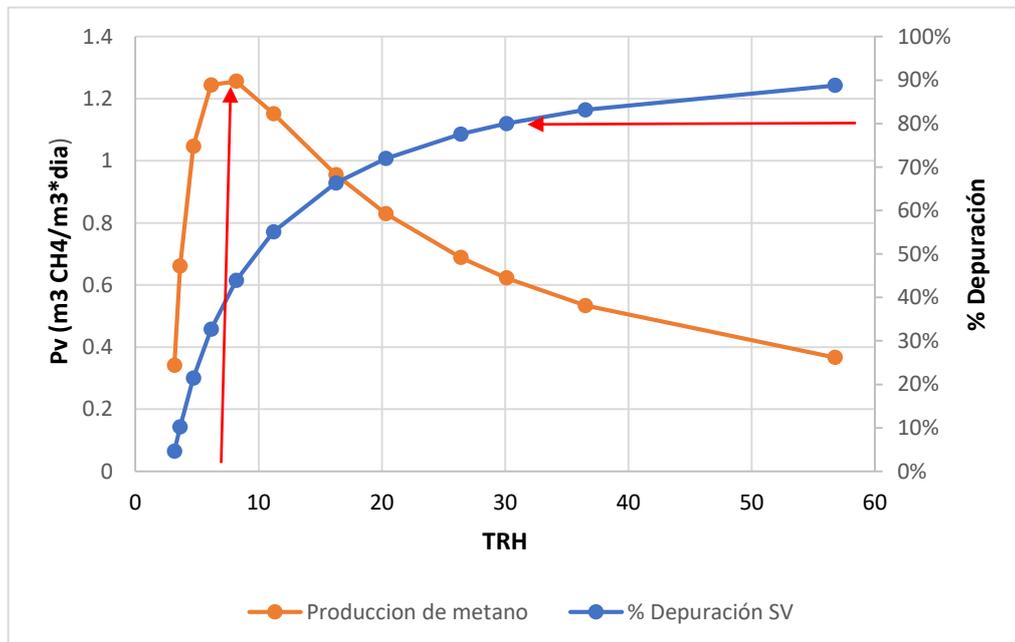


Ilustración 19. Curva de depuración y producción volumétrica de metano para un reactor de mezcla completa con recirculación en función del tiempo de retención hidráulico. Fuente: elaboración propia

Estas curvas han sido definidas a partir de los diferentes parámetros que intervienen en el proceso de digestión anaerobia y que definen nuestro sistema.

T (°C)	37
Q_{residuo} (m^3/dia)	14,248
Q_{residuo} (t/dia)	12,824
SV_0 (Kg/m^3)	89,1
G_0 ($\text{Nm}^3\text{CH}_4/\text{Kg SV}$)	0,263
G_0 ($\text{Nm}^3\text{biogas}/\text{Kg SV}$)	0,446
DQO_0 (Kg/m^3)	-
DENSIDAD (t/m^3)	0,9

Tabla 20. Parámetros base digestor. Fuente: Elaboración propia

A partir de dichas curvas podemos establecer el tiempo correspondiente a la máxima producción de metano, en nuestro caso es de: P_v : 7,24 días.

Como podemos observar en nuestras curvas de depuración, la máxima depuración no coincide con la máxima producción de gas por unidad de volumen del reactor. Por lo tanto, debemos definir aquel porcentaje de depuración que consideramos más apropiado para la prioridad de nuestra planta en cuestión.

El interés principal del presente trabajo es encontrar un equilibrio entre el tiempo de retención del sustrato y el nivel de depuración del residuo, junto con la producción de biogás como combustible para la generación de energía eléctrica y térmica. Otros objetivos como la producción de fertilizante o el control del impacto ambiental de algún tipo de residuo orgánico no dejan de ser satisfechos, pero donde sea posible, los parámetros de la digestión anaerobia serán modificados en vista de conseguir el mayor rendimiento de producción de metano para que el balance energético de la planta sea positivo.

En función de lo expuesto, se ha seleccionado un porcentaje de eliminación de sólidos volátiles de un 80%, lo que equivale a un tiempo de retención hidráulico de 30,11 días.

De modo que, a partir del tiempo de retención establecido y los parámetros base descritos en la tabla 20, aplicamos las ecuaciones matemáticas del modelo Chen-Hashimoto obteniendo los parámetros finales de diseño de nuestro sistema.

E	0,80
$Q_{Residuo}$ (m^3/Dia)	14,248
$Q_{Residuo}$ (toneladas/Dia)	12,824
SV_0 (Kg/m^3)	89,1
Tiempo de retención	30,11
P_v ($m^3 CH_4/m^3 * dia$)	0,622
P_v (m^3 Biogás/ m^3.día)	1,05
P_c (m^3 CH4/ kg SV)	0,21
P_c (m^3 Biogás/ kg SV)	0,356
Producción diaria CH4 ($m^3 CH_4/día$)	266,59
Producción diaria Biogás (m^3 Biogás/día)	452,95
Producción diaria Biogás (Kg Biogás/día)	511,83
Producción específica de Biogás (m^3 Biogás/t residuo)	35,32
Volumen útil digestión (m^3)	429
VCO (kg SV/m^3.d)	2,95

Tabla 21. Parámetros del gestor. Fuente: Elaboración propia

8.3 Rendimientos del proceso

A partir de la obtención de los parámetros finales a través de la aplicación del modelo Chen-Hashimoto a continuación se recogen los rendimientos eléctricos y térmicos y la composición final del digestato.

Rendimiento eléctrico y térmico.

Para estimar la producción de energía tanto eléctrica como térmica se ha seleccionado el sistema de cogeneración de la marca *ALTAE* el modelo *A50B*. Conociendo el rendimiento de la unidad de cogeneración, descrita en el [capítulo 10.3.4 Unidad de cogeneración](#), se procede a calcular la producción anual de energía.

Teniendo en cuenta la densidad del metano 0,716 y que el poder calorífico inferior es de 36,6 MJ/m³ o 13900KWh/t obtenemos que el poder calorífico inferior del metano es de 10KWh/m³ aproximadamente (The Engineering ToolBox, 2003), de modo que en nuestro biogás con 59% de metano tendremos un poder calorífico de 5,9 kWh/m³.

Se establecen 8448 horas de funcionamiento anuales por defecto, el resto de horas se establecen como días de margen para solucionar problemas del motor, así como días de limpieza del digestor donde no se estará produciendo biogás.

RENDIMIENTO ENERGÉTICO	
Horas de funcionamiento	8448 h/año
Producción de biogás diaria (59% CH₄)	452,95 m ³ biogas/día
Producción de biogás horaria (59% CH₄)	18,873 m ³ biogas/h
Producción anual de biogás (59% CH₄)	159438,4 m ³ /año
Poder anual de metano (CH₄)	95653,84 Nm ³ /año
Poder calorífico biogás (PCI)	5,9 kWh/m ³
Energía equivalente	940686 kWh/año

Tabla 22. Rendimiento energético. Fuente: elaboración propia

A continuación, se indican las potencias y producciones eléctricas y térmicas anuales, obtenidas a partir del rendimiento del sistema de cogeneración seleccionado.

Producción anual de energía a partir de la combustión de biogás	
Horas de funcionamiento	8440 h/año
Producción anual de biogás (59% CH ₄)	159438,4 m ³ /año
Energía equivalente	940686,56 kWh/año
Sistema de cogeneración, rendimiento total 84,7%	
Energía eléctrica (eficiencia de 37,1%)	348994,71 kWh/año
Energía térmica (eficiencia de 47,6%)	447766,80 kWh/año
Potencia instalada suponiendo 8448 horas de funcionamiento anual	
Potencia eléctrica instalada (kWe)	41,31 kWe
Potencia térmica instalada (kWt)	53 kWt

Tabla 23 Rendimientos del sistema de cogeneración. Fuente: Elaboración Propia

Digestato:

El digestato producido se utilizará como fertilizante en la propia explotación, lo que permitirá ahorrar en insumos y, como consecuencia, en costos directos de producción. de la explotación en su conjunto. A continuación, se muestra una tabla resumen con los parámetros característicos de las corrientes de entrada y salida del digestor.

	Caudal de entrada digestor		Caudal de salida digestor		
Caudal másico	12,82 t sustrato/día		12,31 t digestato/día		Eficiencia de eliminación
Parámetro	Composición (Kg/t)	Caudal (Kg/día)	Composición (Kg/t)	Caudal	%
Sólidos totales (ST)	130	1667,12	92,14	1134,28	32
Sólidos volátiles (SV)	99	1270,36	20,62	253,83	80

Tabla 24 Composición del digestato de entrada y salida del digestor. Fuente: Elaboración propia

Tras la separación del digestato en líquidos y sólidos desarrollado en el capítulo 10.3.5 obtenemos una producción anual de:

- 1027 toneladas de digestato sólido con un 32% en sólidos totales
- 1053 toneladas de digestato líquido con un 3% en sólidos totales, descontando la recirculación al digestor.

De modo que, estas cantidades de digestato se comportaran como fertilizante para la explotación. El digestato se trata de un material estabilizado con un gran potencial como fertilizante debido a su contenido en nutrientes, mejoras en la estructura del suelo y capacidad para liberar nutrientes.

El nitrógeno total aumenta en el digestato debido a la degradación del carbono a CO₂ y CH₄, así como su preservación durante el proceso de digestión anaerobia. Cabe destacar que aproximadamente entre el 60-80% del nitrógeno total del digestato se encuentra mineralizado en forma de NH₄, lo cual facilita su rápida disponibilidad por las plantas, considerándolo como un fertilizante de adsorción rápida (Makádi y col., 2011).

De la misma forma, la concentración de fósforo (P) y de potasio (K) en el digestato es más elevada. Además, Börjesson and Berglund (2007) asumieron que el 100% del fósforo del digestato está en formas disponibles para los cultivos, siendo un material muy útil para su fertilización. La relación promedio entre el fósforo y el potasio en los digestatos es aproximadamente 1:3, siendo excelente para la fertilización de cultivos como los cereales o la colza. Börjesson and Berglund (2007).

En cuanto a la concentración de materia orgánica en el digestato es mucho menor que en el sustrato de origen. Sin embargo, presenta una elevada estabilidad debido a la composición de moléculas recalcitrantes precursoras del humus de alta calidad biológica.

Para el cálculo de los nutrientes totales proporcionados por el digestato vamos a utilizar una composición genérica de los macronutrientes presentes en el digestato.

Forma	ST (%)	NTK (kg/m ³)	NH ₄ ⁺ (kg/m ³)	P ₂ O ₅ (kg/m ³)	K ₂ O (kg/m ³)
Digestato	6,5	5,1	3,2	2,3	5,5
Fracción líquida separada	5,7	4,9	3,1	2,3	5,4
Fracción sólida separada	24,3	5,8	2,7	5,0	5,8

Tabla 25 Composición genérica de un digestato. Fuente Informe de evaluación del digestato anaerobio de algas como fertilizante

Producción anual de unidades fertilizantes NPK a partir de la cantidad de digestato producido anualmente:

Forma	ST(%)	NTK (kg/m ³)	NH ₄ (Kg/m ³)	P ₂ O ₅ (Kg/m ³)	K ₂ O (Kg/m ³)
Fracción sólida	32	4050,48	1885.41	3491.5	4050.14
Fracción Líquida	3	5159	3264.3	2421.9	5586.2
TOTAL	-	9209.48	5149.71	5913.4	9636.34

Tabla 26 Producción de unidades fertilizantes NPK anual, a partir del digestato. Fuente: Elaboración propia

9. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE BIOGÁS PROYECTADA

A partir de los parámetros de diseño y los rendimientos del proceso vamos a definir el funcionamiento y las operaciones diarias en la planta de biogás proyectada, con una capacidad de tratamiento anual de 4512 m³. Se ha establecido un periodo de operación de 352 días al año, dejando unos días de margen como medida preventiva ante posibles averías.

Los procesos principales en los que se puede dividir la planta son cinco.

- Área de carga y homogenización de los residuos
- Área de digestión anaerobia y generación de biogás
- Área de descarga del digestor, separación y almacenamiento del digestato
- Área de Purificación del biogás
- Área de Cogeneración

A continuación, se va a describir los diferentes procesos que se llevan a cabo

- Área de carga y homogenización de los residuos

La explotación ganadera se sitúa anexa a la planta de biogás de modo que el estiércol producido se almacena junto al digestor. Lo mismo ocurre con el sorgo, el cual se ensila en una trinchera anexa a la planta de biogás.

El inicio del proceso comienza con la carga del sustrato, el cual se realiza con una pala cargadora perteneciente a la explotación. Las 12,82 toneladas diarias a introducir se depositan sobre el sistema de alimentación desarrollado en el apartado 10.3.2, encargado de triturar y mezclar el sustrato sólido. La carga del reactor se realiza dos veces al día, en un intervalo de tiempo de 12 horas, de modo que, gracias al sistema de pesado que incorpora el sistema de alimentación introducimos la cantidad deseada al digestor.

La carga del digestor se realiza a partir del sistema CC-mix, desarrollado posteriormente, encargado de mezclar el sustrato sólido proveniente del sistema de alimentación, con el digestato líquido de recirculación, proveniente del tanque de almacenamiento. Esta etapa se produce con el objetivo de disminuir el porcentaje de sólidos totales del sustrato a introducir, de modo que parte del digestato líquido, posterior a su separación en fases, se introduce de nuevo en el digestor. Esto supone una ventaja importante, ya que el digestato líquido que se recircula, contiene bacterias anaerobias provenientes del interior del digestor, de modo que facilitara la activación del sustrato de nueva entrada.

- Área de digestión anaerobia y generación de biogás.

Los sustratos ya mezclados se introducen en el interior del digestor, donde se produce la fermentación anaerobia del sustrato dando lugar a la generación de biogás. El tiempo de retención calculado a partir de las ecuaciones matemáticas del modelo Chen-Hashimoto es de 31 días con una temperatura interior constante de 37°C (rango mesófilo). Esta temperatura se mantiene constante gracias al intercambiador de calor que incorpora en su interior. Por este, circula agua a 85°C, proveniente del sistema de refrigeración de la unidad de cogeneración, intercambiando el calor uniformemente con el sustrato gracias a su agitación continua.

- Área de descarga del digestor, separación y almacenamiento del digestato

A tratarse de un régimen de operación semicontinuo, cada vez que se introduce una carga de sustrato, es necesario la evacuación del sustrato ya digerido, (el digestato). Manteniendo en todo momento el nivel óptimo de carga del digestor.

Esta descarga se realiza mediante una bomba helicoidal, la cual conduce el sustrato hasta el sistema de separación en fases. La bomba seleccionada proporciona un caudal continuo de 7 m³/h durante un periodo de 59 minutos, proporcionando el caudal necesario para la correcta separación del digestato. Como resultado tras la separación, da lugar a 4.70 m³ de digestato líquido con un 3% de sólidos totales, y 1460 Kg de digestato sólido, con un 32% en sólidos totales por descarga. De modo, que al cabo del año la cantidad de digestato producido será de 3310,91 m³ de digestato líquido y 1027 toneladas de digestato sólido.

El digestato sólido se almacenará en la solera situada debajo del separador de fases, mientras que el digestato líquido se recogerá en un depósito de almacenamiento situado anexo al digestor, a partir del cual se recirculará hasta el sistema CC-Mix anteriormente nombrado. Este digestato producido será utilizado como fertilizante de la propia explotación.

- Área de purificación.

El biogás almacenado en la parte superior del digestor, es impulsado mediante un soplador hacia el sistema de depuración de gases, antes de ser valorizado energéticamente en el sistema de cogeneración. El caudal de biogás producido es de 18,87 m³/h.

En primer lugar, el biogás pasa por una trama de humedad, donde gracias a su expansión en un tanque (zona abierta) se produce la condensación o deshidratación del agua presente en el biogás. Posteriormente se dirige hasta el tanque de desulfuración, situado anexo a la trama de humedad y relleno de carbón activo. Este material, al adsorber el H₂S, permite su combustión en el sistema de cogeneración.

Como medida de seguridad, se incorpora una antorcha para la eliminación del gas sobrante de manera controlada.

- Área de cogeneración

Una vez acondicionado el biogás, este se dirige hasta el módulo de cogeneración, convirtiéndolo en energía eléctrica y térmica.

- Producción eléctrica: La energía eléctrica es generada por un motor de combustión interna de 44,52kW acoplado a un alternador. Una pequeña parte de la energía generada se utilizará para cubrir parte del consumo eléctrico de la planta (37kW/día) y la mayor parte se exportará a la red de servicio público de la compañía eléctrica distribuidora

- Producción térmica: La energía térmica producida en el equipo de cogeneración se recuperará para ser utilizada en el calentamiento del digestor. La temperatura de salida del agua del equipo de cogeneración será de 85°C, y será conducida a través de un circuito secundario hasta el intercambiador de calor interno. Parte de la energía térmica se utilizará para el calentamiento del sustrato y el resto se disipará al exterior a través del circuito de retorno al equipo de cogeneración. Este, a su vez incluirá unas aletas de refrigeración como medida de seguridad para asegurar el enfriamiento del agua. El agua entrante enfriada, será utilizada de nuevo para refrigerar el motor creando un circuito cerrado.

10. INGENIERÍA DE LA ESTRUCTURA

10.1 Dimensionamiento del digestor

El dimensionamiento de digestor se ha realizado en base a la carga diaria 14,248 m³/día, y el tiempo de retención del sustrato 30,11 días, calculado en Anejo 5. *Cálculos del digestor. Aplicación del modelo Chen-Hashimoto al proceso.* Con ello se obtiene que el volumen necesario de nuestro digestor es de 514,8 m³ teniendo en cuenta un sobredimensionamiento del 20% como medida de seguridad.

$$429m^3 + 20\% = 514,8m^3$$

En un estudio (tesis doctoral) realizado por Sánchez Rubal (2016) *Optimización de la agitación de un digestor anaerobio mediante mecánica de fluidos computacional* dedujo que el factor más importante a la hora de diseñar un digestor anaerobio cilíndrico es la esbeltez del mismo, es decir la relación entre el diámetro y la altura del digestor. Los resultados mostraron que una relación por encima de 1 empeoraba la agitación del mismo, sin embargo, las diferencia en el porcentaje de zonas muertas entre la esbeltez de 1 a 2 no fueron muy significativas.

Por lo que, a partir del volumen necesario, y el estudio de Jesús, seleccionamos una relación entre el diámetro y la altura próxima a 2, buscando una optimización de la agitación, evitando zonas muertas que reduzcan el volumen útil del digestor, así como gastos económicos extras en lo que se refiere a la incorporación de agitadores extra, y el consumo eléctrico que esto conlleva.

Otro aspecto a considerar en el diseño de la estructura del digestor, es la inclinación del fondo, el cual influye en la agitación al igual que la esbeltez. Este factor es importante pero no determinante, en el estudio realizado por Sánchez Rubal, se observó que, en un

digestor de fondo cónico comparado con uno de fondo plano, ambos con una esbeltez de 2, la diferencia de zonas muertas en el interior del digestor era inferior 5%.

El digestor seleccionado será de geometría cilíndrica, ya que su funcionamiento resistente es más favorable que los de planta rectangular, permitiéndonos adoptar espesores menores que los de planta rectangular, además de mejorar la agitación. Las medidas serán de 11 m de diámetro y 5,41 m de altura con el fondo plano, ya que los costes constructivos que supondrán la construcción de un fondo cónico con una inclinación de 45% no se rentabilizarían con la producción extra de biogás. Para disminuir las zonas muertas existentes, se selecciona un agitador capaz de agitar un caudal superior al volumen del digestor.

A partir de la altura y el diámetro, en *el Anejo 6. Dimensionamiento del digestor*, en el apartado de dimensionamiento, se calcula el espesor tanto de las paredes, como de la solera, y se comprueban sus respectivos esfuerzos. Los espesores finales son de 0,325 m en el caso de la pared y de 0,541 m de la solera.

El reactor se construirá *in situ* y será de hormigón armado (HA-25), el cual estará recubierto en su interior con una capa impermeabilizante para evitar el deterioro de la estructura al estar en continuo contacto con el sustrato líquido, quedando la armadura de la siguiente forma:

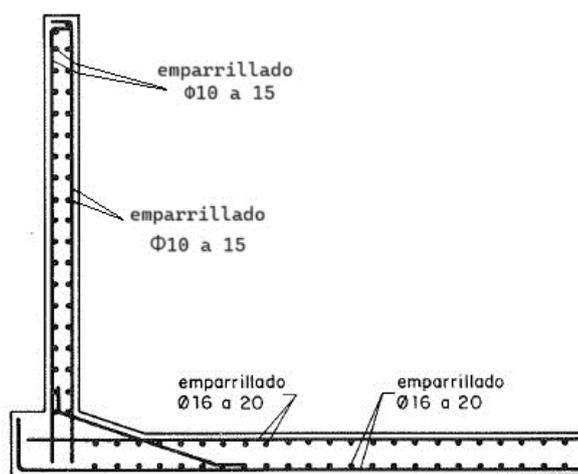


Ilustración 20. Armadura

El digestor dispondrá de un sistema de entrada del sustrato mezclado, por el fondo del digestor, y un sistema de descarga por la parte inferior. La descarga de la mezcla ya digerida se realizará mediante una bomba helicoidal, a través de la cual, se transportará el digestato hasta el separador de fases.

El digestor funcionará de manera semi-continua, es decir cada 12h se pondrá en funcionamiento para realizar la carga pertinente. De igual manera, se procederá a la descarga del mismo.

Con el objetivo de reducir las pérdidas de calor en el interior del digestor, este estará recubierto con espuma de poliuretano expandido de 10 cm de espesor, además de una chapa de acero galvanizado de color verde con 0,6 cm de espesor, para proteger el material aislante de las inclemencias meteorológicas y en cierta medida, camuflar el reactor en la naturaleza.

Resumen de las características del reactor:

DIGESTOR ANAEROBIO	
Material de construcción	Hormigón Armado
Forma	Cilíndrico sobre tierra
Volumen total	514,8 m ³
Diámetro	11 m
Altura	5,41 m
Volumen útil	429 m ³
Altura útil	4,51 m
Espesor pared	0,325 m
Espesor solera	0,541 m
Aislamiento térmico	10 cm de poliuretano expandido
Recubrimiento exterior	60 mm de chapa de acero galvanizado

Tabla 27. Características del reactor anaerobio. Fuente: elaboración propia

10.2 Dimensionamiento del tanque de digestato

Además del digestor primario, se prevé la instalación de un segundo tanque de almacenamiento diseñado para recoger los líquidos resultantes de la separación del digestato en ambas fases. El dimensionamiento de este tanque se ha llevado a cabo considerando la acumulación del líquido durante un período de tres meses.

Este dimensionamiento se basa en la planificación de la rotación de cultivos, es decir, calculamos un periodo máximo de tres meses durante el cual no se va a producir ninguna extracción del digestato líquido. Realizaremos múltiples extracciones en el año debido a la existencia de cultivos de invierno y verano en la explotación, precisando unas necesidades nutritivas en diferentes épocas del año. Por ello, el periodo máximo sin extracciones lo establecemos en tres meses.

Como sabemos que 6,412 m³ de digestato líquido es introducido de nuevo en el reactor, calculamos la cantidad de líquido que almacenaremos diariamente en el tanque de almacenamiento:

$$V_{diario}: V_{líquido\ total} - V_{recirculado}$$

$$V_{diario}: 9,4\ m^3 - 6,412m^3 = 2,99\ m^3/día$$

$$V_{tanque} = 2,99\ m^3/día * 90\ días: 268,92\ m^3$$

Aplicamos un sobredimensionamiento de un 20% como medida de seguridad en caso de que por ciertos motivos no se pudiese proceder al vaciado del tanque, como podrían ser periodos de lluvia o épocas donde no se pudiese sembrar y, por lo tanto, no existe una demanda de nutrientes por los cultivos:

$$V_{FINAL} = 268,92\ m^3 * 20\%: \mathbf{322,70\ m^3}$$

El tanque de almacenamiento será de forma circular y se construirá 'in situ' sobre una base de hormigón armado. Las paredes del tanque estarán hechas de chapa metálica galvanizada y se impermeabilizarán mediante una funda de polietileno. La elección de estos materiales se debe a la ausencia de elementos en el interior del tanque que pudieran ejercer ciertas fuerzas sobre las propias paredes, tales como sistemas de agitación o sistemas de calefacción. Esta decisión se ha tomado con el objetivo de optimizar los costos de construcción de la planta.

Las características del tanque seleccionado son las siguientes:

TANQUE DE ALMACENAMIENTO	
Diámetro	9,55 m
Altura	4,58 m
Área	71,63 m ²
Volumen real	328,06 m ³
Material	Chapa galvanizada color verde

Tabla 28. Características del tanque de almacenamiento del líquido. Fuente: elaboración propia

10.3 Dimensionamiento de los elementos del digestor

Para la elección de los diferentes elementos que formarán parte del digestor, se ha realizado una extensa búsqueda bibliográfica sobre las características y diseños disponibles de los diferentes elementos existentes en el mercado, con el objetivo de seleccionar aquellos que se adapten mejor a nuestro proyecto, en función de las características que demandamos.

En el presente capítulo se procede a definir las características de los diferentes equipos que formarán parte del digestor, tras su elección debido a su ajuste a nuestros cálculos.

10.3.1 Gasómetro

El gasómetro es un dispositivo acumulador de biogás, capaz de equilibrar las fluctuaciones en la producción, así como el consumo por parte del motor co-generador. Los diferentes tipos de gasómetros están desarrollados en el *anexo 7. Almacenamiento del biogás o gasómetro*

En nuestro caso hemos seleccionado un gasómetro integrado en la propia cubierta del digestor, la cual va a servir como techumbre del reactor, así como tanque de almacenamiento del biogás, ahorrando en temas de espacio por lo que supone esta doble función.

En concreto se ha elegido una cubierta de doble membrana, la cual estará montada sobre el digestor cerrándolo herméticamente. Esta estructura, como bien indica su nombre, está formada por dos membranas, la exterior encargada de darle forma y protección frente a los efectos climáticos y la interior, que se encarga de almacenar el biogás, siendo flexible y modificando su tamaño en función del gas almacenado. La membrana está formada por un sistema de abrazaderas que sirven de apoyo para la membrana interior en caso de inexistencia de gas, impidiendo que entre en contacto con el sustrato. La membrana exterior dispone de una ventana para la inspección visual del nivel de gas en el gasómetro.

El biogás producido en el reactor anaerobio ($18,87 \text{ m}^3/\text{h}$) es consumido directamente por el motor, por lo que no se necesita un gran depósito para su almacenamiento. Como regla general se establece entre 4-6 horas de almacenamiento del biogás como medida de seguridad frente a posibles problemas causados en el motor. En nuestro caso hemos optado por un gasómetro de la marca *ZORG BIOGAS*, con una altura de la cúpula de $1/3$ del diámetro, proporcionándonos un volumen de almacenamiento de 171 m^3 , de modo que tenemos capacidad de almacenar hasta 9 horas de producción de biogás sin ser consumido.

El gasómetro seleccionado está equipado con una válvula de regulación de la presión, cuya función es la de evacuar el aire sobrante aportado por el soplante que incorpora, manteniendo el gasómetro estable en caso de caída de tensión y regenerar el aire de la entercámara para el correcto mantenimiento de las membranas. El mantenimiento de estos parámetros es fundamental en condiciones de fuerte carga de viento o nieve para el correcto funcionamiento del sistema, ya que si no se controla correctamente podría producirse una sobre-presión en el sistema hidráulico de gas o una depresión en el mismo. La membrana exterior dispone de una ventana para la inspección visual del nivel de gas en el interior del gasómetro.



Ilustración 21. Esquema de gasómetro de doble membrana (Tecon textiles de construcción): 1 Membrana exterior. 2 Membrana interior. 3 Sistema de abrazaderas. 4 Columna central. 5 Anclajes. 6 Ventana de inspección. 7 Medidor de nivel. 8 Soplante. 9 Válvula de regulación de presión. 10 Válvula antirretorno. 11 Válvula de seguridad

10.3.2 Sistema de alimentación

Después del almacenamiento y pretratamiento, la materia prima se alimenta al digestor. La técnica de alimentación va a depender del tipo de materia prima y de la capacidad de ser bombeable. La materia prima bombeable, como los purines o aguas residuales, se transfieren directamente desde los tanques de almacenamiento hasta el digestor mediante bombas.

En nuestro caso, al tratar con residuos con alto contenido en sólidos totales, y no ser bombeables, nuestros residuos van a ser vertidos en un sistema de alimentación y mezclado con el uso de una pala cargadora, y posteriormente, el propio sistema los introducirá dentro del digestor, a través de un sistema de bombeo adecuado por la parte inferior del digestor.

La estación de mezcla y dosificación elegida es de la marca *SILOKING*, en concreto el modelo *4018-18 PREMIUM* con una capacidad de llenado de 18 m^3 , suficiente para albergar los $14,248\text{ m}^3$ que introducimos cada día en el digestor. Este alimentador tritura el material de fibra larga, asegurando una mezcla con el resto de materiales de entrada y permitiéndonos una dosificación de volúmenes pequeños y medianos, ya que contiene un sistema de pesaje que nos da a conocer la cantidad exacta de materia prima que se introduce. Todos los componentes que lo conforman están fabricados en acero inoxidable, evitando problemas de desgastes y garantizando una elevada durabilidad.

Modelo	4018-18
Longitud (mm)	5830
Anchura (mm)	2795
Altura (mm)	2325
Volumen (m3)	18
Número de tornillos mezcladores	2
Potencia requerida por motor (Kw)	11
Número de motores	2
Carga útil (Kg)	7200

Tabla 29. Características del sistema de alimentación. Fuente: SILOKING



Ilustración 22. Sistema de alimentación elegido. Fuente: SILOKING

Una vez que la mezcla sale del sistema de mezclado y dosificación, se transporta por medio de un tornillo de transporte que incluye el propio sistema de mezcla, hasta el sistema final de alimentación. En esta fase final, se produce una mezcla del sustrato sólido junto con el líquido recirculante proveniente del digestato, además, se elimina aquellos elementos no deseados, como pueden ser piedras o metales.

Para nuestro proyecto hemos elegido el sistema *CC-MIX DE VOGELSANG*, se trata de un sistema sencillo donde los sustratos provenientes del dosificador se mezclan con el recirculado del digestor, en una gran cámara, donde se maceran gracias a un sistema de tornillo helicoidal que al mismo tiempo rompe las fibras del sustrato. La unidad de bombeo que incluye la propia cámara de mezclado, transporta la suspensión machacada a los digestores y al mismo tiempo, debido a la eficiencia del mezclado, los materiales extraños se apartan del proceso de forma óptima en el separador integrado.

Las ventajas que nos ofrece la incorporación de este sistema son:

- Trituración del sustrato adecuada para la producción inmediata y más eficiente de biogás por parte de las bacterias.

- Minimiza el riesgo de formación de capas flotantes y de sedimentos
- Crea suspensiones orgánicas homogéneas de manera sencilla y rentable.
- Separa la materia extraña antes de introducirla en el digestor.
- Energéticamente eficiente gracias a la reducción de la cantidad de agitación necesaria en el interior del digestor.

Modelo	Capacidad máxima	Presión máxima	Potencia nominal
CC-MIX66-M1	50 m ³ /h	6 bar	11 KW

Tabla 30. características del sistema de mezclado CC-MIX .Fuente: Vogelsang

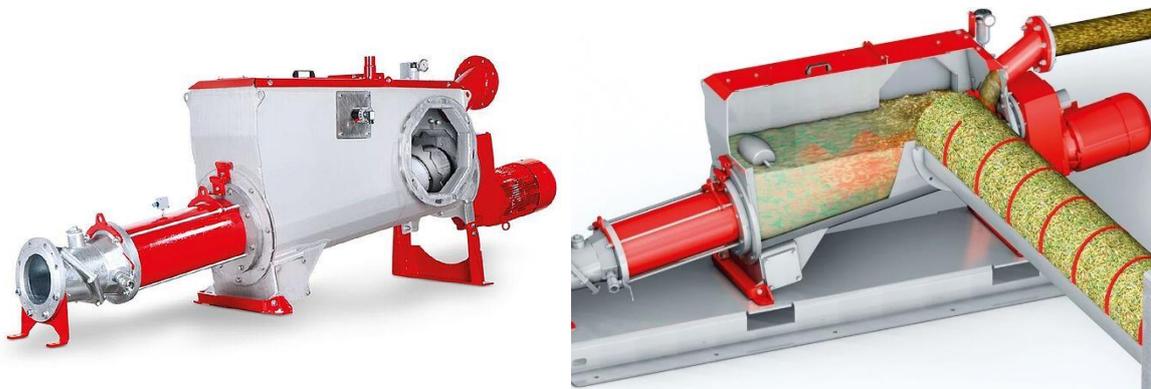


Ilustración 23. Sistema CC-MIX de Vogelsang. Fuente: <https://www.vogelsang.info/es-es/productos/alimentador-de-materia-solida/cc-mix/>

Para nuestro proyecto establecemos un rendimiento del medio de $25 \text{ m}^3/\text{h}$ permitiendo un correcto mezclado y homogenización de la mezcla , de modo que el tiempo que tardaremos en el llenado de $7,124 \text{ m}^3/\text{fase}$ será de aproximadamente 20 minutos.

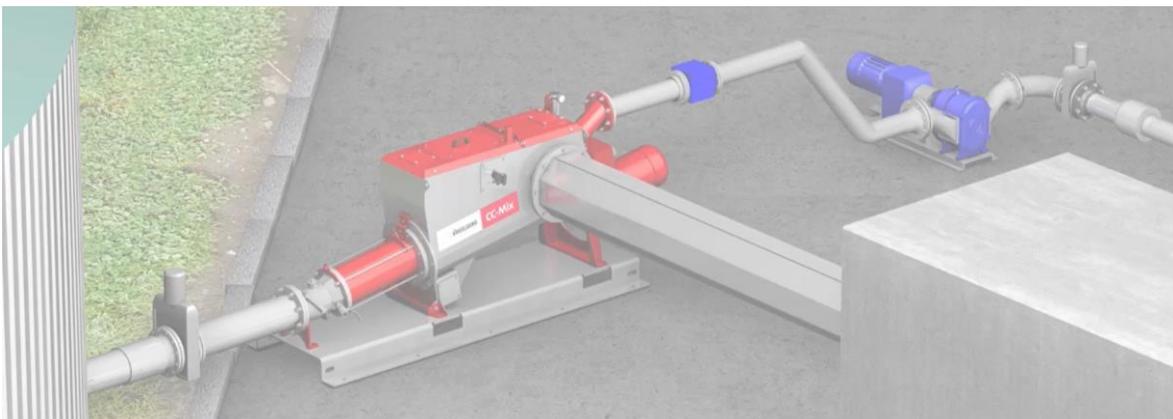


Ilustración 24. Esquema final del proceso de alimentación

10.3.3 Agitador

Para lograr una homogeneización del sustrato en el digestor de mezcla completa, es esencial incorporar un sistema de agitación. Los objetivos principales de este proceso son los siguientes:

- Facilitar el contacto entre el sustrato fresco de la alimentación y la población microbiana, manteniendo una densidad uniforme de las mismas.
- Garantizar una distribución uniforme del calor y los nutrientes en el interior del digestor.
- Evitar la formación de costras, espumas y sedimentos en el interior del digestor.
- Facilitar la extracción de las burbujas del biogás producidas por las bacterias metanogénicas.
- Evitar la formación de espacios muertos que disminuyan el volumen efectivo del digestor.

El proceso de agitación puede ser de diferente forma, mecánico, mediante agitadores ubicados en el interior del reactor, hidráulico, mediante la succión y descarga del sustrato en el propio digestor, y neumático, inyectando el propio biogás generado en el interior del reactor. En el *Anejo 9. Sistemas de agitación en digestores*, se ofrece una descripción detallada de los diferentes sistemas de agitación utilizados para los digestores anaerobios.

En nuestro proyecto se ha optado por un sistema de agitación mecánica horizontal con el motor sumergible. Los sistemas de agitación mecánica son los sistemas más utilizados en las plantas de biogás europeas debido a las ventajas que nos ofrecen frente a los otros sistemas de agitación.

El agitador sumergible elegido es de la marca *Zorg Biogas*. Este tipo de agitador consta de una hélice de 600 mm de diámetro y 221 rpm, permitiéndonos generar un flujo turbulento en el interior del digestor consiguiendo una correcta homogenización del sustrato.

Este modelo en concreto ha sido elegido teniendo en cuenta el fluido a mezclar, ya que se trata de un fluido con un porcentaje de sólidos totales superior a 10% y una viscosidad aproximada a $500 * 10^{-4} \text{ Kg/m} * \text{s}$. De tal forma, se ha seleccionado un agitador con la fuerza de agitación necesaria, así como las revoluciones y el diámetro adecuado para tatar la mezcla determinada.

El agitador es intrínsecamente seguro, certificado conforme a las normativas ATEX ZONE 1, y completamente hermético, siendo construido con acero inoxidable AISI 316L para prevenir la corrosión, ya que está totalmente sumergido. El contacto directo con el

sustrato también sirve como sistema de enfriamiento para el agitador. La hélice, fabricada en acero inoxidable AISI 316L, presenta un diseño optimizado, con un sistema hidráulico mejorado para altos valores de empuje con bajo consumo de energía.

Potencia Nominal	Corriente Nominal	Capacidad agitación	Velocidad hélice	Fuerza axial	Peso	Diámetro hélice
1,5 kW	3,45 A	1320 m ³ /h	221 rpm	560 N	138 kg	600 mm

Tabla 31. Características técnicas del agitador seleccionado. Fuente: elaboración propia

La instalación de los agitadores sumergibles se efectúa habitualmente por medio de un sistema de guía universal que permite su utilización a diferentes profundidades, evitando simultáneamente la formación de zonas muertas. Además, este sistema nos permite sacar el equipo para efectuar las labores de reparación y mantenimiento.

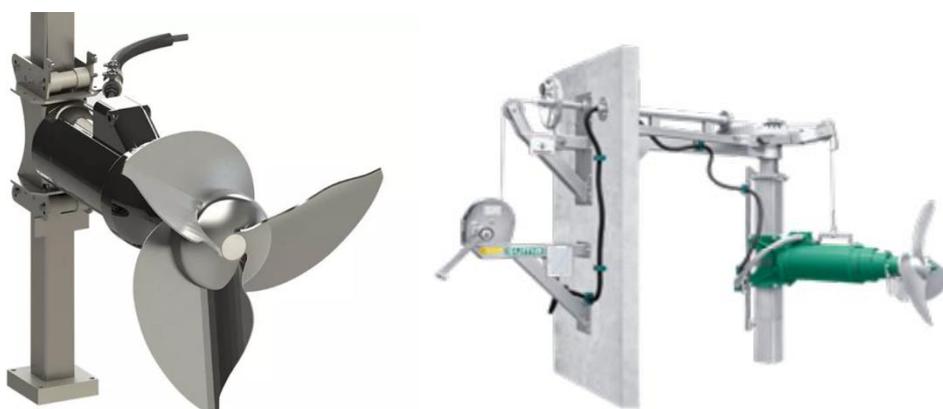


Ilustración 25. Agitador sumergible seleccionado (izqda.). Guía de trabajo del agitador (dcha.). Fuente: Zorg biogás

10.3.4 Unidad de co-generación (CHP)

El biogás producido en el presente proyecto se va a destinar a su combustión en una unidad de cogeneración (CHP) para generar energía eléctrica y térmica.

Muchas de las primeras generaciones de plantas de biogás se establecían exclusivamente con fines eléctricos, sin tener en cuenta la utilización del calor producido. Hoy en día, la utilización del calor se considera indispensable para la economía de la planta, de ahí la elección de un sistema cogeneración. Aumentar la eficiencia energética y económica de la planta mediante la utilización del calor producido para fines internos de la propia planta o para satisfacer necesidades externas.

El sistema de cogeneración tiene como componente principal un motor el cual será alimentado con el biogás producido para posteriormente producir energía eléctrica gracias al alternador que tiene acoplado. Este alternador tiene una rotación constante de 1500 rpm para ser compatibles con la frecuencia de red. Además de estos elementos, un módulo de CHP está formado por un sistema de intercambiador de calor para la recuperación de

energía térmica de los gases de escape, un circuito de aceite de lubricación, un circuito de refrigeración, así como un sistema para el control de la unidad de CHP.

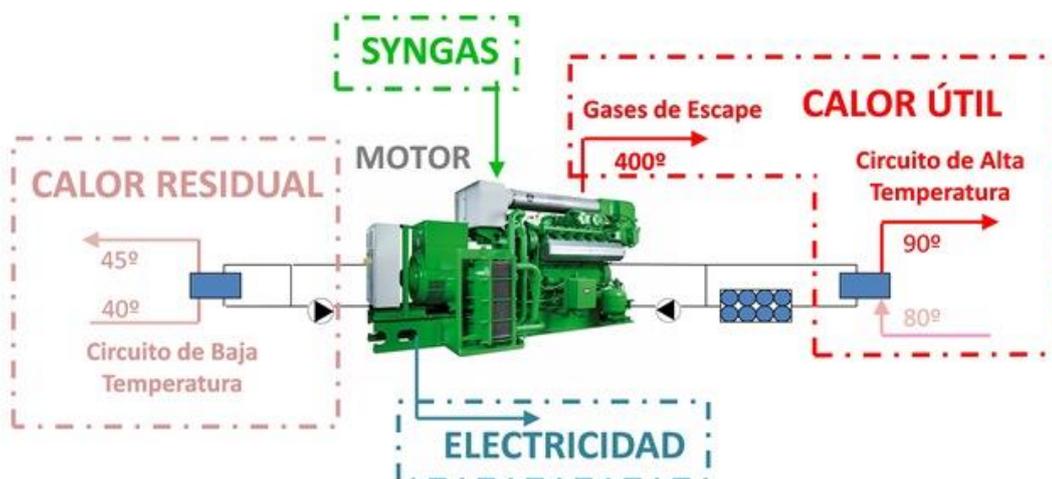


Ilustración 26. Esquema de una unidad de cogeneración. Fuente: <https://lonjastec.es/es/biogas-2/>

La energía producida a partir del biogás tiene dos fines fundamentales, por una parte, se suministra la energía necesaria a los equipos que conforman la planta para su correcto funcionamiento, y, por otra parte, el sobrante se inyecta a la red de alta tensión más próxima a la planta, generando un rédito económico.

La conexión a la red de distribución se realizará a 13,2 kV y 50 Hz, en una línea de alta tensión que está a escasos metros de donde se proyecta la planta. Para lograrlo, es necesario contar con un centro de transformación equipado con un transformador que eleve la tensión hasta el nivel indicado. Sin embargo, esta responsabilidad recae en la operadora de la zona, en este caso, Endesa S.A.

Respecto a la energía térmica, será destinada al proceso de *stripping*, el cual consiste en la recuperación del nitrógeno amoniacal contenido en la fase líquida del digestato, como un solución de sulfato amónico $(NH_4)_2SO_4$ con una riqueza del 40%. El propósito de la obtención de sulfato amónico es su comercialización, con el objetivo de mejorar la rentabilidad y la viabilidad de la planta. Sin embargo, este sistema no será objeto de dimensionamiento del presente proyecto por lo que no se estimarán las necesidades térmicas exactas del mismo.

Para determinar la potencia eléctrica a instalar, se ha analizado el contenido energético del biogás producido, lo que ha permitido estimar la potencia eléctrica a generar:

RENDIMIENTO ELÉCTRICO Y TÉRMICO	
Producción de biogás diaria (59% CH_4)	452,95 m^3 biogás/día
Producción de biogás horaria (59% CH_4)	18,87 m^3 biogás/hora
Producción anual de biogás (59% CH_4)	159438,4 biogás/año
Poder calorífico biogás (PCI)	5,9 KWh/m^3
Potencia eléctrica a instalar	111,35 kW

Tabla 32. Potencia eléctrica a generar

Para la elección de la potencia del motor, es necesario establecer la estrategia de producción energética, es decir, vamos a producir energía durante las 24 horas del día o parcialmente a lo largo del día.

De aquí nace la idea de establecer una estrategia de inyección en horas picos para los cuales la energía tiene mayor valor. Esta estrategia consistía en establecer un consumo cada 8 horas, es decir que durante 8 horas almacenamos el biogás en el interior del digestor, el cual tenemos capacidad para almacenar 9 horas de producción, y se consumía en las posteriores 2 horas aproximadamente.

$$\text{Producción en 8 horas} = \frac{452,95m^3/s}{24 \text{ horas}} * 8 \text{ horas} = 150,99 m^3$$

$$\text{Horas de extracción} = \frac{\text{producción}}{\text{caudal deseado}}$$

De modo que el motor estaría funcionando $\frac{1}{4}$ del día inyectando en las horas de mayor valor.

Este sistema tenía sus ventajas y sus desventajas. Por un lado, conseguíamos obtener el mayor rendimiento económico por kWh inyectado en la red, pero, por otro lado, esta estrategia suponía un sobredimensionamiento de la instalación, con la necesidad de incorporar equipos 4 veces mayores a los que realmente se necesitan en una planta normal de las mismas características, con los costes económicos que esto supone, además de la necesidad de extraer energía eléctrica de la red para el funcionamiento de nuestros equipos cuando no producimos electricidad.

Por lo que, debido a la elevada inversión inicial que supone y a la convergencia actual de los precios en las diferentes franjas horarias, se ha decidido optar por un sistema de inyección continua a la red. Esto significa que el motor funcionará las 24 horas del día siempre que la planta de biogás esté operativa.

Selección del grupo cogenerador. Dado que la generación de energía es la principal fuente de ingresos para la planta de biogás, el dimensionamiento y elección del equipo de cogeneración se ha realizado minuciosamente seleccionando el que mejor se adapta a nuestras necesidades

El sistema de cogeneración seleccionado es de la empresa ALTARE, concretamente el **modelo A50B** debido a que sus características de funcionamiento se adaptan a la perfección a nuestra producción energética. El equipo seleccionado está diseñado y construido específicamente para operar con biogás, empleando componentes de acero inoxidable 316 así como una regulación electrónica de la combustión basada en sondas de temperatura individuales para cada cilindro. La composición de la mezcla se

ajusta dinámicamente variando el hueco de paso del gas mediante un servomotor controlado en función de la presión de admisión. Este parámetro proporciona un realimentación más precisa y robusta que la tradicional sonda lambda.

La instalación del sistema de cogeneración no requiere obra civil, debido a que el equipo se entrega dentro de un contenedor o una caseta ligera prefabricada, listo para conectar a las conexiones de la planta de biogás. Dentro del contenedor encontramos alojados los siguientes elementos:

- Motor de combustión y alternador.
- Recuperador de calor de los gases de escape y del sistema de refrigeración del motor, formando un circuito secundario.
- Cuadro de control.
- Protecciones eléctricas e insonoras.
- Rampa de gas completa con los equipos de seguridad y regulación necesarios, encargada de suministrar correctamente el biogás al motor.
- Chimenea modular de acero inoxidable para la evacuación de humos.
- Bomba necesaria para la impulsión del sistema secundario de agua de refrigeración.
- Línea eléctrica común para generación y alimentación de auxiliares, hasta el cuadro CGBT (cuadro general de baja tensión), protegida con un interruptor magneto térmico y un diferencial en cabecera.

En la siguiente tabla se muestran las características generales del equipo de cogeneración:

Datos de diseño		Datos del generador	
Potencia eléctrica	44,52 kW	Potencia aparente	62,5 kVA
Recuperación térmica	57,12 kW	Eficiencia	93,2%
Consumo de combustible	120 kW	Velocidad	1500 rpm
Rendimiento eléctrico	37,1%	Frecuencia	50Hz
Rendimiento térmico	47,6%	Voltaje	400V
Rendimiento global	84,7%	Corriente nominal	74A
Datos del motor		Recuperación del calor	
Fabricante	LIEBHERR	Temp entrada circuito sec	70°C
Modelo	924T	Temp salida circuito sec	85°C
Nº de cilindros	4	Caudal agua caliente	5 m ³ /h
Ratio de compresión	12:1	Calidad del combustible	
Tipo de combustión	Mezcla pobre	Numero de metano	>80
Dimensiones		PCI	>4 kWh/3 Nm ³
Largo	2900 mm		
Ancho	960 mm	Humedad relativa	<60%
Alto	2225 mm	Temperatura del gas	10-30°C
Peso	2400 kg	Presión del gas	>20mbar

Tabla 33. Características técnicas del sistema cogeneración ALTARE A50B. Fuente: Altare

Hemos establecido un total de 8,448 horas de funcionamiento para la planta de biogás, lo que equivale aproximadamente a 352 días. Esto nos deja un margen de 13 días destinados a operaciones de mantenimiento, así como un margen adicional para afrontar posibles complicaciones.

La producción anual energía a partir de los datos de rendimiento del sistema de cogeneración:

Producción anual de energía a partir de la combustión de biogás	
Horas de funcionamiento	8440 h/año
Producción anual de biogás (59% CH4)	159438,4 m ³ /año
Energía equivalente	940686,56 kWh/año
Sistema de cogeneración, rendimiento total 84,7%	
Energía eléctrica (eficiencia de 37,1%)	348994,71 kWh/año
Energía térmica (eficiencia de 47,6%)	447766,80 kWh/año
Potencia instalada suponiendo 8448 horas de funcionamiento anual	
Potencia eléctrica instalada (kWe)	41,31 kWe
Potencia térmica instalada (kWt)	53 kWt

Tabla 34. Producción energética anual en la planta de biogás

Como se puede observar, el motor de cogeneración seleccionado presenta una potencia eléctrica ligeramente superior a la potencia generada por el rendimiento del sistema, lo que confirma que nuestra elección es acertada. Además, hemos comprobado que el motor cumple con uno de los requisitos principales, que es proporcionar la energía térmica necesaria para el calentamiento del digestor durante el mes más desfavorable. Esto se refleja en la tabla... de producción eléctrica anual, donde se muestra que generamos una potencia térmica de 53 kW, superando la demanda de energía térmica del digestor en el mes de enero, que es de 27,35 kW.

Finalmente comprobamos que el motor seleccionado cumple el valor de rendimiento eléctrico equivalente mínimo para las instalaciones de cogeneración con biogás procedente de la digestión anaerobia (*Grupo a.1.3; Subgrupo b.7.2 en el Real Decreto 661/2007 de Producción de Energía Eléctrica en Régimen Especial*)

$$REE = \frac{E}{Q - \frac{V}{ref H}}$$

10.3.5 Separador de líquidos sólidos

El digestato es un subproducto semi-líquido resultante de la digestión anaerobia y tiene un uso potencial como fertilizante orgánico. Este se puede aplicar de forma directa o una previa separación en dos fases, sólida y líquida. Por medio de esta separación, logramos optimizar la gestión del digestato, ofreciendo una solución práctica que incrementa la rentabilidad del proyecto gracias a una adecuada utilización de sus componentes nutricionales.

En la práctica no es factible el cálculo exacto de la producción de efluente de un biodigestor. Solo se puede realizar una estimación empírica de la producción de digestato. Estos se producen por medio del componente orgánico o inorgánico que no se degrada en el proceso de la digestión anaeróbica. La masa volátil contenida en la materia seca es el único componente de la biomasa que se degrada y produce biogás. El resto de biomasa (inorgánicos, fibras, etc.) se sedimentan al fondo del digestor y deben ser retirados con frecuencia.

De modo que, la cantidad de digestato que se produce en la biodigestión es teóricamente la diferencia de volumen entre la masa seca y la masa volátil que se degrada en el biodigestor, además de la cantidad de agua que extrae en el biogás saturado. Esta cantidad degradada va a depender de numerosos factores como el tipo de sustrato, la temperatura del proceso, la agitación y el tiempo de retención.

Como podemos ver en *Anejo 5. Cálculos del digestor*, en el apartado, *Aplicación del modelo Chen-Hashimoto al proceso* en el apartado *producción y composición del digestato*, la cantidad de digestato producido es de 12,31 toneladas diarias. A partir de este dato dimensionaremos nuestro separador de líquido sólidos:

	Caudal de entrada digestor		Caudal de salida digestor		
Caudal másico	12,82 t sustrato/día		12,31 t digestato/día		Eficiencia de eliminación
Parámetro	Composición (Kg/t)	Caudal (Kg/día)	Composición (Kg/t)	Caudal	%
Sólidos totales (ST)	130	1667,12	92,14	1134,28	32
Sólidos volátiles (SV)	99	1270,36	20,62	253,83	80

Tabla 35. Composición del digestato de entrada y salida del digestor. Fuente: Elaboración propia

Selección del separador de líquidos sólidos. Nuestro equipo seleccionado para la separación del digestato en líquido-sólido es de la marca *BAUER* el modelo *SEOARATOR S300*. Se trata de un sistema formado por materiales de alta calidad donde un tornillo sinfín que gira sobre un tamiz ejerce una presión sobre el sustrato permitiendo la separación del líquido.

Rendimiento máximo m^3/h	16
Contenido de materia seca %	32
Potencia de conexión, kW	2,2
Tamaños de tamiz, mm	0,25 – 0,5 – 0,75 – 1,0
Peso, Kg	220
Dimensiones, m	1,3 x 0,5 x 0,9

Tabla 36. Características del separador líquido sólido. Fuente Bauer catalogo

Las características que presenta este sistema son:

- Operaciones de mantenimiento bajas.
- Sistema compacto.
- Bajo suministro eléctrico.
- Larga vida útil gracias a las piezas anti desgaste.

Como la cantidad de digestato producido diariamente es de $13,47m^3$, y el llenado y la descarga del digestor lo realizamos 2 veces al día, cada 12 horas se producirá la extracción de $6,84m^3$ de digestato. El separador, tal y como podemos observar en su características, otorga un rendimiento máximo de $16 m^3/h$ en el caso de tratar con purines. En nuestro caso se trata de un digestato con un contenido en sólidos totales de 9,2%, de modo que establecemos un rendimiento medio de $7 m^3/h$.

A partir del rendimiento establecido podemos calcular el tiempo que se tardará en descargar el digestor cada 12 horas:

$$T_{separación} = \frac{Q}{\eta} = \frac{6,84m^3}{7 m^3/h} = 59 \text{ minutos}$$

A pesar de que se tarda más tiempo en el vaciado que en el llenado del digestor, en concreto 39 minutos más, tenemos margen de sobra gracias al dimensionado extra del 20% que otorgamos al volumen del reactor como medida de seguridad.

Es decir, en cada etapa de llenado y vaciado del digestor, durante 39 minutos tendremos un volumen extra del volumen establecido como útil, en concreto $4,52 m^3$. Esto representa un 1,05% en el pico de máximo volumen, por lo que no supone ningún problema.

Cabe mencionar el hecho de que se estudió el acoplamiento de un separador de mayor dimensión con el objetivo de que el tiempo de llenado fuese similar al tiempo de

vaciado. Sin embargo, tras el estudio, se concluyó que la inversión adicional requerida para la adquisición de un separador no justificaba su uso durante solo 40 minutos a lo largo del día.



Ilustración 27. Separador BAUER SEPARATORS300. Fuente: Bauer página web

Finalmente, tras la separación líquido-sólido obtendremos los siguientes residuos separados.

Como podemos observar en las características del intercambiador, el material sólido resultante tiene un porcentaje en materia sólida del 32%. En el caso del residuo líquido otorgamos un porcentaje de sólidos totales del 3% ya que siempre quedan pequeñas proporciones de suspendidos en el líquido. Por lo que obtendremos:

Digestato líquido con 3% ST	4703 kg = 4,7 m ³
Digestato sólido con 32% ST	1460 kg = 2,14 m ³
Total digestato líquido diario	9406 kg = 9,4m ³
Total digestato sólido diario	2920 kg = 4,28 m ³
Total digestato líquido anual	3310,91 ton = 3310,91m ³
Total digestato sólido anual	1027 ton = 698,36 m ³

Tabla 37. Producciones diarias de digestato líquido y sólido

El separador de fases se instalará a una altura de 5,26 metros, tal y como podemos observar en el *plano 5 Línea 2. Descarga o conducción del digestato*. Facilitando la acumulación del digestato sólido después de su separación del líquido en la solera ubicada debajo del propio sistema durante un período determinado. Además, al situarse el tanque de almacenamiento líquido a una cota inferior, a 4,58 metros, se posibilitará la descarga por gravedad del líquido resultante tras la separación en fases.

11. INGENIERÍA DE LAS INSTALACIONES

En este capítulo vamos a desarrollar las diferentes redes de tuberías que formaran parte del proceso productivo en la planta de biogás, utilizadas para el transporte de los diferentes fluidos (líquidos y gases) desde una ubicación de la planta a otra. Para ello, en primer lugar, se describirán las características de los sistemas de conducción seleccionados para el correcto transporte de los fluidos. Por lo que, se ha calculado las pérdidas de carga producidas en su interior, seleccionando, a su vez, los equipos de impulsión necesarios para el correcto funcionamiento de la planta.

11.1 Instalación hidráulica

Para el transporte de los diferentes fluidos involucrados en la producción de biogás es necesario el dimensionamiento de sus respectivas redes de tuberías. Para ello, hemos considerado diversos factores como la velocidad de circulación, el diámetro de las tuberías, así como el material de fabricación. En cada caso, hemos seleccionado las características más adecuadas para la línea, teniendo en cuenta el tipo de fluido que se transportará, al fin de garantizar su correcto funcionamiento.

En el siguiente apartado se va a desarrollar las distintas redes de tuberías que forman parte del proceso de digestión. Donde se describirán las conducciones de cada línea, junto con sus respectivos materiales y dimensiones, además de los componentes y elementos de seguridad asociados.

También se analizarán las pérdidas de presión generadas en cada línea debido al rozamiento superficial del fluido sobre las paredes internas de cada conducción. Es muy importante estimar la magnitud de dichas pérdidas, ya que influirá directamente en la potencia necesaria de los equipos de impulsión para mantener un flujo determinado.

Las pérdidas de carga producidas a lo largo de las líneas como en los diferentes accesorios, además de los cálculos necesarios para el dimensionamiento de las líneas. Están recogidos en el Anejo 10. Diseño *Hidráulico*.

Se han considerado cuatro líneas diferentes encargadas de transportar los diferentes fluidos comprensibles e incomprensibles implicados en la producción de biogás:

LÍNEA	FLUIDO	DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA
1 – Línea de alimentación digestor	Sustrato líquido recirculante	Esta línea transporta el líquido procedente del tanque de almacenamiento del líquido recirculante hasta el sistema CC-Mix
2 - Línea descarga del digestor	Digestato	Transporta el digestato hasta el separador líquido sólido
3 - Línea de biogás	Biogás	Transporta el biogás desde el gasómetro hasta la trampa de humedad y el filtro de H ₂ s y de allí al motor de cogeneración
4 - Línea del intercambiador	Agua caliente	Transporta el agua de refrigeración desde la unidad de cogeneración hasta el intercambiador y viceversa

Tabla 38. Esquema general de las diferentes líneas de fluidos que integran la planta.

11.1.1 Fluidos incomprensibles o líquidos

11.1.1.1 Línea de alimentación digestor

La primera línea es la encargada de alimentar al digestor transportando el líquido recirculante desde el tanque de almacenamiento, una vez separado del sólido, hasta el sistema CC-MIX de VOGELSANG. Este sistema como hemos comentado anteriormente es el encargado de la mezcla del sustrato sólido a introducir, con el líquido recirculante.

La tubería seleccionada es de policloruro de vinilo (PVC) debido a su buena durabilidad al paso del tiempo, al tener buena resistencia a los químicos evitando la posible corrosión externa e interna de la tubería, evitando así mantenimientos. El diámetro nominal (DN) seleccionado es de 50 mm y una longitud sobredimensionada en un 5% de 3,14 m. El diámetro lo hemos seleccionado en base al caudal circulante de 2,67 l/s y una velocidad, 1,6 m/s.

Esta línea tiene una diferencia de cota de 1,26 metros entre la bomba impulsora y la entrada del sustrato líquido al sistema de CC-Mix, que se sitúa a 1,5 metro de altura.

LONGITUD	DIAMETRO INTERIOR	VELOCIDAD	CAUDAL	PERDIDAS DE CARGA
3,14m	46,6 mm	1,6 m/s	2,67 l/s	7637 Pa

Tabla 39. Características generales de la línea 1. Fuente: Elaboración propia

Esta línea va a estar equipada con diferentes accesorios y elementos de seguridad. En primer lugar, antes del sistema de impulsión estableceremos una válvula de compuerta que, junto con la válvula antirretorno dispuesta tras la salida del sistema de impulsión nos permitirá realizar cualquier tarea de limpieza o reparación del sistema de impulsión. Además, equipamos otra válvula de compuerta posterior al sistema CC-Mix, es decir justo antes de la entrada del digestor, para poder realizar tareas de mantenimiento en el sistema de mezclado como en la bomba de impulsión que incorpora.

Como medida de motorización y control del llenado del digestor en cada periodo o fase, estableceremos un caudalímetro en la entrada al sistema CC-Mix del líquido recirculante, que, junto con la báscula integrada en el sistema de alimentación, controlaremos en cada periodo de llenado la cantidad suministrada al digestor.

11.1.1.2 Línea de descarga digestor

Esta línea es la encargada de la descarga del digestor a partir de un sistema helicoidal de impulsión. En el transcurso de la descarga se procederá a la separación del digestato en dos fases; líquido y sólido. De esta manera, dividimos la línea 2 en dos tramos:

Línea 2.1. Esta línea cubre el tramo desde la salida del digestor hasta el sistema de separación de fases, el *BAUER SEPARATOR S300*. La longitud mayorada es de 6,25 metros. El dimensionamiento de la tubería de descarga lo realizaremos en función del rendimiento del sistema de separación, ya que deberemos suministrarle el caudal necesario para su correcto funcionamiento. Esto dependerá de la cantidad de sólidos totales que contenga la muestra del digestato. Por lo que, tal y como se indica en el apartado anterior, en la selección del sistema de separación líquido-sólido, hemos establecido un rendimiento de $7 \text{ m}^3/\text{h}$, de modo que el caudal a suministrar será el mismo.

El material seleccionado es de policloruro de vinilo (PVC) debido a sus buenas características de funcionamiento descritas en la línea 1, con un diámetro nominal DN110 y un diámetro interior de 93,6 mm, capaz de soportar presiones de hasta 16 bares. Conociendo el caudal y la sección de la tubería, establecemos la velocidad del flujo interior a lo largo del tramo en 0,41 m/s.

Esta línea tiene una diferencia de cota de 5,63 metros entre la bomba helicoidal impulsora y la entrada al separador líquido-sólidos, situada a una altura de 5,218 metros de altura tal y como podemos observar en el *plano 5 Línea 2. Descarga o conducción del digestato*.

Para el correcto funcionamiento de la línea la equipamos con una válvula de compuerta antes de la entrada al sistema de impulsión y una válvula antirretorno posterior al sistema de impulsión. Como medida de control de la operación de descarga, incluimos un caudalímetro, permitiendo establecer los periodos de descarga del digestato.

Línea 2.2. Esta línea es la encargada de evacuar el líquido resultante de la separación líquido-sólido, hasta el tanque de almacenamiento líquido. La longitud de este tramo es de 5,97 metros con un desnivel entre la salida del separador y la descarga en el tanque de 0,847 metros. La tubería seleccionada es de PVC DN50 con un diámetro interior de 46,4 mm. La descarga de esta línea se realizará mediante la gravedad, sin necesitar

equipos de impulsión, de modo que las pérdidas de carga no son motivo de estudio en este tramo.

Las características generales de la línea 2 vienen recogidas en la siguiente tabla:

PVC	LONGITUD	DIAMETRO INTERIOR	VELOCIDAD	CAUDAL	PERDIDAS DE CARGA
Línea 2.1	6,52 m	84,6 mm	0,338 m/s	7 m ³ /h	600 Pa
Línea 2.2	5,97 m	46,4 mm	<1 m/s	4,77 m ³ /h	-

Tabla 40. Características generales línea 2. Fuente: Elaboración propia

11.1.1.3 Línea del intercambiador

La línea 4 se establece como un circuito secundario cerrado del sistema de cogeneración. Donde se une el intercambiador con el motor de cogeneración. El funcionamiento de esta línea se basa en que, a través de la circulación del agua por el interior del sistema de cogeneración, se calienta hasta los 85°C, tal y como nos indican las especificaciones técnicas del módulo elegido, debido a la transferencia de energía producida por los gases de escape y por el sistema de refrigeración del motor. Esta agua caliente es transportada hasta el intercambiador de calor situado en el interior del tanque de digestión, donde se transfiere el calor al sustrato a digerir, manteniendo la temperatura de digestión estable en 37°C. Una vez transferido el calor necesario, el agua fluye de vuelta hasta el motor de cogeneración, enfriándose a lo largo del trayecto hasta llegar de nuevo al módulo.

La tubería seleccionada es idéntica a la utilizada en el intercambiador de calor, siendo de acero inoxidable AISI 316, con un diámetro nominal de DN32 y un diámetro externo de 35 mm. Este diseño se ha elegido con el propósito de asegurar un flujo constante y una velocidad uniforme en todo el circuito secundario, manteniendo un caudal de 5 m³/h y una velocidad de 1,72 m/s.

Esta línea la vamos a dividir en dos tramos:

Línea 4.1. Es la encargada de transportar el agua caliente desde la salida del sistema de cogeneración hasta el inicio del intercambiador. La longitud es de 8,64 metros con un desnivel desde la salida del sistema de cogeneración hasta la entrada al intercambiador de calor de 1,25 metros, como podemos observar en el plano 7. Esta línea va a estar equipada con una válvula de compuerta situada en la salida del motor de cogeneración, mediante la cual se regulará automáticamente el caudal necesario por el intercambiador. Este caudal dependerá de la época del año y la cantidad de energía a transferir. Acorde con la válvula de compuerta, irá instalado un caudalímetro a la salida del

sistema de cogeneración para controlar el caudal y por consiguiente la demanda de calor por parte del digestor (se instala un antiretorno)

Línea 4.2. Esta línea es la encargada de cerrar el circuito secundario con la unión del final del intercambiador con el sistema de cogeneración. La longitud mayorada es de 18,03 metros y un desnivel entre la salida del intercambiador y la entrada al motor de 1,25 metros. Los accesorios o elementos de control incorporados en esta línea son, una válvula de retención ubicada al final de la línea antes de la entrada al sistema cogeneración encargada en evitar una contra dirección del flujo, y un termómetro, también ubicado al final de la línea para controlar la temperatura de entrada del agua al sistema de refrigeración del motor. A la salida de la línea del digestor se instala una válvula de compuerta, encargada de suprimir el flujo por la línea 4.2 si se necesitaran tareas de mantenimiento en la misma o en el motor.

En la siguiente tabla se muestran las características principales de la línea 4:

11.1.2 Fluidos compresibles o gaseosos

11.1.2.1 Línea de biogás

La línea 3 es la encargada del transporte del biogás producido en el digestor primario desde el gasómetro, hasta el equipo de cogeneración, pasando por diferentes etapas de purificación (trampa de humedad y desulfuración) integradas en la línea para cumplir los requerimientos de purificación demandados por el sistema de cogeneración.

Para el dimensionamiento de la conducción de biogás se ha tenido en cuenta el caudal producido de 18,87 m³/h, fijando una velocidad constante de 15 m/s, estando dentro del intervalo recomendado para gases de baja presión, entre (10 m/s - 20 m/s).

Las tuberías seleccionadas para la instalación de biogás deben ser resistentes a la corrosión, dado que el biogás es conocido por ser una mezcla corrosiva. Para la presente instalación, hemos optado el PE de alta densidad como material a empelar, dado que se trata de un material resistente a la corrosión interna además de suponer un costo menor que si se tratase de una tubería de acero inoxidable. El polietileno de alta densidad destaca además por su baja conductividad térmica, de modo que, tras definir un flujo isotérmico en el interior de las tubería, conseguimos establecer las características del mismo, al mantener la temperatura constante a lo largo de la tubería.

De tal forma, la línea tendrá un diámetro nominal DN25 con un diámetro interior de 21mm.

Esta línea va a estar dividida en 4 tramos diferentes:

Línea 3.1. Este tramo va desde la salida del digestor hasta la trampa de humedad. La longitud del tramo es de 6,23 m considerando un coeficiente de mayoración de 5%. Esta línea va a estar equipada con los siguientes elementos.

Al inicio del tramo se instala una válvula de bola, la cual permite la descarga del gasómetro. De modo que si la mantenemos cerrada el biogás producido se almacena en el gasómetro hasta un máximo de 9 horas, ya que la capacidad máxima de almacenamiento es de 171 m³. A 2,98 metros del inicio de la línea, en la bifurcación, instalamos una válvula de tres vías. Esta válvula tiene la función de redireccionar el flujo hacia la antorcha, de modo que su accionamiento estará limitado a momentos ocasionales donde sea necesario la combustión del biogás producido por motivo de falta de almacenamiento en el gasómetro. Además, como medio de control al inicio de la línea instalaremos un medidor de flujo ultrasónico y un analizador de gas para controlar en todo momento los parámetros de producción y composición del biogás. Estos valores serán enviados al sistema de control central situado en el módulo de cogeneración.

Línea 3.2. Esta línea es la encargada de unir la trampa de humedad con el equipo de desulfuración, la longitud será de 1 metro y estará equipada con una válvula de bola en el centro del tramo la cual nos permitirá cerrar el circuito antes del equipo de desulfuración para realizar tareas de sustitución del carbono activo.

Línea 3.3. Este tramo equivale a tramo final de la línea, donde se une el equipo de desulfuración con el sistema de cogeneración. La longitud de este tramo es de 3,17 metros y estará equipada con una válvula de bola en el tramo final del mismo, y una válvula encargada de regular la presión de entrada al motor cogenerador. Ya que la presión demandada por el mismo tiene que ser superior a 20 mbar. En este tramo instalaremos otro medidor de flujo ultrasónico y un analizador de biogás para controlar en todo momento los parámetros de entrada del biogás al módulo de cogeneración.

Línea 3.4. Esta línea es la que une la línea 3.1 con la antorcha quemadora de biogás a través de la válvula de bola incorporada en la línea 3.1. La longitud total es de 5,25 metros, la cual no equipará ningún accesorio, ya que la propia antorcha contiene una válvula en su entrada y un sistema apagallamas para evitar el retroceso de la llama producida en la antorcha a través de la línea.

A continuación, adjuntamos una tabla donde se muestra las características generales de la línea 3, además de las características de funcionamiento de los equipos purificadores del biogás descritos en el siguiente apartado. Respecto a las pérdidas de carga, se han considerado despreciables las producidas en la línea 3.4, ya que al tratarse

de un tramo relativamente corto sin ningún elemento que interfiera en el flujo, no producirán una pérdida de carga superior a la presión de trabajo de la antorcha (2-40 mbar).

PVC	LONGITUD	DIAMETRO INTERIOR	VELOCIDAD	CAUDAL	PERDIDAS DE CARGA
Línea 3.1	6,23 m	21 mm	15 m/s	18,87 m ³ /h	9,24 mbar
Trama de humedad	-	500 mm de diámetro	0,1 m/s	18,87 m ³ /h	1,90 mbar
Línea 3.2	1 m	21 mm	15 m/s	18,87 m ³ /h	-
Unidad de desulfuración	-	500 mm de diámetro	0,1m/s	18,87 m ³ /h	2,14mbar
Línea 3.3	3,17 m	21mm	15 m/s	18,87 m ³ /h	4,75mbar
Línea 3.4	5,25 m	21 mm	15 m/s	18,87 m ³ /h	-

Tabla 41. Características generales de la línea 3. Fuente: elaboración propia

La presión de funcionamiento del gasómetro establecida es de 20 mbar, de modo que como podemos observar en el Anejo 10. Diseño Hidráulico, debido a las pérdidas de carga producidas a lo largo de la línea no conseguimos establecer los requerimientos de presión necesarias para el correcto funcionamiento del sistema de cogeneración (>20 mbar), de modo que será necesario la instalación de un soplador, con el objetivo de aumentar la presión interna de la red.

ASIS 316	LONGITUD	DIAMETRO INTERIOR	VELOCIDAD	CAUDAL	PERDIDAS DE CARGA
Línea 4.1	6,23 m	32 mm	1,72 m/s	5 m ³ /h	17082 Pa
Intercambiador	13 m	32mm	1,72 m/s	5 m ³ /h	17898 Pa
Línea 4.2	18,03 m	32 mm	1,72 m/s	5 m ³ /h	24185 Pa

Tabla 42. características generales de la línea 4. Fuente: elaboración propia

11.2 Equipos de bombeo

Los equipos de impulsión desempeñan un papel crucial en el funcionamiento eficiente de la instalación, ya que son la base del correcto funcionamiento de la planta. Estos son los encargados de generar el movimiento necesario para el transporte de los fluidos entre las distintas etapas de producción.

En el presente capítulo vamos a describir los diferentes sistemas de impulsión seleccionados para el transporte de los diferentes fluidos que conforman la planta. Su elección se ha basado en criterios específicos que abordan tanto el caudal como la altura manométrica. Para ello hemos utilizado el balance de energía mecánica, es decir la

ecuación de *Bernouilli* para los fluidos compresibles. Todos los cálculos desarrollados se encuentran en el Anejo 11. Sistemas de impulsión

Bomba 1. La bomba elegida para el transporte de fluido líquido de la línea 1, se trata de una bomba centrífuga situada anexa al tanque del digestato líquido, la cual deberá impulsar un caudal de $9,61 \text{ m}^3/\text{h}$ en un periodo de 20 minutos. La altura manométrica calculada es de 2,14 m.

La bomba seleccionada es de la marca *BCN bombas*, concretamente la serie RG-100M. Se trata de una bomba monofásica 230V- 50Hz con una potencia nominal de 0,75Kw. El cuerpo de la bomba está fabricado en hierro fundido mientras que el eje es de acero inoxidable AISI 304, capaz de impulsar fluidos de hasta 80°C . La velocidad de giro es de 2900 rpm suministrando un caudal máximo a una altura manométrica de 5 m de 15000 l/h. De modo que es apta para nuestra instalación.



Ilustración 28. Bomba BCN RG-100M. Fuente: BCN bombas

Bomba 2. La bomba 2 estará situada en la parte inferior del digestor primario, la cual se encargará del vaciado del digestor y el transporte del digestato hasta el separador de líquidos-sólidos. La bomba seleccionada será de tipo helicoidal ya que el porcentaje de sólidos totales del digestato es de 9,2%. Este tipo de bombas nos permiten hacer circular el fluido sin riesgo de obstrucción, que si utilizáramos una bomba centrífuga.

El caudal a extraer será de $7 \text{ m}^3/\text{h}$ con una velocidad de 0,28 m/s, durante un periodo de 1 horas por etapa y una altura manométrica de 12,71 m.

La bomba helicoidal seleccionada es de la marca *KIBER* modelo KSF-50. Debido a su diseño, tiene la capacidad de ser reversible y auto aspirante. El material de fabricación es de acero inoxidable AISI 316L con una capacidad de bombeo máximo de $19,5 \text{ m}^3/\text{h}$ y una presión de 6 bares. La tensión de trabajo es de 380-400V A 50Hz con una potencia nominal de 2,2kW y una velocidad máxima de 720 rpm. Esta bomba, al igual que el resto,

equipa un variador de frecuencia encargado de ajustar la velocidad de rotación en función del caudal. En nuestro caso la velocidad de trabajo será sobre 340 rpm.

BOMBA 2	
Marca y modelo	KIBER KSF-50
Material de construcción	acero Inoxidable AISI 316L
Presión de trabajo	6 bares
Temperatura de trabajo	Hasta 85 °C
Caudal máximo	19,5 m ³ /h
Potencia nominal	2,2 kW
Velocidad máxima	1450 rpm

Tabla 43. características bomba helicoidal Kiber KSF-50. Fuente: Kiber



Ilustración 29. Bomba KIBER KSF-50. Fuente: KIBER bombas

Soplador de biogás. El soplador instalado en la línea 3 se encargará de suministrar el biogás a la presión demandada por el equipo de cogeneración para su correcto funcionamiento, de tal modo que contrarrestará las pérdidas de carga producidas a lo largo de la conducción

La presión demandada por el sistema de cogeneración en la entrada debe ser superior a 20 mbar, por lo que el soplador impulsará el biogás desde el gasómetro con un caudal constante de 18,87 m³/h.

En nuestro caso hemos seleccionado un compresor de la marca *ATEX*, el modelo CL3.6/01, con una potencia nominal de 0,25kW y un peso de 30Kg. Se trata del modelo más pequeño de la gama, capaz de suministrar un caudal máximo de 38 m³/h, con una presión máxima de 125 mbar.



Ilustración 30. Soplador de biogás ATEX CL3.6/01. Fuente: <https://mapoint.com/sopladores-y-aspiradores-de-canal-lateral-y-tbt-aire-gas/?lang=es>

11.3 INSTALACIÓN DE GAS

11.3.1 Elementos de seguridad de la instalación gasista

Los elementos de seguridad de la planta están provistos de modo que, si algún equipo o sistema de control fallase durante las diferentes etapas de producción, permitan reaccionar interrumpiendo aquel proceso crítico. Dentro de los diferentes elementos de seguridad de la planta, cabe destacar los siguientes:

11.3.1.1 Válvula de alivio

Por razones de seguridad los tanques de almacenamiento de gas están dotados de válvulas de alivio para la presión exigida y para la presión negativa, de modo que se impidan cambios severos de presión no permitidos dentro del gasómetro.

Si en algún momento se produjese un aumento de la presión del biogás en el interior del gasómetro, que pudiera producir algún defecto en el mismo, la válvula de seguridad abrirá el circuito de forma automática hasta llegar a la presión de trabajo (20 mbar).

Esta válvula va montada junto al gasómetro, diseñadas para su instalación sobre las cubiertas de los digestores.

11.3.1.2 Antorcha

La antorcha o quemador corresponde al principal elemento de seguridad y protección del medio ambiente. Se trata de un equipo utilizado para eliminar o quemar el biogás generado en exceso durante el proceso de digestión. El gas se combustiona de forma segura y controlada en situaciones de emergencia, evitando su emisión directa a la atmósfera. Adicionalmente, las antorchas también se utilizan por motivos de exceso de

producción, baja calidad para su aprovechamiento, paradas de mantenimiento de otros equipos o por avería.

La selección de la antorcha se realiza en función del caudal de biogás producido, de modo que la antorcha seleccionada tiene que ser capaz de quemar el caudal máximo de biogás (18.87 m³/h) a presión normal.

La antorcha seleccionada es de la marca *ZORG BIOGAS*, el modelo FAI, el cual nos indica que se trata de una antorcha quemadora de gas abierta, donde la llama es visible. Tiene una capacidad de combustión máxima de 24 m³/h, con una presión de funcionamiento entre 2-40 mbar. La antorcha se opera manualmente, es decir, al abrir la válvula de gas se proporciona el suministro de gas, que mediante el presionamiento de un botón se enciende la antorcha quemando el gas.

Características de la antorcha:

- La antorcha es independiente a la tensión de red ya que está equipada con una batería.
- Fabricada en acero inoxidable con alta resistencia térmica.
- Instalación simple.
- Elementos de seguridad incorporados: Sistema apaga llamas integrado, evitando el retorno de la llama, válvula de corte del suministro de gas.
- Dispuesta a 5 metros de las edificaciones.

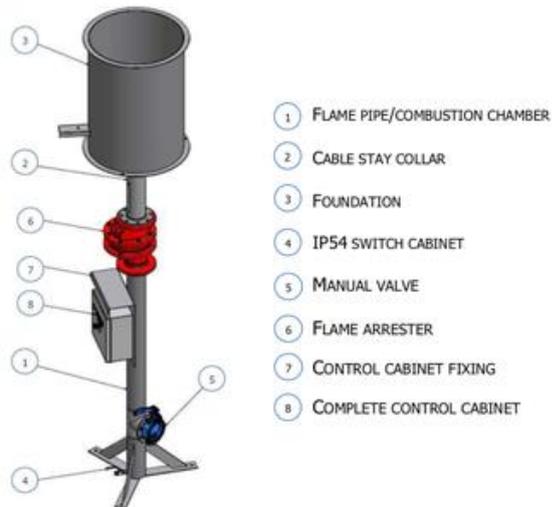


Ilustración 31. Antorcha de biogás abierta. Fuente: <https://www.biogas-flare.com/espa%C3%B1ol-1/serie-aql->

[i/](#)

11.3.2 Sistemas de purificación del biogás

El biogás procedente del proceso de digestión anaerobia está formado por una serie de compuestos los cuales afectan tanto en su capacidad calorífica para la generación como en la salud de las personas y del medio ambiente. Estos compuestos contaminantes también afectan al funcionamiento adecuado de los equipos que integran la planta.

Cuando el biogás sale del digestor, se encuentra saturado en agua y contiene además de metano CH_4 y dióxido de carbono CO_2 , diversas cantidades de sulfuro de hidrógeno H_2S y otros gases en pequeñas cantidades. Como hemos comentado en secciones anteriores, los únicos compuestos combustibles del biogás corresponden al metano y al hidrógeno, de modo que es necesario una purificación del biogás para eliminar los componentes no deseados, aumentando el poder calorífico del biogás y cumpliendo los requerimientos de funcionamiento de los equipos de la instalación.

Filtro de sulfuro de hidrógeno. La concentración de sulfuro de hidrógeno (H_2S) en el estiércol puede variar significativamente dependiendo de varios factores, como el tipo de estiércol, su composición, el estado de descomposición, las condiciones de almacenamiento y la gestión del estiércol. En general, los niveles de sulfuro de hidrógeno en el estiércol suelen ser bajos, pero pueden aumentar en situaciones específicas.

En nuestro caso hemos seleccionado un método físico-químico para la eliminación del ácido sulfhídrico, la adsorción a partir de carbón activado. El carbón activo actúa como elemento filtrante consiguiendo altos índices de eliminación del sulfuro de hidrógeno. Este se deposita en el interior de un tanque de acero inoxidable, formando un filtro a través del cual se hace pasar el biogás. El sulfuro de hidrógeno presente en el biogás se adhiere a la superficie de carbón activado debido a las fuerzas de atracción físico-químicas, dando lugar al biogás resultante desprovisto o al menos reducido significativamente el sulfuro de hidrogeno.

Este sistema de purificación se adapta a la perfección a todos los sistemas de producción de biogás. Es por ello que hemos seleccionado este sistema, ya que, al ser una planta con una producción relativamente baja de biogás por hora, adaptando el tamaño de filtro conseguimos unas tasas de remoción muy buenas. A esto hay que sumarle la inversión moderada que supone, ya que el único dispositivo a instalar es un tanque de acero inoxidable.

Sin embargo, presenta un inconveniente, y es la necesidad de sustituir el material absorbente de forma periódica cada vez que se satura (carbón activo). Por ello que el tanque está provisto de una tapa para el remplazo del mismo, además de una válvula de drenaje en el fondo, para eliminar los posibles condensados que pudiese generar.

Dimensionamiento del filtro. La capacidad de adsorción del carbón activo se encuentra alrededor de los 2,84 mmol H₂S/g, o lo que es lo mismo 0,10 g de H₂S por gramo de carbón activo (Núñez; García Berfon; López de García, 2020).

En nuestro caso hemos establecido una composición media del biogás de 600 ppm con un caudal de 18,97 m³/h, de modo que el H₂S a eliminar se obtendrá de la siguiente formula:

$$600 \text{ ppm} = 600 \frac{\text{ml}}{\text{m}^3}$$

$$600 \frac{\text{ml H}_2\text{S}}{\text{m}^3 \text{ biogás}} * 18,97 \frac{\text{m}^3 \text{ biogás}}{\text{h}} * \frac{1\text{L}}{1000 \text{ ml}} * \frac{1,18\text{g}}{\text{L}} = 13,43 \text{g H}_2\text{S/h}$$

El consumo de carbón activo será:

$$\frac{13,43 \frac{\text{g H}_2\text{S}}{\text{h}}}{0,10 \frac{\text{g H}_2\text{S}}{\text{g C. activo}}} = \frac{134,3\text{g}}{\text{h}} = 3,22 \text{Kg/día}$$

El tanque acumulador de carbón activo seleccionado es de 300L, de modo que teniendo en cuenta la densidad del carbón activo, la cantidad presente en el interior del tanque será de 141Kg.

El periodo de operación del tanque hasta el recambio del carbón activo será de:

$$\frac{141\text{kg}}{3,22 \text{ kg/día}} = 43 \text{ días}$$



Ilustración 32. Filtro de carbón activo para desulfuración de biogás

FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO

Material de construcción	Acero Inoxidable 316
Dimensiones	
Altura	1,51 m
Diámetro	0,5m
Volumen	300 L
Características de funcionamiento	
Caudal de biogás	18,87 m ³ /h
Cantidad de H ₂ S a eliminar	13,43 g/h
Eficiencia de eliminación	0,10g H ₂ S/ g de C. activado
Consumo de carbón cativo	3,22 kg/día
tiempo de operación por tanque	43 días

Tabla 44. Dimensiones y característica de funcionamiento del filtro de sulfuro de hidrógeno

Trampa de humedad. Como hemos comentado anteriormente, el biogás a su salida del gasómetro se encuentra saturado en humedad, de modo que es necesario eliminar la humedad para evitar la corrosión del equipo cogenerador. Esta humedad la eliminaremos a partir de la condensación del vapor del agua contenido en el biogás, a través del descenso de la temperatura de este.

Para ello es necesario la instalación sobre la línea de gas, un tanque de idénticas dimensiones al tanque utilizado para el filtro sulfhídrico, donde se producirá una expansión del gas a su entrada, que según la ecuación de los gases ideales dará lugar a una disminución de la temperatura provocando la condensación de la humedad contenida. Este tanque estará provisto de un grifo de purga en su parte inferior, por donde se eliminará periódicamente el agua contenida en su interior.



Ilustración 33. Trampa de Humedad para línea de biogás. Fuente <https://www.progecosrl.com/es/filtros-separadores-de-cicl%C3%B3n.html>

12. DIMENSIONAMIENTO DEL INTERCAMBIADOR

Dentro del digestor se encuentra el sustrato a una temperatura de 37°C. Para alcanzar esa temperatura y mantenerla constante durante el proceso de digestión anaerobia se requiere de un intercambiador de calor interno, el cual hace uso de la energía térmica procedente del motor de cogeneración.

Esto es una de las condiciones más importantes para garantizar una digestión estable y una producción constante de biogás, evitando así las fluctuaciones de temperatura en el interior del tanque y compensando las pérdidas de calor producidas a través de las paredes y cubierta del digestor.

El dimensionado del intercambiador está desarrollado en el Anejo 8 *Sistema de calefacción, Intercambiador*, donde además se hace referencia a los diferentes sistemas de calefacción que podemos encontrar en las plantas de digestión anaerobia.

En el presente proyecto hemos optado por un sistema de calefacción interno, donde se ha determinado la longitud necesaria del intercambiador para suministrar las pérdidas de calor producidas en el mes más desfavorable, enero. Esto tiene una relación directa con la temperatura externa al digestor ya que, cuanto mayor sea la diferencia de temperatura existente entre ambos espacios, mayor serán las pérdidas térmicas y, por lo tanto, mayores necesidades térmicas necesitaremos suministrar para mantener la temperatura estable.

Por lo tanto, el intercambiador diseñado para el mes más desfavorable está formado por un tubo de acero inoxidable 316 DN 32, con una longitud de 23 m.

El intercambiador se dispondrá de tal forma que rodeará aproximadamente 3/4 partes del perímetro total del digestor. Este se instalará en la mitad de la altura de digestión útil del reactor, es decir, a 2,25 m del suelo garantizando una distribución homogénea del calor.

Como podemos observar, las necesidades térmicas para compensar las pérdidas de calor producidas en el digestor y el calor necesario para calentar el sustrato en el mes más desfavorable son 27,35 Kw:

$$P_{requerida}: \text{Pérdidas digestor} + \text{Calor necesario sustrato}$$

$$P_{requerida}: 13,69KW + 13,66KW: \mathbf{27,35KW}$$

Estas necesidades térmicas están desarrolladas en el Anejo 8 *Intercambiador de calor* donde establecemos las siguientes temperaturas de trabajo, considerando la temperatura de funcionamiento del circuito secundario del sistema de cogeneración encargado de suministrar la energía térmica para el intercambiador:

Temperatura	Fluido Frio (sustrato)	Fluido Caliente (agua)
Temperatura entrada (°C)	15	85
Temperatura salida (°C)	37	80,17

Tabla 45: Temperaturas de entrada y salida del sustrato y del agua de intercambiador del digestor

Para llevar a cabo el dimensionamiento del intercambiador de calor se ha hecho uso del método logarítmico de temperaturas (LMTD), obteniendo el área necesaria de intercambio calorífico a partir de la siguiente ecuación de diseño.

$$Q = \frac{\Delta T_{lm}}{R_{total}} = U * A * \Delta T_{lm}$$

Donde:

Q: Es el calor transferido por el intercambiador; 27350W

U: es el coeficiente global de transferencia de calor en $W/m^2 * ^\circ C$

A: Es el área necesaria para la transferencia de calor

ΔT_{lm} : Diferencia de temperatura media logarítmica entre ambos fluidos; 56,15°C

El coeficiente global de transferencia de calor lo hemos determinado a partir de la siguiente expresión. En ella se incluyen los diferentes procesos de transferencia de calor desde el agua caliente hasta el sustrato. En primer lugar, el calor circulante en el agua caliente se transfiere por convección a la pared del intercambiador, posteriormente el calor se transfiere por conducción a través de la pared y por último, de la pared hacia el fluido frio (sustrato) de nuevo por convección. Se ha procedido a la estimación de los coeficientes individuales de película, tanto interna como externa y los factores de incrustación y con ellos se ha calculado el valor del coeficiente global de transferencia de calor, U, referido a la superficie interna del tubo interior obteniéndose un valor de:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_0} + \frac{r_0 \ln\left(\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right)}{\lambda} + \frac{r_0}{h_i r_i}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{258 \frac{W}{m * ^\circ C}} + \frac{0,0175m * \ln\left(\frac{0,0175m}{0,016m}\right)}{16,3 \frac{W}{m * ^\circ C}} + \frac{0,0175m}{1370 \frac{W}{m^2 * ^\circ C} * 0,016m}}$$

$$U = 209,62 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

Sustituyendo en la ya citada ecuación de diseño hemos obtenido un área de intercambio necesaria de:

$$A: 2,32 \text{ m}^2$$

Por lo que la longitud de intercambio para un tubo de acero INOXI316 DN32 será:

$$\text{Area de contacto será: } 2\pi r_{ext}L \rightarrow L = \frac{\text{Area}}{2\pi r} = \frac{2,32 \text{ m}^2}{2 * \pi * 0,0175 \text{ m}}: 21,09 \text{ m}$$

A la distancia resultante le aplicamos un coeficiente de mayoración de un 20%, garantizando mantener la temperatura estable hasta en los meses más desfavorables

$$\text{longitud final: } 21,09 + (21,09 \text{ m} * 0,2) \cong 23 \text{ m}$$

Finalmente, las características del intercambiador son las siguientes:

INTERCAMBIADOR INOXI316 DN32	
Q TRANSFERIDO EN ENERO	27350W
LONGITUD	23 m
AREA DE TRANSFERENCIA	2,53 m ²
DIAMETRO EXTERIOR	35 mm
DIÁMETRO INTERIOR	32 mm
CAUDAL CIRCULANTE	5 m ³ /h = 0,00139 l/s
VELOCIDAD	1,72 m/s
COEFICIENTE GLOBAL TRANS. CALOR	209,62 w/m ² * °C
PESO TOTAL	46,43 kg

Tabla 46. Características del intercambiador

La disposición del intercambiador se llevará a cabo mediante su montaje empotrado en la pared del digestor, a una distancia de 50 cm desde la parte externa del mismo. El montaje se realizará mediante cuatro abrazaderas, distribuidas de manera uniforme a lo largo del perímetro del intercambiador, diseñadas para soportar con eficacia el peso total, que asciende a 46,43 kg.

13. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

La infraestructura eléctrica que integrará nuestro proyecto se fundamenta en el conjunto de dispositivos y circuitos cuyo propósito principal es proporcionar energía a los motores que constituyen la instalación, asegurando así el correcto desarrollo de la digestión anaerobia. La implementación de una instalación eléctrica eficiente y adecuada desempeña un papel crucial en el suministro de energía a los motores. En este contexto, los conductores se dimensionarán considerando la potencia demandada por los receptores, asegurando así una distribución óptima de la electricidad necesaria para el funcionamiento de la planta. Este enfoque en el dimensionamiento de los conductores

contribuirá significativamente a la eficiencia y fiabilidad del sistema eléctrico de la instalación.

En la redacción del proyecto se ha tenido en cuenta la siguiente normativa:

- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, Decreto 842/2002 de 2 de Agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para baja tensión, y sus Instrucciones Técnicas Complementarias, (ITC) BT 01 A BT 51
- Normas de la compañía suministradora.

De acuerdo a la ITC-BT-04, la planta de biogás se clasifica como L-1: local de riesgo de incendio y/o explosión, por lo que independientemente de la potencia máxima prevista en la instalación, requiere la elaboración de Proyecto.

Al tratarse de una instalación a la intemperie, se clasifica además como local mojado.

Será objeto de inspección inicial y periódica (5 años), por tratarse de un local de riesgo de incendio y/o explosión.

La instalación eléctrica estará constituida en primer lugar por una caja general de protección y medida (CPM) donde en su interior se encontrará el equipo de medida. Esta se sitúa en el límite inferior de la planta, a partir de la cual se une a través de la derivación individual con el cuadro general de mando y Protección situado anexo al sistema de cogeneración.

El cuadro general de mando y Protección es el origen de todos los circuitos de la instalación eléctrica de la planta a a partir del cual se controlan todos los procesos de la misma.

Estará formado por 8 interruptores Automáticos magnetotérmicos (PIA), uno por cada línea individual de suministro eléctrico a los motores, y por 8 interruptores diferenciales encargados de proteger dichos circuitos individuales.

Además, como a partir de este cuadro también saldrá la línea encargada de suministrar energía a la torre de alumbrado, de modo que, esta línea estará formada por dos interruptores automáticos magnetotérmicos y un interruptor diferencial.

Iluminación:

Para la iluminación de la planta hemos establecido tres proyectores Leeds de la marca Philips con una potencia de 160W y 21000 Lumenes. Estos, los hemos distribuido de tal forma que permitieran iluminar las zonas de trabajo por la noche en caso de que hubiese una avería. En las siguientes imágenes se muestra una perspectiva clara de la proyección que se considerado oportuna para la correcta iluminación.

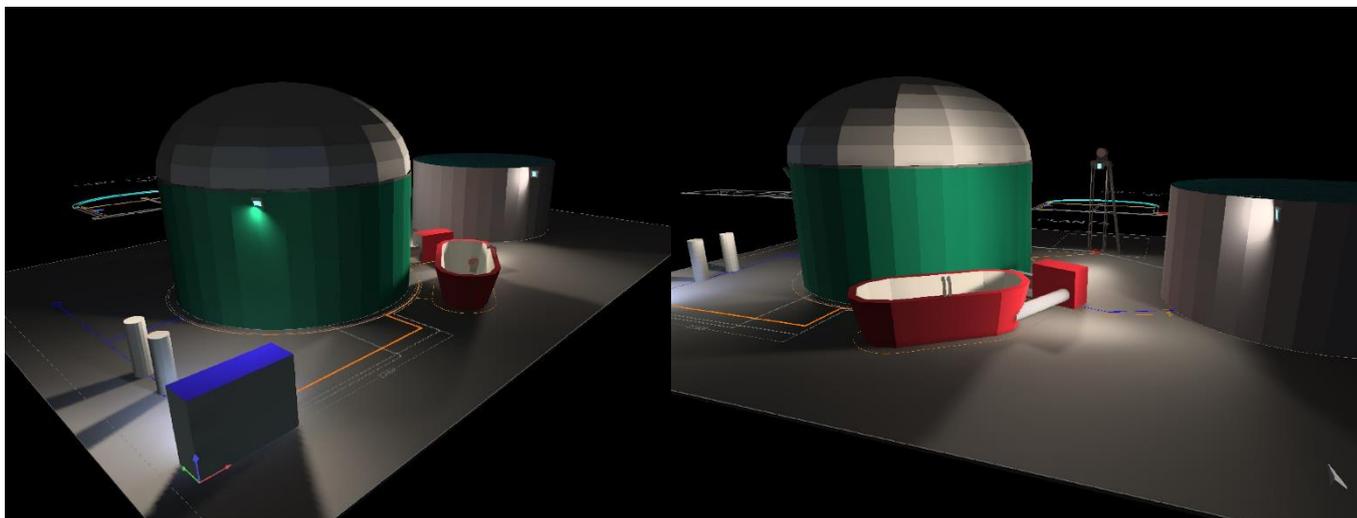


Ilustración 34 Prospectiva de la iluminación adaptada. Fuente: Elaboración propia

Potencia necesaria. La potencia total necesaria para el correcto funcionamiento de nuestra instalación: esta resumida en la siguiente tabla

RELACIÓN DE EQUIPOS DE FUERZA ELÉCTRICA INSTALADOS							
PLANTA DE BIOGÁS							
Equipo	Ud.	Capacidad	U (V)	Pa. Ud kW.	Pa. Total kW.	Coef. Simult.	P. Sim Kw
Bomba centrífuga 1	1	-	230	0.75	0.75	1	0.75
CC-Mix	1	-	400	11	11	1	11
Motores Alimentación Sólidos	2		400	11	22	1	22
Bomba Helicoidal digestato	1		400	2.2	2.2	1	2.2
Separador líquidos sólidos	1		400	2.2	2.2	1	2.2
Soplador	1		400	0.25	0.25	1	0.25
Agitador	1		400	1.5	1.5	1	1.5
					39.9		39.90
POTENCIA TOTAL INSTALADA EN FUERZA kW.						39.9	
POTENCIA TOTAL SIMULTANEA EN FUERZA kW.							39.90
POTENCIA TOTAL INSTALADA EN FUERZA y ALUMBRADO (kW)						40.40	
POTENCIA TOTAL SIMULTANEA EN FUERZA y ALUMBRADO (kW)						40.40	

Tabla 47 Potencia total demandada por la planta. Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de la potencia necesaria hemos considerado un coeficiente de simultaneidad 1 como medida de prevención. Esta potencia será necesaria extraerla de la

red para el proceso de arranque de la planta, ya que una vez esté funcionando a plena carga, la potencia necesaria será generada en la propia instalación. Como hemos comentado en epígrafes anteriores los motores demandantes de energía funcionarán entre 40 minutos a 2 horas al día, dependiendo de la función.

Selección de conductores. Los conductores seleccionados están descritos en el Anejo 12 *Instalación Eléctrica*. A modo de resumen comentar que se han seleccionado un conductor trifásico de 35 mm² para la derivación individual de la planta de biogás, encargada de suministrar los 40.40kW necesarios para el arranque de la planta. Para la conducción de la energía desde el cuadro general de mando y protección hasta los sistemas de bombeo y agitador se ha seleccionado un conductor de 2.5 mm² de sección, y para los equipos demandantes de 11kW, un conductor de 4 mm². Para los receptores con potencias inferiores a 1kW, se ha optado por un cable H07V-K 450/750 trifásico con una sección de sus conductores de 1.5 mm².

14. INSTALACIÓN DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

Toda edificación destinada al ejercicio de una actividad industria ha de poseer una serie de equipos e instalaciones contra incendios, que, en caso de producirse alguna situación de peligro para los trabajadores, haga que ésta sea eliminada en el menor tiempo posible y sin que se produzcan daños personales

En ese sentido, es de aplicación al presente Proyecto, el Real Decreto 2267/2004 de 3 de diciembre por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad contra Incendios en Establecimientos Industriales (R.S.C.I.E.I.).

La justificación de la instalación contra incendios adoptada figura en el Anejo 15 *Instalación contra incendios*. Los Planos del Proyecto de Ejecución contienen la planta de instalación contra incendios que representa todos los equipos adoptados.

15. INSTALACIONES AUXILIARES

La planta de biogás a su vez le hemos establecido unos elementos o sistemas que no forman parte del proceso productivo, Las franjas de filtros vegetales o filtros verdes. Estos cumplen la función vital de la preservación y protección del suelo, de los cursos de agua y de la biodiversidad del entorno. La incorporación de este elemento característico en la planta es debido a que en el margen izquierdo encontramos un cauce de agua cercano, y

debido a que durante el proceso productivo de la planta de biogás generamos desechos orgánicos (digestatos) los cuales contienen unidades fertilizantes, hemos decidido conveniente establecer un filtro verde evitando así que las posibles escorrentías originarias de la planta de biogás lleguen al cauce de agua.

- Filtro verde: El filtro verde tendrá la función principal de retener las escorrentías producidas en la planta de biogás, evitando así su llegada hasta el cauce de río cercano. Ocupará un largo de 28 metros aproximados, y 6 metros de ancho, y situado en el margen izquierdo de la planta de biogás, como podemos observarlo en el Plano 3. Estará formado por gramíneas espontáneas las cuales permitirán reducir la velocidad de flujo de las escorrentías debido a la gran capacidad de ramificación que producen, permitiendo su filtración en el propio filtro.

16. MEMORIA AMBIENTAL

Para la tramitación ambiental de este Proyecto se atenderá a la *Ley 11/2014, de 4 de diciembre, de Prevención y Protección Ambiental de Aragón*.

Dicha Ley tiene por objeto establecer el régimen jurídico de intervención administrativa ambiental aplicable, entre otros casos, a los proyectos, instalaciones y actividades susceptibles de producir efectos sobre el medio ambiente que se pretendan desarrollar en el ámbito territorial de Aragón, como es el caso que nos ocupa.

La Ley 11, en su artículo 5, establece los siguientes regímenes de intervención administrativa ambiental en los proyectos:

1- **Evaluación de impacto ambiental** para los proyectos a que se refiere el **artículo 23**.

2- **Autorización ambiental integrada** para las instalaciones a las que se refiere el **artículo 46**.

3- **Licencia ambiental de actividades clasificadas** para las actividades a las que se refiere el **artículo 71**.

4- **Licencia de inicio de actividad** a la que se refiere el **artículo 84**, para las instalaciones y actividades previamente sometidas a autorización ambiental integrada o a licencia ambiental de actividades clasificadas

El **artículo 23** de la Ley 11 indica los tipos de proyectos sometidos a evaluación de impacto ambiental, la cual puede ser **ordinaria** o **simplificada**.

Concretamente los proyectos sujetos a **evaluación de impacto ambiental ordinaria** son los que están comprendidos en el **anexo I** de la Ley, donde dichos proyectos se presentan ordenados en ocho grupos definidos según naturaleza de la actividad. El grupo 1 “ganadería” se refiere a explotaciones ganaderas de porcinas y avícolas. Entre los restantes grupos no figura ninguno relacionado con actividades agrícolas, ni asimilable a ellas.

El **anexo I** incluye también un último grupo bajo el epígrafe “otros proyectos” (**grupo 9**). En este grupo el apartado 9.1 se refiere a proyectos desarrollados en Espacios Naturales, Red Natura 2000 y Áreas protegidas por instrumentos internacionales. El caso no afecta a nuestro Proyecto ya que éste se ubica en un espacio que carece de figura de protección ambiental.

El apartado 9.2 se refiere cualquier proyecto que suponga un cambio de uso del suelo en una superficie igual o superior a 100 ha. Esa cifra es muy superior a los 961 m² que pasan a convertirse en explanada pavimentada o en viales de tierra en nuestro Proyecto.

Por todo lo analizado respecto al artículo 23, anexo I, de la Ley 11, **se concluye que el presente Proyecto no está sujeto a evaluación de impacto ambiental ordinaria.**

Los proyectos sujetos a **evaluación de impacto ambiental simplificada** son los comprendidos en el **anexo II** de la Ley 11, donde presentan una agrupación por tipos de actividad similar a la del anexo I.

El **Grupo 1** incluye “agricultura, silvicultura, acuicultura y ganadería”, pero el presente Proyecto no tiene encaje en ninguno de los casos recogidos en dicho grupo 1 del anexo II.

El **Grupo 2** incluye “Industrias de productos alimenticios”. Tampoco existe en este grupo ningún caso al que se pueda encajar o asimilar la actividad de limpieza, escocado y secado natural de almendras que se proyecta.

Los **Grupos del 3 al 8** son actividades ajenas al ámbito agrícola o agroindustrial que es la que corresponde con el objeto del presente Proyecto.

Por todo lo expuesto referido al artículo 23, anexo II, de la Ley 11, **se concluye que el presente Proyecto no está sujeto a evaluación de impacto ambiental simplificada.**

El **artículo 46** de la Ley 11 prescribe los tipos de proyectos que han de ser objeto de **Autorización Ambiental Integrada**. Dichos proyectos son los que desarrollen alguna de las actividades industriales incluidas en las categorías enumeradas en el **anexo IV** de la Ley, siempre que alcancen los umbrales de capacidad establecidos en el mismo.

Las actividades enumeradas en el **anexo IV** sujetas a Autorización Ambiental Integrada se aglutinan los 14 tipos o grupos.

El grupo 5 “Gestión de residuos” puede incluir el tipo de proyecto que nos ocupa.

En ese grupo 5, el caso “5.4” cuando la única actividad de tratamiento de residuos que se lleve a cabo en la instalación sea la digestión anaeróbica, los umbrales de capacidad para esta actividad serán de 100 toneladas al día.

En nuestro proyecto, la instalación lleva a cabo el tratamiento mediante la digestión anaerobia de 12,82 Toneladas por día, por lo tanto, queda por debajo del umbral fijado en 5.4.

El resto de casos del grupo 5 hace referencia a la valorización y eliminación de residuos peligrosos y no peligrosos de diferentes ámbitos.

En relación a lo analizado referido al artículo 46, anexo IV, de la Ley 11, **se concluye que el presente proyecto no está sujeto a la Autorización Ambiental Integrada.**

El artículo 71 de la Ley 11 establece los tipos de proyectos que han de ser objeto de **Licencia Ambiental de Actividades Clasificadas.**

Concretamente este Artículo 71 indica que las actividades sometidas a licencia ambiental de actividades clasificadas son las de construcción, montaje, explotación, traslado o modificación sustancial de las **actividades clasificadas** de titularidad pública o privada, siendo estas actividades clasificadas las que merezcan la consideración de molestas, insalubres, nocivas para el medio ambiente y peligrosas con arreglo a las definiciones que para esos cuatro términos establece el artículo 71.

En ese sentido la actividad que se proyecta se puede considerar **molesta** por dar origen a una perturbación por los **ruidos**. Podría plantearse incomodidad por generar **polvo** en suspensión.

Entendemos que se puede considerar **insalubre** ya que puede dar lugar a desprendimientos o evacuación de sustancias o productos que puedan resultar directa o indirectamente perjudiciales para la salud humana.

No se puede considerar **nociva** para el medio ambiente ya que no es susceptible de causar daños a la biodiversidad, la fauna, la flora, la tierra, el agua o el aire o suponer un consumo ineficiente de los recursos naturales.

Por último, se puede considerar una actividad **peligrosa** ya que tiene por objeto fabricar, manipular, transportar, expender, almacenar o eliminar productos susceptibles de

originar riesgos graves por explosiones, combustiones, radiaciones u otros de análoga naturaleza para las personas o los bienes con arreglo a la legislación vigente.

La actividad objeto del presente Proyecto, según se ha justificado en los párrafos anteriores, **no** está sujeta al otorgamiento de **Autorización Ambiental Integrada** y **no** ha de someterse a **Evaluación Ambiental ordinaria o simplificada**.

Por otro lado, claramente, este Proyecto **no** se puede exceptuar de la consideración de actividades clasificadas al no estar dentro de los casos enumerados en el **anexo V** de la **Ley 11**, donde se incluyen las actividades sujetas únicamente a la **Licencia Municipal de Apertura**. También queda al margen los casos recogidos en la Ley 12/2012 de liberalización del comercio.

En consecuencia no concurren ninguno de los supuestos que excluyen a un determinado proyecto del sometimiento al trámite Licencia Ambiental de Actividades Clasificadas.

Tras la discusión desarrollada en los párrafos anteriores referida al artículo 71 de la Ley 11 **se concluye que el presente Proyecto** ha de ser objeto de **Licencia Ambiental de Actividades Clasificadas**.

16.1 REPERCUSIÓN DE LAS ACTIVIDADES EN EL MEDIO AMBIENTE

- Objeto de este epígrafe.

Es objeto de este punto de la Memoria la descripción de las características de la actividad a desarrollar en relación con las afecciones que pudiera originar sobre el medio ambiente, a fin de dar cumplimiento a lo establecido en la Ley 7/2006, de 22 de junio, del Gobierno de Aragón, de Protección Ambiental, el Decreto 74/2011, de 22 de marzo, del Gobierno de Aragón, la Ley 34/2007, de 15 de noviembre de calidad del aire y protección de la atmósfera y el Real Decreto 100/2011, de 28 de enero, por el que se actualiza el catálogo de actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera.

- Clasificación de las actividades.

Las actividades que se proyectan se pueden considerar molestas por producción de ruidos y olores, e insalubre y nociva por generación de aguas residuales de limpieza, de aguas procedentes de los servicios higiénicos y de subproductos de los procesos.

ACTIVIDAD MOLESTA. Ruidos y olores.

- Ruidos.

Los ruidos serán los procedentes por el funcionamiento de los diferentes motores que componen la planta de biogás. En concreto la planta la componen ocho equipos motorizados los cuales no funcionan durante todo el día, sino que ha intervalos de tiempo concretos.

Los equipos que componen la planta, están desarrollados entre el punto 10 y 11 de la memoria. Estos equipos son accionados con motores eléctricos con potencias que mayoritariamente oscilan entre 0,5 kW y 2,2kW, a excepción de los equipos de alimentación, que son propulsados por motores de 11kW.

La alimentación se ha previsto para un funcionamiento durante 20 minutos, dos veces al día, mientras que la descarga del digestor se realizará en 1:58 minutos cada día. El sistema motorizado que más tiempo estará en funcionamiento, es el agitado, que se ha estimado un funcionamiento durante 7:30 al día. La diferencia con el resto de equipos, es que, este se encuentra en el interior del digestor, por lo que, gracias al buen grado de aislamiento acústico que ofrece la fachada del digestor, (0,325 m de hormigón armado + 10 cm de espuma de poliuretano expandido), el ruido será imperceptible.

El sistema de cogeneración descrito en la memoria, provoca un ambiente ruidoso con picos de hasta 70 dB(A), según la información recabada del fabricante de la máquina

Se superan los 55 dB propuestos como límite por OMS al aire libre para evitar efectos sobre el organismo. Por lo tanto, los operarios de la planta deberán usar protección auditiva.

La situación de proyecto podría asimilarse, del lado de la seguridad, al Tipo IV de ambiente exterior de la Ordenanza que corresponde con suelo de uso industrial, terminales de transporte de mercancías y actividades logísticas.

En nuestro caso, al pertenecer a la actividad agroindustrial y situarnos lejos de las zonas urbanas se considera una distancia suficientemente alejada para no producir molestias de ruidos.

- Olores

En cuanto a la generación de olores, aunque se trabaja con estiércoles y residuos orgánicos, esto no supondrá ningún problema debido a la distancia que nos separa con el

núcleo urbano. Se tratan de los olores propios de actividades ganadera, iguales a los que se producen las explotaciones ganaderas, pero en este caso con menor grado de molestia ya que el periodo de almacenamiento es breve, ya que se introduce lo antes posible en el reactor.

- Vibraciones

Todos los elementos móviles y giratorios de máquinas de las dos líneas están dotados de sistema anti vibraciones para evitar cualquier efecto molesto provocado por las mismas.

ACTIVIDAD INSALUBRE Y NOCIVA. Aguas residuales y subproductos.

- Aguas residuales.

Las aguas residuales generadas en la planta de biogás serán las resultantes debido a las escorrentías del digestato sólido, que tienen las mismas características que las producidas por los estiércoles ganaderos. Además, aunque el periodo de almacenamiento es corto, también habrá que tener en cuenta las escorrentías producidas por el ensilaje de sorgo y de los estiércoles que se almacenan

Como hemos comentado en el punto 14 de la memoria, instalaciones auxiliares, hemos determinado establecer un filtro verde encargado de recoger y filtrar las escorrentías procedentes del digestato y del almacenamiento del estiércol y sorgo, como medida de preservación y protección del suelo, de los cursos de agua y de la biodiversidad del entorno.

- Subproductos.

Respecto a los subproductos originarios de la planta de biogás. El único y más importante es el digestato. La parte líquida del mismo se almacenará en un depósito estanco, y la parte sólida sobre una solera de hormigón. El periodo máximo de almacenamiento será entre 3 y 4 meses, ya que será utilizado como fertilizante orgánico de las fincas de la explotación. Esta fertilización se realizará cumpliendo los niveles máximos permitidos de fertilización, ya que cada vez que se lleve a cabo la fertilización serán motivo de una analítica para determinar las unidades fertilizantes del digestato.

17. PRESUPUESTO

A continuación, se resume el presupuesto general incluyendo el presupuesto de la Obra civil e instalaciones y el coste de las máquinas y equipos.

RESUMEN DEL PRESUPUESTO DEL PROYECTO

1. Presupuesto de Obra Civil e instalaciones.

Presupuesto de Ejecución Material:			119,260.79 €
	Gastos generales:	13%	15,503.90 €
	Beneficio industrial:	6%	7,155.65 €
		TOTAL:	141,920.34 €
	IVA	21%	29,803.27 €

Presupuesto Base de Licitación de la Obra Civil e Instalaciones	171,723.61 €
-----------------------------------------------------------------	---------------------

2. Presupuesto de Maquinaria y Equipo

Sistema de cogeneración		75,000.00 €
Boma 1		150.00 €
Sistema CC-Mix		15,000.00 €
Sistema de alimentación		30,000.00 €
Separador BAUER S300		15,000.00 €
Bomba helicoidal		3,700.00 €
Soplador Biogás		400.00 €
Tanque de desulfuración y deshumificación		2,000.00 €
Antorcha		8,000.00 €
IVA	21 %	31,342.50 €

Presupuesto Base de Licitación Maquinaria y Equipo	180,592.50 €
----------------------------------------------------	---------------------

3. Presupuesto Total del Proyecto	352,316.11 €
------------------------------------------	---------------------

Huesca, en la fecha de la firma electrónica
El Ingeniero Agrónomo

18. ESTUDIO DE VIABILIDAD

El estudio económico realizado en el presente proyecto se ha realizado para determinar la viabilidad económica del Proyecto considerando diferentes situaciones. Para la realización del estudio, se ha contemplado como inversión inicial de 296.993 €.

El estudio económico está desarrollado en el Anejo 16 Estudio de la viabilidad económica.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'R. Lopez', located at the bottom center of the page.

BIBLIOGRAFÍA

- Abatzoglou, N., y Boivin, S. (2009). *A review of biogas purification processes*. En *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 3 (1), pp. 42-71. Recuperado de <https://doi.org/10.1002/bbb.117>.
- Agencia Andaluza de la Energía (2011). *Estudio básico del biogás*. Recuperado de https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/Documentos/estudio_basico_del_biogas_0.pdf.
- Al Seadi, T.; Rutz, D. et al. (2008). *Biogas handbook*. Esbjerg: University of Southern Denmark Esbjerg. Disponible en <https://www.lemvigbiogas.com/BiogasHandbook.pdf>.
- Amon, T. et al. (2007). *Methane production through anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotations*. En *Bioresource Technology*, 98 (17), pp. 3204-3212. Recuperado de DOI:[10.1016/j.biortech.2006.07.007](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.07.007).
- Börjesson, P. & Berglund, M. (2007). *Environmental systems analysis of biogas systems—Part II: The environmental impact of replacing various reference systems*. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 31, No. 5, (May 2007), pp. 326-344, ISSN 0961-9534.
- Borja Padilla, R.; Martín, A.; Durán Barrantes, M. M. y Maestro Durán, R. (1992). *Estudio cinético comparativo del proceso de digestión anaerobia del alpechín en los intervalos mesofílico y termofílico de temperatura*. En *Grasas y Aceites*, 43 (6), pp. 341-346. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10396/8314>.
- Cajigas Ceron, A. A.; Pérez Vidal, A.; Torres Lozada, P. (2005). *Importancia del pH y la alcalinidad en el tratamiento anaerobio de las aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca*. En *Scientia et Technica*, X (27), pp. 243-248.
- Campos, E., Elias, X. y Flotats, X. (2012). *Procesos biológicos: La digestión anaerobia y el compostaje*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Carrasco Allendes, J. L. (2015). *Evaluación técnica y económica de una planta de biogás para autoabastecimiento energético: una estrategia para diferentes contextos*. Recuperado de <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/133520/Evaluacion-tecnica-y-economica-de-una-planta-de-biogas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Chiva Vicent, S. et al. (2018). *Depuración de aguas residuales: digestión anaerobia*. Castelló de la Plana : Publicacions de la Universitat Jaume I. Recuperado de https://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/173363/Chiva_2018_Depuracion.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

- Chynoweth, D. P. (2004). *Biomethane from energy crops and organic wastes*. En *International Water Association (Eds.), Anaerobic Digestion 2004. Anaerobic Bioconversion . . . Answer for Sustainability, Proceedings 10th World Congress*, vol. 1, pp. 525-530. Recuperado de <http://www.ad2004montreal.org>.
- Cuesta Santianes, et al. *Informe de Vigilancia Tecnológica: situación actual de la producción del biogás y de su aprovechamiento*. En Colección de Informes de Vigilancia Tecnológica madri+d, 17.
- Dareioti, M. A. y Kornaros, M. (2015). *Anaerobic mesophilic co-digestion of ensiled sorghum, cheese whey and liquid cow manure in a two-stage CSTR system: Effect of hydraulic retention time*. En *Bioresource Technology*, 175, pp. 553-562. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.10.102>.
- Del Valle Morero, B.; Gropelli, E. y Campanella, E. A. (2011). *Revisión de las principales tecnologías de purificación de biogás*. Recuperado de https://core.ac.uk/display/158829583?utm_source=pdf&utm_medium=banner&utm_campaign=pdf-decoration-v1.
- Deublein, D. y Steinhauser, A. (2008) *Biogas from Waste and renewable Resources: An Introduction*. Wiley-VCH, Weinheim, pp. 89-290. Recuperado de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9783527621705>.
- Dirección General de Política Energética y Minas. (2018). *Protocolo de Detalle 01 (PD-01) Medición, Calidad y Odorización de Gas*. Recuperado de: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2018-14557.
- Elias Castells, X. (2005). *Tratamiento y valoración energética de residuos*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Fernández García, L. (2016). *Selección y dimensionado de un sistema de generación de biogás mediante digestión anaerobia de purines codigeridos con glicerina*. Recuperado de <https://rodin.uca.es/handle/10498/18784>.
- Flotats, X (2010). *Biogás y gestión de deyecciones ganaderas*. En SUIS, 72, pp. 22-29. Recuperado de <https://www.ivis.org/library/suis>.
- Fraile, D. (2008). *Cogeneración: Aspectos tecnológicos*. Recuperado de <https://www.eoi.es/sites/default/files/savia/documents/componente45275.pdf>.
- Fukuzaki, S., Nishio, N., Shobayashi, M., y Nagai, S. (1990). *Inhibition of the fermentation of propionate to methane by hydrogen, acetate, and propionate*. En *Applied and environmental microbiology*, 56 (3), pp. 719-723.

- García Pejenaute, T. (2012). Estudio para la gestión de residuos ganaderos mediante digestión anaerobia en el polígono ganadero de Funes (Navarra). Recuperado de <https://academica-e.unavarra.es/handle/2454/6266>.
- García-Arriaga, V.; Álvarez-Ramírez, J.; Amaya, M.; Sosa, E. (2010). *H₂S and O₂ influence on the corrosion of carbon steel immersed in a solution containing 3M diethanolamine*. En *Corrosion Science*, v. 52, pp. 2268–2279.
- GIZ México (2019). *Guía práctica de desulfuración biológica de biogás: Criterios de diseño, arranque y operación para sistemas con microaireación y con biofiltro percolador*. Recuperado de https://energypedia.info/images/5/58/Guia_practica_desulfuracion-biologica_biogas.pdf.
- Gruber, S.; Hilbert, J.; Sheimberg, S (2010). *Estudio de caso preliminar de generación eléctrica de 1 MW el con una planta de biogás de alta eficiencia*. Recuperado de <http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3291>.
- Herrmann, C. et al. (2012). *Particle Size Reduction during Harvesting of Crop Feedstock for Biogas Production I: Effects on Ensiling Process and Methane Yields*. En [BioEnergy Research](#), 5 (4), pp. 937-948. Recuperado de DOI:[10.1007/s12155-012-9207-1](https://doi.org/10.1007/s12155-012-9207-1)
- Herrmann, C., Heiermann, M.; Idler, C. (2011). *Effects of ensiling, silage additives and storage period on methane formation of biogas crops*. En *Bioresour Technology*, 102 (8), pp. 5153–5161. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.01.012>
- IDAE (2007). *Biomasa: Digestores anaerobios*. Recuperado de https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/documentos_10737_biomasa_digestores_anaerobios_a2007_0d62926d.pdf
- Institut Català d'Energia, Flotats, X. y Sarquella, L. (2008). *Producció de biogás per codigestió anaeròbia*. Recuperado de <http://hdl.handle.net/2117/2265>.
- Kunz, A. et al. (2022). *Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato*. Concórdia, SC: Embrapa.
- Lorente Sistiaga, J. (2021). *Evaluación técnico-económica de las plantas de biogás agroindustriales de Eslovenia y diseño de una planta centralizada tipo en base a la información recabada*. Recuperado de https://oa.upm.es/68815/1/TFG_JACOBO_LORENTE_SISTIAGA.pdf.

- Lorenzo Acosta, Y. y Obaya Abreu, M. C. (2005). *La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I*. En ICIDCA, *Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, XXXIX (1), pp. 35-48. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120659006>
- MARM (2010). *Caracterización de sistemas de gestión de deyecciones. Sector bovino de cebo*. Recuperado de https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/publicaciones/Bovino%20cebo_tcm30-105325.pdf.
- MARM (2010). *El sector del biogás agroindustrial en España*. Recuperado de https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/requisitos-y-condicionantes-de-la-produccion-ganadera/DOCBIOGASVersion21-09-2010_tcm30-110139.pdf.
- Mejía Sánchez, G. M. (1996). *Digestión anaerobia*. Mérida: UADY. Recuperado de https://books.google.es/books?id=1Sxpl-0KBgoC&pg=PP5&hl=es&source=qbs_selected_pages&cad=2#v=onepage&q&f=false.
- Makádi, M., Tomócsik, A., Orosz, V, 2011. *Digestate: A New Nutrient Source-Review*. Research Institute of Nyíregyháza, RISF, CAAES, University of Debrecen, Hungary. 14, 295-310
- Monnet, F. (2003). *An introduction to anaerobic digestion of organic wastes*. Final Report, Remade Scotland. Recuperado de <https://www.cti2000.it/Bionett/BioG-2003-002%20IntroAnaerobicDigestion.pdf>.
- Mosier, N. S. et al. (2005). *Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass*. En *Bioresource Technology*, 96 (6), pp. 673-686. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/311345221_Features_of_promising_technologies_for_pretreatment_of_lignocellulosic_biomass.
- Murphy, J.; Braun, R.; Weilaand, P.; Wellinger, A. (2011). *Biogas from Crop Digestion*. Recuperado de https://task37.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/32/2022/02/Update_Energy_crop_2011.pdf.
- NAMA Facility (2018). *Guía para el instalador de plantas de biogás de mediana y gran escala*. Santiago de Chile: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Recuperado de <https://4echile.cl/wp-content/uploads/2020/10/Gu%C3%ADa-para-el-instalador.pdf>.
- Núñez, M., García Berfon, L., y López de García, C. (2020). *Evaluación de la remoción de sulfuro de hidrógeno de biogás empleando arcilla ecuatoriana modificada con sodio*,

- zinc y cobre y adaptada morfológicamente. En *Avances: Investigación En Ingeniería*, 17 (1). Recuperado de <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.6110>
- Pacual, A.; Ruiz, B., Gómez, P.; Flotats, X y Fernández, B. (2011). *Situación y potencial de generación de biogás. Estudio Técnico PER 2011-2020*. Madrid: IDAE.
- Palau Estevan, C. V. (2016). *Digestión anaerobia de residuos de biomasa para la producción de biogás. Fundamentos*. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10251/68331>
- Palmowski, L. y Müller, J. A. (2000). *Influence of the size reduction of organic waste on their anaerobic digestion*. En *Water science and technology*, 41 (3), pp. 155-162.
- Parralejo Alcobendas, A. I. (2020). *Cultivos energéticos y residuos agro-ganaderos como sustratos para optimizar el potencial de generación de biogás en procesos de digestión anaerobia*. Recuperado de https://dehesa.unex.es:8443/bitstream/10662/11125/1/TDUEX_2020_Parralejo_Al_cobendas.pdf.
- Pavlostathis, S. G. y Giraldo-Gomez, E. (1991). *Kinetics of anaerobic treatment: A critical review*. En *Critical Reviews in Environmental Control*, 21: 5-6, pp. 411-490, DOI:[10.1080/10643389109388424](https://doi.org/10.1080/10643389109388424).
- Pérez Santana, M. (2022). *Diseño de una planta de biogás para el aprovechamiento de energía en una estabulación de ganado vacuno*. Recuperado de <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/25508>.
- Petersson, A. (2013). *Biogas cleaning*. En Wellinger, A., Murphy, J., Baxter, D. (Ed.) *The biogas handbook: science, production and applications*. Cambridge: Woodhead Publishing, pp. 329–341.
- PROBIOGAS (2011). *Guía de utilización agrícola de los materiales digeridos por biometanización*. Murcia: CSIC. Recuperado de [http://213.229.136.11/bases/ainia_probiogas.nsf/0/89A368DD73F7282DC125753F00587325/\\$FILE/PROBIOGAS_GuiaDigerido.pdf](http://213.229.136.11/bases/ainia_probiogas.nsf/0/89A368DD73F7282DC125753F00587325/$FILE/PROBIOGAS_GuiaDigerido.pdf).
- PSE PROBIOGAS (2009). *Cuantificación de materias primas de origen ganadero*. Recuperado de [http://213.229.136.11/bases/ainia_probiogas.nsf/0/42EBC9523D85C2FCC12575380034A6A1/\\$FILE/Inf_cuantificacion_ganadero_07-10-2009.pdf](http://213.229.136.11/bases/ainia_probiogas.nsf/0/42EBC9523D85C2FCC12575380034A6A1/$FILE/Inf_cuantificacion_ganadero_07-10-2009.pdf).

- Revah, S., y Noyola, A. (1996). *El mercado de la biotecnología ambiental en México y las oportunidades de vinculación Universidad-Industria*. En *Fronteras de la biotecnología y Bioingeniería*, SMBB, pp. 121-133.
- Sánchez Rubal, J. (2016). *Optimización de la agitación de un digestor anaerobio mediante mecánica de fluidos computacional*. Recuperado de https://oa.upm.es/39549/1/Jesus_Sanchez_Rubal.pdf.
- Santolaria Capdevila, C. (2014). *Diseño de un modelo semiempírico de codigestión anaerobia*. Recuperado de <https://zaguan.unizar.es/record/13372/files/TAZ-PFC-2014-027.pdf>
- Sebastián Nogués, F.; García Galindo, D.; y Rezeau, A (Coord) (2010). *Energías renovables: Energía de la biomasa (volumen II)*. Zaragoza: Prensas de la Universidad de Zaragoza. Recuperado de <http://puz.unizar.es/google-book.php?isbn=978-84-15031-01-7>.
- Stams, A. J. M. (1994). *Metabolic interactions between anaerobic bacteria in methanogenic environments*. Antonie van Leeuwenhoek, 66, pp. 271–294. <https://doi.org/10.1007/BF00871644>
- The Engineering ToolBox (2003). *Fuels - Higher and Lower Calorific Values*. Disponible en: https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-higher-calorific-values-d_169.html.
- Torrecilla del Rey, A. (2021). *Potencial de distintos residuos orgánicos para la producción de biogás vía digestión y codigestión anaerobia*. Recuperado de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/48763/TFG-I-2020.pdf?sequence=1>.
- Van Groenestijn, J. W., y Hesselink, P. G. (1993). *Biotechniques for air pollution control*. En *Biodegradation*, 4, pp. 283-301.
- Varnero Moreno, M. T. (2011). *Manual de biogás*. Santiago de Chile: FAO. Recuperado de <https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>.
- Varnero, M. T. y Arellano, J. (1990). *Aprovechamiento racional de desechos orgánicos*. Ministerio de Agricultura (FIA). Santiago de Chile: Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales.
- Vera-Reza, A. et al. (2006). *Estabilización de lodos residuales municipales por medio de la técnica de la lombricompostaje*. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Laura-Ortiz-Hernandez/publication/267972657_ESTABILIZACION_DE_LODOS_RESIDUALES_MUNICIPALES_POR_MEDIO_DE_LA_TECNICA_DE_LOMBRICOMPOSTAJE

</links/54ec88380cf27bfd770f449/ESTABILIZACION-DE-LODOS-RESIDUALES-MUNICIPALES-POR-MEDIO-DE-LA-TECNICA-DE-LOMBRICOMPOSTAJE.pdf>.

Vivan, M. et al. (2010). *Efficiency of biodigester and stabilization pond interaction in removal of swine manure pollutants*. En *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14 (3). Recuperado de <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000300013>.

Wannasek, L.; Ortner, M.; Amon, B. et al. (2017). *Sorghum, a sustainable feedstock for biogas production? Impact of climate, variety and harvesting time on maturity and biomass yield*. En *Biomass and Bioenergy*, 106, pp. 137-145. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.08.031>.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis térmico de la localidad de Olsón. Fuente: elaboración propia	14
Tabla 2. Precipitación media mensual (2004-2023)	15
Tabla 3. Rangos de temperatura para el proceso de digestión anaerobia (Flotats, 2010)	21
Tabla 4. Valores promedio C/N en algunos residuos disponibles. Fuente: Varnero y Arellano (1991)	26
Tabla 5. Inhibidores en procesos de descomposición anaeróbica y concentraciones perjudiciales (Henze, 1995).	28
Tabla 6. clasificación de reactores anaerobios para residuos ganaderos (García Pejenaute, 2012).	29
Tabla 7. Sustancias contaminantes en el biogás y sus efectos. Fuente: “El sector del biogás agroindustrial en España” (MARM, 2010).	39
Tabla 8. Composición media del biogás. Fuente: “El sector del biogás agroindustrial en España” (MARM, 2010).....	45
Tabla 9. Especificaciones de calidad del gas procedente de fuentes no convencionales introducido en el sistema gasista. Fuente: Protocolo de detalle O1 (PD-01) de Medición, calidad y odorización de gas.	48
Tabla 10. Características de los digeridos encontrados en la bibliografía (PROBIOGAS, 2011).	49
Tabla 11. Características de los digeridos sólidos (fracción sólida separada) encontrados en la bibliografía (PROBIOGAS, 2011).....	50
Tabla 12. Valores medios para los estiércoles bovinos	51
Tabla 13. Densidades de ensilado, pérdidas de almacenamiento y productos de fermentación en el ensilado de forrajes picados con distintas longitudes nominales en el momento de la cosecha (valores medios de triplicados, las desviaciones estándar figuran entre paréntesis) (Herrmann et al., 2012).	53
Tabla 14. Sorgo (Herrmann et al., 2012)	53
Tabla 15. Características del sorgo ensilado.....	54
Tabla 16. Características de la mezcla propuesta	55
Tabla 17. Diseño del proceso seleccionado y sus respectivos motivos.....	57
Tabla 18 Modelo Chen-Hashimoto aplicado al digestor. Fuente: elaboración propia.....	57
Tabla 19. Parámetros base digestor. Fuente: Elaboración propia	58
Tabla 20. Parámetros del digestor. Fuente: Elaboración propia.....	59
Tabla 21. Rendimientos eléctrico y térmico. Fuente: elaboración propia.....	60
Tabla 22. Características del reactor anaerobio. Fuente: elaboración propia.....	67

Tabla 23. Características del tanque de almacenamiento del líquido. Fuente: elaboración propia.....	68
Tabla 24. Características del sistema de alimentación. Fuente: https://www.siloking.com/es/productos/siloking-staticline-4-0-biogas-premium	71
Tabla 25. características del sistema de mezclado CC-MIX. https://www.vogelsang.info/es-es/productos/alimentador-de-materia-solida/cc-mix/	72
Tabla 26. Características técnicas del agitador seleccionado. Fuente: elaboración propia	74
Tabla 27. Potencia eléctrica a generar	75
Tabla 28. Características técnicas del sistema cogeneración ALTARE A50B. Fuente: Altare	77
Tabla 29. Producción energética anual en la planta de biogás	78
Tabla 30. Dimensionamiento del separador de líquidos sólidos.....	79
Tabla 31. Características del separador líquido sólido. Fuente Bauer catalogo	80
Tabla 32. Producciones diarias de digestato líquido y sólido.....	81
Tabla 33. Esquema general de las líneas circulante de líquidos definidas.....	83
Tabla 34. Características generales de la línea 1. Fuente: Elaboración propia	83
Tabla 35. Características generales línea 2. Fuente: Elaboración propia.....	85
Tabla 36. Características generales de la línea 3. Fuente: elaboración propia	88
Tabla 37. características generales de la línea 4. Fuente: elaboración propia	88
Tabla 38. características bomba helicoidal Kiber KSF-50. Fuente: Kiber	90
Tabla 39. Dimensiones y característica de funcionamiento del filtro de sulfuro de hidrógeno.....	95
Tabla 40	97
Tabla 41. Características del intercambiador	98

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Mapa geográfico de la situación de la Comarca del Sobrarbe. Fuente: icearagon.aragon.es	12
Ilustración 2. Mapa geográfico de la situación de Olsón. Fuente: icearagon.aragon.es ...	12
Ilustración 3. Mapa detallado de la ubicación de la explotación a estudio. Fuente: sigpac.mapama.gob.es	13
Ilustración 4. Gráfico con temperaturas mensuales máximas, mínimas y media de medias realizado a partir de la estación de meteorología de Banastón entre 2004 y 2023. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de la Oficina del Regante (2023)	15
Ilustración 5. Diagrama ombrotérmico de Gaussen realizado mediante los datos de temperaturas medias y precipitaciones medias del municipio de Banastón (2004-2023). Fuente: elaboración propia a partir de los datos de la Oficina del Regante (2023).....	16
Ilustración 6. Esquema del proceso de digestión anaerobia (Pavlostathis y Giraldo-Gómez, 1991). 1) Bacterias fermentativas; 2) Bacterias acetogénicas; 3) Bacterias homoacetogénicas; 4) Bacterias metanogénicas hidrogenotróficas; 5) Bacterias metanogénicas acetoclásticas.....	18
Ilustración 7. La Figura 3.7 muestra las tasas de producción relativa de biogás según la temperatura y el tiempo de retención (Al Seadi, T.; Rutz, D. et al., 2008)	21
Ilustración 8. Tasa de crecimiento de los microorganismos metanogénicos psicrófilicos, mesófilicos y termófilicos (Varnero Moreno, 2011).....	22
Ilustración 9. Eliminación de sólidos volátiles, SV(%) y producción volumétrica de gas Pv (m ³ .biogás/ m ³ .día) para un reactor anaerobio continuo de mezcla completa, en función del tiempo de retención hidráulico. Fuente: Centro GIRO (Gestión Integral de Residuos Orgánicos)	23
Ilustración 10. Producción de gas por unidad de carga en función de la velocidad de carga orgánica (OLR) (Elias Castells, 2005, p. 631).	24
Ilustración 11. Concentración de amonio, ácido acético y propiónico a los diferentes días y según los cambios de temperatura (Deublein y Steinhäuser, 2008).	27
Ilustración 12. Esquema de configuración de un reactor de mezcla completa (Carrasco Allendes, 2015).....	30
Ilustración 13. Digestor flujo pistón (Pacual, Ruiz, Gómez, Flotats y Fernández, 2011)...	31
Ilustración 14. Digestores de filtros anaerobios. Fuente: Informe de vigilancia Tecnológica Madrid “Situación actual de la producción de biogás y su aprovechamiento”.....	32
Ilustración 15. Digestores de lecho de lodos UASB. Fuente: Informe de vigilancia Tecnológica Madrid “Situación actual de la producción de biogás y su aprovechamiento	33

Ilustración 16. Digestor discontinuo. Fuente: Informe de Vigilancia Tecnológica Madrid “Situación actual de la producción de biogás y de su aprovechamiento”.	34
Ilustración 17. Digestor en sistema de dos fases (Pacual, Ruiz, Gómez, Flotats y Fernández, 2011).	34
Ilustración 18. Alternativas de utilización de biogás y sus requerimientos de purificación	40
Ilustración 19. Curva de depuración y producción volumétrica de metano para un reactor de mezcla completa con recirculación en función del tiempo de retención hidráulico. Fuente: elaboración propia	58
Ilustración 20. Armadura	66
Ilustración 21. Esquema de gasómetro de doble membrana (Tecon textiles de construcción): 1 Membrana exterior. 2 Membrana interior. 3 Sistema de abrazaderas. 4 Columna central. 5 Anclajes. 6 Ventana de inspección. 7 Medidor de nivel. 8 Soplante. 9 Válvula de regulación de presión. 10 Válvula antirretorno. 11 Válvula de seguridad.....	70
Ilustración 22. Sistema de alimentación elegido. Fuente: https://www.siloking.com/es/productos/siloking-staticline-4-0-biogas-premium	71
Ilustración 23. Sistema CC-MIX de Vogelsang. Fuente: https://www.vogelsang.info/es-es/productos/alimentador-de-materia-solida/cc-mix/	72
<i>Ilustración 24. Esquema final del proceso de alimentación</i>	72
Ilustración 25. Agitador sumergible seleccionado (izqda.). Guía de trabajo del agitador (dcha.). Fuente: Zorg biogás	74
Ilustración 26. <u>Esquema de una unidad de cogeneración. Fuente: https://lonjastec.es/es/biogas-2/</u>	75
Ilustración 27. Separador BAUER SEPARATORS300. Fuente: Bauer página web	81
Ilustración 28. Bomba BCN RG-100M. Fuente: BCN bombas.....	89
Ilustración 29. Bomba KIBER KSF-50. Fuente: KIBER bombas	90
Ilustración 30. Soplador de biogás ATEX CL3.6/01. Fuente: https://maprint.com/sopladores-y-aspiradores-de-canal-lateral-y-tbt-aire-gas/?lang=es	91
Ilustración 31. Antorcha de biogás abierta. Fuente: https://www.biogas-flare.com/espa%C3%B1ol-1/serie-aql-i/	92
Ilustración 32. Filtro de carbón activo para desulfuración de biogás	94
Ilustración 33. Trampa de Humedad para línea de biogás. Fuente https://www.progecosrl.com/es/filtros-separadores-de-cicl%C3%B3n.html	95

ANEJOS

ÍNDICE DE ANEJOS

1. Condiciones Urbanísticas
2. Cuantificación de los residuos a introducir en el digestor
3. Estimación de la producción de biogás
4. Modelo Chen-Hashimoto para la digestión anaerobia
5. Cálculos del Digestor
6. Dimensionamiento del digestor
7. Almacenamiento del biogás o gasómetro
8. Sistemas de calefacción o intercambiador
9. Sistemas de agitación
10. Diseño Hidráulico
11. Sistemas de impulsión
12. Instalación eléctrica
13. Instalación de protección contra incendios
14. Estudio básico de seguridad y salud
15. Residuos generados
16. Estudio de la viabilidad económica

ANEJO 1

CONDICIONES URBANÍSTICAS

- 1. INTRODUCCIÓN.

Será de aplicación al presente Proyecto la siguiente normativa en materia urbanística:

- Decreto Legislativo 1/2014, de 8 de julio, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Urbanismo de Aragón.
- Plan General de Ordenación Urbana de Aínsa-Sobrarbe.
- Ley 11/2014, de 4 de diciembre, de Prevención y Protección Ambiental de Aragón.

La calificación urbanística del suelo es: SUELO NO URBANIZABLE GENÉRICO.

- 2. JUSTIFICACIÓN URBANÍSTICA DEL PROYECTO EN CURSO.

2.1. ANTECEDENTES.

Las actividades que nos ocupa, descritas en esta Memoria, conforman una industria agraria ligada a la manipulación de residuos orgánicos que por sus dimensiones y por su funcionalidad debe emplazarse en el medio rural, alejada de zonas urbanas y comerciales.

El uso del suelo podría clasificarse como actuación específica de interés público, ya que como se indica en el apartado 3.a) del artículo 5.1.7 de las normas urbanísticas del municipio de Aínsa-Sobrarbe; incluyen los usos relacionados con la explotación agraria que, por dimensión industrial, grado de transformación de la materia prima u otros factores que no están directamente ligados con la tierra, requieren emplazarse en el medio rural.

A nivel urbanístico, para la implantación de actividades agroindustriales en suelo no urbanizable genérico existe la figura de *“construcción de instalaciones mediante autorización especial”*.

El Proyecto de ejecución de la planta de biogás por la sociedad GANADOS ARCAS S.L, se someterá al correspondiente trámite de declaración de interés social

ante el Ayuntamiento de Aínsa-Sobrade, obteniéndose la autorización especial en suelo no urbanizable genérico para el Proyecto de construcción de la Planta de biogás en Olsón, según Decreto municipal 2059-U/2015 de 26 de noviembre de 2015.

Las grandes dimensiones del reactor principal, así como el trabajo con sustancias explosivas y la acumulación a lo largo del año de diversas materias primas, hacen inevitable el emplazamiento del establecimiento en el medio rural.

Esta ubicación facilita el acopio de materias primas al situarse anexa a la explotación agrícola-ganadera generadora del cien por cien de los residuos a tratar en la planta de biogás. Además, debido a la proximidad de la línea de alta tensión, permite una conexión directa a la red.

Otro motivo por el que resulta positivo su emplazamiento en el medio rural es el uso de la distancia a núcleos urbanos y polígonos industriales, como medida correctora de las molestias por ruido y generación de polvo que esta actividad puede devengar.

2.2. PROYECTO ACTUAL

El presente Proyecto, que ahora se tramita, se trata de un proyecto de ejecución donde se proyecta un reactor anaerobio como estructura principal destinado a la digestión anaerobia de los sustratos generados en la propia explotación agrícola. Además del reactor principal, en el proyecto se dimensiona un depósito cilíndrico abierto por su parte superior destinado a la acumulación del digestato líquido una vez se extrae del digestor primario. Como equipos auxiliares que conforman la instalación, nos encontramos el sistema de cogeneración, así como todos los equipos de limpieza y filtrado del biogás junto con las instalaciones hidráulicas y eléctricas.

El reactor primario ocupará un espacio de **95 m²** de los 961 m² totales de la planta de biogás.

2.3. APLICACIÓN DE LA NORMATIVA URBANÍSTICA.

El PGOU de Aínsa-Sobrarbe, para la implantación de actividades industriales en suelo no urbanizable genérico, considera adecuado el procedimiento de autorización especial mediante la declaración de interés social del Proyecto.

El documento de Régimen Urbanístico del Suelo, en su Artículo 5.1.19, establece las condiciones particulares de la edificación vinculada a actuaciones específicas de interés público con las siguientes limitaciones (BOP nº 264 de 16 de noviembre de 2001).

1. Parcela mínima: 10.000 m².
2. Cuando den frente a caminos, retranqueo de la arista exterior del camino no inferior a 8 metros
3. Retranqueo mínimo a linderos 10 metros
4. Ocupación máxima: 50%
5. Altura total: las necesarias funcionalmente
6. Edificabilidad máxima: no será superior a un metro por cada un metro cuadrado de parcela (1m²/m²)

El ayuntamiento podrá eximir del cumplimiento de todas o algunas de las condiciones anteriores cuando por los especiales requerimientos de la edificación o su emplazamiento lo considere oportuno.

En los expedientes anteriores quedó justificada la necesidad de implantación de esta actividad agroindustrial en suelo no urbanizable genérico, utilizando para ello el procedimiento para autorización especial de usos mediante declaración de interés público del Proyecto.

En el siguiente cuadro comparativo se identifican las condiciones menos restrictivas vigentes para la tramitación del presente Proyecto en el marco del interés social aprobado. Se justifica el cumplimiento de los parámetros urbanísticos que, según el razonamiento anterior, resultan de aplicación a este Proyecto:

PGOU AINSA-SOBRARBE	Edificaciones vinculadas a actividades declaradas de interés público.	Proyecto	Cumple
Parcela mínima	10.000 m ²	170906 m².	SI
Ocupación máxima	50 %	0,56 %	SI
Altura total	Las necesarias	9,08 m	SI
Edificabilidad	1m ² /m ²	20,81 %	SI
Retranqueo a linderos	10 m.	Digestor: >10m	SI

Tabla 1. Condiciones urbanísticas cumplidas en el Proyecto

A la vista de la justificación anterior, las construcciones previstas en el Proyecto cumplen con las condiciones urbanísticas que les resultan de aplicación, ya que se dispone de la declaración de interés social para el Proyecto.

Por las características propias de la actividad y los volúmenes de productos previstos, la actividad que nos ocupa queda identificada como industria agraria dedicada a la producción de energía eléctrica y térmica a partir de una digestión anaerobia de residuos agrícolas y ganaderos.

Según la Ley 11/2014, de 4 de diciembre, de Prevención y Protección Ambiental de Aragón, esta actividad requiere para su desarrollo únicamente de LICENCIA AMBIENTAL DE ACTIVIDAD CLASIFICADA, por considerarse una actividad molesta e insalubre, tal y como consta también en el condicionado de la resolución del Consejo Provincial de Urbanismo.

Esta actividad no se encuentra incluida en los Anexos I y II de la Ley 11/2014, por lo que no resulta procedente la evaluación de impacto ambiental de Proyecto.

ANEJO 2

CUANTIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS A INTRODUCIR EN EL DIGESTOR

En este anejo se va a cuantificar los residuos que se generan en la explotación, para ello es necesario establecer una situación inicial de la explotación.

- **Producción de estiércol.**

Como hemos dicho anteriormente, la explotación cuenta con 360 terneros de cebo divididos en 3 etapas diferenciadas:

- La cría, donde el ternero llega procedente de granjas lecheras con peso de 40-50Kg. En esta etapa se procede a una lactancia artificial de los mismos, ya que cuentan con tan solo 10-12 días de vida. Esta etapa dura hasta el destete, el cual se lleva a cabo a los 70-80 días tras iniciar la fase de cría, con un peso aproximado de 110- 120 Kg.
- La recría, donde se les aporta un pienso inicial tras el destete, esta etapa va desde el destete hasta los 120 días antes del sacrificio, con un peso final de 300kg.
- Cebo o acabado, donde el ternero se alimenta con un pienso de finalización los últimos 120 días antes del sacrificio con 500Kg de peso vivo.

De tal forma, la explotación se encuentra dividida en tres lotes diferenciados, con 120 animales por lote, de modo que, con estos datos de partida, podemos llevar a cabo los cálculos necesarios para cuantificar el estiércol generado. Esto será crucial para el dimensionamiento del digestor y, al mismo tiempo, determinar la cantidad de biogás generado. Como resultado, se establecerá la disponibilidad de energía eléctrica y térmica para su uso posterior.

La ecuación de la cantidad específica de estiércol queda definida en (Fernando Sebastián Nogués, 2010) como

$$E = NA * PVP * PE$$

Donde:

NA = Número de animales

PVP = Peso vivo promedio del animal

PE = Producción de estiércol por animal por día, en porcentaje de peso vivo: 5%

- FASE CRÍA

$$E = 120 * 82 * 0,05 = 492 \frac{kg}{dia}$$

A lo largo del año se van a llevar a cabo 5 crías de mamones con una duración media de 70 días, dejando un intervalo de días entre cría y cría para procesos de desinfección entre los diferentes lotes.

$$E_{ANUAL} = 492 * 350 \text{ dias} = \mathbf{172200kg}$$

- FASE RECRÍA

$$E = 120 * 210 * 0,05 = 1260 \frac{kg}{dia}$$

En esta fase, se va a llevar a cabo 3 lotes anuales con una duración media de 120 días por lote, dejando un intervalo de días entre los diferentes lotes para procesos de desinfección

$$E_{ANUAL} = 1260 * 345 \text{ dias} = \mathbf{434700kg}$$

- FASE DE CEBO

$$E = 120 * 400 * 0,05 = 2400 \frac{kg}{dia}$$

En la fase de cebo o acabado, se van a realizar tres crías anuales con una media de 120 días por lote.

$$E_{ANUAL} = 2400 * 360 \text{ dias} = \mathbf{864000kg}$$

De modo que, la producción anual de estiércol bovino es de:

$$E_{TOTAL} = 172200 + 434700 + 864000 = \mathbf{1470900KG} = \mathbf{1470,09 TONELADAS}$$

Ante la imposibilidad de realizar análisis químicos en el residuo generado, hemos decidido tomar los parámetros proporcionados por la Corporación Técnica Alemana para el desarrollo sostenible (GTZ), respecto al residuo orgánico producido por los terneros.

Clase de animal	% por peso vivo		% del material de digestión		Relación C/N	P – Producción de biogás (m ³ de gas/1kg SO)
	PE - Estiércol	PO - Orina	%EST – Sólidos	%SO – Sólidos Orgánicos		
Vacunos	5	4	15-16	13	20	0,250
Cerdos	2	3	16	12	13	0,350
Caprinos, ovejas	3	1,5	30	20	30	0,200
Caballos	5	4	25	15	20	0,250
Avícolas, gallinas	4,5	4,5	25	17	5-8	0,400
Humanos	1	2	20	15	8	0,300

Tabla 2. Valores y características de diferentes estiércoles. Fuente:GTZ,1987

Con el objetivo de corroborar los datos proporcionados por la Corporación técnica alemana, hemos decidido compararlos con los diferentes estudios analizados, tales como el consorcio *PROBIOGAS*. Esta comparación ha producido un margen de error aceptable, siendo todos los datos de los diferentes estudios similares, de modo que se ha concluido que los datos proporcionados por la Corporación Técnica Alemana son aceptables.

Subcategoría	Coef. Directo (t/cabeza*año)	ST (%)	SV (% ST)	Kg SV/ (cabeza*d)
G2.01 Cebo	4,85 [3,15-6,55]	[13,00 – 27,00 %]	80,00%	2,127
G2.02 Reposición hembra	11,11 [10,00-12,22]	[18,00 – 22,00 %]	80,00%	4,871
G2.03 Reposición macho	5,78 [5,204-6,36]	[18,00 – 22,00 %]	80,00%	2,535

Tabla 3. Caracterización del estiércol bovino. Fuente: Probiogas

- Producción de sorgo.

Respecto al sorgo forrajero utilizado como cultivo energético, según los datos proporcionados por el anuario de estadística agraria del mapama (2021) los rendimientos medios de forraje (materia fresca) obtenidos en la provincia de Huesca se sitúan entorno a las 27,5 t/ha.

Provincias y Comunidades Autónomas	Superficie (hectáreas)			Rendimiento (kg/ha)		Producción en verde (toneladas)
	Secano	Regadío	Total	Secano	Regadío	
Huesca	33	–	33	27.500	–	907
Teruel	1	106	107	21.000	32.000	3.413
Zaragoza	–	–	–	–	–	–
ARAGÓN	34	106	140	27.309	32.000	4.320

Tabla 4. Cultivos forrajeros-gramíneas forrajeras-sorgo forrajero. Análisis provincial de superficie, rendimiento y producción en verde, 2020. Fuente: MARM, 2021, p. 237.

Con este dato aproximado, y teniendo en cuenta la superficie que se va a destinar a este uso, podemos concluir que la cantidad de sorgo forrajero destinado a la digestión anaerobia será:

$$E_{TOTAL} = N^{\circ} \text{ Hectareas} * \text{Rendimiento medio}$$

Se estima una utilización de 30ha para el cultivo del sorgo en verano

$$E_{TOTAL} = 30 \text{ ha} * 27,5 \frac{t}{\text{ha}} = 825 \text{ toneladas}$$

-

A partir de cuantificación de los residuos totales a digerir, calculamos la carga diaria en el digestor.

- **Materia prima a la carga.**

La MPC la calcularemos sumando el total de estiércol producido por día y la cantidad de sorgo que necesite la muestra.

$$MPC: kg \text{ ESTIERCOL} + kg \text{ SORGO}$$

Establecemos unas pérdidas en el proceso de ensilaje del sorgo en torno al 3,5%, de modo que la cantidad total de ensilaje de sorgo a digerir será:

$$825t * (1 - 0,035) \approx 795,55 \text{ toneladas}$$

Establecemos un periodo de operación de la planta de 352 días, por lo que dividimos

esta cantidad entre los 352 días del año. Dando lugar a la cantidad de sorgo a introducir diariamente. 2260Kg/día.

En el caso del estiércol, también establecemos unas pérdidas en el periodo de almacenamiento, introduciendo diariamente 4152Kg.

$$MPC: 4152KG + 2260KG : \mathbf{6412KG}$$

- **Porcentaje de sólidos totales**

Como hemos comentado anteriormente, la mezcla que se va a digerir está compuesta por una mezcla de estiércol y sorgo en una proporción 65%-35%.

Esta mezcla a su vez la vamos a diluir con el inóculo extraído de la digestión en una proporción 1:1, es decir, vamos a mezclar el sustrato de nueva entrada, con parte del digestato líquido proveniente del tanque de almacenamiento.

De modo que, la mezcla final será la siguiente:

Residuo	Estiércol	Sorgo	Inóculo	TOTAL
Cantidad (KG/día)	4152	2260	6412	12824
Proporción (%)	32,37%	17,63%	50%	100%

Tabla 5. Composición de la mezcla. Fuente: Elaboración Propia

El porcentaje de sólidos totales que tendrá nuestra muestra será:

$$\%ST \text{ de la mezcla: } \%ST \text{ Sorgo} * \frac{17,63}{100} + \%ST \text{ del estiércol} * \frac{32,37}{100} + \%ST \text{ Inoculo} * \frac{50}{100}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ de ST de la mezcla ser\acute{a}: } & 30,8 * \frac{17,63}{100} + 19 * \frac{32,37}{100} + 3 * \frac{50}{100} \\ & = \mathbf{13\%ST DE LA MEZCLA} \end{aligned}$$

La cantidad de solidos totales a introducir en el digestor es:

$$m_{ST}: \frac{\%ST * MPC}{100} = \frac{13\% * 12824}{100} = \mathbf{1667,12 \text{ kg ST/d\acute{a}a}}$$

ANEJO 3

ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

- **Estimación de la producción de biogás.**

Después de haber calculado la cantidad total de residuos que se van a generar, y, por lo tanto, se van a digerir anaerobiamente, se procede a estimar la producción de biogás.

Tras una búsqueda bibliográfica, cabe destacar la gran variabilidad encontrada en ambos residuos, debido, fundamentalmente al origen de los mismos. Finalmente se han tomado los valores recogidos en *TABLA DE PRODUCCION DE BIOGAS*.

Sustrato	Materia Seca		Nutrientes			Biogás		Metano CH ₄ [%Vol]
	ST [%]	SVT [%ST]	N	NH ₄ [%ST]	P	[m ³ /Ton ST]	[m ³ /Ton SVT]	
Purines								
Estiércol líquido bovino	8-11	75-82	2,6-6,7	1-4	0,5-3,3	20-30	200-500	60
Estiércol líquido cerdo	ca. 7	75-86	6-18	3-17	2-10	20-35	300-700	60-70
Estiércol bovino	ca.25	68-76	1,1-3,4	0,22-2	1-1,5	40-50	210-300	60
Estiércol cerdo	20-25	75-80	2,6-5,2	0,9-1,8	2,3-2,8	55-65	270-450	60
Estiércol aves	ca.32	63-80	5,4	0,39	n.d.	70-90	250-450	60
Sustratos vegetales								
Maíz ensilado	20-35	85-95	1,1-2	0,15-0,3	0,2-0,3	170-200	450-700	50-55
Centeno maduro	30-35	92-98	4	0,57	0,71	170-220	550-680	ca.55
Remolacha azucarera	23	90-95	2,6	0,2	0,4	170-180	800-860	53-54
Remolacha en pasta	12	75-85	1,9	0,3-0,4	0,3	75-100	620-850	53-54
Zanahoria	12	75-85	1,9	0,3-0,4	0,4	75-100	620-850	53-54
Hoja remolacha azucarera	16	75-80	0,2-0,4	n.d.	0,7-0,9	ca.70	550-600	54-55
pasto ensilado	25-50	70-95	3,5-6,9	6,9-19,8	0,4-0,8	170-200	550-620	54-55
Sustratos de agroindustria								
Cebada fermentada	20-25	70-80	4-5	n.d.	1,5	105-130	580-750	59-60
Almidón de trigo/cebada	6-8	83-88	6-10		3,6-6	30-50	430-700	58-65
Cáscara de papa	6-7	85-95	5-13		0,9	36-42	400-700	58-65
Pulpa de papa sin almidón	2-3	ca.95	n.d.		0,73	10-20	300-650	58-65
Pulpa fresca de papa/fruta	ca.13	ca.90	0,5-1	0,04	0,1-0,2	80-90	650-750	52-65
Jugo rechazo 1% almidón	3,7	70-75	4-5	0,8-1	2,5-3	50-56	1500-2000	50-60
Caldo cocción papas diluido	1,6	65-90	7-8	0,6-0,8	2-2,5	55-65	3000-4500	50-60
Remolacha azúcar prensada (pectina c/17%almidón)	22-26	ca.95	n.d.		n.d.	60-75	250-350	70-75
Melasa	80-90	85-90	1,5		0,3	290-340	360-490	70-75
Orujo de manzana	25-45	85-90	1,1		0,3	145-150	660-680	65-70
Orujo de frutas	25-45	90-95	1-1,2		0,5-0,6	250-280	590-660	65-70
Orujo de uva	40-50	80-90	1,5-3		0,8-1,7	250-270	640-690	65-70
Residuos orgánicos								
Basura doméstica	40-75	50-70	0,5-2,7	0,05-0,2	0,2-0,8	80-120	150-600	58-65
Residuos sólidos restaurantes	9-37	80-98	0,6-5	0,01-1,1	0,3-1,5	50-480	200-500	45-61
Residuos de mercados	5-20	80-90	3-5	n.d.	0,8	45-110	400-600	60-65
Grasas	2-70	75-93	0,1-3,6	0,02-1,5	0,1-0,6	11-450	Ca.700	60-72
Contenido ruminal Cerdos	12-15	75-86	2,5-2,7	n.d.	1,05	20-60	250-450	60-70
Contenido ruminal vacunos	11-19	80-90	1,3-2,2	0,4-0,7	1,1-1,6	20-60	200-400	58-62
Lodos de faenadoras de animales	5-24	80-95	3.2-8,9	0,01-0,06	0,9-3	35-280	900-1200	60-72
Pasto	ca.12	83-92	2-3		1,5-2	150-200	550-680	55-65

Tabla 6 Producción de biogás en función del sustrato

Como podemos ver en la tabla de *Monnet 2003*, el rendimiento de biogás por kilogramos de sólidos volátiles es similar al ofrecido por la Agencia de residuos de Cataluña, corroborando los datos proporcionados por la tabla de producción de biogás elegida.

Cabe destacar los datos proporcionados por el Libro *Biogás from waste and Renewable resources* (Deublein y Steinhäuser, 2008) donde nos indican unos rendimientos de biogás un poco más elevados que los trabajados. En este estudio trabajan con porcentajes de sólidos totales más elevados (entre 25-30%), por lo que se ve claramente la influencia del porcentaje de sólidos totales en la producción de biogás.

Feedstock	C/N ratio	Biogas yield ($m^3.kg^{-1}$ VS)
Pig slurry	3-10	0.25-0.50
Cow slurry	6-20	0.20-0.30
Chicken slurry	3-10	0.35-0.60

Tabla 8. Characteristics of agricultural slurries. Fuente: Monnet 2003

Origen del residuo	G_0 (L biogás/g SV) Plan de energía de Cataluña	G_0 (L CH_4 /g SV) Hill, 1982
Bovino de carne	0,300	0,35
Vacuno de leche	0,300	0,20
Porcino	0,410	0,45
Aves de corral	-	0,39

Tabla 9. Potenciales de producción de biogás por gramo sólido volátil del influente. Fuente: Agencia de residuos de Cataluña

Substrate for biogas production ^{16),17),18),19),20)}	DM [%] oDM in DM [%]	Biogas yield [$m^3 kg^{-1}$ oTS] Retention time [d]
Productive livestock husbandry ^s		
Liquid manure from cattle	6-11	0.1-0.8
	68-85	-
Excreta from cattle (fresh)	25-30	0.6-0.8
	80	-
Liquid manure from pigs	3-10	0.3-0.8
	77-85	-
Excreta from pigs	20-25	0.27-0.45
	75-80	-
Excreta from chicken	10-29	0.3-0.8
	67-77	-
Excreta from sheep (fresh)	18-25	0.3-0.4
	80-85	-

Tabla 10. Substrate for biogas production. Fuente libro 'Biogás from waste and Renewable resources'

En el caso del sorgo, todos los datos se encuentran en un rango determinado, como podemos ver en la tabla 11 *Methane yields from digestion of various*. Dentro de

este rango también podemos incluir los datos obtenidos por otros estudios como en el de *Sorghum, a sustainable feedstock for biogas production. Impact of climate, variety and harvesting time on maturity and biomass yield* (Wannasek, Ortner, Amon et al., 2017) donde el porcentaje de metano que se obtiene tras el ensilado es de $338 \text{ m}^3/\text{t}$ lo que es igual a $0,338 \text{ m}^3/\text{kg SV}$

Tab. 1: Examples of methane yields from digestion of various plants and plant materials as reported in literature (Data compilation after Braun, 2007)

Methane yield (m^3 per tonne volatile solids added)			
Maize (whole crop)	205–450	Barley	353–658
Wheat (grain)	384–426	Triticale	337–555
Oats (grain)	250–295	Sorghum	295–372
Rye (grain)	283–492	Peas	390
Grass	298–467	Alfalfa	340–500
Clover grass	290–390	Sudan grass	213–303
Red clover	300–350	Reed Canary Grass	340–430
Clover	345–350	Ryegrass	390–410
Hemp	355–409	Nettle	120–420
Flax	212	Miscanthus	179–218
Sunflower	154–400	Rhubarb	320–490
Oilseed rape	240–340	Turnip	314
Jerusalem artichoke	300–370	Kale	240–334
Potatoes	276–400	Chaff	270–316
Sugar beet	236–381	Straw	242–324
Fodder beet	420–500	Leaves	417–453

Tabla 11. Methane yields form digestión of various substrates.

Una vez revisada las fuentes bibliográficas calculamos el rendimiento del biogás de nuestra mezcla a digerir.

- El inóculo contiene un 3% ST de los cuales 20,8% son SV.
Como añadimos 6412kg de inóculo= 192,36 kg de ST y 40 kg de SV en la mezcla
- El estiércol contiene 19% ST de los cuales el 80% son SV a partir de eso calculamos. Como añadimos 4152Kg de estiércol= 788,88 kg de ST y 631,1 Kg de SV
- En sorgo contiene 30,8% ST de los cuales el 86,4% son SV a partir de eso calculamos. Como añadimos 2260Kg de sorgo= 696,08 Kg de ST y 601,41 Kg de SV
- Por tonelada:
 - o Estiércol: 190Kg de ST y 152Kg de SV
 - o Sorgo: 308Kg de ST y 266,11 Kg de SV

- Inoculo: 30Kg de ST y 6 Kg de SV
- Solidos volátiles por tonelada en función de los porcentajes: 99Kg SV/Ton de mezcla, como la densidad es de 900Kg/m³ = **89,1 kg SV/m³**

Residuo	% mezcla	$\frac{m^3 \text{Biogás}}{\text{Kg SV}}$	Metano CH₄ (%vol)	$\frac{m^3 \text{CH}_4}{\text{Kg SV}}$	$\frac{m^3 \text{Biogás}}{\text{t residuo}}$
Estiércol bovino	32,37%	0,3	65%	0,2	45,6
Ensilado de sorgo	17,62%	0,6	55%	0,33	159,66
Inóculo	50%	0,44	60	0,261	2,64
Mezcla	100%	0,446	59%	0,263	44,21

Tabla 12. Composición y rendimiento de la mezcla. Fuente: Elaboración propia

ANEJO 4

MODELO CHEN HASHIMOTO PARA LA DIGESTIÓN ANAEROBIA

En el diseño de equipos anaerobios se requiera la utilización de ecuaciones matemáticas que reflejen lo más fielmente posible el comportamiento del sistema en función de las diferentes condiciones de operación. En el ámbito de los procesos microbiológicos, históricamente se han utilizado ecuaciones de diseño basadas en el modelo de crecimiento de microorganismos propuesto por Monod en 1949 (Borja Padilla, Martín, Durán Barrantes y Maestro Durán, 1992).

Sin embargo, diferentes autores (Pfeffer, 1984 y Benefield y Randall, 1987) han observado que este modelo no es capaz de predecir con exactitud el comportamiento de determinados procesos, debido principalmente a que no se considera la fuerza que ejerce la concentración del sustrato en la alimentación sobre la concentración del efluente. Es por ello que, en los últimos años se han propuesto numerosos modelos alternativos para el crecimiento de microorganismos, entre los que destaca el propuesto por Contois, basado en la ecuación; . (Chen-hashimoto.pdf)

$$\mu = \frac{\mu_{max} * S}{\beta * M + S}$$

Donde:

- μ : *velocidad específica de crecimiento e microorganismo*
- μ_{max} : *velocidad máxima de crecimiento específico de microorganismos*
- M : *Concentración de masa molar*
- β : *Parámetro cinético adimensional*
- S : *Concentración de materia orgánica biodegradable*

Este modelo tiene un inconveniente principal que es muy difícil medir con precisión el valor de M para su aplicación en los procesos anaerobios. Es por ello, Chen y Hashimoto propusieron un modelo cinético basándose en él, donde obvian dicho problema mediante la inclusión de un nuevo parámetro cinético adimensional K, que representa un índice de inhibición del proceso (Borja Padilla, Martín, Durán Barrantes y Maestro Durán, 1992).

Este modelo cinético ha sido profundamente utilizado para digestores tratando residuos ganaderos, donde implica el desarrollo algebraico de los balances de masa en el reactor. En digestores de mezcla completa y flujo continuo, los balances de materia aplicados a la biomasa y al sustrato vienen expresados por las siguientes ecuaciones:

La concentración del sustrato en el digestor es:

$$S = \frac{K}{(\theta\mu_{max} - 1 + K)} \cdot S_o$$

Donde

θ : tiempo de retención hidráulico (d)

μ_{max} : tasa máxima de crecimiento (d-1)

S: concentración de sustrato en el interior del digestor (kg SV·m-3)

S_o : concentración de sustrato inicial (kg SV·m-3)

K: constante adimensional de inhibición de Chen-Hashimoto

En estas condiciones, la eficiencia en la eliminación del sustrato (%) es:

$$E = 1 - \frac{S}{S_o} = 1 - \frac{K}{(\theta\mu_{max} - 1 + K)}$$

La producción de metano, P_c (m³ CH₄/kg SV) se puede expresar en función de la carga orgánica aplicada mediante la ecuación:

$$P_c = G_o \left(1 - \frac{K}{\theta\mu_{max} - 1 + K} \right) = G_o \cdot E$$

Donde G_o (m³ CH₄·kg-1) es la producción de metano o biogás por unidad de materia orgánica degradada.

La producción de gas, P_v , por unidad de tiempo y volumen del reactor (m³ CH₄/m³·d):

$$P_v = G_o * \frac{S_o - S}{\theta} = \frac{S_o G_o}{\theta} * E = \frac{Q}{V} * S_o G_o * E$$

La producción de gas, P_v , por unidad de tiempo y volumen del reactor (m³ CH₄/m³·d) presenta un máximo para:

$$\theta = \frac{1}{\mu_{max}} \left(1 + K^{\frac{1}{2}} \right)$$

La eficiencia en la depuración para el tiempo de retención correspondiente al máximo de P_v depende solamente de K, disminuyendo la eficiencia con un aumento de ésta. El parámetro K refleja la inhibición debida al crecimiento de la biomasa en el reactor y la inhibición por la baja en la disponibilidad del sustrato. Chen-Hashimoto comprobaron que aumenta con un aumento de la concentración de sólidos volátiles en la entrada al digestor y propusieron las expresiones siguientes para el cálculo de μ_{max} (d-1) y K:

$$\mu_{max} = 0,013 \cdot T - 0,129$$

$$K = 0,6 + 0,021 \cdot e^{0,05S_o}$$

Donde T: temperatura (oC) y So en (kg SV/m³ purín).

ANEJO 5

CALCULOS DEL DIGESTOR

En el presente proyecto se ha optado por aplicar el modelo cinético de Chen y Hashimoto, el cual ha sido profundamente utilizado para la digestión de residuos ganaderos. Este modelo implica el desarrollo algebraico de los balances de masas en el reactor, además de hacer uso de la ecuación cinética de Contois para definir la velocidad específica de crecimiento de los microorganismos.

$$\mu = \frac{\mu_{max} \cdot S}{\beta \cdot X + S}$$

μ_{max} : tasa máxima de crecimiento, (d^{-1})

S: concentración de sustrato del digestor ($kg\ SV \cdot m^{-3}$)

X: Concentración de la biomasa ($kg \cdot m^{-3}$)

β : Parámetro cinético adimensional, cuyo valor es igual al cociente entre la concentración de sustrato y la de masa celular, que da lugar a una velocidad específica de crecimiento, igual a la mitad de su velocidad máxima.

De modo que, aplicando este modelo al reactor continuo de mezcla completa con recirculación, se obtienen las ecuaciones que describen los diferentes parámetros de diseño del digestor y el valor de los mismos.

- Aplicación del modelo Chen-Hashimoto

En el presente anexo se aplicará el modelo de Chen- Hashimoto al reactor de mezcla completa con recirculación desarrollado en el presente proyecto, obteniendo el tiempo de retención más adecuado en función de las curvas de depuración y producción volumétrica de gas.

A partir del tiempo de retención se calcularán los siguientes parámetros de diseño del digestor: La producción de gas, por unidad de tiempo y volumen del reactor, P_v , ($m^3 CH_4/m^3 \cdot d$), la producción de gas referida al consumo de sustrato, P_c ($m^3 CH_4/kg\ SV$), producción diaria de CH_4 ($m^3 CH_4/d$), producción diaria Biogás ($m^3 Biogás/d$), producción específica de Biogás ($m^3 Biogás/t\ residuo$), V_{util} digestión (m^3) necesario, VCO ($kg\ SV/m^3 \cdot d$) con la que trabajara el digestor.

El interés principal del presente trabajo es encontrar un equilibrio entre el tiempo de retención del sustrato y el nivel de depuración del residuo, junto con la producción de biogás como combustible para la generación de energía eléctrica y calorífica. Otros objetivos como la producción de fertilizante o el control del impacto ambiental de algún tipo de residuo orgánico no dejan de ser satisfechos, pero donde sea posible, los parámetros de la digestión anaerobia serán modificados en vista de conseguir el mayor rendimiento de producción de metano para que el balance energético de la planta sea positivo.

A continuación, se resumen en la siguiente tabla los parámetros del proceso necesarios para los cálculos.

T (°C)	37
Q_{residuo} (m³/día)	14,248
Q_{residuo} (t/día)	12,824
SV₀ (Kg/m³)	89,1
G₀ (Nm³CH₄/Kg SV)	0,263
G₀ (Nm³biogas/Kg SV)	0,446
DQO₀ (Kg/m³)	
DENSIDAD (t/m³)	0,9

Tabla 13 Parámetros base del digestor. Fuente: Elaboración propia

Las expresiones siguientes sirven para el cálculo de la tasa máxima de crecimiento μ_{max} y la constante de inhibición, K para las ecuaciones del modelo

$$\mu_{max} = 0,013 * T - 0,129 = \mathbf{0,352 / día}$$

$$K = 0,6 + 0,021 * e^{0,05 * SV_0} = \mathbf{2,40}$$

Usando las ecuaciones del modelo podemos representar la eficiencia de eliminación de los SV (%) y la producción volumétrica de gas PV, (m³CH₄/m³.día) en función del tiempo de retención.

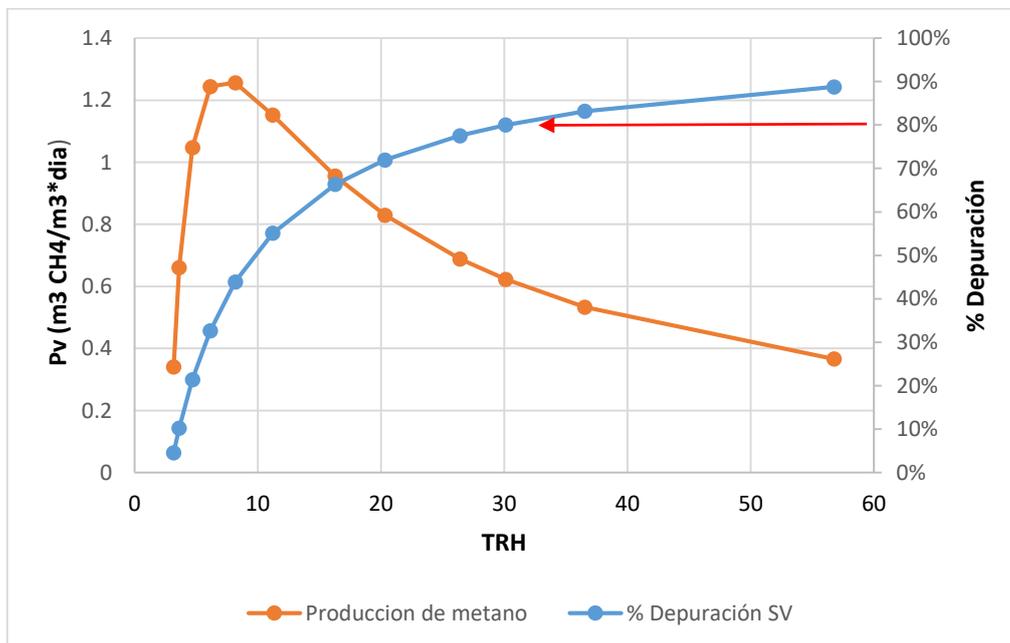


Ilustración 1. Gráfico comparativo de la eficiencia de eliminación de los SV respecto a la producción volumétrica de gas.

Mediante el estudio de la tabla anterior, se ha seleccionado trabajar con una eliminación del 80% de los sólidos volátiles. Por lo tanto:

- La concentración de sólidos volátiles en el digestor será:

$$E = 1 - \frac{S}{S_0} \quad \rightarrow \quad S = S_0 * (1 - E) = 89,1 * (1 - 0,8) = \mathbf{17,82 \frac{Kg SV}{m^3}}$$

- El tiempo de retención será:

$$S = \frac{K}{(\theta \mu_{max} - 1 + K)} \cdot S_0 \quad \rightarrow \quad \theta = \frac{K(S_0 - S) + S}{\mu_{max} * S} = \frac{2,4 * (89,1 - 17,82) + 17,82}{0,352 * 17,82} = \mathbf{30,11 \text{ dias}}$$

- La producción de gas, Pv, por unidad de tiempo y volumen de reactor

$$Pv(CH_4) = \frac{S_0 * G_o}{\theta} * E = \frac{89,1 \frac{Kg SV}{m^3} * \frac{0,263 Nm^3 CH_4}{Kg SV}}{30,11 \text{ dias}} * 0,8 = \mathbf{0,622 \frac{Nm^3 CH_4}{m^3 reactor * dia}}$$

$$Pv(Biogás) = \frac{S_0 * G_o}{\theta} * E = \frac{89,1 \frac{Kg SV}{m^3} * \frac{0,446 Nm^3 Biogás}{Kg SV}}{30,11 \text{ dias}} * 0,8 = \mathbf{1,05 \frac{Nm^3 biogás}{m^3 reactor * dia}}$$

- La producción de gas referida al sustrato, Pc

$$Pc(CH_4) = G_o * E = \frac{0,263 Nm^3 CH_4}{Kg SV} * 0,8 = \mathbf{0,21 \frac{Nm^3 CH_4}{Kg SV}}$$

$$Pc(biogás) = G_o * E = \frac{0,446 Nm^3 biogás}{Kg SV} * 0,8 = \mathbf{0,356 \frac{Nm^3 biogás}{Kg SV}}$$

- La producción diaria de metano y biogás

$$Q_{CH_4} = Q_{residuo} * SV_0 * Pc(CH_4) = 14,248 \frac{m^3}{dia} * 89,1 \frac{Kg SV}{m^3} * 0,21 \frac{Nm^3 CH_4}{Kg SV} = \mathbf{266,59 \frac{m^3 CH_4}{dia}}$$

$$Q_{biogás} = Q_{residuo} * SV_0 * Pc(biogás) = 14,248 \frac{m^3}{dia} * 89,1 \frac{Kg SV}{m^3} * 0,356 \frac{Nm^3 Biogás}{Kg SV} = \mathbf{452,95 \frac{m^3 Biogás}{dia}}$$

- Volumen útil de digestión:

$$V_{util \text{ dig.}} = Q_{Residuo} * \theta = 14,248 \frac{m^3}{dia} * 30,11 = \mathbf{429 m^3}$$

- Velocidad de carga orgánica:

$$VCO = \frac{Q_{Residuo} * SV_0}{V. \text{ digestión}} = \frac{14,248 \frac{m^3}{dia} * 89,1 \frac{Kg SV}{m^3}}{429} = \mathbf{2,95 \frac{Kg SV}{m^3 dia}}$$

En la siguiente tabla se resumen los resultados finales:

E	0,80
$Q_{Residuo}$ (m^3/Dia)	14,248
$Q_{Residuo}$ (toneladas/Dia)	12,824
SV_o (Kg/ m^3)	89,1
Tiempo de retención	30,11
Pv ($m^3 CH_4/m^3 * dia$)	0,622
Pv (m^3 Biogás/ m^3 .día)	1,05
Pc ($m^3 CH_4/kg SV$)	0,21
Pc (m^3 Biogás/ $kg SV$)	0,356
Producción diaria CH_4 ($m^3 CH_4/día$)	266,59
Producción diaria Biogás (m^3 Biogás/día)	452,95
Producción diaria Biogás (Kg Biogás/día)	511,83
Producción específica de Biogás (m^3 Biogás/t residuo)	35,32
Volumen útil digestión (m^3)	429
VCO (kg SV/ m^3 .d)	2,95

Tabla 14 Rendimientos del digestor. Fuente: Elaboración propia

- Producción y composición del digestato.

La cantidad de digestato que se produce, es teóricamente la diferencia entre el caudal másico de entrada al digestor (la mezcla) y el caudal másico de biogás formado en el digestor.

$$Q_{digestato} = Q_{sustrato} - Q_{biogás}$$

Tal y como nos indican en el manual de biogás de la FAO, el metano tiene una densidad aparente de $0,717 kg * m^3$ a $0^\circ C$ y 1,013 bar de presión. De la misma forma el biogás es más pesado ya que aparte de metano tiene CO_2 que es más pesado. El CO_2 tiene una densidad aparente de $1,74 kg * m^3$, por lo que podemos deducir que el biogás suele tener una densidad entre 1,0 y 1,35 respecto al aire

BIOGÁS ($0^\circ C$ Y 1,013 bar)	COMPOSICION	DENSIDAD
Biogás 65% de metano	$65\%CH_4 + 35\%CO_2$	$1,07 kg/m^3$
Biogás 59%% de metano	$59\%CH_4 + 41\%CO_2$	$1,13 kg/m^3$

Tabla 15. Densidad de biogás en función de su composición. Fuente: Elaboración propia

Sabiendo que la producción de biogás es de $452,95 m^3$ Biogás/día:

$$Q_{digestato} = 12824 \frac{kg}{dia} - \left(452,95 \frac{m^3 biogas}{dia} * 1,13 \frac{Kg biogás}{m^3 biogas} \right) = 12312, 16 kg \frac{digestato}{dia}$$

- SV en el digestato

Sabiendo la concentración de Sólidos volátiles en el digestor, calculado previamente; $17,82 \frac{\text{Kg SV}}{\text{m}^3}$, la concentración de sólidos volátiles reales a la salida del digestor será:

$$SV_{\text{digestato}} = \frac{Q_{\text{residuo}} * E}{Q_{\text{digestato}}} = \frac{14,248 \frac{\text{m}^3 \text{ residuo}}{\text{Día}} * 17,82 \frac{\text{Kg SV}}{\text{m}^3}}{12,312 \frac{\text{T. digestato}}{\text{día}}} = \mathbf{20,62 \frac{\text{kg SV}}{\text{T.digestato}}}$$

- ST en el digestato:

El caudal de sólidos totales en el digestato se calcula restándole al caudal total de digestato calculado anteriormente, su contenido en agua. El contenido de agua será igual a la proporción que ingreso en el sustrato de entrada, menos la porción que se extrae en forma de vapor con el biogás, ya que a 37°C, el biogás se considera saturado de humedad.

$$Q_{ST \text{ digestato}} = Q_{\text{digestato}} - Q_{H_2O}$$

El agua que se va saturada en el biogás se ha calculado asemejando el comportamiento del gas al del aire a la misma temperatura. De modo que a 37°C, que es la temperatura de salida del biogás tendremos:

Humedad absoluta	41,07 g agua/kg aire
Presión parcial del vapor	0,062 bar

La cantidad de agua que contiene el biogás será:

$$H_2O_{\text{biogas}} = 511,83 \frac{\text{Kg Biogas}}{\text{día}} * 0,04107 \frac{\text{Kg agua}}{\text{Kg biogás}} = \mathbf{21 \text{ Kg agua/Día}}$$

La cantidad de agua introducida con el sustrato será:

$$Q_{H_2O \text{ sustrato}} = 12824 \frac{\text{Kg}}{\text{día}} * \left(\frac{87}{100}\right) \text{agua en la mezcla} = 11156,88 \text{ kg}$$

La cantidad de sólidos totales que contiene el digestato por día.:

$$Q_{ST \text{ digestato}} = 12312,16 \text{ kg} \frac{\text{digestato}}{\text{día}} - 11156,88 \frac{\text{kg}}{\text{día}} - 21 \frac{\text{kg}}{\text{día}} = \mathbf{1134,28 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}$$

La concentración de ST reales a la salida del digestor:

$$ST_{\text{digestato}} = \frac{1134,28 \text{ Kg/día}}{12,31 \text{ t digestato/día}} = \mathbf{92,14 \frac{\text{Kg ST}}{\text{T. digestato}}}$$

- Tabla resumen:

	Caudal de entrada digestor		Caudal de salida digestor		
Caudal másico	12,82 t sustrato/día		12,31 t digestato/día		Eficiencia de eliminación
Parámetro	Composición (Kg/t)	Caudal (Kg/día)	Composición (Kg/t)	Caudal	%
Sólidos totales (ST)	130	1667,12	92,14	1134,28	32
Sólidos volátiles (SV)	99	1270,36	20,62	253,83	80

Tabla 16 Composición y caudal del digestato en la entrada y salida del digestor. Fuente: Elaboración propia

ANEJO 6

DIMENSIONAMIENTO DEL DIGESTOR

Por lo que respecta al digestor, siguiendo los cálculos que se presentan en el anexo anterior, *Aplicación del modelo chen-hashimoto al proceso*, el volumen útil del digestor resultante fue de 429 m³. El volumen final del reactor no será este, ya que se sobredimensiona un 20% como medida de seguridad donde estará contenido el biogás.

$$\text{Volumen digestor: } V_{\text{util dig.}} * (1 + 0,20)$$

$$\text{Volumen digestor: } 429 * (1 + 0,20) = \mathbf{514,8m^3}$$

El digestor va a ser construido con forma circular para facilitar la agitación, y será de hormigón armado ya que es un material muy resistente y de alta durabilidad. Se han seleccionado unas mediadas que fueran en cierta media proporcionales en lo que respecta altura x anchura, para facilitar dicha agitación y favorecer el mezclado. Se ha seleccionado un diámetro de 11m y a partir de la siguiente forma se calculará la altura del tanque.

$$V_{\text{digestor}} = \pi * r^2 * h$$

$$514,8 = \pi * 5,5^2 * h \rightarrow h = \frac{514,8}{95} = 5,41 \rightarrow \mathbf{5,41 m de altura}$$

- ESPESOR DEL TANQUE

Para el cálculo del espesor del tanque lo primero que tenemos que tener en cuenta es las dimensiones del tanque y el material que se va a utilizar. Como hemos calculado en el apartado anterior, nuestro tanque está formado por un radio de 5.5m y una altura de 5,41m.

Tipo de Hormigón	HA-25
Tipo de barra de acero	B-500 S
Resistencia característica del Hormigón	250 kp/ cm ²
Tensión admisible para el acero a trac. Simple (σ_s)	1 T/ cm ²
Densidad del líquido almacenado (δ)	1 T/ m ³
Y_c	1,5
Y_s	1,15
Y_f	1,5

Tabla 17 Características del Hormigón HA-25. Fuente: Elaboración propia

El funcionamiento resistente de los depósitos cilíndricos es más favorable que el de plantas rectangular, de modo que, se adoptan espesores menores. El espesor para tanque de menos de 20m de radio queda definido por:

$$e = 0,05 * h + 0,01 * r$$

$$e = 0,05 * 5,41 + 0,01 * 5,5 = \mathbf{0,325m}$$

El espesor de la solera se define como el 10% de la altura, para depósitos con menos de 20 m de alto

$$e' = 0,10 * 5,41 = \mathbf{0,541m}$$

Una vez obtenido el espesor tanto de la pared como de la solera, se procede a su comprobación.

La comprobación a cortante se efectúa mediante la limitación de la Instrucción española, calculado previamente el valor de K

$$K = 1,3 * h / \sqrt{r * e} = 5,25$$

Sabiendo el valor de k, e interpolando en la siguiente tabla obtenemos los siguientes valores: $\alpha_v = 2799$ $\alpha_\mu = 0,236$

$$m_{ve} = \alpha_{\mu} \cdot r \cdot h \cdot e \cdot \delta$$

$$v_{max} = \alpha_v \cdot r \cdot e \cdot \delta$$

	Valores de α para $K =$											
	2	3	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
α_m	0,147	0,196	0,235	0,265	0,275	0,279	0,282	0,284	0,286	0,287	0,288	0,288
α_v	-0,882	-1,471	-2,647	-5,588	-8,529	-11,471	-14,412	-17,353	-20,294	-23,235	-26,176	-29,118

Tabla 18. Indican los valores del momento y del cortante máximos unitarios en el arranque de la pared, en función del parámetro K. Fuente: Hormigón armado. Montoya-Meseguer-Moran

Cortante máximo: $V_{max} = \alpha_v * r * h * e * \delta = 5,01$

Esfuerzo cortante: $\gamma_f * v_{max} \leq 0,5 * f_{vd} * (1,6 - d) * (1 + 50 * \rho) * d$

$$\gamma_f * V_{max} = 1,5 * 5,01 = 7,51$$

$$0,5 * 54,8 * (1,6 - 0,266) * (1 + 50 * 0,002) * 0,266 = 10,69$$

Siendo:

$$f_{vd} = 54,8 \text{ t/m}^2 \text{ (Hormigonado vertical)}$$

$$\rho = 0,002$$

$$d = e - 0,047 - \Phi/2 = 0,325 - 0,047 - (25\text{mm}/(1000 * 2)) = 0,266$$

$\Phi =$ diametro de las correas de la armadura

$$\mathbf{ESFUERZO CORTANTE = 7,51 < 10,69}$$

Cumple, por lo tanto, el espesor calculado es aceptable

-Cálculo de armaduras

La armadura vertical de la pared se determina por fisuración, a partir del momento m_{ve} , siendo el momento máximo de empotramiento de la armadura vertical

$$m_{ve} = \alpha v * r * h * e * \delta = 2,28 t * m/m$$

A partir del momento máximo de empotramiento calculamos el módulo de fisuración k y la armadura mediante la siguiente ecuación:

$$k = \frac{7,5 * m_{ve}}{(1,39 - e) * e^2 * 10^4} = 0,015 t/m^3$$

- Armadura (mínima) = $5,24 \text{ cm}^2/m$; Φ 10mm a 15cm

La armadura horizontal de la pared se determina a partir del esfuerzo a tracción máximo, n_p . Entrando en el gráfico 'Esfuerzo de tracción en depósitos cilíndricos empotrados en el fondo' con $K=5,25$, se obtiene que $\alpha = 0,51$, que corresponde al esfuerzo:

$$n_p = \alpha * r * h * \delta = 15,175 t/m$$

$$A = \frac{n_p}{\sigma_s} = 15,175 \text{ cm}^2/m$$

Donde la tensión admisible se ha tomado igual a 1000 kp/cm².

Como la armadura va en las dos caras, el valor se divide por la mitad:

$$\frac{15,175 \frac{\text{cm}^2}{m}}{2} = 7,587 \text{ cm}^2/m$$

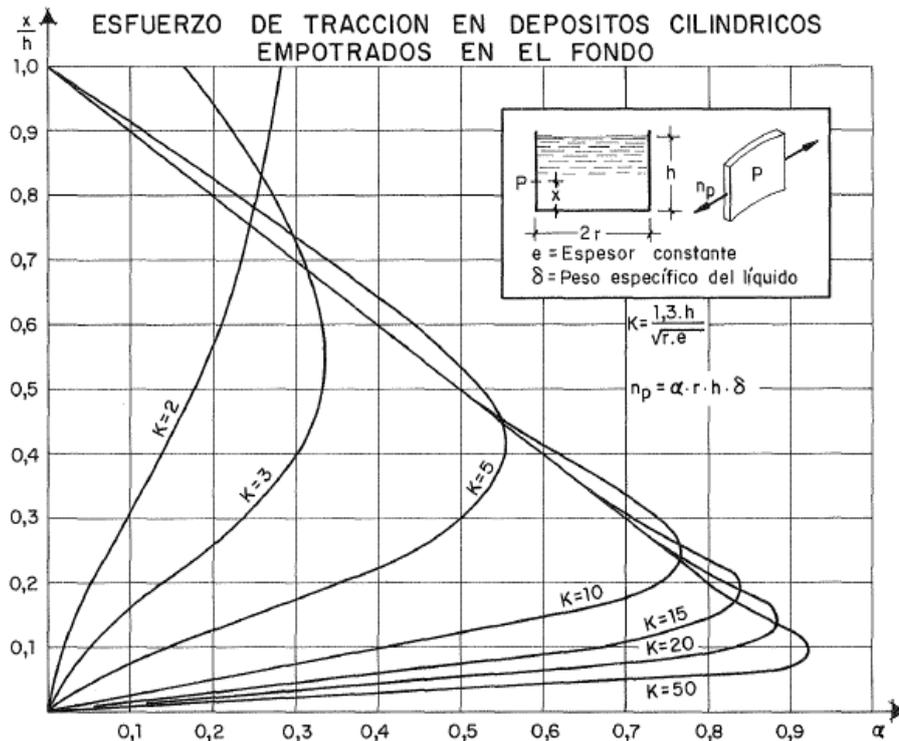


Ilustración 2. Esfuerzo de tracción en depósitos cilíndricos empotrados en el fondo para obtener las dimensiones de las armaduras

Las armaduras ortogonales de la solera se determinan a partir de los momentos unitarios del servicio ($p = 2,7 \text{ t/m}$ y $r = 5,5$)

Cara inferior $m = 0,34 * p * r = 5,05 \text{ t} * \text{m/m}$; $k = 0,015$ A (mínima): $5,24 \text{ cm}^2/\text{m}$

Cara superior $m = m_{ve} = 2,28 \text{ t} * \text{m/m}$ $k = 0,0068$ A (mínima): $5,24 \text{ cm}^2/\text{m}$

A estas armaduras hay que sumarle las de tracción correspondientes al empuje hidrostático sobre las paredes. Entrando en el gráfico 'Esfuerzo de tracción en depósitos cilíndricos empotrados en el fondo' con $K=5,25$ se obtiene $\alpha = 0,51$ de donde:

$$n_f = 0,5 * h^2 * \delta * (1 - \alpha) = 7,17 \text{ t/m}$$

$$A = \frac{n_f}{2 * \sigma_s} = 3,58 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Con lo que las armaduras totales son:

- cara Inferior: $A = 5,24 + 3,58 = 8,82 \text{ cm}^2/\text{m}$
- cara Superior: $A = 5,24 + 3,58 = 8,82 \text{ cm}^2/\text{m}$

Interpolando armaduras obtenemos que para una armadura con barras de acero de 16mm de diámetro y una separación de 20 cm:

A (mínima) $10,05 > 8,82\text{cm}^2/\text{m}$ **CUMPLE**

A continuación, se muestra un esquema con la disposición de las armaduras:

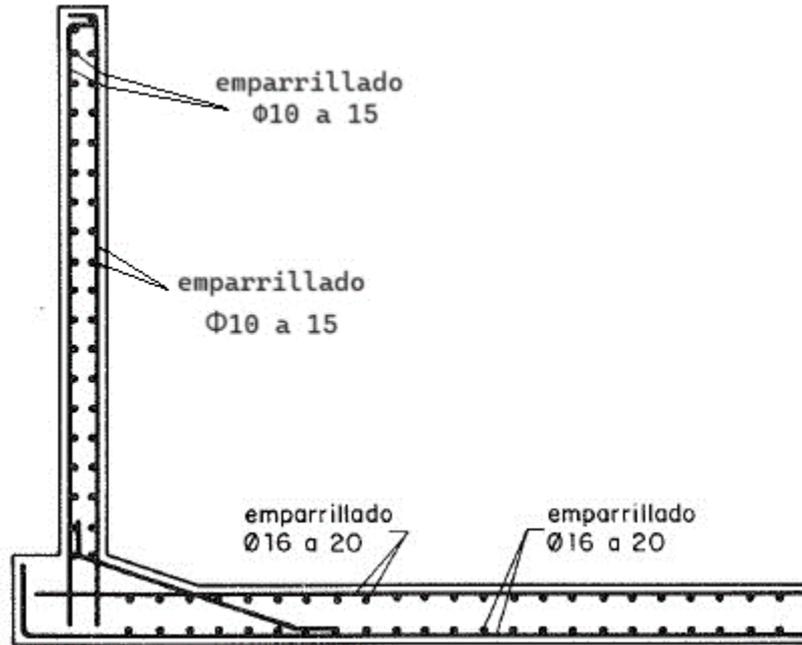


Ilustración 3. Sección transversal del digestor primario. Fuente: Elaboración propia

ANEJO 7

ALMACENAMIENTO DEL BIOGÁS O GASÓMETRO

“El gasómetro es un dispositivo acumulador de biogás, capaz de equilibrar las fluctuaciones de la producción, el consumo y los cambios de volumen asociados principalmente a cambios en la temperatura y producción” (NAMA Facility, 2018).

La función principal de un gasómetro es acumular el biogás para su posterior uso (Varnero Moreno, 2011). Son diseñados a medida para cada proyecto, adaptando cada componente del gasómetro a las necesidades del mismo. Para ello se debe tener en cuenta la presión de trabajo, así como las condiciones climáticas y la cantidad de biogás producido, entre otros (NAMA Facility, 2018).

La presión operativa se encuentra bajo la influencia tanto del concepto general de las instalaciones como del diseño específico de cada uno de sus componentes. En nuestro ámbito de trabajo, operamos en una gama de baja presión que oscila desde niveles prácticamente inexistentes, hasta un máximo de 50 mbar, ya que la presión adecuada para su uso en la combustión, oscila entre los 7 y los 20mbar (Varnero Moreno, 2011).

Es importante destacar que esta presión operativa influye en el dimensionamiento del sistema de tuberías de gas. Este sistema engloba diversos elementos esenciales, como los conductos de gas, los dispositivos de liberación de presión, el separador de condensado, la antorcha, el equipo de purificación de gas y los sopladores utilizados para aumentar la presión del gas.

El volumen de almacenamiento se determina en base a la producción de biogás a lo largo del día, así como las fluctuaciones en el consumo de gas por parte de los generadores de energía eléctrica, que varían según la demanda.

Estos tanques de almacenamiento tienen que ser a prueba de fugas, presión y resistentes al medio, a la luz ultravioleta a la temperatura y a la acción del clima (Fernández García, 2016).

Existen dos tipos principales de gasómetros:

- Gasómetros autónomos o aislado: donde el biogás se almacena de forma independiente, alejado del digestor, en zonas protegidas del clima.
- Gasómetro montado o de cúpula: Donde el biogás se almacena en la cúpula del propio digestor, en un tanque de almacenamiento que sirve a su vez de techumbre del reactor. Este tipo de gasómetros contienen en su interior unas

citadas, las cuales evitan que la membrana tenga contacto con el sustrato, a su vez de protegerla frente a los daños causados por los sistemas de agitación.



Ilustración 5. Gasómetro autónomo. Fuente: <https://iberospec.com/producto/tratamiento-de-gases-y-olores/almacenamiento/gasometro-de-membrana-ecomembrane/>



Ilustración 4. Gasómetro de cúpula. Fuente: ZORG BIOGAS

Estos a su vez, estos pueden ser, de cúpula rígida (Hormigón o PRFV), de membrana simple o de membrana doble (NAMA Facility, 2018). Siendo los gasómetros de doble membrana los más utilizados, debido a las ventajas que nos ofrece.

En nuestro caso hemos elegido un tanque de almacenamiento integrado en la propia estructura del digestor, donde el biogás se almacenará en la cubierta del mismo, ahorrando en temas de espacio, así como el ahorro que supone la doble función de la cobertura; techumbre del digestor y tanque de almacenamiento del gas.

La cubierta seleccionada, es de tipo doble membrana cerrando herméticamente el fermentador. Esta estructura, como bien indica su nombre, está formada por dos capas (membranas). La exterior, compuesta por una capa de poliestireno, recubierta de PVC, la cual proporciona protección frente a los efectos del clima. Y la membrana interna, de polietileno de baja densidad, la cual es flexible y varía según la cantidad de gras producido. Esta membrana se apoya sobre un sistema de abrazaderas en el caso de inexistencia de gas.

El gasómetro, mantienen la estática y presión de trabajo a través de un soplante de aire, el cual transporta aire a los espacios vacíos, manteniendo siempre una presión constante independientemente de la producción y la demanda de biogás. Esta presión se mantiene constante gracias a la válvula de regulación, cuya función es la de evacuar el aire sobrante aportado por el soplante, así como regenerar el aire de la entrecámara para el correcto mantenimiento de las membranas (www.tecon.biz).

El biogás producido en el reactor es consumido inmediatamente por el motor, de modo que la instalación no necesita un gran depósito para su almacenamiento. Lo normal en los digestores de membrana se establezca una elongación máxima de un 20% del volumen total del digestor, lo que equivale a una producción de biogás por lo menos de cuatro a seis horas (NAMA Facility, 2018).

Biogás generado en 6h:

$$V_{biogas} = 452,95 \frac{m^3}{día} * \frac{1 día}{24 h} * 6h = \mathbf{113,23m^3}$$

En nuestro proyecto hemos seleccionado un gasómetro de la marca ZORG BIOGAS con una cúpula de 1/3 del diámetro del reactor. Como podemos ver en la siguiente tabla para un diámetro de 11m, este tipo de gasómetros tienen una capacidad de almacenaje de $171 m^3$, de modo que tenemos volumen suficiente para almacenar biogás durante 9 horas de producción.

Diámetro del digestor, m	Altura del techo, m	Volumen utilizable, m ³
10	3,33	130
11	3,67	171
12	4	221
13	4,33	279
14	4,67	347
15	5	425
16	5,33	514

Tabla 19: Detalles técnicos de los gasómetros ZORG BIOGAS. Fuente: ZORG BIOGAS



Ilustración 6 Gasómetro seleccionado con una altura de $1/3 D$. Fuente: ZORG BIOGAS

ANEJO 8

SISTEMAS DE CALEFACCIÓN

INTERCAMBIADOR

Los sistemas de calefacción del sustrato en plantas de biogás son utilizados para mantener una temperatura constante en el proceso de digestión anaeróbica. Esto es una de las condiciones más importantes para garantizar una digestión estable y una producción constante de biogás. Las fluctuaciones de temperatura, incluidas las fluctuaciones determinadas por la estación y las condiciones climáticas, así como las fluctuaciones interiores en diferentes áreas del digestor, deben mantenerse lo más bajas posibles, ya que las grandes fluctuaciones de temperatura conducen al desequilibrio del proceso.

Para lograr mantener una temperatura del proceso constante y compensar eventuales pérdidas de calor, los digestores deben estar aislados y calentados por fuentes de calor externas. La fuente de calor más utilizada es el calor residual de la unidad de cogeneración de las plantas de biogás.

El calentamiento de la materia prima se puede realizar de dos formas diferentes, durante el proceso de alimentación (precalentamiento) a través de intercambiadores de calor. O dentro del digestor, mediante elementos calefactores, vapor caliente etc.

El precalentamiento de la materia prima durante la alimentación evita las fluctuaciones de temperatura en el interior del digestor, además permite realizar operaciones de mantenimiento de forma más sencilla, al no tener que entrar al digestor a desarrollar dichas tareas.

A continuación, se mencionan algunos de los sistemas de calefacción que se utilizan comúnmente en estas plantas:

- Intercambiadores de calor.

Los intercambiadores de calor permiten transferir el calor de una fuente externa al sustrato. Esto se puede lograr mediante el uso de agua caliente, vapor o líquidos térmicos que circulan a través de tuberías o serpentines que están en contacto con el sustrato. El calor transferido eleva la temperatura del sustrato y ayuda a mantenerla en el rango óptimo para la digestión anaeróbica.

- Sistemas de calentamiento eléctrico.

Estos sistemas utilizan resistencias eléctricas para generar calor. Las resistencias se colocan en el interior del digestor o en contacto directo con el sustrato. Los sistemas eléctricos son precisos y pueden ajustarse fácilmente para mantener la temperatura deseada.

- Recuperación de calor del biogás

Parte del calor generado durante la combustión del biogás en los motores o turbinas se puede recuperar y utilizar para calentar el sustrato. Esto es eficiente y reduce la dependencia de fuentes de calor externas.



Ilustración 7 Tuberías de calefacción instaladas dentro del digestor. Fuente: Biogás Handbook



Ilustración 8. Sistema de calefacción externo al digestor. Fuente: HRS. Heat Exchangers

La elección del sistema de calefacción dependerá de varios factores, como la ubicación geográfica de la planta, la disponibilidad de fuentes de energía, el tamaño de la planta y las condiciones climáticas. El objetivo principal es mantener la temperatura del sustrato en el rango óptimo para la actividad de los microorganismos, que suele estar entre los 35°C y 55°C, dependiendo de los tipos de microorganismos y del proceso específico de la planta de biogás.

De modo que, para determinar la energía requerida para calentar el biodigestor se deben considerar las pérdidas térmicas del digestor, y el caudal y temperatura de

entrada del sustrato. En este caso consideramos un proceso adiabático, por lo que no se incluyen las pérdidas térmicas.

Cálculo pérdidas de calor digestor:

Las pérdidas de calor a través de las paredes, fondo y cubierta del digestor se calculan utilizando la siguiente expresión

$$Q = U * S * \Delta T$$

Donde:

- Q: calor sensible ganado o perdido en el local por transmisión (*kcal*)
- S: superficie del elemento constructivo (m^2)
- U: Coeficiente global de transmisión de calor del elemento constructivo ($kcal/h * m^2 * ^\circ C$)
- ΔT : Diferencia de temperatura entre el interior y el exterior ($^\circ C$)

El coeficiente de transmisión de calor viene determinado por la siguiente expresión:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_e} + \frac{e_1}{k_1} + \dots + \frac{e_n}{k_n} + \frac{1}{h_i}$$

Donde:

- U: Coeficiente global de transmisión de calor del elemento constructivo ($kcal/h * m^2 * ^\circ C$)
- h_e : Coeficiente de película o convección exterior
- h_i : Coeficiente de película o convección interior
- e_n : Espesor de los materiales que forman el cerramiento
- k_n : Coeficiente de conductividad de los materiales que forman el cerramiento ($kcal/h * m^2 * ^\circ C$) o ($W/m^2 * ^\circ C$)
- n: Número de capas que componen el cerramiento.

Por lo tanto, el coeficiente de transmisión de calor (U) se puede definir como la cantidad de calor que atraviesa un cerramiento determinado (formado por una o varias capas), por unidad de tiempo, por unidad de superficie de cerramiento y por unidad de diferencia de temperatura entre el aire exterior e interior (Blanes-Vidal, 2008).

Para el diseño de nuestro digestor se han adoptado los siguientes valores tomados del libro *Diseño y evaluación de la calefacción y de la refrigeración* (Blanes-Vidal, 2008).

Para el coeficiente de convección (h):

Superficie en contacto	Coefficiente h: (kcal/h * m ² * °C)
Pared – Sustrato Líquido	300
Pared – Aire exterior	20
Pared – suelo	50

Tabla 20. Coeficiente de convección según la superficie en contacto

Para el coeficiente de conductividad (K):

Material de construcción	Coefficiente k: (kcal/h * m * °C)
Hormigón armado	1,4
Espuma de poliuretano	0,02
Chapa de acero galvanizado	58
Polietileno de baja densidad	0,35
Poliestireno	0,28

Tabla 21. Coeficiente de conductividad según el material de construcción empleado

- Pérdidas de calor por las paredes del digestor:

Primero calculamos el área de nuestra pared que forma el reactor, es decir la superficie de intercambio

$$A_{pared}: 2 * \pi * r * h = 2 * \pi * 5,5 * 5,41 = 186,95 \text{ m}^2$$

El coeficiente global de transmisión será:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{20} + \frac{0,325}{1,4} + \frac{0,1}{0,02} + \frac{0,01}{58} + \frac{1}{300} = 5,286$$

$$U = \frac{1}{5,285} : 0,189 \frac{\text{kcal}}{\text{h} * \text{m}^2 * \text{°C}}$$

Siendo:

$$e_{hormigón}: 0,325 \text{ m}$$

$$e_{poliuretano}: 0,1 \text{ m}$$

$$e_{chapa}: 0,06 \text{ m}$$

Para calcular las pérdidas de calor del sistema se han tomado las temperaturas medias de las mínimas del mes más desfavorable. Tal y como podemos observar en el estudio climatológico realizado anteriormente. El mes de enero es el mes más frío de todo el año, con una temperatura media de mínimas de los últimos 19 años de, -7,09°C. Por lo que, las pérdidas de calor a través de la pared el mes más frío serán:

$$Q: 0,189 * 186,95 * (37 - (-7,09)) = 1557,85 \frac{kcal}{h} * \frac{4,185kJ}{1 kcal} * \frac{1h}{3600 s} = \mathbf{1,81 KW}$$

$$1557,85 \frac{kcal}{h} * 1,163 = 1811W = 1,81KW$$

- Perdidas de calor por el fondo del digestor:

En primer lugar, calculamos la superficie de intercambio del fondo del digestor:

$$A_{fondo}: \pi * r^2 = 95 m^2$$

El coeficiente global de transmisión será:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{50} + \frac{0,541}{1,4} + \frac{1}{300} = 0,409$$

$$U = \frac{1}{0,409} : \mathbf{2,44} \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}$$

Por último, calculamos las pérdidas de calor en el mes más desfavorable:

$$Q: 2,44 * 95 * (37 - (-7,09)) = 10220 \frac{kcal}{h} * \frac{4,185kJ}{1 kcal} * \frac{1h}{3600 s} = \mathbf{11,88 KW}$$

Siendo:

$$e_{hormigón\ suelo}: 0,541 m$$

- Perdidas de calor por la cubierta del digestor:

Para las pérdidas de calor por la cubierta se consideraron nulas debido a que la existencia de un colchón de aire entre ambas membranas era suficientemente grande para no existir pérdidas.

Perdidas térmicas totales del digestor en el mes más desfavorable (enero):

$$Q_{total}: 1,81 + 11,88 = \mathbf{13,69 KW}$$

- **Calor necesario para elevar la temperatura del sustrato:**

Debido a que el sustrato se encuentra en fase líquida, y al no disponer de datos de densidad y calor específico del sustrato para distintas temperaturas, una buena aproximación corresponde a la utilización del calor específico y densidad del agua.

Temperatura (°C)	Densidad (kg/m ³)	Calor específico (KJ/ Kg * °C)
0	999,84	4,217
10	999,70	4,192
15	999,19	4,186
20	998,29	4,182
25	997,13	4,180
30	995,71	4,178
35	994,08	4,178
40	992,25	4,179
45	990,22	4,180
50	988,02	4,181
55	985,65	4,183
60	983,13	4,185
65	980,45	4,187
70	977,63	4,190
75	974,68	4,193
80	971,60	4,196
85	968,39	4,200
90	965,06	4,205
95	961,62	4,210
100	958,05	2,080

Tabla 22 Densidad y calor específico del agua a diferentes temperaturas. Fuente: Elaboración propia

De modo que para calcular el calor requerido para mantener la temperatura interior utilizaremos la siguiente ecuación:

$$Q = C_{entrada} * \delta * Cp_{sustrato} * \Delta T$$

Donde:

- Q : calor requerido

$C_{entrada}$: Caudal de entrada diario (m^3/dia)

$Cp_{sustrato}$: Calor específico del sustrato

ΔT : Diferencia de temperatura del sustrato * ($T_{requerida} - T_{sustrato\ inicial}$)

δ : Densidad del sustrato

Nuestro sustrato, como sabemos, está formado a partir de la mezcla de estiércol y sorgo, junto con la otra mitad de inóculo, proveniente del digestato líquido. Teniendo en cuenta que, aunque sea enero, (Mes más desfavorable con el que se calcula los requerimientos máximos de energía) el estiércol está en continua fermentación, por lo que la temperatura se mantiene constante, y añadido, que el inóculo sale del reactor con una temperatura de 37°C, hemos establecido que nuestro sustrato de entrada tendrá una temperatura de entrada de 15°C. Asumiendo las pérdidas del inóculo entre los diferentes tratamientos que tiene que pasar hasta volver a entrar al reactor.

Por lo que los datos de densidad y capacidad calorífica para el fluido frío (sustrato) a 15°C serán:

$$Cp_{sustrato}: \frac{4,186kJ}{kg * ^\circ C}$$

$$\delta: 900kg/m^3$$

Aplicando la fórmula:

$$Q = 14,248 \frac{m^3}{dia} * \frac{900Kg}{m^3} * \frac{4,186kJ}{kg * ^\circ C} * (37 - 15^\circ C) = 1180916 KJ/dia$$

Sabiendo que $\frac{KJ}{s} = KWh$ o que 1 KJ/h es 0,0002777 KW entonces

$$1180916 \frac{KJ}{dia} * \frac{1 dia}{24 horas} * \frac{1 hora}{3600 s} = \frac{13,66KJ}{s} = \mathbf{13,66KW}$$

La potencia requerida para el calentamiento del sustrato y mantener la temperatura en el digestor a 37°C en el mes más desfavorable será:

$$P_{requerida}: Perdidas digestor + Calor necesario sustrato$$

$$P_{requerida}: 13,69KW + 13,66KW: \mathbf{27,35KW}$$

- CÁLCULO INTERCAMBIADOR DE CALOR DIGESTOR

Una vez tenemos calculado la potencia requerida para nuestra instalación de calefacción, vamos a dimensionar el intercambiador de calor. Es importante comentar que el dimensionamiento mostrado busca mantener la temperatura de operación y no elevar su temperatura toda de vez, por lo que para la puesta en marcha se requerirán equipos complementarios hasta lograr estabilizar la temperatura.

En primer lugar, debemos calcular la superficie de intercambio de acuerdo con la potencia requerida $P_{requerida}$. Para ello, se debe calcular la diferencia de temperatura

media logarítmica, la cual es la media logarítmica de los pinzamientos de temperatura en cada extremo del intercambiador.

$$\Delta TLM = \frac{(T_{s\text{agua}} - T_{e\text{sustrato}}) - (T_{e\text{agua}} - T_{s\text{sustrato}})}{\ln\left(\frac{T_{s\text{agua}} - T_{e\text{sustrato}}}{T_{e\text{agua}} - T_{s\text{sustrato}}}\right)}$$

Por diseño del motor-generator, se establece un caudal másico de agua de refrigeración de $1.39 \text{ l/s} \rightarrow 1,39 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$. el cual viene detallado en la ficha técnica del sistema de cogeneración seleccionado

Teniendo en cuenta que la temperatura de entrada del agua de refrigeración es de 85°C , calculamos la temperatura media del circuito para obtener los valores medios de densidad y calor específico del agua en el interior del digestor. En nuestro caso al no disponer de este dato, se establece una temperatura media de 80°C , la cual más adelante será comprobada si la suposición ha sido valida.

De modo que para una temperatura de 80°C

$$Cp_{\text{agua}}: \frac{4,196 \text{ kJ}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}}$$

$$\rho: 971,70 \text{ kg/m}^3$$

La potencia calorífica que aporta el agua a su paso por el digestor, tendrá que ser igual a la potencia necesaria para mantener la temperatura optima de digestión, calculada anteriormente, de modo que calculamos la temperatura de salida a partir de esta condición.

$$P_{\text{Cal. agua}} = P_{\text{requerida}}$$

$$P_{\text{Cal. agua}} = Q_{\text{agua}} * \rho_{80^\circ\text{C}} * Cp_{\text{agua}} * (T_{\text{entrada}} - T_{\text{salida}})$$

Siendo:

- $P_{\text{Cal. agua}}$: Potencia calorífica aportada por el agua
- Q_{agua} : Caudal circulante de agua
- $\rho_{80^\circ\text{C}}$ Densidad del agua a 80°C

$$27,35 \text{ KW} = \frac{1,39 * 10^{-3} \text{ m}^3}{\text{s}} * \frac{971,70 \text{ Kg}}{\text{m}^3} * \frac{4,196 \text{ kJ}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} * (85 - T_{\text{salida}})$$

La temperatura de salida es de $80,24^\circ\text{C}$, es decir, tiene que estar muy poco tiempo.

Comprobamos que la temperatura media no coincide con la suposición inicial

$$Tm = \frac{85 + 80,24^\circ\text{C}}{2} = 82,62^\circ\text{C} \neq 80^\circ\text{C}$$

Como no coincide, volvemos a recalcular con los datos de densidad y poder calorífico del agua a 82,62°C

$$Cp_{agua}: \frac{4,198kJ}{kg * ^\circ C}$$

$$\rho: 969.91kg/m^3$$

$$27,35KW = \frac{1,39 * 10^{-3}m^3}{s} * \frac{969,91KG}{m^3} * \frac{4,198kJ}{kg * ^\circ C} * (85 - T_{salida})$$

$$T_{salida} = 80,17^\circ C$$

Temperatura	Fluido Frio (sustrato)	Fluido Caliente (agua)
Temperatura entrada	15	85
Temperatura salida	37	80,17

Tabla 23. Temperaturas obtenidas para el fluido frío y el fluido caliente

Una vez que tenemos todas las temperaturas, calculamos la diferencia de temperatura media logarítmica a partir de la formula detallada anteriormente.

$$\Delta TLM = \frac{(80,17 - 15) - (85 - 37)}{\ln\left(\frac{80,17 - 15}{85 - 37}\right)} = 56,15^\circ C$$

Para obtener la superficie de intercambio térmico aplicaremos la siguiente formula:

$$Q = \frac{\Delta T_{lm}}{R_{total}} = U * A * \Delta T_{lm}$$

Siendo:

- U : Resistencia termica total
- A : Area de intercambio
- ΔT_{lm} : diferencia de temperatura media logarítmica
-

En el intercambiador, el calor se transfiere del fluido caliente, (el agua) a la pared del intercambiador por convección, después a través de la pared por conducción, y finalmente, de la pared al sustrato frío por convección.

La resistencia total contiene dos resistencias por convección, tanto la externa como la interna y la de conducción por el propio tubo del intercambiador.

$$U * A_{ref} = \frac{1}{\frac{1}{h_o * A_o} + \frac{1}{2\pi L} * \frac{\ln\left(\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right)}{\lambda} + \frac{1}{h_i * A_i}}$$

- Cálculo del coeficiente de película externa

En este caso no tenemos constancia del coeficiente de película externa, es decir la transferencia de calor por convección entre la pared del intercambiador y el sustrato dentro del digestor, de modo que las calcularemos a partir de la expresión que define el número de *Nusselt*, se trata de un número adimensional que representa la mejora de transferencia de calor a través de una capa de fluido, como resultado de la convección en relación a la conducción a través de la misma capa.

$$Nud = \frac{h_0 * D_{tanque}}{k_f} \rightarrow h_0 = \frac{Nud * k_f}{D_{tanque}}$$

A su vez, es necesario conocer otra correlación empírica que depende del número de Reynolds (Re) y de Prandtl (Pr).

$$Re = \frac{\rho * G * d_a^2}{\mu_s}$$

Siendo:

- ρ : Densidad del sustrato
- G : velocidad de agitación (dependera del agitador elegido (rps))
- d_a : diametro del agitador
- μ_s : viscosidad dinamica del sustrato

Respecto a la viscosidad del sustrato, al no tener datos concretos se ha estimado un valor aproximado, teniendo en cuenta la viscosidad del agua, y de otros líquidos como puede ser la sangre, siendo de $\mu_s: 500 * 10^{-4} \text{ Kg/m} * \text{s}$

Líquido	Viscosidad: Kg/m * s
Agua a 37°C	$678 * 10^{-6}$
Sangre	$3,5 * 10^{-3}$
Sustrato a 37°C	$500 * 10^{-4}$

Tabla 24. Viscosidad de diferentes líquidos a 37°C

Respecto a la velocidad de agitación, como veremos en el apartado posterior, hemos seleccionado un agitador, con las características necesarias para conseguir un régimen turbulento en el interior del tanque, y así favorecer el correcto desarrollo de los microorganismos.

Potencia Nominal	Corriente Nominal	Capacidad agitación	Velocidad hélice	Fuerza axial	Peso	Diámetro hélice
1,5Kw	3,45A	1320 m3/h	221 rpm	560N	138 kg	600 mm

Tabla 25 Características de agitador seleccionado. Fuente: ZORG BIOGAS

De modo que la ecuación del número de Reynolds en tanques agitados será:

$$Re = \frac{900 \frac{kg}{m^3} * 3,68 rps * 0,6^2 m}{500 * 10^{-4} Kg/m * s} : 23846$$

Puesto que estamos en un régimen turbulento, el número de Prandtl quedara definido con la siguiente fórmula.

$$Pr: \frac{Cp * \mu_s}{k_f}$$

Siendo

- k_f : conductivida térmica del fluido
- μ_s : Viscosidad dinámica
- Cp : Calor específico

Al no tener valores concretos del sustrato, se toman unos valores aproximados a los del agua, de modo que como podemos ver en la tabla... (conductividad térmica de líquidos) suponemos un valor de $0,58 w/K * m$

$$Pr: \frac{4186 \frac{J}{Kg * ^\circ C} * 500 * 10^{-4} \frac{Kg}{m * s}}{0,58 \frac{J}{s * m * ^\circ C}} : 360,86$$

Este valor del número de prandtl nos indica que el fluido es viscoso, como bien hemos estimado, ya que, a modo de ejemplo, el número de prandtl de un líquido como el agua es de 7, mientras que de un aceite de motor es de 3400. Por lo que la estimación la damos por correcta, al ser un valor que podría asimilarse al valor del sustrato como el que estamos trabajando.

A partir del número de Reynolds (Re) y de Prandtl (Pr), podemos obtener el número de Nusselt. En nuestro caso vamos a aplicar la Ecuación desarrollada por Chilton, Drew y Jebens, donde obtuvieron una correlación para la transferencia de calor a fluidos en recipientes con agitación mecánica calefactados.

$$Nud = \frac{h_0 * D}{k_f} = k * Re^{2/3} * Pr^{\frac{1}{3}} * \frac{\mu^{0,14}}{\mu_s}$$

La constante K nos indica el tipo de aleta empelada para la agitación. En nuestro caso, el agitador seleccionado las hélices son en forma de propela-Marina por lo que la constante K será igual a 0,83.

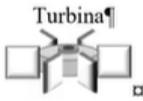
	$k=1.5\alpha$
	$k=0.87\alpha$
	$k=0.83\alpha$

Ilustración 9. Constante de K en función del tipo de Paleta

La relación entre la viscosidad del sustrato y la viscosidad del sustrato pegado a la tubería; $\frac{\mu}{\mu_s}$ estimamos que es la misma, por lo que:

$$Nud: 0,83 * 23846^{\frac{2}{3}} * 360,86^{\frac{1}{3}} * 1^{0,14} = 4896,60$$

El coeficiente de convección del lado externo de la tubería será:

$$h_o = \frac{4895,60 * 0,58 \frac{W}{m * ^\circ C}}{11m} : 258 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

- Cálculo del coeficiente de película interna al intercambiador.

La velocidad lineal del agua sabemos que es 1,72 m/s calculada a partir del diámetro seleccionado. Teniendo en cuenta que la velocidad recomendada en tuberías metálicas es de 0,50 – 2 m/s.

El número de Reynolds en tuberías será:

$$Re = \frac{V * D}{\mu_{cienmática}} = \frac{1,72 \frac{m}{s} * 0,032m}{0,602 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 91797$$

Como el número de Reynolds > 4000 consideramos que se trata de un régimen turbulento. Por lo que, sabiendo que el número de Prandtl para el agua a 82°C es de 2,15, Aplicamos la relación de Gnielinski, para un Flujo interno turbulento desarrollado, y así obtener el número de Nusselt.

$$Nud = \frac{h_i * d_t}{k_f} \frac{\left(\frac{f}{8}\right) * (Re - 1000) Pr}{1 + 12,7 * \left(\frac{f}{8}\right)^{\frac{1}{2}} * \left(Pr^{\frac{2}{3}}\right) - 1}$$

En esta ecuación, además del número de Reynolds (Re) y de Prandtl (Pr) necesitamos estimar el factor de fricción de Fanning. En nuestro caso, el factor de fricción lo estimamos a partir de la ecuación desarrollada por Haaland, para un flujo turbulento en un tubo de sección circular. La rugosidad absoluta del acero inoxidable la estimamos en 0,075 mm

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -3,6 * \log\left(\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{\varepsilon r}{3,7}\right)^{10/9}\right)$$

$$f = 0,0045$$

$$h_i = \frac{\left(\frac{f}{8}\right) * (Re - 1000) Pr}{1 + 12,7 * \left(\frac{f}{8}\right)^{\frac{1}{2}} * (Pr^{\frac{2}{3}} - 1)} * \frac{k_f}{d_t}$$

$$h_i = \frac{\left(\frac{0,0045}{8}\right) * (76013 - 1000) * 2,15}{1 + 12,7 * \left(\frac{0,0045}{8}\right)^{\frac{1}{2}} * (2,15^{\frac{2}{3}} - 1)} * \frac{0,58 \frac{W}{m * ^\circ C}}{0,032m}$$

$$h_i = 1370 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

El coeficiente total de transmisión de calor será:

$$U * A_{ref} = \frac{1}{\frac{1}{h_0 * A_0} + \frac{1}{2\pi L} * \frac{\ln\left(\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right)}{\lambda} + \frac{1}{h_i * A_i}}$$

$$U * 2\pi r_0 L = \frac{1}{\frac{1}{h_0 * 2\pi r_0 L} + \frac{\ln\left(\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right)}{2\pi \lambda L} + \frac{1}{h_i * 2\pi r_i L}}$$

$$U * 2\pi r_0 L = \frac{1}{\frac{1}{2\pi L} * \left(\frac{1}{h_0 r_0} + \frac{\ln\left(\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right)}{\lambda} + \frac{1}{h_i r_i}\right)}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_0} + \frac{r_0 \ln\left(\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right)}{\lambda} + \frac{r_0}{h_i r_i}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{258 \frac{W}{m * ^\circ C}} + \frac{0,0175m * \ln\left(\frac{0,0175m}{0,016m}\right)}{16,3 \frac{W}{m * ^\circ C}} + \frac{0,0175m}{1370 \frac{W}{m^2 * ^\circ C} * 0,016m}}$$

$$U = 209,62 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

Finalmente aplicamos la formula siguiente para obtener la superficie de contacto y la posterior longitud del intercambiador.

$$Q = U * A_{serpentín} * \Delta T_{lm}$$

$$A = \frac{27350w}{209,62 \frac{W}{m^2 * ^\circ C} * 56,15^\circ C} : 2,32 m^2$$

Finalmente sabiendo el caudal y la velocidad seleccionamos el diámetro interior de nuestra tubería a partir de la tabla de diámetros normalizados UNE 19.049/97

ACERO INOXIDABLE UNE 19.049/97					
DIAMETRO mm	DIAMETRO EXTERIOR	ESPEJOR mm	D. INTERIOR mm	CONT. AGUA l/m	PESO kg/m
DN 12	15,0	1,0	13,0	0,13	0,333
DN 15	18,0	1,0	16,0	0,20	0,410
DN 20	22,0	1,2	19,6	0,30	0,624
DN 25	28,0	1,2	25,6	0,51	0,790
DN 32	35,0	1,5	32,0	0,80	1,240
DN 40	42,0	1,5	39,0	1,19	1,503
DN 50	54,0	1,5	51,0	2,04	1,972
DN 65	76,1	2,0	72,1	4,08	3,550
DN 80	88,9	2,0	84,9	5,66	4,150
DN 100	108,0	2,0	104,0	8,49	5,050

Tabla 26 Diámetros normalizados Tuberías ACERO INOXIDABLE

La tubería seleccionada es **DN32**, con un diámetro interior de 32 mm

$$Area \text{ de contacto será: } 2\pi r_{ext}L \rightarrow L = \frac{Area}{2\pi r} = \frac{2,32 m^2}{2 * \pi * 0,0175m} : \mathbf{21,09 m}$$

Aplicamos un coeficiente de mayoración de un 20% como medida de seguridad para mantener la temperatura siempre estable, ya que es una característica fundamental para el correcto desarrollo de los microorganismos, ya que una pequeña variación de la temperatura podría provocar grandes problemas en el desarrollo de la digestión

$$Longitud \text{ final: } 21,09 + (21,09 * 0,2) \cong \mathbf{23 m}$$

- Peso del intercambiador:

Como observamos en la tabla; el tubo de acero inoxidable tiene un peso de 1,240Kg/m

$$P_{acero} \text{ intercambiador: } 1,240 \frac{kg}{m} * 23 m = 28,52 kg$$

$$P_{agua} \text{ intercambiador: Volumen intercambiador * densidad agua } 85^\circ C$$

$$P_{agua} \text{ intercambiador: } 0,0185 m^3 * 968,39 \frac{kg}{m^3} = 17,91 kg$$

$$Peso \text{ total: } 28,52kg + 17,91kg = \mathbf{46,43 kg}$$

ANEJO 9

SISTEMAS DE AGITACIÓN EN DIGESTORES

Dentro del propio digestor existe una agitación mínima, la agitación pasiva. Esta se produce debido a la inserción de materia prima nueva, así como el flujo ascendente de burbujas de gas. Sin embargo, este sistema de agitación no es suficiente para el correcto funcionamiento del digestor, por lo que se debe implementar una agitación activa, utilizando equipos mecánicos, hidráulicos o neumáticos. Estos dos últimos sistemas son menos importantes, ya que hoy en día el 90% de las plantas de biogás utilizan equipos de agitación mecánica (Al Seadi, Rutz et al., 2008).

El objetivo principal de incluir sistemas de agitación en el interior de los digestores es conseguir una mezcla homogénea del sustrato, mezclando el sustrato fresco con el ya existente. La agitación evita la formación de capas flotantes y de sedimentos, además permite poner en contacto los microorganismos con las nuevas partículas de materia prima, facilita el flujo ascendente de las burbujas de gas y homogeniza la distribución del calor y nutrientes a través de toda la masa del sustrato (Al Seadi, Rutz et al., 2008).

Esta agitación puede funcionar de forma continua o en secuencias, La experiencia demuestra que se puede optimizar empíricamente la agitación por secuencias, adaptándola a cada planta de biogás, a través del monitoreo continuo del rendimiento del digestor

A continuación, se desarrollan las características principales de cada tipo de agitadores:

- Agitadores mecánicos

La agitación se realiza mediante turbinas o agitadores de paletas o hélices, cuyos elementos giratorios desplazan al sustrato mezclándolo. Según su velocidad de rotación, los agitadores mecánicos pueden ser de funcionamiento rápido o lento. La viscosidad y el contenido de materia seca del sustrato son los factores que definen que tipo de agitador utilizar.

Generalmente los agitadores de hélice con motor sumergible se usan en digestores verticales, donde el motor eléctrico no tiene engranajes y están formados por una carcasa estanca y recubrimiento anti-corrosivo, ya que está en continuo contacto con la biomasa, la cual sirve de refrigerante.

Los agitadores de hélice sumergibles de alta velocidad normalmente contienen de dos a tres hélices y los de baja velocidad están formados de dos grandes hélices. Gracias a su sistema de tubería guía, estos se pueden ajustar tanto en altura como en inclinación



Ilustración 10 Agitador de hélice sumergible de alta velocidad (Izquierda) y de baja velocidad (derecha)

Además de los agitadores sumergibles, existen unos agitadores donde el motor se coloca fuera del digestor para facilitar las operaciones de mantenimiento. Estos agitadores se pueden colocar en el eje horizontal del digestor, en el centro del mismo, o de forma vertical o en diagonal a través de la pared. La unión del eje a través del digestor, ya sea por la pared o por la membrana de la cubierta, tiene que ser herméticas.



Ilustración 11 Agitadores laterales de hélices con motor exterior a digestor. Fuente: Agitadores SUMA

Otra posibilidad para la mezcla mecánica es la utilización de agitadores axiales. Estos, al igual que los anteriores el motor se encuentra exterior al digestor, donde el eje se sitúa de forma vertical en el centro del digestor. Este tipo de agitadores trabaja a bajas revoluciones por minuto, creando un flujo continuo que fluye desde el fondo hasta las paredes.



Ilustración 12 Agitadores axiales verticales. Fuente: SULZER

En los digestores Horizontales se suelen utilizar agitadores de paletas de funcionamiento lento. Estas se fijan sobre el eje de agitación horizontal, donde a mediante un empuje transversal al sustrato, mezcla la materia prima. El motor se encuentra en el exterior del digestor. Las paletas se colocan de forma asimétrica sobre el eje del agitador.



Ilustración 13. Agitador horizontal de paletas. Fuente: AGRIKOMP

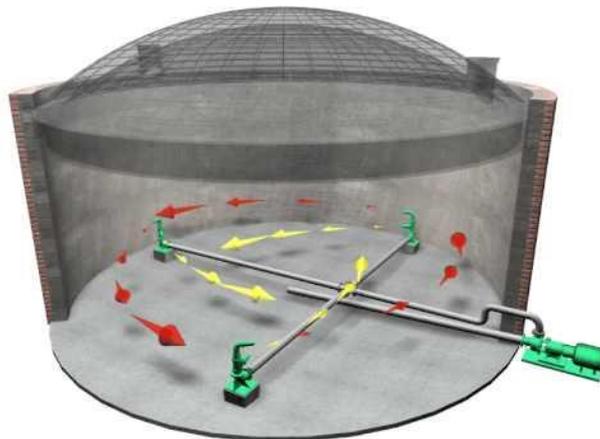
- Agitación neumática

En la agitación neumática se utiliza el biogás producido para la agitación del sustrato. Este se inyecta desde el fondo del digestor, donde las burbujas producidas por el propio gas ascienden a través de la materia prima generando un movimiento vertical, el cual provoca el mezclado del sustrato.

Este sistema tiene la ventaja que no se introducen ningún elemento mecánico en el interior del digestor, ya que todos los componentes se encuentran en el exterior, por lo que el mantenimiento es muy reducido debido al bajo desgaste de los mismos. Por el contrario, este sistema de agitación no es apropiado para la destrucción de las capas flotantes, por lo que su uso se limita en aquellos casos que utilizamos sustratos fluidos con baja tendencia a la formación de costras (Al Seadi, Rutz et al., 2008).

- Agitación Hidráulica

En este sistema de agitación la materia prima es presionada por bombas, donde se produce una succión de la materia y su posterior descarga de nuevo en el interior del digestor. Una de las ventajas principales de la agitación hidráulica es que evita la formación de costras superficiales, además de que nos permite mezclar el sustrato independientemente del porcentaje de llenado del digestor.



14 Digestor con agitación Hidráulica. Fuente: SOBITEC

ANEJO 10

DISEÑO HIDRÁULICO

Como se ve reflejado en la memoria del Proyecto, se han considerado diferentes líneas para asegurar el transporte de los fluidos implicados en la producción de biogás (sustrato, digestato y biogás) Además, se ha considerado la línea de tubería necesario para transportar el agua de la unidad de cogeneración hasta el intercambiador de calor. En este anejo, se exponen los cálculos realizados para el dimensionamiento de cada una de las líneas donde se emplea el mismo procedimiento para todas las tuberías. Para iniciar los cálculos, se necesita conocer el caudal que circula por la línea y la altura geométrica.

El diámetro que seleccionemos dependerá del tipo de biomasa que se va a conducir, intentando generar un flujo turbulento totalmente desarrollado en el interior de la tubería para evitar decantaciones de sólidos y como consecuencia., obstruir la tubería. Se debe tener en cuenta que la velocidad de un líquido poco viscoso en el interior de una tubería de conducción debe estar comprendida entre 1,2 y 2,4 m/s, siendo lo más baja posible. De no ser así, puede producirse un deterioro mecánico de la tubería. Si el fluido se trata de aire o gas, la velocidad debe estar comprendida entre 9 y 30 m/s.

En el presente anejo también se han calculado las pérdidas de carga que se producen en cada línea debido al rozamiento superficial del fluido sobre las paredes internas de la conducción. Es muy importante estimar la magnitud de dichas pérdidas, ya que influirá directamente en la potencia necesaria de los equipos de impulsión para mantener un flujo determinado.

En una red de tuberías se distinguen dos tipos de pérdidas de carga.

- Pérdidas mayores: Son las producidas en los tramos rectos de tubería. Para el cálculo de dichas perdidas utilizaremos la ecuación de *Darcy-Weisbach*:

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{U^2}{2g}$$

Donde:

- h_f : pérdida de carga en la conducción (m).
- f : factor de fricción, (adimensional).
- L : longitud de la conducción (m).
- D : diámetro interno de la conducción, (m).
- U : velocidad media del fluido, (m/s)
- g : aceleración de la gravedad, (9,8 m/s²)

- **Pérdidas menores:** Además de las pérdidas de carga continuas, existen pérdidas puntuales en elementos singulares, tales como válvulas, codos, etc.

Estas pérdidas energéticas, suelen ser pequeña en comparación con el rozamiento producido en la pared de las conducciones en que están localizados. Sin embargo, la suma de todas las pérdidas menores puede adquirir importancia y suponer incluso una fracción apreciable de la pérdida total. Para evaluar dichas perdidas utilizaremos la siguiente formula.

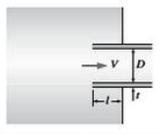
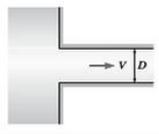
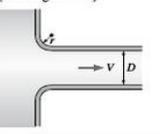
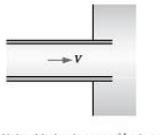
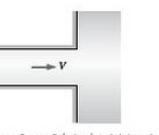
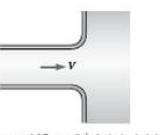
$$h_s = K * \frac{U^2}{2g}$$

Donde K es un coeficiente adimensional asociado al accesorio (válvulas, codos, uniones etc.). En la siguiente tabla se expresan los valores de K asignados en el libro de **MECÁNICA DE FLUIDOS DE CENGEL** para los diferentes accesorios.

Las pérdidas totales producidas en cada línea serán:

$$\Delta P: (h_f * m_{línea}) + h_s$$

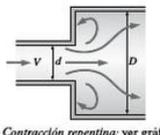
TABLA 8-4
 Coeficientes de pérdida K_L de varios accesorios de tubería para flujo turbulento (para usar en la relación $h_L = K_L V^2 / (2g)$, donde V es la velocidad promedio en la tubería que contiene el accesorio)*

<p>Entrada de la tubería Reentrante: $K_L = 0.80$ ($t \ll D$ e $l \approx 0.1D$)</p> 	<p>De borde agudo: $K_L = 0.50$</p> 	<p>Redondeada ($r/D > 0.2$): $K_L = 0.03$ Ligeramente redondeada ($r/D = 0.1$): $K_L = 0.12$ (véase figura 8-40)</p> 
<p>Salida de la tubería Reentrante: $K_L = \alpha$</p> 	<p>De borde agudo: $K_L = \alpha$</p> 	<p>Redondeada: $K_L = \alpha$</p> 

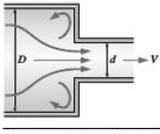
Nota: el factor de corrección de energía cinética es $\alpha = 2$ para flujo laminar totalmente desarrollado, y $\alpha \approx 1.05$ para flujo turbulento totalmente desarrollado.

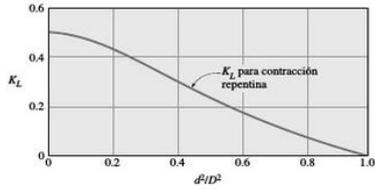
Expansión y contracción repentina (con base en la velocidad en la tubería de diámetro más pequeño)

Expansión repentina: $K_L = \alpha \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2$



Contracción repentina: ver gráfica.





Expansión y contracción gradual (con base en la velocidad en la tubería de diámetro más pequeño)

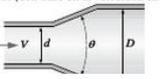
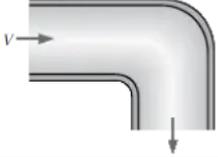
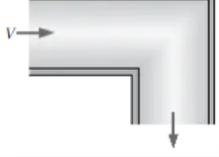
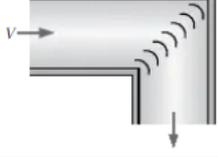
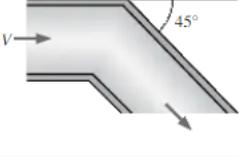
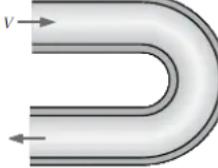
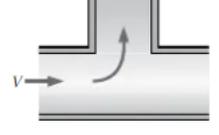
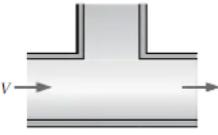
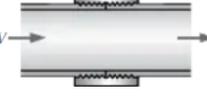
<p>Expansión: (para $\theta = 20^\circ$): $K_L = 0.30$ para $d/D = 0.2$ $K_L = 0.25$ para $d/D = 0.4$ $K_L = 0.15$ para $d/D = 0.6$ $K_L = 0.10$ para $d/D = 0.8$</p>		<p>Contracción: $K_L = 0.02$ para $\theta = 30^\circ$ $K_L = 0.04$ para $\theta = 45^\circ$ $K_L = 0.07$ para $\theta = 60^\circ$</p>	
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------

Ilustración 15. Coeficiente de K para los diferentes accesorios. Fuente: MECÁNICA DE FLUIDOS DE CENGEL

TABLA 8-4 (Continuación)

Codos y ramificaciones Codo suave de 90°: Embridado: $K_L = 0.3$ Roscado: $K_L = 0.9$ 	Codo esquinado de 90° (sin álabes directores): $K_L = 1.1$ 	Codo esquinado de 90° (con álabes directores): $K_L = 0.2$ 	Codo roscado de 45°: $K_L = 0.4$ 
Codo de retorno de 180°: Embridado: $K_L = 0.2$ Roscado: $K_L = 1.5$ 	Conexión en T (flujo deriv.): Embridado: $K_L = 1.0$ Roscado: $K_L = 2.0$ 	Conexión en T (flujo en línea): Embridado: $K_L = 0.2$ Roscado: $K_L = 0.9$ 	Unión roscada: $K_L = 0.08$ 
Válvulas Válvula de globo, totalmente abierta: $K_L = 10$ Válvula de ángulo, totalmente abierta: $K_L = 5$ Válvula de bola, totalmente abierta: $K_L = 0.05$ Válvula de charnela: $K_L = 2$	Válvula de compuerta, totalmente abierta: $K_L = 0.2$ $\frac{1}{4}$ cerrada: $K_L = 0.3$ $\frac{1}{2}$ cerrada: $K_L = 2.1$ $\frac{3}{4}$ cerrada: $K_L = 17$		

* Ésos son valores representativos para coeficientes de pérdida. Los valores reales dependen principalmente del diseño y la fabricación de los accesorios y pueden diferir considerablemente de los valores dados (en especial para las válvulas). En el diseño final se deben usar los datos reales del fabricante.

Ilustración 16. Coeficiente de K para los diferentes accesorios. Fuente: MECÁNICA DE FLUIDOS DE CENGEL

En la siguiente tabla se procede a la descripción de cada línea que forma el proyecto.

Línea	Fluido	Descripción de la línea
1 – Línea de Alimentación digestor	Sustrato recirculante	Esta línea transporta el líquido procedente del tanque de almacenamiento del líquido recirculante tras la separación líquido-sólido
2 - Línea descarga del digestor	Digestato	Transporta el digestato hasta el separador líquido sólido
3 - Línea de Biogás	Biogás	Transporta el biogás desde el gasómetro hasta la trampa de humedad y el filtro de H ₂ s y de allí al motor de cogeneración
4 - Línea de Agua de refrigeración	Agua	Transporta el agua de refrigeración desde la unidad de cogeneración hasta el intercambiador y viceversa

Tabla 27. Instalación hidráulica de la planta. Fuente: Elaboración propia

- Línea 1: Alimentación al digestor

Como hemos comentado anteriormente esta línea de tuberías se va a encargar del transporte del sustrato líquido proveniente del tanque de almacenamiento líquido, hasta el sistema *CC-Mix de Vogelsang* donde se mezclará con el sustrato sólido para ser introducidos en el digestor.

El material de la tubería va a ser de policloruro de vinilo (PVC) debido a su buena durabilidad al paso del tiempo, al tener buena resistencia a los químicos evitando la posible corrosión externa e interna de la tubería, evitando así mantenimientos.

Para estimar el diámetro de la tubería tenemos que tener en cuenta el caudal que va a circular por ella. En este caso, como se trata de la línea encargada de alimentar al digestor la parte líquida, y al tratarse de un sistema que funciona de forma semi-continua, estimamos que el caudal circulante será de $3,206m^3$ teniendo en cuenta que el llenado se realiza cada 12 horas y que el líquido recirculante total que introducimos en el digestor es de $6,412m^3$.

Para calcular el caudal circulante tenemos que tener en cuenta el rendimiento del sistema CC-Mix, como podemos observar en el catálogo, el rendimiento máximo es de $50m^3/h$ por lo que estimamos un rendimiento medio de $25m^3/h$ para garantizar una correcta mezcla. De modo que nuestro tiempo en introducir los $7,124 m^3$ de sustrato total tardaremos 20 minutos.

Con todos los datos estimamos el caudal:

$$Q = \frac{3,206m^3}{20min} * \frac{1 min}{60 s} = \frac{0,002,67m^3}{s} = 2,67l/s$$

A partir del caudal, elegimos la velocidad de funcionamiento para generar un flujo turbulento desarrollado evitando la decantación de sólidos, ya que una pequeña concentración contiene debido a que la eficiencia de separación no es 100%.

Velocidad: $1,6 m/s$

$$area = \frac{Q}{V} = \frac{0,00267m^3}{s} : 1,6 m/s = 21,67 * 10^{-3}m^2$$

$$Area = \pi * \frac{D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{A * 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{2,22 * 10^{-3}m^2 * 4}{\pi}} = 0,0461m$$

A partir de la tabla de diámetros normalizados de PVC según la norma UNE-EN 1519-1:2000, escogemos el más próximo a nuestros cálculos.

En nuestro caso hemos optado por una tubería con un diámetro nominal de 50 mm, diámetro interior de 46,4 mm, y una presión de 6 bares.

Al modificar el diámetro se nos modifica la velocidad.

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,00356m^3}{\pi * \frac{0,0464^2}{4}} \approx 1,6 m/s$$

La longitud de la línea 1 tal y como se observa en los planos será de 2,99m, pero aplicamos un coeficiente de mayoración de un 5% como medida de seguridad, de modo que la longitud final es de 3,14m

DN (mm)	DE (mm)	PN 0,4 Mpa		PN 0,6 Mpa		PN 1,0 Mpa		PN 1,6 Mpa	
		e (mm)	DI (mm)	E (mm)	DI (mm)	e (mm)	DI (mm)	e (mm)	DI (mm)
16	16							1,2	13,6
20	20			1,2	17,6			1,5	17,0
25	25			1,2	22,6	1,5	22,0	1,9	21,2
32	32	1,2 ⁴	29,6	1,4	29,2	1,8	28,4	2,4	27,2
40	40	1,4	37,2	1,8	36,4	2,0	36,0	3,0	34,0
50	50	1,4	47,2	1,8	46,4	2,4	45,2	3,7	42,6
63	63	1,8	59,4	1,9	59,2	3,0	57,0	4,7	53,6
75	75	1,8	71,4	2,2	70,6	3,6	67,8	5,6	63,8
90	90	1,8	86,4	2,7	84,6	4,3	81,4	6,7	76,6
110	110	2,2	105,6	3,2	103,6	5,3	99,4	8,2	93,6
125	125	2,5	120,0	3,7	117,6	6,0	113,0	9,3	106,4
140	140	2,8	134,4	4,1	131,8	6,7	126,6	10,4	119,2
160	160	3,2	153,6	4,7	150,6	7,7	144,6	11,9	136,2
180	180	3,6	172,8	5,3	169,4	8,6	162,8	13,4	153,2
200	200	4,0	192,0	5,9	188,2	9,6	180,8	14,8	170,4
250	250	4,9	240,2	7,3	235,4	11,9	226,2	18,5	213,0
315	315	6,2	302,6	9,2	296,6	15,0	285,0	23,4	268,2
400	400	7,9	384,2	11,7	376,6	19,1	361,8	29,7	340,6
500	500	9,8	480,4	14,6	470,8	23,9	452,2		

Tabla 28 Diámetros normalizados en tuberías de PVC

- Pérdidas de carga:

A continuación, calculamos las pérdidas de carga en el tramo recto de la tubería por metro de tubo a partir de la ecuación de Darcy-Weissbach.

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{U^2}{2g}$$

El factor de fricción o rozamiento puede ser calculado gráficamente mediante la gráfica de *Moody*. Para ello necesitamos en primer lugar calcular el número de *Reynolds* así como la rugosidad relativa.

Para calcular el número de *Reynolds* utilizaremos la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{V * D}{\mu_{\text{cinemática}}} = \frac{1,6 \frac{m}{s} * 0,0464m}{1 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 74240 = \text{Flujo turbulento desarrollado}$$

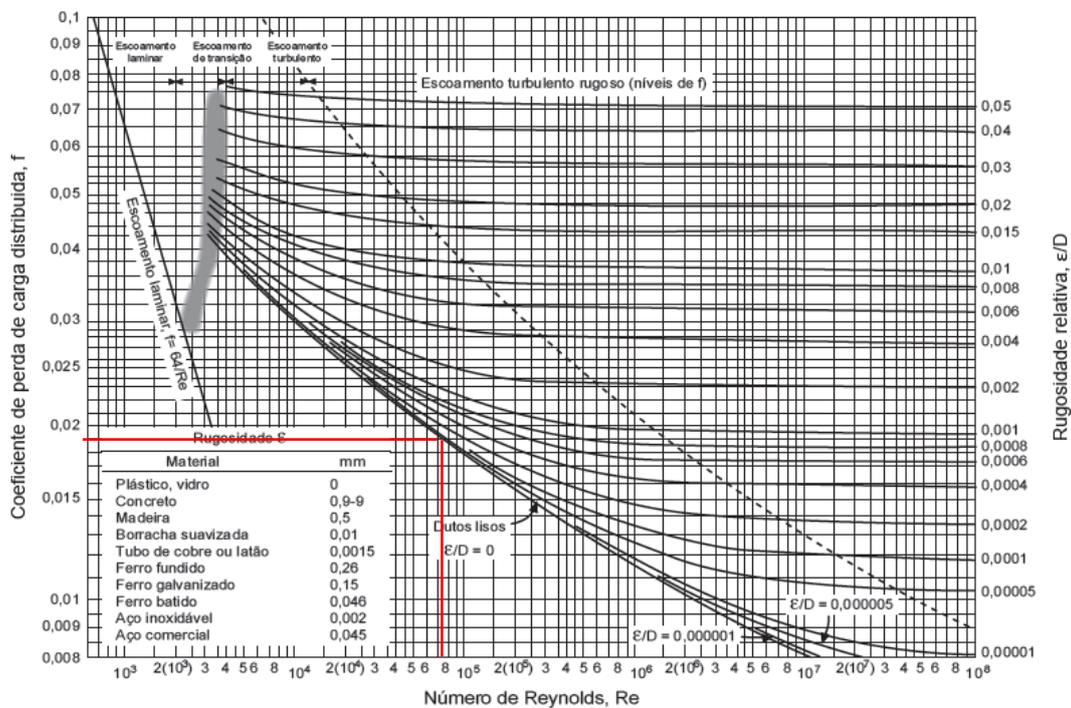
Donde:

- $\mu_{\text{cinemática}}$ a 20°C = $1 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}$
- $v = 1,6 \frac{m}{s}$
- $D = 46,4 \text{ mm}$

La rugosidad relativa dependerá del material y del diámetro de la tubería.

$$\text{Rugosidad relativa: } \frac{\varepsilon}{D}$$

En el caso de las tuberías de PVC, establecemos una rugosidad absoluta de 0,015. De modo que sabiendo el diámetro interno 46,4 mm, obtenemos la rugosidad relativa: 0,00032.



De modo que, a partir del número de *Reynolds*; $7,4 * 10^4$ y de la rugosidad relativa, entramos en el diagrama de *Moody* obteniendo el factor de fricción aproximado de; $f_D = 0,0192$.

Las pérdidas de carga serán:

$$h_f = 0,0192 * \frac{1m}{0,0464m} * \frac{(1,6 m/s)^2}{2 * \frac{9,8m}{s^2}} = 0,054 m / m_{tub}$$

- Pérdidas de carga en la línea para accesorios

Una vez calculadas las pérdidas por fricción se calculan las pérdidas localizadas en los elementos singulares de la instalación.

$$h_s = K * \frac{U^2}{2g}$$

Accesorios	D. interno	K	h_s
Entrada de la tubería de borde agudo	46,4 mm	0,50	0,065
Válvula de compuerta (1) (totalmente abierta)	46,4 mm	0,20	0,026
Válvula de retención (1) (totalmente abierta)	46,4 mm	2	0,26
Codos 45º (2)	46,4 mm	0,40	0,052
Caudalímetro	46,4 mm	0,2	0,026
Salida de la tubería	46,4 mm	1	0,13
Σh_s línea 1			0,61 mca

Tabla 29. Pérdidas de carga por los accesorios en la Línea 1. Fuente: Elaboración propia

Las pérdidas totales de la línea 1 serán:

$$\Delta P: (h_f * m_{línea}) + h_s$$

$$\Delta P: (0,054m * 3,14) + 0,61m: 0,78 m$$

$$\Delta P (Pa) = m * \rho * g \rightarrow 0,78 m * \frac{999,70Kg}{m^3} * \frac{9,8m}{m^2} = 7637 Pa$$

LONGITUD	DIAMETRO INTERIOR	VELOCIDAD	CAUDAL	PERDIDAS DE CARGA
3,14m	46,6 mm	1,6 m/s	2,67 l/s	7637 Pa

Tabla 30. Características generales línea 1. Fuente: Elaboración propia

- Línea 2: Descarga del digestor

La línea dos se encargada de la descarga del digestor, se va a dividir en dos líneas.

- Línea 2.1; Va desde el digestor hasta el separador de líquidos-sólidos

- Línea 2.2; desde el separador líquidos-sólidos hasta el tanque de almacenamiento del líquido

Línea 2.1:

La descarga del digestor se realizará a través de una bomba situada en el exterior del digestor, encargada de suministrar el caudal necesario para el separador de líquidos sólidos.

Conociendo las características del separador donde nos indican que el rendimiento máximo es de $16 \text{ m}^3/\text{h}$, así como la composición de nuestro digestato, establecemos el caudal de $7 \text{ m}^3/\text{h}$. Este caudal lo hemos establecido en función del porcentaje de sólidos totales que contiene nuestro digestato; $92,4 \text{ Kg ST/T}$. De modo que necesitaremos más tiempo para una correcta separación del sustrato líquido del sólido.

A partir de la tabla de diámetros normalizados de PVC según la norma UNE-EN 1519-1:2000, escogemos el diámetro que mejor se adapte a nuestra línea. Siendo el diámetro seleccionado más próximo al diámetro de salida del sistema de bombeo y al diámetro del conector de entrada del sistema de separación en fases. Por lo que, la tubería seleccionada tendrá con un diámetro nominal de 110 mm , cuyo diámetro interno es de $93,6 \text{ mm}$ para soportar una presión de hasta 16 bares .

Conociendo el caudal y el área de la tubería, establecemos la velocidad del flujo de transferencia.

$$V = \frac{Q}{\text{área}} = \frac{0,0019 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi * \frac{0,0936^2}{4}} = 0,28 \text{ m/s}$$

$$\text{Area} = \pi * \frac{D^2}{4}$$

- Pérdidas de carga:

En primer lugar, calculamos el número de Reynolds para saber qué tipo de flujo es.

Numero de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho * v * D}{\mu_s}$$

Siendo:

- ρ : Densidad del sustrato
- v : velocidad
- D : diametro del tubo
- μ_s : viscosidad dinamica del sustrato
-

$$Re = \frac{900 \text{ Kg/m}^3 * 0,28 \text{ m/s} * 0,0936 \text{ m}}{500 * 10^{-4} \text{ kg/m} * \text{s}} = 471,74$$

Flujo laminar

Como se trata de un régimen laminar; N° Reynolds < 2300 ; el factor de fricción no depende de la aspereza de la tubería, por lo que lo calcularemos a partir de la *ley de Poiseuille*.

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{471,74} = \mathbf{0,13}$$

La pérdida de carga de la tubería de descarga del digestor será:

$$h_f = 0,13 * \frac{1m}{0,0936m} * \frac{(0,28m/s)^2}{2 * \frac{9,8m}{s^2}} = 0,0055 m/m_{tub}$$

La longitud del tramo recto será:

$$L: 6,52m * 1,05 = 6,84m$$

- Pérdidas de carga en la línea para accesorios

Una vez calculadas las pérdidas por fricción se calculan las pérdidas localizadas en los elementos singulares de la instalación.

$$h_s = K * \frac{U^2}{2g}$$

Accesorios	D. interno	K	h_s
Entrada de la tubería de borde agudo	93,6 mm	0,50	0,002
Válvula de compuerta (1) (totalmente abierta)	93,6 mm	0,20	0,0008
Caudalímetro	93,6 mm	0,20	0,0008
Válvula de retención (1) (totalmente abierta)	93,6 mm	2	0,008
Codos 90° (3)	93,6 mm	0,90	0,0036
Salida de la tubería	93,6 mm	2	0,008
Σh_s línea 2.1			0,03 mca

Tabla 31. Pérdidas de cargas producidas por los accesorios en la línea 2.1. Fuente: Elaboración Propia

Las pérdidas totales de la línea 2.1 serán:

$$\Delta P: (h_f * m_{línea}) + h_s$$

$$\Delta P: (0,0055m * 6,84) + 0,03m: 0,068 m$$

$$\Delta P (Pa) = m * \rho * g \rightarrow 0,069 m * \frac{900Kg}{m^3} * \frac{9,8m}{m^2} = 600 Pa$$

Línea 2.2:

Como hemos dicho, esta línea se encargará de evacuar los líquidos resultantes tras la separación de los mismos desde el separador hasta el tanque de almacenamiento de líquidos. En este tramo de tubería no utilizaremos ningún medio de impulsión, ya que el líquido se impulsará gracias a la diferencia de cota entre el separador y el tanque de almacenamiento.

El dimensionamiento de la tubería lo realizaremos en base al caudal máximo circulante en el tiempo previsto de separación. Conociendo que tras la separación de líquidos-sólidos obtenemos un caudal de $4,7 m^3$ en 59 minutos, que es el tiempo previsto de separación; El caudal circulante por la tubería será de $4,77 m^3/h$.

Establecemos una velocidad de referencia de 1 m/s

$$Area = \frac{Q}{V} = \frac{0,0013 m^3/s}{1 m/s} = 0,0013 m^2/s$$

$$Area = \pi * \frac{D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{A * 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{1,3 * 10^{-3} m^2 * 4}{\pi}} = 0,041 m$$

De modo que la tubería seleccionada para la evacuación de líquidos hasta el tanque de almacenamiento será de PVC DN50 con un diámetro interno de 46,4 mm para soportar una presión de hasta 6 bares.

La longitud de la tubería será:

$$L: 5,69 m * 1,05 = 5,97 m$$

En esta línea las pérdidas de carga las consideramos despreciables, ya que, se trata de un tramo corto con una pendiente constante y si elementos singulares que puedan dificultar el tránsito del líquido, donde no es necesario un equipo de impulsión

- Características generales línea 2

	LONGITUD	DIAMETRO INTERIOR	VELOCIDAD	CAUDAL	PERDIDAS DE CARGA
Línea 2.1	6,52 m	84,6 mm	0,338 m/s	$7 m^3/h$	600 Pa
Línea 2.2	5,97 m	46,4 mm	<1 m/s	$4,77 m^3/h$	-

Tabla 32. Características generales de la Línea 2. Fuente: Elaboración propia

Línea 3: Conducción del biogás

La instalación de gas se divide en tres tramos de tuberías.

- Línea 3.1: que va desde el digestor hasta la trampa de humedad
- Línea 3.2 que va desde la trampa de humedad hasta la unidad de desulfuración
- Línea 3.3 que va desde la unidad de desulfuración hasta el motor co-generador.

Para el diseño de la instalación de las tuberías de biogás, se conocen los siguientes datos.

- El caudal de biogás es de $452,95 \text{ m}^3/\text{día}$
- De acuerdo con la normativa aplicable, la velocidad del gas por el interior de una tubería no debe superar nunca los 20m/s, la velocidad de flujo recomendada para gases a baja presión se sitúa entre 10-20m/s. La velocidad seleccionada la consideremos constante a lo largo de todo el tramo.
- Se ha considerado que la temperatura del biogás en el interior de las tuberías es constante, estableciendo un flujo isotérmico, es decir que la temperatura se mantiene constante.
- Para provocar la condensación del agua del biogás se realiza tras la expansión del biogás en un volumen provocando un flujo adiabático, de modo que produce un descenso de la temperatura a través de un descenso de la presión

Las tuberías utilizadas en las instalaciones de biogás deben ser resistentes a la corrosión, dado que el biogás es una mezcla corrosiva, Los materiales comúnmente empleados incluyen, tubos de acero inoxidable, tubos de PVC, polietileno y acero galvanizado. En las plantas de biogás se utilizan comúnmente tuberías de polietileno o PVC, debido a que estos materiales no son afectados por la acción del ácido sulfhídrico. En nuestro caso hemos optado por una tubería de polietileno de alta densidad debido a diversos factores. Por un lado, se trata de tuberías resistentes a la corrosión interna, además suponer un coste menor de instalación en comparación con una tubería de acero inoxidable. El polietileno de alta densidad se trata de un buen aislante, de modo, como hemos establecido un flujo isotérmico en las tuberías de conducción, con este material conseguimos mantener la temperatura de la tubería constante, debido a que no existe pérdida o ganancia de calor por el propio gas circulante.

- Diseño hidráulico

El diámetro de la tubería lo vamos a determinar en base al caudal y la velocidad de conducción. Para nuestros cálculos, consideraremos una velocidad de 15 m/s constante a lo largo de toda la línea.

La velocidad en la conducción se mantendrá constante al considerar la temperatura sin variaciones, y por lo tanto la densidad constante.

Comenzamos calculando el caudal:

$$Q = \frac{452,95 \text{ m}^3}{\text{dia}} * \frac{1 \text{ dia}}{86400\text{s}} = 0,00524\text{m}^3/\text{s}$$

Diámetro será:

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * v}} = \sqrt{\frac{4 * 0,00524\text{m}^3/\text{s}}{\pi * 15}} = 0,021\text{m}$$

La tubería seleccionada para ambas líneas será de Polietileno de alta densidad de DN25 (+- 1 PULGADA) con una presión de 6 bares, coincidiendo con la entrada del gas al sistema de cogeneración seleccionado.

- Pérdidas de carga durante la conducción:

Como se trata de un flujo isotérmico, para el cálculo de las pérdidas de carga consideramos los datos de densidad y viscosidad constantes para el gas, es decir con una temperatura de trabajo de 37°C.

Donde

- Densidad biogás 59% CH₄ = 1,13 kg/m³
- Viscosidad dinámica: μ : 1,1 * 10⁻⁵ Pa * s o (kg/m * s)

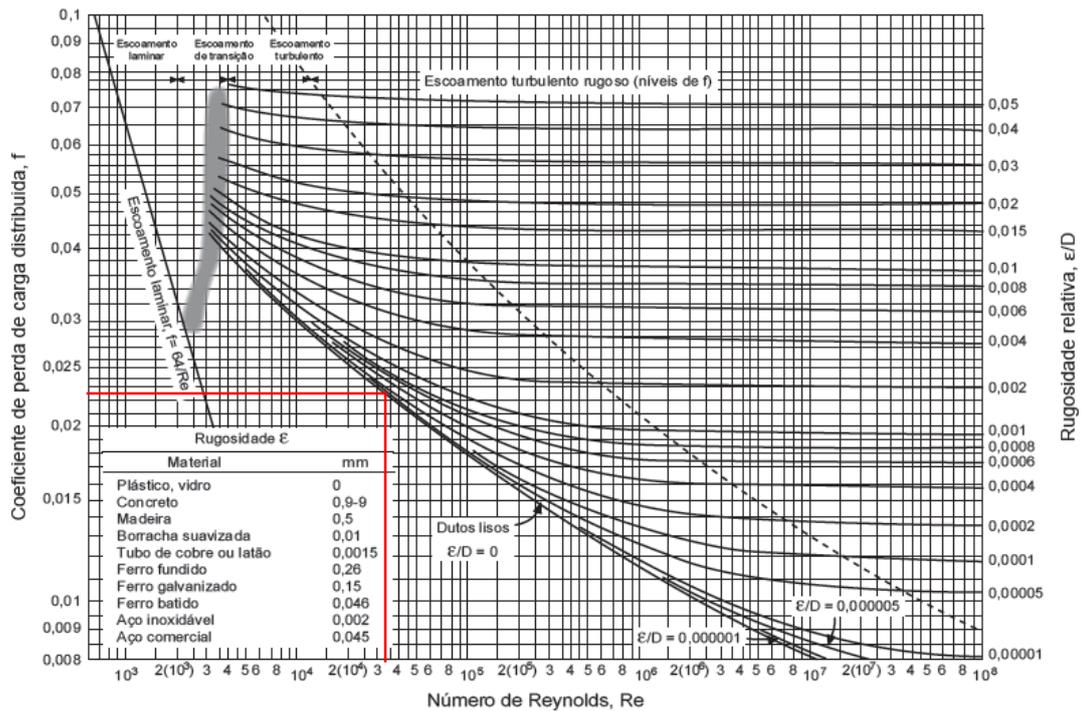
El número de Reynolds será:

$$Re = \frac{\rho * v * D}{\mu} = \frac{1,13\text{kg}}{\text{m}^3} * 15 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0,021 \text{ m}}{1,1 * 10^{-5} \text{kg} \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}}} = 32359,1$$

La rugosidad relativa dependerá del material y del diámetro de la tubería.

$$\text{Rugosidad relativa: } \frac{\varepsilon}{D}$$

En el caso de las tuberías de polietileno, establecemos una rugosidad absoluta de 0,0015. De modo que sabiendo el diámetro interno 21 mm, obtenemos la rugosidad relativa: 0,00007.



Por lo tanto, el factor de fricción será: $f_D: 0,0225$

La ecuación correspondiente para el cálculo de las pérdidas de carga en condiciones isotérmicas será la siguiente. Atendiendo a la ecuación de los gases ideales, manteniendo una temperatura constante, consideramos el producto de la presión y el volumen constante a lo largo de toda una conducción ($p * v = cte$). De esta manera deducimos la ecuación general aplicable a cualquier tipo de fluido isoterma.

$$\frac{M}{2RT}(P1^2 - P2^2) = G^2 * \ln\left(\frac{P1}{P2}\right) + fG^2 \frac{L}{2D}$$

Donde:

- M: peso molecular del gas, (kg/mol).
- R: constante universal de gases (J/mol·K)
- T: temperatura del gas (K)
- G: velocidad másica del gas (kg/m²·s)
- f: factor de fricción
- L: longitud de la conducción (m)
- D: diámetro interno de la conducción, m.
- P1, P2: presión a la entrada y salida de la tubería, respectivamente (Pa)

$$G = \rho * V = \frac{1,13kg}{m^3} * \frac{15m}{s} : 16,95 \frac{kg}{m^2 * s}$$

- Línea 3.1:

Como hemos dicho antes, esta línea va desde la salida del digestor hasta la entrada de la trampa de humedad. Esta línea tiene una longitud de 6,23m considerando el coeficiente de mayoración (5%), de modo que las pérdidas de carga serán las siguientes;

- **M:** peso molecular del gas (59% CH₄), 0,026 kg/mol.
- **R:** constante universal de gases, 8,31 J/mol·K
- **T:** temperatura del gas, 310 K
- **G:** velocidad másica del gas, kg/m²·s.
- **f:** factor de fricción: 0.00225
- **L:** longitud de la conducción (5,936 m)
- **D:** diámetro interno de la conducción, 0,021 m.
- **P1,** presión absoluta a la entrada= Patm +Pbiogás gasómetro= 1 atm + 20 mbar = 103325 Pa.
- **P2:** presión absoluta a la salida de la tubería, respectivamente (Pa)

Para el cálculo de la presión absoluta de entrada en la línea, tenemos en cuenta la presión que ejerce el propio gasómetro sobre el biogás para facilitar su salida. En nuestro caso, la presión que ejercerá el gasómetro será función de las pérdidas de carga producidas en la red. De modo que ajustaremos la presión ejercida por el gasómetro para garantizar la correcta presión de entrada al motor cogenerador, siempre y cuando no sean necesario aplicar presiones excesivas, que en ese caso sería necesario la instalación de un soplador. Para el cálculo hemos seleccionado una presión de 20 mbar, que suele ser una presión de trabajo común en los gasómetros.

Como se trata de un tramo corto, deducimos que la perdida de presión va a ser pequeña, de modo que la ecuación anterior la simplificamos en la siguiente ecuación. La ecuación de waymouth

$$\frac{M}{2RT} (P1^2 - P2^2) = fG^2 \frac{L}{2D}$$

$$(P1^2 - P2^2) = \frac{RT}{M} fG^2 \frac{L}{D}$$

$$(103325^2 - P2^2) = \frac{8,31 J}{mol K} * 310 K}{0,026kg/mol} 0,0225 * \left(\frac{16,95 Kg}{m^2s} \right)^2 * \frac{6,23m}{0,021m}$$

Despejando P2 obtenemos:

$$P2 = 102401 \text{ Pa}$$

Por lo que la pérdida de carga en la línea 3.1 será

$$h_f: 103325 - 102401 = 924 \text{ Pa} \rightarrow \mathbf{9,24 \text{ mBar}}$$

- Perdidas de carga en la trampa de humedad:

Como hemos comentado en el inicio del anexo, la condensación del vapor saturado en el biogás se provocará disminuyendo la temperatura. Esta disminución de temperatura se logrará atendiendo a la *ley de Boyle*, la cual establece que, a temperatura constante, un aumento del volumen provoca un descenso de la presión. Esto da lugar a un flujo adiabático, donde no existe intercambio de calor con el medio.

Este aumento del volumen se realizará a partir de la instalación de un tanque de acero inoxidable en la propia red. El tanque o deposito tendrá unas medidas de 1,5 metro de alto por 0,5m de diámetro. Estará compuesto por una conexión de entrada donde se producirá una expansión del gas, y una conexión de salida, produciendo la contracción del gas.

Las pérdidas de carga producidas en la trampa de humedad las calcularemos a partir de la ecuación de pérdidas de cargas menores producida por accesorios en la red.

$$h_s = K * \frac{V^2}{2g}$$

Donde el valor de K vendrá expresado a partir de la siguiente tabla

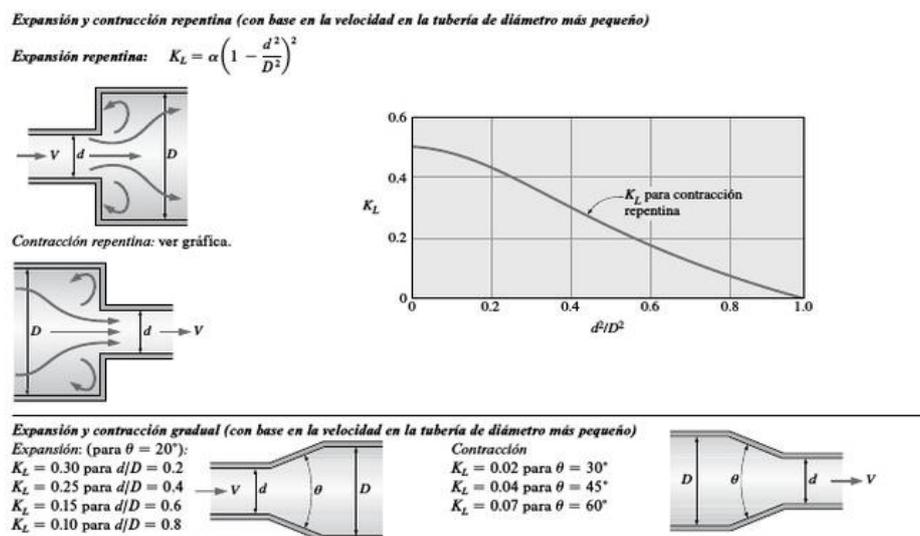


Tabla 33. Valores de K asignados para los diferentes accesorios. Fuente: MECÁNICA DE FLUIDOS DE CENGEL

Perdidas de carga producida por una expansión del gas.

$$h_s = \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2 * \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

- h_s Pérdida de presión, Pa
- K: coeficiente de pérdida por expansión
 - o d: Diámetro interno tubería entrada: 0,021m
 - o D: Diámetro interno accesorio: 0,6m
- V: Velocidad: 15 m/s
- G: gravedad

$$h_s = \left(1 - \frac{0,021^2}{0,6^2}\right)^2 * \frac{15^2}{2 * 9,8} = 11,47 \text{ m}$$

$$Pa: 11,47 \text{ m} * \left(\frac{1,13Kg}{m^3}\right) * 9,8 \frac{m}{s^2} = 127 \frac{kg}{m * s^2} = \mathbf{127 Pa = 1,27 mbar}$$

Perdidas de carga producida por la contracción repentina del gas

$$h_s = K * \frac{V^2}{2g}$$

Observando en la gráfica anterior, obtenemos que el valor de K para nuestro caso será el máximo, es decir K=0,5

$$h_s = 0,5 * \frac{\left(\frac{15m}{s}\right)^2}{2 * 9,8 \frac{m}{s^2}} = 5,74 \text{ m}$$

$$Pa: 5,74 \text{ m} * \left(\frac{1,13Kg}{m^3}\right) * 9,8 \frac{m}{s^2} = 63,56 \frac{kg}{m * s^2} = 63,56 Pa \rightarrow 0,63 \text{ mbar}$$

Las pérdidas de carga total en la trama de humedad serán:

$$h_{s_{total}} = h_{s_{exp}} + h_{s_{cont}} = 1,27 \text{ mbar} + 0,63 \text{ mbar} = \mathbf{1,90 mbar}$$

- Línea 3.2:

En este tramo consideramos despreciables las pérdidas de carga en la red debido a la proximidad de ambos equipos

- Pérdidas de carga en la unidad de desulfuración:

El depósito o tanque utilizado para el filtro de H₂S será de similares medidas a la trampa de humedad, con un volumen interior de 300L. La única diferencia es que este estará relleno de un lecho fijo formado a partir de carbón activo, que será el encargado de eliminar el sulfuro de hidrógeno y otros contaminantes a través de la adsorción. Las pérdidas de carga producidas en el filtro serán la suma de las pérdidas de carga producidas en la entrada y salida del biogás del tanque y las pérdidas de carga producidas por el paso a través del lecho de carbón activado.

Al ser el tamaño idéntico a tanque de la trampa de humedad, las pérdidas producidas por la expansión y contracción en la entrada y salida del gas serán las mismas.

$$h_s = h_s \text{ trampa} + h_s \text{ filtro}$$

Los requerimientos principales para el correcto proceso de adsorción por parte del carbón activo se basan en un suficiente tiempo de retención entre (0,6 -6 segundos) de modo que establecemos una velocidad de circulación del gas sobre la cara del lecho de carbón activo de 0,1 m/s. Los diámetros de las partículas que conforman el carbón activo son de 0,1-10mm.

Al no disponer información característica del carbón activo, hemos determinado realizar los cálculos asumiendo que las partículas que conforman el carbón activo son esféricas.

A partir de este dato podemos comenzar a determinar las diferentes características relacionadas con el carbón activado. Con los datos bibliográficos observados, hemos determinado una superficie específica elevada, en nuestro caso hemos establecido 1000m²/g, es decir la superficie de contacto del carbón activado con el gas.

Una vez definida la velocidad superficial del fluido, definimos el módulo de Reynolds de partícula, Re_p , de forma que:

$$Re_p = \frac{\rho * v * d_p}{\mu}$$

Donde:

- ρ : densidad del fluido: $1,13 \text{ kg/m}^3$
- v : velocidad: $0,1 \text{ m/s}$
- μ : viscosidad dinámica del fluido: $1,1 * 10^{-5} \text{ Pa} * \text{s} \text{ o } (\text{kg/m} * \text{s})$
- d_p : tamaño medio de las partículas: $0,005 \text{ m}$

$$Re_p = \frac{\frac{1,13 \text{ kg}}{\text{m}^3} * \frac{0,1 \text{ m}}{\text{s}} * 0,005 \text{ m}}{1,1 * \frac{10^{-5} \text{ kg}}{\text{m}} * \text{s}} : 51,36$$

Como podemos observar, se trata de un régimen laminar, de modo que para la determinación de las pérdidas de carga producidas en el interior del tanque con un lecho fijo poroso y un régimen laminar del líquido compresible utilizamos la ecuación de *Ergun*. Ergun realizó una deducción para la obtención de una expresión que fuera válida para el régimen de transición laminar; $10 < Re_p < 1000$. Estableciendo la siguiente relación:

$$\frac{\Delta P}{L} = 150 \frac{(1 - \varepsilon_m)^2}{\varepsilon_m^3} * \frac{\mu * v}{(\Phi * d_p)^2} + 1,75 * \frac{1 - \varepsilon_m}{\varepsilon_m^3} * \frac{\rho * v^2}{\Phi * d_p}$$

Siendo:

- ΔP : Pérdida de presión
- L : Altura del lecho $1,51 \text{ m}$
- ε_m : Porosidad media del lecho: $0,48$
- μ : Viscosidad del fluido $1,1 * 10^{-5} \text{ Pa} * \text{s} \text{ o } (\text{kg/m} * \text{s})$
- v : velocidad superficial del líquido $0,1 \text{ m/s}$
- Φ : factor de esfericidad: 1
- d_p = tamaño medio de las partículas $0,005 \text{ m}$
- ρ : Densidad del fluido $1,13 \text{ kg/m}^3$

Tal y como se indica en la bibliografía, para caudales bajos, el segundo término de la ecuación de *Ergun* es despreciable, siendo la pérdida de carga directamente proporcional a la velocidad superficial.

$$\Delta P = 150 \frac{(1 - 0,48)^2}{0,48^3} * \frac{1,1 * 10^{-5} * 0,1}{(1 * 0,005)^2} * 1,51 = 24,36 \text{ Pa} \rightarrow 0,24 \text{ mbar}$$

Por lo tanto, la pérdida de presión total en el filtro será:

$$h_s = h_s \text{ trampa} + h_s \text{ filtro: } 1,90 + 0,24 = \mathbf{2,14 \text{ mbar}}$$

- Línea 3.3:

Como hemos comentado, este último tramo se encarga de unir la unidad de desulfuración con el sistema de cogeneración. La longitud de este tramo con el coeficiente de mayoración es de 3,17 metros, de modo que las pérdidas de carga serán las siguientes;

- M: peso molecular del gas (59% CH₄), 0,026 kg/mol.
- R: constante universal de gases, 8,31 J/mol·K
- T: temperatura del gas, 310 K
- G: velocidad másica del gas, kg/m²·s.
- f: factor de fricción: 0.00225
- L: longitud de la conducción (3,02 m)
- D: diámetro interno de la conducción, 0,021 m.
- P1, presión absoluta a la entrada.
- P2: presión absoluta a la salida de la tubería, respectivamente (Pa)

La presión absoluta de entrada será la presión de salida del filtro, es decir la resta de la presión perdida en el primer tramo, en la trampa de humedad y en el propio filtro. Sumatorio de pérdidas de carga hasta el inicio del último tramo:

$$h_s: (9,24 \text{ mbar} + 1,90 \text{ mbar} + 2,14 \text{ mbar}) = 13,28 \text{ mbar} = 1328 \text{ Pa}$$

$$P_{\text{entrada}}: 1 \text{ atm} + (20 \text{ mbar} - P_{\text{perdida}}) =$$

$$P_{\text{entrada}} = 101325 \text{ Pa} + (2000 \text{ Pa} - 1328 \text{ Pa}) = 101997 \text{ Pa}$$

Como se trata de un tramo corto, deducimos que la pérdida de presión va a ser pequeña, de modo que la ecuación anterior la simplificamos en la siguiente ecuación. La ecuación de waymouth

$$\frac{M}{2RT} (P1^2 - P2^2) = fG^2 \frac{L}{2D}$$

$$(P1^2 - P2^2) = \frac{RT}{M} fG^2 \frac{L}{D}$$

$$(101997^2 - P_2^2) = \frac{8,31 J}{mol K} * 310 K}{0,026 kg/mol} * 0,0225 * \left(\frac{16,95 Kg}{m^2 s}\right)^2 * \frac{3,17 m}{0,021 m}$$

Despejando P2 obtenemos:

$$P_2 = 101522 Pa$$

Por lo que la pérdida de carga en la línea 3.1 será

$$h_f: 101997 - 101522 = 475 Pa \approx \mathbf{4,75 mBar}$$

Las pérdidas totales producidas en la línea de biogás:

$$\Delta P: \text{Línea 3.1} + \text{Tramp. humedad} + \text{Filtro} + \text{Línea 3.3}$$

$$\Delta P: 9,24 mbar + 1,90 mbar + 2,14 mbar + 4,75 mbar: \mathbf{18,03 mbar}$$

- Características generales línea 3.

PVC	LONGITUD	DIAMETRO INTERIOR	VELOCIDAD	CAUDAL	PERDIDAS DE CARGA
Línea 3.1	6,23 m	21 mm	15 m/s	18,87 m ³ /h	9,24 mbar
Trama de humedad	-	500 mm de diámetro	0,1 m/s	18,87 m ³ /h	1,90 mbar
Línea 3.2	1 m	21 mm	15 m/s	18,87 m ³ /h	-
Unidad de desulfuración	-	500 mm de diámetro	0,1 m/s	18,87 m ³ /h	2,14 mbar
Línea 3.3	3,17 m	21 mm	15 m/s	18,87 m ³ /h	4,75 mbar

Tabla 34. Características generales de la línea 3. Fuente: Elaboración Propia

Línea 4: Línea intercambiador de calor

Para la conducción del agua caliente (85°C) desde el sistema de refrigeración del motor co-generador hasta el intercambiador de calor se han seleccionado una tubería de acero inoxidable AISI 316. Esta línea se divide a su vez en tres tramos:

- Línea 4.1: que va desde la salida del motor generador hasta la entrada del digestor, donde se conecta con el intercambiador
- Intercambiador
- Línea 4.2: que va desde la salida del intercambiador, y por lo tanto del digestor hasta el motor cogenerador creando un circuito cerrado

Los diámetros seleccionados van a ser el mismo que los del propio intercambiador para mantener una velocidad uniforme a lo largo de toda la línea.

Por lo tanto, la tubería será de acero inoxidable DN 32 con un diámetro exterior de 35mm y un espesor de 1,5mm con una velocidad interior de 1,72 m/s y un caudal de 5 m³/h.

Las pérdidas de carga han sido calculadas en el mes más desfavorable, enero, debido a que es el mes donde más pérdidas de calor se producen por parte del digestor circulando agua a mayor velocidad por el intercambiador y donde la temperatura de circulación por la línea 4.2 es más baja.

- Pérdidas de carga:

En primer lugar, calculamos el número de Reynolds para saber qué tipo de flujo es.

Numero de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho * v * D}{\mu_f}$$

Siendo:

- ρ : Densidad del agua 85°C
- v : velocidad
- D : diametro del tubo
- μ_f : viscosidad dinamica del fluido a 85°C

- o Línea 4.1

En este tramo la temperatura será constante de 85°C, de modo que la densidad a esa temperatura será: ρ : 968,39 kg/m³

$$Re = \frac{968,39 \text{Kg/m}^3 * 1,72 \text{m/s} * 0,032 \text{m}^2}{3,34 * 10^{-4} \text{kg/m} * \text{s}} = 159581$$

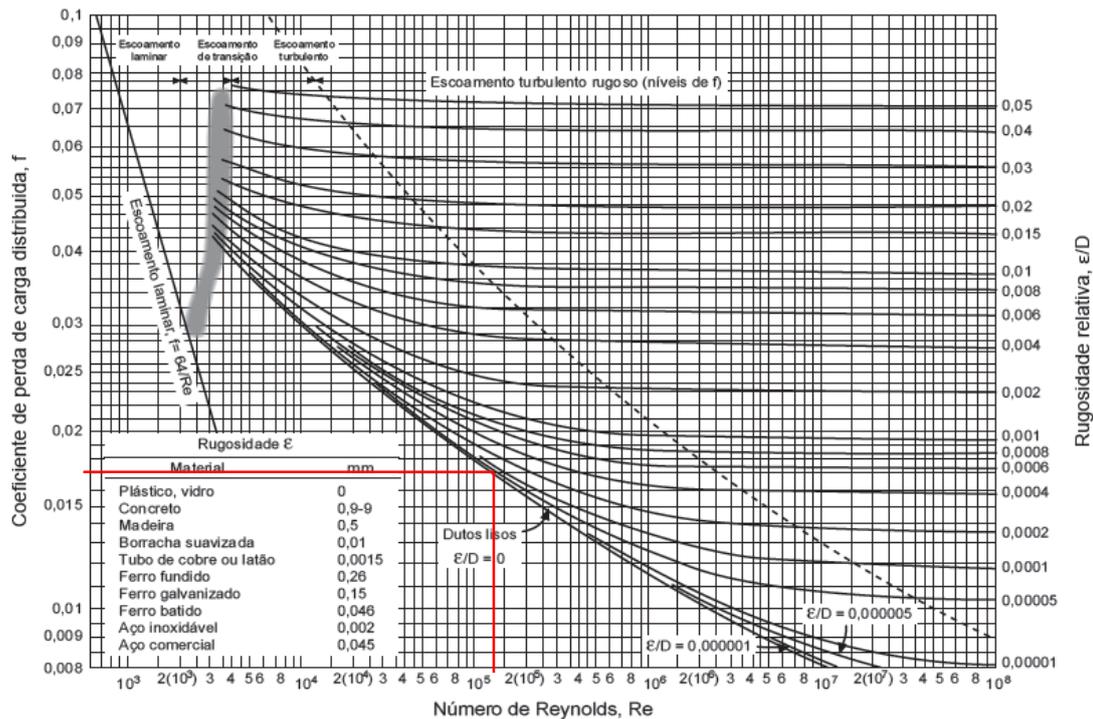
A tratarse de un régimen turbulento desarrollado, las pérdidas de carga las calcularemos en el tramo recto de la tubería a partir de la ecuación de Darcy-Weissbach.

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{U^2}{2g}$$

El factor de fricción o rozamiento puede ser calculado gráficamente mediante la gráfica de *Moody*. Para ello necesitamos en primer lugar calcular La rugosidad relativa. La rugosidad relativa dependerá del material y del diámetro de la tubería.

$$\text{Rugosidad relativa: } \frac{\varepsilon}{D}$$

En el caso de las tuberías de Acero inoxidable, establecemos una rugosidad absoluta de 0,03. De modo que sabiendo el diámetro interno 32 mm, obtenemos la rugosidad relativa: 0,00093.



De modo que, a partir del número de Reynolds; $1,59 \times 10^5$ y de la rugosidad relativa, entramos en el diagrama de *Moody* obteniendo el factor de fricción aproximado de; $f_D = 0,0175$

Las pérdidas de carga serán:

$$h_f = 0,0175 * \frac{1m}{0,032m} * \frac{(1,72 m/s)^2}{2 * \frac{9,8m}{s^2}} = 0,082 m / m_{tub}$$

La longitud del tramo recto será:

$$L: 8,23m * 1,05 = 8,64m$$

- Pérdidas de carga en la línea producidas por los accesorios

Una vez calculadas las pérdidas por fricción se calculan las pérdidas localizadas en los elementos singulares de la instalación.

$$h_s = K * \frac{U^2}{2g}$$

Accesorios	D. interno	K	h_s
Válvula de compuerta eléctrica (1) (parcialmente abierta)	32 mm	2,1	0,31
Caudalimetro	32 mm	0,20	0,03
Válvula de retención (1)	32 mm	2	0,3

(totalmente abierta)			
Codos 90° (2)	32 mm	1,1	0,16
Codos 45°(1)	32 mm	0,5	0,06
Entrada de la tubería de borde agudo	32 mm	0,50	0,075
Σh_s línea 4. 1			1,09 m

Tabla 35. Accesorios instalación y sus características

Las pérdidas totales de la línea 4.1 serán:

$$\Delta P: (h_f * m_{línea}) + h_s$$

$$\Delta P: (0,082m * 8,64) + 1,03m: 1,80 m$$

$$\Delta P (Pa) = m * \rho * g \rightarrow 1,74 m * \frac{968,39Kg}{m^3} * \frac{9,8m}{m^2} \mathbf{17082 Pa}$$

- Intercambiador

Los cálculos del dimensionamiento del intercambiador están en el anexo 8 *Intercambiador de calor*. En el presente anexo vamos a proceder al cálculo de las pérdidas de calor producidas a lo largo de todo el intercambiador. Para ello vamos a considerar el intercambiador como si se tratase de un tubo completamente recto, debido a que el radio de la circunferencia del intercambiador es muy amplio, asumiendo que no existirían cargas muy superiores que si se tratase de un tubo completamente recto.

Las pérdidas de carga las calcularemos con las mismas variables del tramo 4.1 debido a que se trata del mismo diámetro y velocidad de tubería.

$$h_f = 0,0175 * \frac{1m}{0,032m} * \frac{(1,72 m/s)^2}{2 * \frac{9,8m}{s^2}} = 0,082 m / m_{tub}$$

La longitud total de intercambiador es de 23m, de modo que las pérdidas de carga totales serán:

$$\Delta P: (h_f * m_{intercambiador})$$

$$\Delta P: 0,082 * 23m = 1,88m$$

$$\Delta P (Pa) = m * \rho * g \rightarrow 1,88 m * \frac{968,39Kg}{m^3} * \frac{9,8m}{m^2} = \mathbf{17898 Pa}$$

○ Línea 4.2

Este último tramo del intercambiador es el que une la salida del intercambiador interior, con el circuito secundario de refrigeración del sistema de cogeneración. La temperatura no será constante, debido a que esta variará en función de la época del año y la potencia suministrada para mantener la temperatura interior del digestor.

Es por ello que para la realización de los cálculos hemos utilizado la temperatura más desfavorable, es decir la temperatura de salida que provoque mayor factor de fricción. que equivale a la temperatura de salida más fría. Esta temperatura coincide con los cálculos del dimensionado del intercambiador, ya que este se realizó con el mes más desfavorable, y cuya temperatura de salida es de alrededor de 80°C de modo que la densidad a esa temperatura será: $\rho: 971,60 \text{ kg/m}^3$

$$Re = \frac{971,60 \text{ Kg/m}^3 * 1,72 \text{ m/s} * 0,032 \text{ m}^2}{3,34 * 10^{-4} \text{ kg/m} * \text{s}} = 160110$$

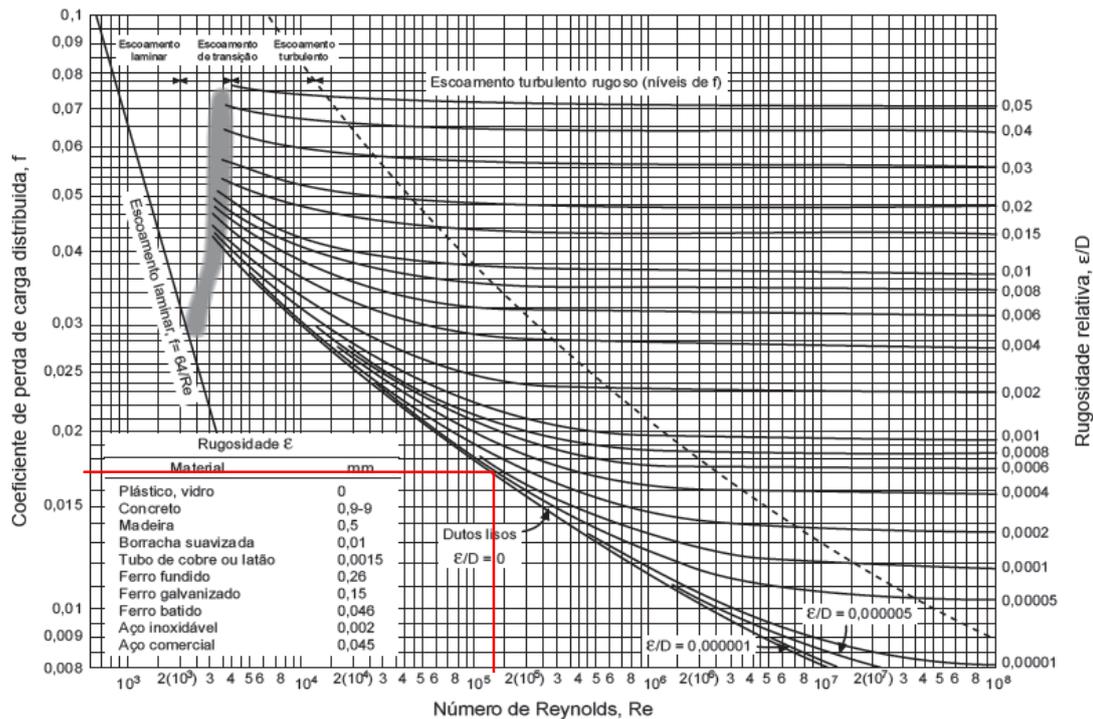
A tratarse de un régimen turbulento desarrollado, las pérdidas de carga las calcularemos en el tramo recto de la tubería a partir de la ecuación de Darcy-Weissbach.

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{U^2}{2g}$$

El factor de fricción o rozamiento puede ser calculado gráficamente mediante la gráfica de *Moody*. Para ello necesitamos en primer lugar calcular La rugosidad relativa La rugosidad relativa dependerá del material y del diámetro de la tubería.

$$\text{Rugosidad relativa: } \frac{\varepsilon}{D}$$

En el caso de las tuberías de Acero inoxidable, establecemos una rugosidad absoluta de 0,03. De modo que sabiendo el diámetro interno 32 mm, obtenemos la rugosidad relativa: 0,00093.



De modo que, a partir del número de Reynolds; $1,60 \times 10^5$ y de la rugosidad relativa, entramos en el diagrama de *Moody* obteniendo el factor de fricción aproximado de; $f_D = 0,0175$

Las pérdidas de carga serán:

$$h_f = 0,0175 * \frac{1m}{0,032m} * \frac{(1,72 m/s)^2}{2 * \frac{9,8m}{s^2}} = 0,082 m / m_{tub}$$

La longitud de la línea será:

$$L: 17,18m * 1,05 = 18,03m$$

- Pérdidas de carga en la línea producidas por los accesorios

Una vez calculadas las pérdidas por fricción se calculan las pérdidas localizadas en los elementos singulares de la instalación.

$$h_s = K * \frac{U^2}{2g}$$

Accesorios	D. interno	K	h_s
Válvula de retención (1)	32 mm	2	0,3
Válvula de compuerta (1) (Totalmente abierta)	32 mm	0,2	0,03
Codos 90° (4)	32 mm	1,1	0,16
salida de la tubería de borde agudo	32 mm	0,50	0,075
Termometro	32 mm	0,20	0,03
Σh_s línea 4.2			1,07 mca

Tabla 36. Pérdidas de carga producidas por los accesorios en la línea 4. Fuente: Elaboración propia.

Las pérdidas totales de la línea 4.2 serán:

$$\Delta P: (h_f * m_{línea}) + h_s$$

$$\Delta P: (0,082m * 18,03) + 1,07 m: 2,54 m$$

$$\Delta P (Pa) = m * \rho * g \rightarrow 2,54 m * \frac{971,60Kg}{m^3} * \frac{9,8m}{m^2} = \mathbf{24185 Pa}$$

Las pérdidas totales producidas en la línea 4 del intercambiador serán:

$$\Delta P: Línea 4.1 + Intercambiador + Línea 4.2$$

$$\Delta P: 17082 Pa + 17898 Pa + 24185 Pa: \mathbf{59165 Pa = 0,59 bar}$$

Características generales línea 4

ASIS 316	LONGITUD	DIAMETRO INTERIOR	VELOCIDAD	CAUDAL	PERDIDAS DE CARGA
Línea 4.1	6,23 m	32 mm	1,72 m/s	5 m ³ /h	17082 Pa
Intercambiador	13 m	32mm	1,72 m/s	5 m ³ /h	17898 Pa
Línea 4.2	18,03 m	32 mm	1,72 m/s	5 m ³ /h	24185 Pa

Tabla 37. características generales Línea 4. Fuente: Elaboración Propia

ANEJO 11

SISTEMAS DE IMPULSIÓN

En este anejo se procede al cálculo de los equipos de impulsión indispensables para garantizar el funcionamiento adecuado de las distintas líneas que conforman la planta de biogás. A continuación, se llevará a cabo la selección de la bomba necesaria para la transferencia del digestato líquido al equipo CC-Mix, la bomba esencial para el adecuado rendimiento del intercambiador, así como el soplador o compresor necesario para contrarrestar las pérdidas de carga producidas en la línea de biogás y la bomba helicoidal necesaria para el vaciado del digestor.

La selección de la bomba se realizará en función del caudal de impulsión, así como de la altura geométrica, que se define como la suma de la altura geométrica, (es decir, los metros resultantes entre la altura de aspiración y la altura de descarga) y las pérdidas de carga producidas por el rozamiento con la tubería y los elementos incluidos en la línea.

A continuación, se procede al cálculo de los diferentes sistemas de impulsión necesarios para las diferentes líneas.

- Bomba línea 1:

La bomba 1 se situará en la parte inferior del tanque de almacenamiento del digestato líquido, la cual se encargará de bombear el digestato líquido hasta el equipo CC.mix donde se mezclará con el sustrato sólido a introducir en el digestor.

- Caudal de impulsión:

Para calcular el caudal de impulsión tenemos que tener en cuenta el rendimiento del sistema CC-Mix. Sabiendo que la bomba tiene que suministrar $3,206m^3$ en 20 minutos para la correcta homogenización de la mezcla, el caudal de impulsión será:

$$Q = \frac{3,206m^3}{20min} * \frac{1 min}{60 s} = \frac{0,00267m^3}{s} = 2,67l/s$$

- Altura manométrica:

Para el cálculo de la altura manométrica utilizamos la ecuación de *Bernouilli*, dado que se trata de un fluido incomprensible entre los puntos de succión y de descarga.

$$H_r: (Z_B - Z_A) + \left(\frac{P_B}{\gamma} - \frac{P_A}{\gamma} \right) + \left(\frac{V_B^2}{2g} - \frac{V_A^2}{2g} \right) + \Delta P$$

Donde:

- H_r : Altura manométrica
- Z_B : Altura de descarga: 1,53 metros
- Z_A : Altura de succión: 0,29 metros
- P_B : Presión de fluido en la descarga: presión atmosférica; 101325 Pa
- P_A : Presión del fluido en la succión.
- $\gamma: \rho * g$, densidad del fluido a la temperatura que se encuentra
- ΔP : Sumatorio de las pérdidas de carga producidas en la línea: 7637 Pa= 0,77 metros
- V_B : Velocidad de descarga, velocidad de línea, 1,6 m/s
- V_A : Velocidad de succión, la consideramos 0 ya que el agua se encuentra en reposo.

La presión de succión en el fondo del tanque si estuviese lleno será:

$$P_A: \rho * g * \Delta h + p_{atm}$$

$$P_{agua} = 1000 \frac{kg}{m^3} * 9,8 \frac{m}{s^2} * (4,58m - 0,29 m): 42042 Pa$$

$$P_A = 42042 + 101325: \mathbf{143367 Pa}$$

Como la altura de llenado de este tanque va a variar a lo largo del año, consideramos la presión más limitante en la succión. Esta será cuando el tanque este vacío, ya que no existe una presión ejercida por el peso del agua, de modo que consideramos una presión de succión igual a la presión atmosférica.

Por lo tanto, despejando la ecuación de Bernoulli, la expresión de la altura manométrica que debe suministrar la bomba viene dado por la siguiente expresión

$$H_r: (Z_B - Z_A) + \left(\frac{V_B^2}{2g} - \frac{V_A^2}{2g} \right) + \Delta P$$

$$H_r: (1,53m - 0,29 m) + \left(\frac{1,6m/s^2}{2 * 9,8 m/s^2} \right) + 0,77 m: \mathbf{2,14 m. c. a}$$

- Cálculo de la potencia de impulsión:

La potencia necesaria para la impulsión del digestato líquido será:

$$P: Q_{másico} * g * H_r$$

Donde:

- $Q_{másico}$: Es el caudal másico: $Q * \rho: \frac{0,00267m^3}{s} * \frac{900 Kg}{m^3} = 2,40 kg/s$
- g : Gravedad
- H_r : Altura manométrica: 2,14 m

$$P: 2,40 \frac{Kg}{s} * 9,8 \frac{m}{s^2} * 2,14m = \frac{50,33J}{s} = 50,33 w$$

- Selección de la bomba

La bomba seleccionada es de la marca *BCN bombas*, concretamente la serie RG-100M. Esta bomba se encargará de impulsar un caudal constante de 9,61 m³/h durante un periodo de tiempo de 20 minutos. La bomba trabaja a una tensión de 230 V 50Hz con una potencia nominal de 0,75kW. La boca de impulsión y de aspiración es de DN 50, coincidiendo con el diámetro nominal de la línea. Se trata de una bomba fabrica en hierro fundido cuya temperatura máxima de trabajo es de 40°C. El caudal máximo capaz de suministrar a una altura manométrica de 5 m es de 15000 l/h. De modo que es apta para nuestras necesidades

Potencia nominal	Intensidad	Temperatura max fluido	Velocidad	Grado de protección	Peso
0,75 kW	4.6A	80°C	2900 rpm	IP54	13 Kg

Tabla 38. Características generales de la bomba RG-100M. Fuente BCN bombas

- Bomba línea 2

La bomba 2 se situará en la parte inferior del digester primario, la cual se encargará del vaciado del digester y el transporte del digestato hasta el separador de líquidos-sólidos. El digestato al contener un porcentaje de solidos totales de 9.2%, hemos decidido incorporar una bomba helicoidal en vez de centrifuga. El caudal de transporte a suministrar al separador es de 7 m³/h con una velocidad de 0,28 m/s.

- Altura manométrica:

Para el cálculo de la altura manométrica utilizamos la ecuación de *Bernouilli*, dado que se trata de un fluido incomprensible entre los puntos de succión y de descarga.

$$H_r: (Z_B - Z_A) + \left(\frac{P_B}{\gamma} - \frac{P_A}{\gamma} \right) + \left(\frac{V_B^2}{2g} - \frac{V_A^2}{2g} \right) + \Delta P$$

Donde:

- H_r : Altura manométrica
- Z_B : Altura de descarga: 5,89 metros
- Z_A : Altura de succión: 0,5 metros
- P_B : Presión de fluido en la descarga: presión atmosférica; 101325 Pa

- P_A : Presión del fluido en la succión.
- $\gamma: \rho * g$, densidad del fluido a la temperatura que se encuentra
- ΔP : Sumatorio de las pérdidas de carga producidas en la línea: 7637 Pa= 0,77 metros
- V_B : Velocidad de descarga, velocidad de línea, 0,28 m/s
- V_A : Velocidad de succión, la consideramos 0 ya que el agua se encuentra en reposo.

La presión de succión en el fondo del tanque será la ejercida por el peso del sustrato en el interior del digestor. En este caso, al situarse el digestor cerrado herméticamente por el gasómetro, consideramos nula la presión ejercida por la atmosfera. El gasómetro contiene biogás, el cual ejercerá una presión sobre el sustrato en el fondo del digestor.

$$P_A: \rho * g * \Delta h + p_{biogás}$$

$$P_{sustrato} = 900 \frac{kg}{m^3} * 9,8 \frac{m}{s^2} * (4,51m - 0,5 m): 35368 Pa$$

$$P_{biogás}: 20 mbar \rightarrow 2000 Pa$$

$$P_A = 35360 + 2000: \mathbf{37360 Pa}$$

La presión ejercida a 0,5 metros del fondo del digestor por el sustrato y el biogás contenido será de 37360 Pa

Por lo tanto, despejando la ecuación de bernouilli, la expresión de la altura manométrica que debe suministrar la bomba viene dado por la siguiente expresión

$$H_r: (Z_B - Z_A) + \left(\frac{V_B^2}{2g} - \frac{V_A^2}{2g} \right) + \Delta P$$

$$H_r: (5,89m - 0,5 m) + \left(\frac{101325 Pa}{900 \frac{kg}{m^3} * 9,8 \frac{m}{s^2}} - \frac{37360 Pa}{900 \frac{kg}{m^3} * 9,8 \frac{m}{s^2}} \right) + \left(\frac{(0,28m/s)^2}{2 * 9,8 \frac{m}{s^2}} \right) + 0068 m = \mathbf{12,71 m. c. a}$$

- Selección de la bomba

La bomba helicoidal seleccionada es de la marca *KIBER* modelo KSF-50. Debido a su diseño, tiene la capacidad de ser reversible y auto aspirante. El material de fabricación es de acero Inoxidable AISI 316L con una capacidad de bombeo máximo de 19,5 m³/h y una presión de 6 bares. La tensión de trabajo es de 380-400V A 50Hz con una potencia nominal de 2,2kW y una velocidad máxima de 720 rpm. Esta bomba, al igual que el resto, equipa un variador de frecuencia encargado de ajustar la velocidad

de rotación en función del caudal. En nuestro caso la velocidad de trabajo será sobre 340 rpm.

A continuación, se inserta la gráfica de las curvas características de la bomba, obteniendo las revoluciones por minuto de trabajo de nuestra bomba.

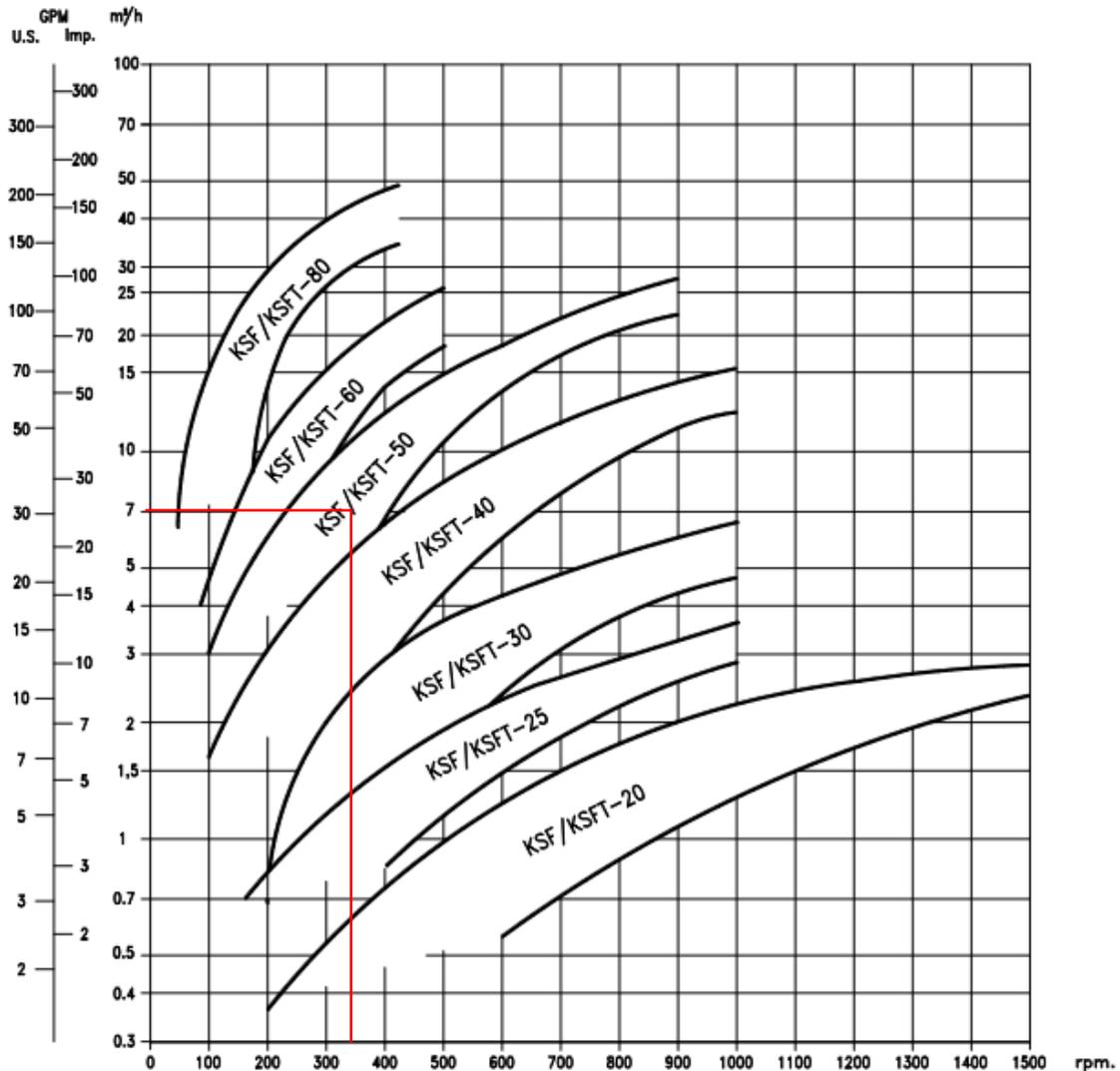


Ilustración 17. Curva característica de la bomba helicoidal Kiber KSF

- Soplador línea 3

El soplador instalado en la línea 3 se encargará de suministrar el biogás a la presión demandada por el equipo de cogeneración para su correcto funcionamiento, de tal modo que contrarrestará las pérdidas de carga producidas a lo largo de la conducción.

La presión de salida del soplador tendrá que ser, por lo tanto, la presión del biogás requerido por la unidad de cogeneración, más las pérdidas de carga producidas a lo largo de la línea. En nuestro caso, según las especificaciones técnicas de la unidad,

nos indica que la presión de entrada tendrá que ser superior a 20mbar. Mientras que las pérdidas de carga producidas a lo largo de la conducción 18,03 mbar. Por lo tanto:

$$P_{\text{Soplador}}: P_{\text{CHP}} + P_{\text{perdidas}}: > 20 \text{ mbar} + 18,03 \text{ mbar}: > 38,03 \text{ mbar}$$

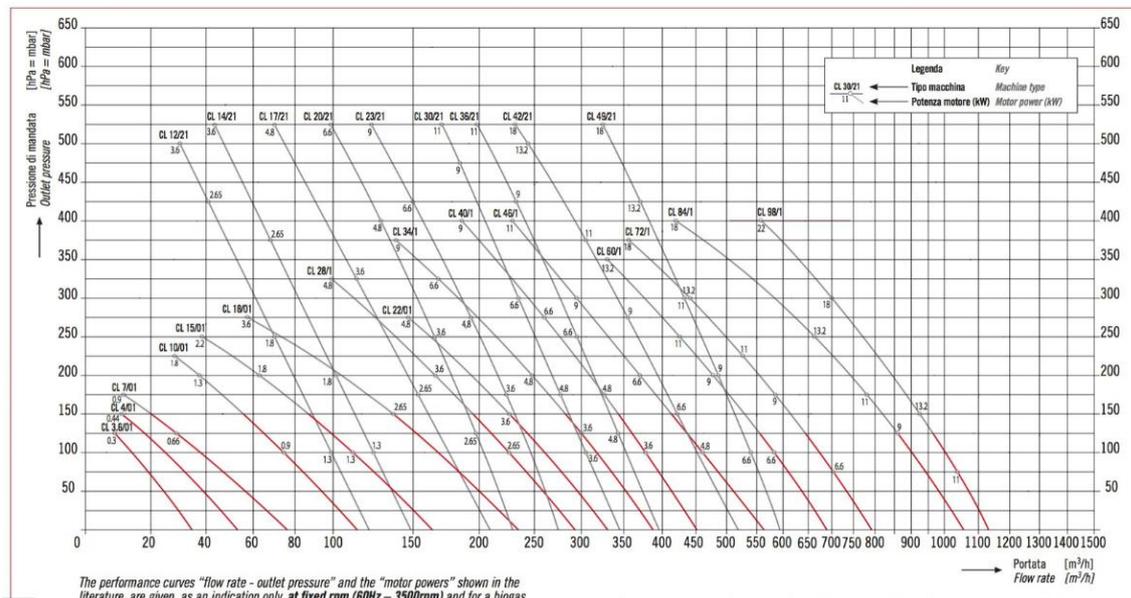
- Selección del soplador:

Teniendo en cuenta que las características de impulsión son las siguientes:

- Caudal volumétrico del biogás: 18,87 m³/h
- Presión a la entrada del soplador: 20 mbar
- Presión de descarga: >38,03 mbar
- Temperatura: 37°C
- Compresión isotérmica

Seleccionamos un soplador el cual debe impulsar el biogás desde el gasómetro con un caudal constante de 18,87 m³/h desde una presión de 20 mbar hasta una presión superior a 38,03 mbar.

En nuestro caso hemos seleccionado un compresor de la marca ATEX, el modelo CL3.6/01. La potencia nominal es de 0,25kW con un peso de 30Kg. Se trata del modelo más pequeño de la gama, capaz de suministrar un caudal máximo de 38 m³/h, con una presión máxima de 125 mbar.



ANEJO 12

INSTALACIÓN ELÉCTRICA

En el siguiente anexo se va a desarrollar los diferentes circuitos utilizados para suministrar la energía eléctrica a los diferentes equipos eléctricos.

La instalación eléctrica deberá cumplir con el Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.

Clasificación de la instalación:

De acuerdo con la ITC-BT-04, la planta de biogás se clasifica como L: local de riesgo de incendio y/o explosión, por lo que independientemente de la potencia máxima prevista en la instalación, requiere la elaboración de Proyecto y no de Memoria Técnica de Diseño.

ÍNDICE

- 1. Derivación individual trifásica para plantas de biogás**
- 2. Conductor sistema de bombeo digestato líquido**
- 3. Conductor sistema de mezclado CC-Mix**
- 4. Conductor sistema de alimentación Sustrato**
- 5. Conductor sistema de bombeo digestato**
- 6. Conductor sistema de separación en fases**
- 7. Conductor sistema de compresión de biogás**
- 8. Conductor sistema de agitación**

CÁLCULO ELÉCTRICO DE CIRCUITOS DE BAJA TENSIÓN

Circuito trifásico: DERIVACIÓN INDIVIDUAL TRIFÁSICA PARA PLANTA DE BIOGAS

INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE

Potencia nominal del receptor o grupo de receptores:

$$P_n = 40,400 \text{ W} \quad \underline{\underline{40.4 \text{ kW}}}$$

Potencia mínima de dimensionado del circuito de alimentación:

$$P_{md} = 50,500 \text{ W} \quad P_{md} = 1,25 \times P_n$$

Potencia adoptada para dimensionado del circuito de alimentación:

$$P_d = 60,000 \text{ W} \quad \underline{\underline{60 \text{ kW}}}$$

CON PREVISIÓN DE FUTURAS AMPLIACIONES DEL CIRCUITO

Factor de potencia del receptor o grupo de receptores:

$$\cos \varphi = 0.9$$

Tensión nominal de suministro:

$$U(V) = 400$$

Intensidad nominal consumida por el receptor/es:

$$I(A) = 64.79 \quad I = \frac{P_n}{\sqrt{3} U \cos \varphi}$$

Intensidad de dimensionado del circuito de fuerza:

$$I_d(A) = 96.23 \quad I_d = \frac{P_d}{\sqrt{3} U \cos \varphi}$$

Sistema de instalación.

Instalación enterrada

Tipo de canalización

Tubo protector de cables flexible de PVC para enterrar

Número de cables y número de polos por cable en la canalización

4 cables UNIPOLARES 3F+N

Sección adoptada para el conductor

$$s(\text{mm}^2) = 35 \quad \text{COBRE}$$

Composición y designación de los cables:

CABLES RV-K Z1 0,6/1 kV 4x(1x35)mm²

Intensidad admisible en los conductores: Intensidad dimensionado

$$I_{ad} = 110 \text{ A} \quad > \quad \underline{\underline{96.23 \text{ A}}}$$

Potencia máxima admisible suministrada por los conductores:

$$P_{ad} = 68,589 \text{ W} \quad 68.59 \text{ kW}$$

$$P_{ad} = \sqrt{3} \times U \times I_{ad} \times \cos \varphi$$

Reserva de potencia en circuito para futuras ampliaciones (kW): 28.19

Protección contra sobreintensidades:

FUSIBLE

Intensidad nominal(A): 100

Protección contra corrientes de defecto:

Potencia máxima admisible en el circuito protegido:

Pa= 62,354 W

62.35 kW

$$P_{adm} = \sqrt{3} \times U \times I_n \times \cos \phi$$

CAÍDA DE TENSIÓN EN EL CIRCUITO ELÉCTRICO TRIFÁSICO

Datos: Longitud del conductor:

L(m)= 3.1

Sección del conductor:

s(mm²)= 35

Resistividad del material:

r(Omm²/m)= 0.018

Cu=0,018 Omm²/m Al=0,029 Omm²/m

Resistencia ohmica del conductor:

R(ohmios)= 0.00159

Intensidad nominal de corriente:

I(A)= 64.79

Factor de potencia:

COS f= 0.9 0.45 rad

Reactancia inductiva en la cable de fuerza:

X= L x W= 0.00031 ohmios

X=0,1 O/Km

RESULTADOS

Caída de tensión absoluta en el circuito de fuerza:

dU(V)= 0.19

Tensión nominal:

U(V)= 400

Caída de tensión porcentual en el circuito de fuerza:

dU(%)= 0.05 < 1.5

Pérdida de potencia en el circuito de fuerza:

Pp(W)= 20.08

$$Pp = 3 \times R \times I^2$$

CÁLCULO ELÉCTRICO DE CIRCUITOS DE BAJA TENSIÓN

Circuito trifásico: F1 CG-TERMF CTO de CGMP a sistema de bombeo Digestato

INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE

Potencia nominal del receptor o grupo de receptores:

$$P_a = 750 \text{ W}$$

Potencia mínima de dimensionado del circuito de alimentación:

$$P_{md} = 938 \text{ W}$$

Potencia adoptada para dimensionado del circuito de alimentación:

$$P_d = 1,000 \text{ W}$$

CON PREVISIÓN DE FUTURAS AMPLIACIONES DEL CIRCUITO

Factor de potencia del receptor o grupo de receptores:

$$\cos \varphi = 0.9$$

Tensión nominal de suministro:

$$U(V) = 400$$

Intensidad nominal consumida por el receptor/es:

$$I(A) = 1.20 \quad I = \frac{P_a}{\sqrt{3} U \cos \varphi}$$

Intensidad de dimensionado del circuito de fuerza:

$$I_d(A) = 1.60 \quad I_d = \frac{P_d}{\sqrt{3} U \cos \varphi}$$

Sistema de instalación.

Montaje superficial o empotrados en obra

Tipo de canalización

Tubo protector rígido de acero para exterior

Número de cables y número de polos por cable en la canalización

4 cables UNIPOLARES y cable TT

Sección adoptada para el conductor

s(mm²)= 1.5 COBRE

Composición y designación de los cables:

CABLES H07V-K 450/750V 4x1,5mm² + 1,5 TT

Intensidad admisible en los conductores:

$$I_{ad} = 16 \text{ A}$$

Intensidad dimensionado

$$> \underline{\underline{1.60}} \text{ A}$$

Potencia máxima admisible suministrada por los conductores:

$$P_{ad} = 9,977 \text{ W}$$

$$\underline{\underline{9.98}} \text{ kW}$$

$$P_{ad} = \sqrt{3} \times U \times I_{ad} \times \cos \varphi$$

Reserva de potencia en circuito para futuras ampliaciones (kW):

9.23

Protección magnetotérmica contra sobreintensidades:

DATO: intensidad admisible en los conductores(A):	16	REGLA:	Superior
PIA IV 10 A	Intensidad nominal(A):	10	Medio
DATO: Intensidad nominal consumida por el receptor:	1.20		Inferior

Protección contra corrientes de defecto:		REGLA:	
DIF IV-40 30mA 20 kW	Intensidad nominal(A):	40	Superior
DATO: Intensidad nominal de magnetotérmico(A):	10.00		Inferior

	$P_{adm} = \sqrt{3} \times U \times I_n \times \cos \phi$	REGLA:	
Potencia máxima admisible en el circuito protegido (W)	6,235		Superior
Potencia nominal del receptor o grupo de receptores (W):	750		Inferior
Reserva con el PIA (W):	5,485		

CAÍDA DE TENSIÓN EN EL CIRCUITO ELÉCTRICO TRIFÁSICO

Datos: Longitud del conductor:

$$L(m) = 20.21$$

Sección del conductor:

$$s(mm^2) = 1.5$$

Resistividad del material:

$$r(Omm^2/m) = 0.018$$

Cu=0,018 0mm²/m Al=0,029 0mm²/m

Resistencia ohmica del conductor:

$$R(ohmios) = 0.24252$$

Intensidad nominal de corriente:

$$I(A) = 1.20$$

Factor de potencia:

$$\cos \phi = 0.9 \quad 0.45 \text{ rad}$$

Reactancia inductiva en la cable de fuerza:

$$X = L \times W = 0.00202 \text{ ohmios} \quad X=0,1 \text{ O/Km}$$

RESULTADOS

Caída de tensión absoluta en el circuito de fuerza:

$$dU(V) = 0.46$$

Tensión nominal:

$$U(V) = 400$$

Caída de tensión porcentual en el circuito de fuerza:

$$dU(\%) = 0.11 < 5\%$$

Pérdida de potencia en el circuito de fuerza:

$$Pp(W) = 1.05 \quad Pp = 3 \times R \times I^2$$

CÁLCULO ELÉCTRICO DE CIRCUITOS DE BAJA TENSIÓN

Circuito trifásico: F1 CG-TERMF CTO de CGMP a sistema de mezclado CC-Mix

INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE

Potencia nominal del receptor o grupo de receptores:

$$Pa = 11,000 \text{ W}$$

Potencia mínima de dimensionado del circuito de alimentación:

$$P_{md} = 13,750 \text{ W}$$

Potencia adoptada para dimensionado del circuito de alimentación:

$$Pd = 14,000 \text{ W}$$

CON PREVISIÓN DE FUTURAS AMPLIACIONES DEL CIRCUITO

Factor de potencia del receptor o grupo de receptores:

$$\cos \varphi = 0.9$$

Tensión nominal de suministro:

$$U(V) = 400$$

Intensidad nominal consumida por el receptor/es:

$$I(A) = 17.64 \quad I = \frac{Pa}{\sqrt{3} U \cos \varphi}$$

Intensidad de dimensionado del circuito de fuerza:

$$Id(A) = 22.45 \quad Id = \frac{Pd}{\sqrt{3} U \cos \varphi}$$

Sistema de instalación.

Montaje superficial o empotrados en obra

Tipo de canalización

Tubo protector rígido de acero para exterior

Número de cables y número de polos por cable en la canalización

4 cables UNIPOLARES y cable TT

Sección adoptada para el conductor

s(mm²)= 4 COBRE

Composición y designación de los cables:

CABLES RV-K 0,6/1 4x4mm² + 4 TT

Intensidad admisible en los conductores:

$$I_{ad} = 30 \text{ A}$$

Intensidad dimensionado

$$> 22.45 \text{ A}$$

Potencia máxima admisible suministrada por los conductores:

$$Pad = 18,706 \text{ W}$$

$$18.71 \text{ kW}$$

$$Pad = \sqrt{3} \times U \times I_{ad} \times \cos \varphi$$

Reserva de potencia en circuito para futuras ampliaciones (kW):

7.71

Protección magnetotérmica contra sobreintensidades:

DATO: intensidad admisible en los conductores(A): 30 REGLA: Superior
PIA IV 25 A Intensidad nominal(A): 25 Medio
DATO: Intensidad nominal consumida por el receptor: 17.64 Inferior

Protección contra corrientes de defecto: REGLA: Superior
DIF IV-40 30mA 20 kW Intensidad nominal(A): 40 Superior
DATO: Intensidad nominal de magnetotérmico(A): 25.00 Inferior

$P_{adm} = \sqrt{3} \times U \times I_n \times \cos \phi$ REGLA: Superior
Potencia máxima admisible en el circuito protegido (W) 15,588 Superior
Potencia nominal del receptor o grupo de receptores (W): 11,000 Inferior
Reserva con el PIA (W): 4,588

CAÍDA DE TENSIÓN EN EL CIRCUITO ELÉCTRICO TRIFÁSICO

Datos: Longitud del conductor:

L(m)= 17.82

Sección del conductor:

s(mm²)= 4

Resistividad del material:

r(Omm²/m)= 0.018

Cu=0,018 Omm²/m Al=0,029 Omm²/m

Resistencia ohmica del conductor:

R(ohmios)= 0.08019

Intensidad nominal de corriente:

I(A)= 17.64

Factor de potencia:

COS ϕ = 0.9 0.45 rad

Reactancia inductiva en la cable de fuerza:

X= L x W= 0.00178 ohmios X=0,1 O/Km

RESULTADOS

Caída de tensión absoluta en el circuito de fuerza:

dU(V)= 2.26

Tensión nominal:

U(V)= 400

Caída de tensión porcentual en el circuito de fuerza:

dU(%)= 0.56 < 5%

Pérdida de potencia en el circuito de fuerza:

Pp(W)= 74.87 $Pp = 3 \times R \times I^2$

CÁLCULO ELÉCTRICO DE CIRCUITOS DE BAJA TENSIÓN

Circuito trifásico: F1 CG-TERMF CTO de CGMP a sistema de alimentación sustrato

INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE

Potencia nominal del receptor o grupo de receptores:

$$Pa = 11,000 \text{ W}$$

Potencia mínima de dimensionado del circuito de alimentación:

$$P_{md} = 13,750 \text{ W}$$

Potencia adoptada para dimensionado del circuito de alimentación:

$$Pd = 14,000 \text{ W}$$

CON PREVISIÓN DE FUTURAS AMPLIACIONES DEL CIRCUITO

Factor de potencia del receptor o grupo de receptores:

$$\cos \varphi = 0.9$$

Tensión nominal de suministro:

$$U(V) = 400$$

Intensidad nominal consumida por el receptor/es:

$$I(A) = 17.64 \quad I = \frac{Pa}{\sqrt{3} U \cos \varphi}$$

Intensidad de dimensionado del circuito de fuerza:

$$Id(A) = 22.45 \quad Id = \frac{Pd}{\sqrt{3} U \cos \varphi}$$

Sistema de instalación.

Montaje superficial o empotrados en obra

Tipo de canalización

Tubo protector rígido de acero para exterior

Número de cables y número de polos por cable en la canalización

4 cables UNIPOLARES y cable TT

Sección adoptada para el conductor

s(mm²)= 4 COBRE

Composición y designación de los cables:

CABLES RV-K 06/1kV 4x 4mm² + 4 TT

Intensidad admisible en los conductores:

$$I_{ad} = 30 \text{ A}$$

Intensidad dimensionado

$$> 22.45 \text{ A}$$

Potencia máxima admisible suministrada por los conductores:

$$Pad = 18,706 \text{ W}$$

$$18.71 \text{ kW}$$

$$Pad = \sqrt{3} \times U \times I_{ad} \times \cos \varphi$$

Reserva de potencia en circuito para futuras ampliaciones (kW):

7.71

Protección magnetotérmica contra sobreintensidades:

DATO: intensidad admisible en los conductores(A): 30 REGLA: Superior
PIA IV 25 A Intensidad nominal(A): 25 Medio
DATO: Intensidad nominal consumida por el receptor: 17.64 Inferior

Protección contra corrientes de defecto: REGLA: Superior
DIF IV-40 30mA 20 kW Intensidad nominal(A): 40 Superior
DATO: Intensidad nominal de magnetotérmico(A): 25.00 Inferior

$P_{adm} = \sqrt{3} \times U \times I_n \times \cos \phi$ REGLA: Superior
Potencia máxima admisible en el circuito protegido (W) 15,588 Superior
Potencia nominal del receptor o grupo de receptores (W): 11,000 Inferior
Reserva con el PIA (W): 4,588

CAÍDA DE TENSIÓN EN EL CIRCUITO ELÉCTRICO TRIFÁSICO

Datos: Longitud del conductor:

L(m)= 14.5

Sección del conductor:

s(mm²)= 4

Resistividad del material:

r(Omm²/m)= 0.018

Cu=0,018 0mm²/m Al=0,029 0mm²/m

Resistencia ohmica del conductor:

R(ohmios)= 0.06525

Intensidad nominal de corriente:

I(A)= 17.64

Factor de potencia:

COS ϕ = 0.9 0.45 rad

Reactancia inductiva en la cable de fuerza:

X= L x W= 0.00145 ohmios X=0,1 O/Km

RESULTADOS

Caída de tensión absoluta en el circuito de fuerza:

dU(V)= 1.84

Tensión nominal:

U(V)= 400

Caída de tensión porcentual en el circuito de fuerza:

dU(%)= 0.46 < 5%

Pérdida de potencia en el circuito de fuerza:

Pp(W)= 60.92 $Pp = 3 \times R \times I^2$

CÁLCULO ELÉCTRICO DE CIRCUITOS DE BAJA TENSIÓN

Circuito trifásico: F1 CG-TERMF CTO de CGMP a sistema de bombeo Digestato

INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE

Potencia nominal del receptor o grupo de receptores:

$$P_a = 2,200 \text{ W}$$

Potencia mínima de dimensionado del circuito de alimentación:

$$P_{md} = 2,750 \text{ W}$$

Potencia adoptada para dimensionado del circuito de alimentación:

$$P_d = 3,000 \text{ W}$$

CON PREVISIÓN DE FUTURAS AMPLIACIONES DEL CIRCUITO

Factor de potencia del receptor o grupo de receptores:

$$\cos \varphi = 0.9$$

Tensión nominal de suministro:

$$U(V) = 400$$

Intensidad nominal consumida por el receptor/es:

$$I(A) = 3.53 \quad I = \frac{P_a}{\sqrt{3} U \cos \varphi}$$

Intensidad de dimensionado del circuito de fuerza:

$$I_d(A) = 4.81 \quad I_d = \frac{P_d}{\sqrt{3} U \cos \varphi}$$

Sistema de instalación.

Montaje superficial o empotrados en obra

Tipo de canalización

Tubo protector rígido de acero para exterior

Número de cables y número de polos por cable en la canalización

4 cables UNIPOLARES y cable TT

Sección adoptada para el conductor

s(mm²)= 2.5 COBRE

Composición y designación de los cables:

CABLES RV-K 0,6/1kV 4x2,5mm² + 2,5 TT

Intensidad admisible en los conductores:

$$I_{ad} = 22 \text{ A}$$

Intensidad dimensionado

$$> \underline{\underline{4.81}} \text{ A}$$

Potencia máxima admisible suministrada por los conductores:

$$P_{ad} = 13,718 \text{ W}$$

$$\underline{\underline{13.72}} \text{ kW}$$

$$P_{ad} = \sqrt{3} \times U \times I_{ad} \times \cos \varphi$$

Reserva de potencia en circuito para futuras ampliaciones (kW):

11.52

Protección magnetotérmica contra sobrecorrientes:

DATO: intensidad admisible en los conductores(A): 22 REGLA: Superior
PIA IV 10 A Intensidad nominal(A): 10 Medio
DATO: Intensidad nominal consumida por el receptor: 3.53 Inferior

Protección contra corrientes de defecto: REGLA: Superior
DIF IV-40 30mA 20 kW Intensidad nominal(A): 40 Superior
DATO: Intensidad nominal de magnetotérmico(A): 10.00 Inferior

$P_{adm} = \sqrt{3} \times U \times I_n \times \cos \phi$ REGLA: Superior
Potencia máxima admisible en el circuito protegido (W) 6,235 Superior
Potencia nominal del receptor o grupo de receptores (W): 2,200 Inferior
Reserva con el PIA (W): 4,035

CAÍDA DE TENSIÓN EN EL CIRCUITO ELÉCTRICO TRIFÁSICO

Datos: Longitud del conductor:

L(m)= 28.8

Sección del conductor:

s(mm²)= 2.5

Resistividad del material:

r(Ohm²/m)= 0.018

Cu=0,018 Ohm²/m Al=0,029 Ohm²/m

Resistencia ohmica del conductor:

R(ohmios)= 0.20736

Intensidad nominal de corriente:

I(A)= 3.53

Factor de potencia:

COS ϕ = 0.9 0.45 rad

Reactancia inductiva en la cable de fuerza:

X= L x W= 0.00288 ohmios X=0,1 Oh/Km

RESULTADOS

Caída de tensión absoluta en el circuito de fuerza:

dU(V)= 1.16

Tensión nominal:

U(V)= 400

Caída de tensión porcentual en el circuito de fuerza:

dU(%)= 0.29 < 5%

Pérdida de potencia en el circuito de fuerza:

Pp(W)= 7.74 $Pp = 3 \times R \times I^2$

CÁLCULO ELÉCTRICO DE CIRCUITOS DE BAJA TENSIÓN

Circuito trifásico: F1 CG-TERMF CTO de CGMP a sistema de separación en fases

INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE

Potencia nominal del receptor o grupo de receptores:

$$P_a = 2,200 \text{ W}$$

Potencia mínima de dimensionado del circuito de alimentación:

$$P_{md} = 2,750 \text{ W}$$

Potencia adoptada para dimensionado del circuito de alimentación:

$$P_d = 3,000 \text{ W}$$

CON PREVISIÓN DE FUTURAS AMPLIACIONES DEL CIRCUITO

Factor de potencia del receptor o grupo de receptores:

$$\cos \varphi = 0.9$$

Tensión nominal de suministro:

$$U(V) = 400$$

Intensidad nominal consumida por el receptor/es:

$$I(A) = 3.53 \quad I = \frac{P_a}{\sqrt{3} U \cos \varphi}$$

Intensidad de dimensionado del circuito de fuerza:

$$I_d(A) = 4.81 \quad I_d = \frac{P_d}{\sqrt{3} U \cos \varphi}$$

Sistema de instalación.

Montaje superficial o empotrados en obra

Tipo de canalización

Tubo protector rígido de acero para exterior

Número de cables y número de polos por cable en la canalización

4 cables UNIPOLARES y cable TT

Sección adoptada para el conductor

s(mm²)= 2.5 COBRE

Composición y designación de los cables:

CABLES RV-K 0,6/1 4x2,5mm² + 2,5 TT

Intensidad admisible en los conductores:

$$I_{ad} = 22 \text{ A}$$

Intensidad dimensionado

$$> \underline{\underline{4.81}} \text{ A}$$

Potencia máxima admisible suministrada por los conductores:

$$P_{ad} = 13,718 \text{ W}$$

$$\underline{\underline{13.72}} \text{ kW}$$

$$P_{ad} = \sqrt{3} \times U \times I_{ad} \times \cos \varphi$$

Reserva de potencia en circuito para futuras ampliaciones (kW):

11.52

Protección magnetotérmica contra sobreintensidades:

DATO: intensidad admisible en los conductores(A):	22	REGLA:	Superior
PIA IV 10 A	Intensidad nominal(A):	10	Medio
DATO: Intensidad nominal consumida por el receptor:	3.53		Inferior

Protección contra corrientes de defecto:		REGLA:	Superior
DIF IV-40 30mA 20 kW	Intensidad nominal(A):	40	Superior
DATO: Intensidad nominal de magnetotérmico(A):	10.00		Inferior

	$P_{adm} = \sqrt{3} \times U \times I_n \times \cos \phi$	REGLA:	Superior
Potencia máxima admisible en el circuito protegido (W)	6,235		Superior
Potencia nominal del receptor o grupo de receptores (W):	2,200		Inferior
Reserva con el PIA (W):	4,035		

CAÍDA DE TENSIÓN EN EL CIRCUITO ELÉCTRICO TRIFÁSICO

Datos: Longitud del conductor:

$$L(m) = 29.1$$

Sección del conductor:

$$s(mm^2) = 2.5$$

Resistividad del material:

$$r(Omm^2/m) = 0.018$$

Cu=0,018 Omm²/m Al=0,029 Omm²/m

Resistencia ohmica del conductor:

$$R(ohmios) = 0.20952$$

Intensidad nominal de corriente:

$$I(A) = 3.53$$

Factor de potencia:

$$\cos \phi = 0.9 \quad 0.45 \text{ rad}$$

Reactancia inductiva en la cable de fuerza:

$$X = L \times W = 0.00291 \text{ ohmios} \quad X=0,1 \text{ O/Km}$$

RESULTADOS

Caída de tensión absoluta en el circuito de fuerza:

$$dU(V) = 1.17$$

Tensión nominal:

$$U(V) = 400$$

Caída de tensión porcentual en el circuito de fuerza:

$$dU(\%) = 0.29 < 5\%$$

Pérdida de potencia en el circuito de fuerza:

$$Pp(W) = 7.82 \quad Pp = 3 \times R \times I^2$$

CÁLCULO ELÉCTRICO DE CIRCUITOS DE BAJA TENSIÓN

Circuito trifásico: F1 CG-TERMF CTO de CGMP a sistema de compresión biogás

INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE

Potencia nominal del receptor o grupo de receptores:

$$P_a = 500 \text{ W}$$

Potencia mínima de dimensionado del circuito de alimentación:

$$P_{md} = 625 \text{ W}$$

Potencia adoptada para dimensionado del circuito de alimentación:

$$P_d = 700 \text{ W}$$

CON PREVISIÓN DE FUTURAS AMPLIACIONES DEL CIRCUITO

Factor de potencia del receptor o grupo de receptores:

$$\cos \varphi = 0.9$$

Tensión nominal de suministro:

$$U(V) = 400$$

Intensidad nominal consumida por el receptor/es:

$$I(A) = 0.80 \quad I = \frac{P_a}{\sqrt{3} U \cos \varphi}$$

Intensidad de dimensionado del circuito de fuerza:

$$I_d(A) = 1.12 \quad I_d = \frac{P_d}{\sqrt{3} U \cos \varphi}$$

Sistema de instalación.

Montaje superficial o empotrados en obra

Tipo de canalización

Tubo protector rígido de acero para exterior

Número de cables y número de polos por cable en la canalización

4 cables UNIPOLARES y cable TT

Sección adoptada para el conductor

s(mm²)= 1.5 COBRE

Composición y designación de los cables:

CABLES HO7V-K 4x1,5mm² + 1,5 TT

Intensidad admisible en los conductores:

$$I_{ad} = 16 \text{ A}$$

Intensidad dimensionado

$$> \underline{\underline{1.12}} \text{ A}$$

Potencia máxima admisible suministrada por los conductores:

$$P_{ad} = 9,977 \text{ W}$$

$$\underline{\underline{9.98}} \text{ kW}$$

$$P_{ad} = \sqrt{3} \times U \times I_{ad} \times \cos \varphi$$

Reserva de potencia en circuito para futuras ampliaciones (kW):

9.48

Protección magnetotérmica contra sobreintensidades:

DATO: intensidad admisible en los conductores(A):	16	REGLA:	Superior
PIA IV 10 A	Intensidad nominal(A):	10	Medio
DATO: Intensidad nominal consumida por el receptor:	0.80		Inferior

Protección contra corrientes de defecto:		REGLA:	
DIF IV-40 30mA 20 kW	Intensidad nominal(A):	40	Superior
DATO: Intensidad nominal de magnetotérmico(A):	10.00		Inferior

	$P_{adm} = \sqrt{3} \times U \times I_n \times \cos \phi$	REGLA:	
Potencia máxima admisible en el circuito protegido (W)	6,235		Superior
Potencia nominal del receptor o grupo de receptores (W):	500		Inferior
Reserva con el PIA (W):	5,735		

CAÍDA DE TENSIÓN EN EL CIRCUITO ELÉCTRICO TRIFÁSICO

Datos: Longitud del conductor:

$$L(m) = 18.8$$

Sección del conductor:

$$s(mm^2) = 1.5$$

Resistividad del material:

$$r(\Omega mm^2/m) = 0.018$$

Cu=0,018 $\Omega mm^2/m$ Al=0,029 $\Omega mm^2/m$

Resistencia ohmica del conductor:

$$R(\Omega) = 0.2256$$

Intensidad nominal de corriente:

$$I(A) = 0.80$$

Factor de potencia:

$$\cos \phi = 0.9 \quad 0.45 \text{ rad}$$

Reactancia inductiva en la cable de fuerza:

$$X = L \times W = 0.00188 \text{ } \Omega \text{ ohmios} \quad X=0,1 \text{ } \Omega / \text{Km}$$

RESULTADOS

Caída de tensión absoluta en el circuito de fuerza:

$$dU(V) = 0.28$$

Tensión nominal:

$$U(V) = 400$$

Caída de tensión porcentual en el circuito de fuerza:

$$dU(\%) = 0.07 < 5\%$$

Pérdida de potencia en el circuito de fuerza:

$$Pp(W) = 0.44 \quad Pp = 3 \times R \times I^2$$

CÁLCULO ELÉCTRICO DE CIRCUITOS DE BAJA TENSIÓN

Circuito trifásico: F1 CG-TERMF CTO de CGMP a sistema de agitación

INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE

Potencia nominal del receptor o grupo de receptores:

$$P_a = 1,500 \text{ W}$$

Potencia mínima de dimensionado del circuito de alimentación:

$$P_{md} = 1,875 \text{ W}$$

Potencia adoptada para dimensionado del circuito de alimentación:

$$P_d = 3,000 \text{ W}$$

CON PREVISIÓN DE FUTURAS AMPLIACIONES DEL CIRCUITO

Factor de potencia del receptor o grupo de receptores:

$$\cos \varphi = 0.9$$

Tensión nominal de suministro:

$$U(V) = 400$$

Intensidad nominal consumida por el receptor/es:

$$I(A) = 2.41 \quad I = \frac{P_a}{\sqrt{3} U \cos \varphi}$$

Intensidad de dimensionado del circuito de fuerza:

$$I_d(A) = 4.81 \quad I_d = \frac{P_d}{\sqrt{3} U \cos \varphi}$$

Sistema de instalación.

Montaje superficial o empotrados en obra

Tipo de canalización

Tubo protector rígido de acero para exterior

Número de cables y número de polos por cable en la canalización

4 cables UNIPOLARES y cable TT

Sección adoptada para el conductor

s(mm²)= 2.5 COBRE

Composición y designación de los cables:

CABLES RV-K 0,6/1kV 4x2,5mm² + 2,5 TT

Intensidad admisible en los conductores:

$$I_{ad} = 22 \text{ A}$$

Intensidad dimensionado

$$> \underline{\underline{4.81}} \text{ A}$$

Potencia máxima admisible suministrada por los conductores:

$$P_{ad} = 13,718 \text{ W}$$

$$\underline{\underline{13.72}} \text{ kW}$$

$$P_{ad} = \sqrt{3} \times U \times I_{ad} \times \cos \varphi$$

Reserva de potencia en circuito para futuras ampliaciones (kW):

12.22

Protección magnetotérmica contra sobrecorrientes:

DATO: intensidad admisible en los conductores(A): 22 REGLA: Superior
PIA IV 10 A Intensidad nominal(A): 10 Medio
DATO: Intensidad nominal consumida por el receptor: 2.41 Inferior

Protección contra corrientes de defecto: REGLA: Superior
DIF IV-40 30mA 20 kW Intensidad nominal(A): 40 Superior
DATO: Intensidad nominal de magnetotérmico(A): 10.00 Inferior

$P_{adm} = \sqrt{3} \times U \times I_n \times \cos \phi$ REGLA: Superior
Potencia máxima admisible en el circuito protegido (W) 6,235 Superior
Potencia nominal del receptor o grupo de receptores (W): 1,500 Inferior
Reserva con el PIA (W): 4,735

CAÍDA DE TENSIÓN EN EL CIRCUITO ELÉCTRICO TRIFÁSICO

Datos: Longitud del conductor:

L(m)= 11.69

Sección del conductor:

s(mm²)= 2.5

Resistividad del material:

r(Ohm²/m)= 0.018

Cu=0,018 Ohm²/m Al=0,029 Ohm²/m

Resistencia ohmica del conductor:

R(ohmios)= 0.08417

Intensidad nominal de corriente:

I(A)= 2.41

Factor de potencia:

COS ϕ = 0.9 0.45 rad

Reactancia inductiva en la cable de fuerza:

X= L x W= 0.00117 ohmios X=0,1 Oh/Km

RESULTADOS

Caída de tensión absoluta en el circuito de fuerza:

dU(V)= 0.32

Tensión nominal:

U(V)= 400

Caída de tensión porcentual en el circuito de fuerza:

dU(%)= 0.08 < 5%

Pérdida de potencia en el circuito de fuerza:

Pp(W)= 1.46 $Pp = 3 \times R \times I^2$

ANEJO 13

INSTALACIÓN DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS EN SECTORES CON ACTIVIDAD INDUSTRIAL

ÍNDICE DEL ANEJO

1. ANTECEDENTES. NORMATIVA DE APLICACIÓN.

2. COMPATIBILIDAD REGLAMENTARIA.

3. CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LOS ESTABLECIMIENTOS INDUSTRIALES EN RELACIÓN CON LA SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS.

4. CARACTERIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN DEL PROYECTO EN RELACIÓN CON SU SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS.

4.1 CARACTERIZACIÓN POR SU CONFIGURACIÓN Y UBICACIÓN CON RELACIÓN A SU ENTORNO.

4.2 CARACTERIZACIÓN POR SU NIVEL DE RIESGO INTRÍNSECO.

4.2.1. Nivel de riesgo intrínseco de los silos de almacenamiento.

4.2.2. Nivel de riesgo intrínseco en el laboratorio de control de calidad de las semillas.

4.2.3. Nivel de riesgo intrínseco del conjunto de área y sector de incendio del establecimiento industrial (Qe).

5. REQUISITOS CONSTRUCTIVOS DEL ESTABLECIMIENTO INDUSTRIAL SEGÚN SU CONFIGURACIÓN, UBICACIÓN Y NIVEL DE RIESGO INTRÍNSECO.

5.1. Ubicaciones no permitidas de sectores de incendio con actividad industrial.

5.2. Sectorización del establecimiento industrial.

5.2.1 Máxima superficie construida admisible de cada sector de incendio según tabla 2.1

5.2.2 Distribución de los materiales combustibles en las áreas de incendio en configuraciones de tipo D y de tipo E.

5.3. Materiales.

5.4. Estabilidad al fuego de los elementos constructivos portantes.

6. REQUISITOS DE LAS INSTALACIONES DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS DE LOS ESTABLECIMIENTOS INDUSTRIALES.

6.1. Sistemas automáticos de detección de incendio.

6.2. Sistemas manuales de alarma de incendio.

6.3. Sistemas de comunicación de alarma.

6.4. Sistemas de abastecimiento de agua contra incendios.

6.5. Sistemas de hidrantes exteriores.

6.6. Extintores de incendio.

6.7. Sistemas de bocas de incendio equipadas.

6.8. Sistemas de columna seca.

6.9. Sistemas de rociadores automáticos de agua.

6.10. Sistemas de agua pulverizada.

6.11. Sistemas de espuma física.

6.12. Sistemas de extinción por polvo.

6.13. Sistemas de extinción por agentes extintores gaseosos.

6.14. Sistemas de alumbrado de emergencia.

6.15. Señalización.

7. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS A INSTALAR EN EL ESTABLECIMIENTO.

1. ANTECEDENTES. NORMATIVA DE APLICACIÓN.

Es de aplicación al presente Proyecto el Real Decreto 2267/2004 de 3 de diciembre, por el que se aprueba el **Reglamento de Seguridad contra Incendios en Establecimientos Industriales**, en adelante RSCIEI.

El ámbito de aplicación de este Reglamento son los establecimientos industriales, entendiéndose como tales los siguientes:

- **Las industrias, tal como se definen en el artículo 3, punto 1, de la Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria.**
- **Los almacenamientos industriales.**
- **Los talleres de reparación y los estacionamientos de vehículos destinados al transporte de personas y al transporte de mercancías.**
- **Los servicios auxiliares o complementarios de las actividades comprendidas en los puntos anteriores.**

Se aplicará además a los almacenamientos de cualquier tipo de establecimiento cuando su carga de fuego total, ponderada y corregida sea superior o igual a 3.000.000 Mega julios (MJ).

La actividad principal a la que se destinará la instalación agroindustrial objeto de este Proyecto es la generación de biogás a partir de la digestión anaerobia por medio de la mezcla de estiércol y sorgo.

El proyecto incluye una segunda actividad correspondiente a la generación de electricidad a partir del biogás generado.

La citada instalación de producción de biogás estará formada por un depósito cilíndrico principal de hormigón armado, de 95 m², además de otro depósito cilíndrico secundario de chapa galvanizada con un área total de 72 m². Estos depósitos están compuestos por bombas eléctricas impulsoras de los líquidos así, como de las máquinas encargadas del correcto funcionamiento de la digestión. Adyacente a ambos depósitos encontramos el sistema de cogeneración encargado de producir la electricidad a partir del suministro del biogás por el propio digestor. Todos estos elementos están dispuestos en un **espacio abierto y descubierto**, creando un área total de la planta de 546 m².

Este establecimiento agroindustrial es motivo de aplicación el Reglamento de Seguridad contra Incendios en Establecimientos Industriales.

2. COMPATIBILIDAD REGLAMENTARIA.

Cuando en un establecimiento industrial coexistan con la actividad industrial otros usos con la misma titularidad, para los que sea de aplicación el DB-SI del CTE, los requisitos que deben satisfacer los espacios de uso no industrial serán los exigidos por dicha Norma cuando los mismos superen los límites indicados a continuación:

ESPACIO DE USO NO INDUSTRIAL	SUPERFICIE CONSTRUIDA MÁXIMA	SUPERFICIE CONSTRUIDA PROYECTO	APLICACIÓN DB-SI
Zona comercial	>250 m ²	-0 m ²	NO
Sala reuniones-proyecc.	>100 personas sentadas	-0 m ²	NO
Cafetería-comedor	>150 m ²	- 0 m ²	NO
Zona administración	>250 m ²	- 0 m ²	NO
Archivo	>250 m ²	-0 m ²	NO
Sala reuniones	>100 personas sentadas	-0 m ² -	NO

No resulta de aplicación el DB-SI del CTE.

3. CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LOS ESTABLECIMIENTOS INDUSTRIALES EN RELACIÓN CON LA SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS.

Los establecimientos industriales, en relación con su seguridad contra incendios, se caracterizarán por:

- a) Su configuración y ubicación con relación a su entorno.
- b) Su nivel de riesgo intrínseco.

4. CARACTERIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN DEL PROYECTO EN RELACIÓN CON SU SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS.

La planta de biogás en su conjunto se implanta en un espacio abierto de uso agroindustrial. Ambos elementos están destinados a ser utilizados bajo una titularidad diferenciada, siendo su proyecto, así como el inicio de la actividad prevista, objeto de control administrativo. Por lo tanto, la instalación responde al concepto de “establecimiento industrial” definido en el Anexo I del RSCIEE.

4.1 CARACTERIZACIÓN POR SU CONFIGURACIÓN Y UBICACIÓN CON RELACIÓN A SU ENTORNO.

Atendiendo a las diversas configuraciones y ubicaciones tipo que recoge el Anexo I del RSCIEE, **la planta de biogás** se enmarca en el apartado 2.2

“establecimientos industriales que desarrollan su actividad en espacios abiertos que no constituyen un edificio”. Dentro de ese grupo queda caracterizado del siguiente modo:

TIPO E: el establecimiento industrial ocupa un espacio abierto que puede estar parcialmente cubierto (hasta un 50 por ciento de su superficie), alguna de cuyas fachadas en la parte cubierta carece totalmente de cerramiento lateral.

En nuestro caso concreto, según lo indicando anteriormente, la planta de biogás ocupa un **espacio abierto, totalmente descubierto y carece de cerramientos laterales** en cualquiera de sus frentes.

4.2 CARACTERIZACIÓN POR SU NIVEL DE RIESGO INTRÍNSECO.

Los establecimientos industriales se clasifican según su **nivel de riesgo intrínseco** atendiendo a los criterios y según los procedimientos que se indican en el Anexo I del RSCIEI. La caracterización por nivel de riesgo intrínseco se realiza determinando la carga de fuego ponderada y corregida de cada área o sector de incendios con uso diferente.

La planta de biogás del proyecto tiene asignada **configuración tipo E**. Para esta configuración el Reglamento considera que la superficie que ocupa la planta constituye un **"área de incendio abierta"**, definida únicamente por su perímetro.

La actividad principal a desarrollar en la planta de biogás es la cogeneración eléctrica a partir de biogás. Además de la generación de energía eléctrica y térmica, el conjunto dispone de un gasómetro donde se almacena el gas a medida que se va produciendo, hasta su posterior combustión, y unos tanques de almacenamiento donde se producirá la digestión anaerobia del sustrato formado por estiércoles y sorgo. El conjunto de todos los elementos que componen la planta formaran el sector o área de incendio.

A continuación, se va a determinar la densidad de carga de fuego del área de incendio formada por el equipo de cogeneración, el gasómetro, y los tanques o depósitos de almacenamiento.

4.2.1. Nivel de riesgo intrínseco de la planta de biogás por secciones

- NIVEL DE RIESGO INTRÍNSECO PARA ACTIVIDADES DE ALMACENAMIENTO:

En este caso hay que determinar la densidad de carga de fuego ponderada y corregida (Q_s) para cada actividad de almacenamiento aplicando la siguiente expresión del RSCIEI que figura en el Anexo I, punto 3.2 apartado 2, letra b.

b) Para actividades de almacenamiento:

$$Q_s = \frac{\sum_1^i q_{vi} C_i h_i s_i}{A} R_a \text{ (MJ / m}^2\text{) o (Mcal / m}^2\text{)}$$

Para aplicar esta ecuación se fijan las siguientes variables numeradas del 1 al 5:

La tabla 1.2 indica valores de **densidad de carga de fuego media** de una lista exhaustiva de procesos industriales de fabricación y venta, así como de almacenamiento de productos. Incluye también el riesgo de activación asociado, Ra, de cada uno de ellos.

- **CARAGA DE FUEGO PONDERADA Y CORREGIDA AL GASÓMETRO**

1-Carga de fuego " q_{vi} " Mcal/m³, aportada por cada m³ de cada zona con diferente tipo de almacenamiento. Según tabla 1.2 de Anexo I del RSCIEI.

Valor en tabla: $q_{vi} = 240 \text{ Mcal/m}^3$.

2-Coeficiente adimensional "Ra" que corrige el riesgo de activación inherente a la actividad industrial que se desarrolla en el área de incendio. Según tabla 1.2 de Anexo I del RSCIEI.

Valor en tabla: $R_a = 2,0$.

TABLA 1.2
VALORES DE DENSIDAD DE CARGA DE FUEGO MEDIA DE DIVERSOS PROCESOS INDUSTRIALES, DE ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS Y RIESGO DE ACTIVACIÓN ASOCIADO, Ra

ACTIVIDAD	Fabricación y venta			Almacenamiento		
	Q _s		Ra	q _v		Ra
	MJ/m ²	Mcal/m ²		MJ/m ³	Mcal/m ³	
Productos químicos combustibles	300	72	2,0	1.000	240	2,0

3-Coeficiente de peligrosidad por combustibilidad Ci. Según tabla 1.1 del Anexo I, del R.S.C.I.E.I:

TABLA 1.1 Grado de peligrosidad de los combustibles

Valores del coeficiente de peligrosidad por combustibilidad C_i .

Alta	Media	Baja
Líquidos clasificados como clase A en la ITC MIE-APQ1.	Líquidos clasificados como subclase B2, en la ITC MIE-APQ-1.	Líquidos clasificados como clase D, en la ITC MIE-APQ-1.
Líquidos clasificados como subclase B1, en la ITC MIE-APQ-1. Sólidos capaces de iniciar su combustión a temperatura inferior a 100	Líquidos clasificados como clase C, en la ITC MIE-APQ1. Sólidos que comienzan su ignición a temperatura comprendida entre 100°C y 200°C.	Sólidos que comienzan su ignición a una temperatura superior a 200°C
Productos que pueden formar mezclas explosivas con el aire a temperatura ambiente. Productos que pueden iniciar combustión espontánea en el aire a temperatura ambiente.	Sólidos que emiten gases inflamables.	
C 1,60	C 1,30	C 1,00

- En nuestro caso corresponde “Productos que pueden formar mezclas explosivas con el aire”, por lo tanto, **$C_i = 1.60$**

4- *Altura del almacenamiento “ h_i ” de cada uno de los combustibles en m.*

La altura máxima de almacenamiento de biogás en el gasómetro es de 3,67m.

Por lo tanto, en la formula anterior $h_i = 3,67$ m.

5- *Superficie ocupada por el área de incendio “A”, en m^2 .*

La superficie ocupada por el gasómetro es de **95 m^2** , este se sitúa en la parte superior del tranque primario, de modo que la superficie coincide con la ocupada por el propio tanque.

La ecuación para obtener la densidad de carga de fuego ponderada y corregida (Q_s) en la zona del gasómetro que forma el área de incendios:

- **CARGA DE FUEGO PONDERADA Y CORREGIDA A LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO**

•

1-Carga de fuego " q_{vi} " Mcal/m³, aportada por cada m³ de cada zona con diferente tipo de almacenamiento. Según tabla 1.2 de Anexo I del RSCIEI.

Valor en tabla: $q_{vi} = 48 \text{ Mcal/m}^3$.

2-Coeficiente adimensional " R_a " que corrige el riesgo de activación inherente a la actividad industrial que se desarrolla en el área de incendio. Según tabla 1.2 de Anexo I del RSCIEI.

Valor en tabla: $R_a = 1,0$.

TABLA 1.2
VALORES DE DENSIDAD DE CARGA DE FUEGO MEDIA DE DIVERSOS PROCESOS INDUSTRIALES, DE ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS Y RIESGO DE ACTIVACIÓN ASOCIADO, R_a

ACTIVIDAD	Fabricación y venta			Almacenamiento		
	Q_s		R_a	q_v		R_a
	MJ/m ²	Mcal/m ²		MJ/m ³	Mcal/m ³	
Abonos químicos	200	48	1,5	200	48	1,0

3-Coeficiente de peligrosidad por combustibilidad C_i . Según tabla 1.1 del Anexo I, del R.S.C.I.E.I.:

TABLA 1.1 Grado de peligrosidad de los combustibles

Valores del coeficiente de peligrosidad por combustibilidad C_i .

Alta	Media	Baja
Líquidos clasificados como clase A en la ITC MIE-APQ1.	Líquidos clasificados como subclase B2, en la ITC MIE-APQ-1.	Líquidos clasificados como clase D, en la ITC MIE-APQ-1.
Líquidos clasificados como subclase B1, en la ITC MIE-APQ-1.	Líquidos clasificados como clase C, en la ITC MIE-APQ1.	Sólidos que comienzan su ignición a una temperatura superior a 200°C
Sólidos capaces de iniciar su combustión a temperatura inferior a 100	Sólidos que comienzan su ignición a temperatura comprendida entre 100°C y 200°C.	Sólidos que comienzan su ignición a una temperatura superior a 200°C
Productos que pueden formar mezclas explosivas con el aire a temperatura ambiente. Productos que pueden iniciar combustión espontánea en el aire a temperatura ambiente.	Sólidos que emiten gases inflamables.	

C 1,60	C 1,30	C 1,00
--------	--------	--------

- En nuestro caso corresponde “sólidos que emiten gases inflamables”, por lo tanto, **Ci = 1.30**

4- *Altura del almacenamiento “hi” de cada uno de los combustibles en m.*

La altura máxima de almacenamiento de digestato en el tanque es de 4,51m.

Por lo tanto, en la fórmula anterior $h_i = 4,51 \text{ m}$.

5- *Superficie ocupada por el área de incendio “A”, en m².*

La superficie ocupada por los dos tanques de almacenamiento será de 95 m², por el digestor primario, y de 71,63 m² por el tanque de almacenamiento del digestato, sumando un total de **166,63 m²**.

La ecuación para obtener la densidad de carga de fuego ponderada y corregida (Qs) en la zona de los tanques de almacenamiento que forma el área de incendios:

- NIVEL DE RIESGO INTRÍNSECO PARA ACTIVIDADES DE PRODUCCIÓN:

En este caso hay que determinar la densidad de carga de fuego ponderada y corregida (Qs) para una actividad que no es de almacenamiento con la siguiente expresión del RSCIEI que figura en su Anexo I, punto 3.2, apartado 2, letra a.

a) Para actividades de producción, transformación, reparación o cualquier otra distinta al almacenamiento:

$$Q_s = \frac{\sum_i q_{si} S_i C_i}{A} R_a \text{ (MJ/m}^2\text{) o (Mcal/m}^2\text{)}$$

- **CARGA DE FUEGO PONDERADA Y CORREGIDA EN EL MOTOR COGENERADOR**

La actividad dentro del sector de cogeneración a partir de biogás se asimila al caso “central térmica”,

Para aplicar la ecuación anterior se fijan las siguientes variables numeradas del 1 al 4:

1- Densidad de carga de fuego media (qsi) de cada zona con proceso diferente según los distintos procesos que se realizan en el sector de incendio (i), en Mcal/m².

(Tabla 1.2 de Anexo I del RSCIEI):

- En nuestro caso corresponde **qsi = 48 Mcal/m²**

2- Coeficiente adimensional “Ra” que corrige el riesgo de activación inherente a la actividad industrial que se desarrolla en el área de incendio. Según tabla 1.2 de Anexo I del RSCIEI.

Valor en tabla: $R_a = 1,0$.

TABLA 1.2
VALORES DE DENSIDAD DE CARGA DE FUEGO MEDIA DE DIVERSOS PROCESOS INDUSTRIALES, DE ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS Y RIESGO DE ACTIVACIÓN ASOCIADO, R_a

ACTIVIDAD	Fabricación y venta			Almacenamiento		
	Q_s		Ra	q_v		Ra
	MJ/m ²	Mcal/m ²		MJ/m ³	Mcal/m ³	
Centrales térmicas	200	48	1,0			

3-Coeficiente de peligrosidad por combustibilidad C_i . Según tabla 1.1 del Anexo I, del R.S.C.I.E.I.:

TABLA 1.1 Grado de peligrosidad de los combustibles

Valores del coeficiente de peligrosidad por combustibilidad C_i .

Alta	Media	Baja
Líquidos clasificados como clase A en la ITC MIE-APQ1.	Líquidos clasificados como subclase B2, en la ITC MIE-APQ-1.	Líquidos clasificados como clase D, en la ITC MIE-APQ-1.
Líquidos clasificados como subclase B1, en la ITC MIE-APQ-1.	Líquidos clasificados como clase C, en la ITC MIE-APQ1.	
Sólidos capaces de iniciar su combustión a temperatura inferior a 100	Sólidos que comienzan su ignición a temperatura comprendida entre 100°C y 200°C.	Sólidos que comienzan su ignición a una temperatura superior a 200°C
Productos que pueden formar mezclas explosivas con el aire a temperatura ambiente. Productos que pueden iniciar combustión espontánea en el aire a temperatura ambiente.	Sólidos que emiten gases inflamables.	
C 1,60	C 1,30	C 1,00

• En nuestro caso como no corresponde a ninguna descripción, pero se trabaja con biogás, siendo un combustible inflamable, hemos decidido establecerla en el grado de peligrosidad más alto, por lo tanto, $C_i = 1.60$

4-Superficie construida del sector de incendio (A), en m².

- En nuestro caso corresponde **A = 2,79 m²**

De esta manera la densidad de carga de fuego ponderada y corregida (Qs) para la actividad en el laboratorio de control de calidad de la semilla, empleando la fórmula del Reglamento y los valores de la tabla anterior, resulta:

En el Plano... muestra como la superficie total ocupada por la planta de biogás es de 961 m². En dicha superficie están incluidos los dos tanques presentes en la instalación, así como los correspondientes accesorios de la instalación, como pueden ser tuberías o motores eléctricos. Se considera esta superficie de **961 m²** como superficie ocupada por el área de incendio del establecimiento industrial.

4.2.3. Nivel de riesgo intrínseco del conjunto de sectores y/o áreas de incendio de un establecimiento industrial (Qe).

No se obtendrá la densidad de carga de fuego ponderada y corregida del conjunto de área y sector de incendio "Qe", por aplicación de la expresión del RSCIEI (ANEXO I punto 3.3) incluida tras este párrafo, que determina dicha densidad de carga de fuego, a partir de los valores parciales anteriormente calculados y de sus áreas según actividades:

$$Q_e = \frac{\sum_1^i Q_{si} \cdot A_i}{A_i} \left(\frac{Mcal}{m^2} \right)$$

- *Densidad de carga de fuego, ponderada y corregida del área de incendio del gasómetro.*

$$Q_{ss} = 139,31 \text{ Mcal/m}^2 \quad A_s = 95 \text{ m}^2$$

- *Densidad de carga de fuego, ponderada y corregida del área de incendio de los tanques de almacenamiento.*

$$Q_{st} = 48,80 \text{ Mcal/m}^2 \quad A_t = 166,63 \text{ m}^2$$

Densidad de carga de fuego, ponderada y corregida del área de incendio del sistema de cogeneración

$$Q_{st} = 0,22 \text{ Mcal/m}^2 \quad A_t = 2,79 \text{ m}^2$$

Una vez evaluada la **densidad de carga de fuego, ponderada y corregida**, del área de incendio y del sector de incendio del establecimiento industrial, según los procedimientos expuestos en los apartados anteriores, el **nivel de riesgo intrínseco** para cada caso, se deduce de la Tabla 1.3 del Reglamento:

Nivel de riesgo intrínseco		Densidad de carga de fuego ponderada y corregida	
		Mcal/m ²	MJ/m ²
Bajo	1	$Q_s < 100$	$Q_s < 425$
	2	$100 < Q_s < 200$	$425 < Q_s < 850$
Medio	3	$200 < Q_s < 300$	$850 < Q_s < 1.275$
	4	$300 < Q_s < 400$	$1.275 < Q_s < 1.700$
	5	$400 < Q_s < 800$	$1.700 < Q_s < 3.400$
Alto	6	$800 < Q_s < 1.600$	$3.400 < Q_s < 6.800$
	7	$1.600 < Q_s < 3.200$	$6.800 < Q_s < 13.600$
	8	$3.200 < Q_s$	$13.600 < Q_s$

NIVEL DE RIESGO INTRÍNSECO DEL ÁREA DE INCENDIO DE LA PLANTA DE BIOGÁS:

BAJO 1

$Q_s < 100$ Mcal/m²

5. REQUISITOS CONSTRUCTIVOS DEL ESTABLECIMIENTO INDUSTRIAL SEGÚN SU CONFIGURACIÓN, UBICACIÓN Y NIVEL DE RIESGO INTRÍNSECO.

El área de incendio correspondiente a la planta de biogás tiene una configuración y ubicación en relación con su entorno de TIPO E, y un Nivel de Riesgo Intrínseco BAJO 1.

Esté área de incendio no contienen ningún edificio. En consecuencia, no resulta de aplicación en ninguno de sus puntos lo prescrito en el Anexo II del RSCIEI bajo el título "Requisitos constructivos de los establecimientos industriales según su configuración, ubicación y nivel de riesgo".

6. REQUISITOS DE LAS INSTALACIONES DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS DE LOS ESTABLECIMIENTOS INDUSTRIALES.

Todos los aparatos, equipos, sistemas y componentes de las instalaciones de protección contra incendios de los establecimientos industriales, así como el diseño, la ejecución, la puesta en funcionamiento y el mantenimiento de sus instalaciones, cumplirán lo preceptuado en el **Reglamento de Instalaciones de Protección Contra Incendios** vigente, aprobado por el Real Decreto 513/2017.

Los instaladores y mantenedores de las instalaciones de protección contra incendios a que se refiere el apartado anterior cumplirán los requisitos que, para ellos, establece el citado Reglamento.

6.1. Sistemas automáticos de detección de incendio.

Se instalarán sistemas automáticos de detección de incendios en los sectores de incendio de los establecimientos industriales cuando en ellos se desarrollen:

a) Actividades de producción, montaje, transformación, reparación u otras distintas al almacenamiento, si:

1.º Están ubicados en edificios de tipo A y su superficie total construida es de 300 m² o superior.

2.º Están ubicados en edificios de tipo B, su nivel de riesgo intrínseco es medio y su superficie total construida es de 2.000 m² o superior.

3.º Están ubicados en edificios de tipo B, su nivel de riesgo intrínseco es alto y su superficie total construida es de 1.000 m² o superior.

4.º Están ubicados en edificios de tipo C, su nivel de riesgo intrínseco es medio y su superficie total construida es de 3.000 m² o superior.

5.º Están ubicados en edificios de tipo C, su nivel de riesgo intrínseco es alto y su superficie total construida es de 2.000 m² o superior.

La actividad de producción definida en el Proyecto corresponde a la de producción de energía eléctrica y térmica. De modo que NO será necesaria la INSTALACIÓN DE SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE DETECCIÓN DE INCENDIOS en ella, ya que NO se encuentran presentes edificios tipo A, B o C que se recogen en las exigencias anteriores del Anexo III del R.S.C.I.E.I. para instalar dichos sistemas automáticos.

b) Actividades de almacenamiento si:

1. Están ubicados en edificios de tipo A y su superficie total construida es de 150 m² o superior.

2. Están ubicados en edificios de tipo B, su nivel de riesgo intrínseco es medio y su superficie total construida es de 1.000 m² o superior.
3. Están ubicados en edificios tipo B, su nivel de riesgo intrínseco es alto y su superficie total construida es de 500 m² o superior.
4. Están ubicados en edificios de tipo C, su nivel de riesgo intrínseco es medio y su superficie total construida es de 1.500 m² o superior.
5. Están ubicados en edificios de tipo C, su nivel de riesgo intrínseco es alto y su superficie total construida es de 800 m² o superior.

La actividad de almacenamiento corresponde con en el área destinada al gasómetro y a los tanques de almacenamiento, de modo que, NO será necesaria la INSTALACIÓN DE SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE DETECCIÓN DE INCENDIOS en ella ya que No se encuentran presentes edificios tipo A, B o C que se recogen en las exigencias anteriores del Anexo III del R.S.C.I.E.I. para instalar dichos sistemas automáticos.

6.2. Sistemas manuales de alarma de incendio.

1. Se instalarán sistemas manuales de alarma de incendio en los sectores de incendio de los establecimientos industriales cuando en ellos se desarrollen:

a) Actividades de producción, montaje, transformación, reparación u otras distintas al almacenamiento, si:

- Su superficie total construida es de 1.000 m² o superior.
- No se requiere la instalación de sistemas automáticos de detección de incendios.

b) Actividades de almacenamiento, si:

- Su superficie total construida es de 800 m² o superior, o
- No se requiere la instalación de sistemas automáticos de detección de incendios.

2. Cuando sea requerida la instalación de un sistema manual de alarma de incendio, se situará, en todo caso, un pulsador junto a cada salida de evacuación del sector de incendio, y la distancia máxima a recorrer desde cualquier punto hasta alcanzar un pulsador no debe superar los **25 m**.

No es necesaria la instalación de un SISTEMA MANUAL DE ALARMA DE INCENDIOS en la planta de biogás, ya el Proyecto no define para los mismos “sector de incendio” sino “área de incendio” en espacios abierto y descubierta en la que no hay superficie construida.

6.3. Sistemas de comunicación de alarma.

1. Se instalarán sistemas de comunicación de alarma en todos los sectores de incendio de los establecimientos industriales, si la suma de la superficie construida de todos los sectores de incendio del establecimiento industrial es de 10.000 m² o superior.

2. La señal acústica transmitida por el sistema de comunicación de alarma de incendio permitirá diferenciar si se trata de una alarma por "emergencia parcial" o por "emergencia general", y será preferente el uso de un sistema de megafonía.

No será necesaria la instalación de SISTEMAS DE COMUNICACIÓN DE ALARMA en este Proyecto ya que en el mismo no se presentan sectores de incendio con la superficie construida de 10.000 m² o superior.

6.4. Sistemas de abastecimiento de agua contra incendios.

Se instalará un sistema de abastecimiento de agua contra incendios ("red de agua contra incendios"), si:

a) Lo exigen las disposiciones vigentes que regulan actividades industriales sectoriales o específicas, de acuerdo con el artículo 1 del reglamento.

b) Cuando sea necesario para dar servicio, en las condiciones de caudal, presión y reserva calculados, a uno o varios sistemas de lucha contra incendios, tales como:

Red de bocas de incendio equipadas (BIE).

Red de hidrantes exteriores.

Rociadores automáticos.

Agua pulverizada.

Espuma.

No será necesaria la instalación de SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA CONTRA INCENDIOS en este Proyecto, ya que no se requerirá la implantación de ninguno de los medios de extinción enumerados que exigen caudal de agua a presión y almacenaje.

6.5. Sistemas de hidrantes exteriores.

1. Necesidades. Se instalará un sistema de hidrantes exteriores si:

a) Lo exigen las disposiciones vigentes que regulan actividades industriales sectoriales o específicas, de acuerdo con el artículo 1 del reglamento.

b) Concurren las circunstancias que se reflejan en la tabla siguiente:

TABLA 3.1
HIDRANTES EXTERIORES EN FUNCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DE LA ZONA,
SU SUPERFICIE CONSTRUIDA Y SU NIVEL DE RIESGO INTRÍNSECO

Configuración de la zona de incendio	Superficie del sector o área de incendio (m ²)	Riesgo Intrínseco		
		Bajo	Medio	
A	≥300 ≥1000	NO SÍ*	SÍ SÍ	
B	≥1000 ≥2500 ≥3500	NO NO SÍ	NO SÍ SÍ	SÍ SÍ SÍ
C	≥2000 ≥3500	NO NO	NO SÍ	SÍ SÍ
D o E	≥5000 ≥15000	SÍ	SÍ SÍ	SÍ SÍ

En la planta de biogás No será necesaria la instalación de HIDRANTES EXTERIORES ya que en Proyecto se define una configuración de la zona de incendio de tipo E, el nivel de riesgo intrínseco es bajo y la superficie máxima de un área de incendio es de 961 m² , inferior a cifra umbral 15.000 m² establecida en la tabla 3.1.

6.6. Extintores de incendio.

1. Se instalarán extintores de incendio portátiles en todos los sectores de incendio de los establecimientos industriales.

Nota: en las zonas de los almacenamientos operados automáticamente, en los que la actividad impide el acceso de personas, podrá justificarse la no instalación de extintores.

Esta prescripción es de aplicación al presente Proyecto. La planta de biogás constituye un sector de incendios y en consecuencia, será necesaria la instalación de EXTINTORES DE INCENDIO en la planta de biogás.

La dotación y posición de todos ellos figura en los planos de instalación contra incendios.

El agente extintor utilizado será seleccionado de acuerdo con la tabla I-1 del apéndice 1 del Reglamento de Instalaciones de protección contra incendios, aprobado por el Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre.

Cuando en el sector de incendio coexistan combustibles de la clase A y de la clase B, se considerará que la clase de fuego del sector de incendio es A o B cuando la carga de fuego aportada por los combustibles de clase A o de clase B, respectivamente, sea, al menos, el 90 por ciento de la carga de fuego del sector. En otro caso, la clase de fuego del sector de incendio se considerará A-B.

2. Si la clase de fuego del sector de incendio es A o B, se determinará la dotación de extintores del sector de incendio de acuerdo con la tabla 3.1 o con la tabla 3.2, respectivamente.

Si la clase de fuego del sector de incendio es A-B, se determinará la dotación de extintores del sector de incendio sumando los necesarios para cada clase de fuego (A y B), evaluados independientemente, según la tabla 3.1 y la tabla 3.2, respectivamente. Cuando en el sector de incendio existan combustibles de clase C que puedan aportar una carga de fuego que sea, al menos, el 90 por ciento de la carga de fuego del sector, se determinará la dotación de extintores de acuerdo con la reglamentación sectorial específica que les afecte. En otro caso, no se incrementará la dotación de extintores si los necesarios por la presencia de otros combustibles (A y/o B) son aptos para fuegos de clase C.

Debido a que el combustible tipo C no aporta una carga del 90 por ciento de la carga total del área de incendio, se determina la dotación de extintores portátiles con el reglamento aplicado a combustibles de tipo A

La clase de fuego en el área de incendio es A y C y el nivel de riesgo intrínseco es bajo por lo tanto corresponde una eficacia mínima 21A del extintor y una superficie cubierta de 600 m² por el primer extintor y 200 m² por cada extintor adicional.

TABLA 3.1
DETERMINACIÓN DE LA DOTACIÓN DE EXTINTORES PORTÁTILES EN SECTORES DE INCENDIO CON CARGA DE FUEGO APORTADA POR COMBUSTIBLES DE CLASE A

GRADO DE RIESGO INTRÍNSECO DEL SECTOR DE INCENDIO	EFICACIA MÍNIMA DEL EXTINTOR	ÁREA MÁXIMA PROTEGIDA DEL SECTOR DE INCENDIO
BAJO	21 A	Hasta 600 m ² (un extintor más por cada 200 m ² , o fracción, en exceso)
MEDIO	21 A	Hasta 400 m ² (un extintor más por cada 200 m ² , o fracción, en exceso)
ALTO	34 A	Hasta 300 m ² (un extintor más por cada 200 m ² , o fracción, en exceso)

3. No se permite el empleo de agentes extintores conductores de la electricidad sobre fuegos que se desarrollan en presencia de aparatos, cuadros, conductores y otros elementos bajo tensión eléctrica superior a 24 V. La protección de estos se realizará con extintores de dióxido de carbono, o polvo seco BC o ABC, cuya carga se determinará según el tamaño del objeto protegido con un valor mínimo de cinco kg de dióxido de carbono y seis kg de polvo seco BC o ABC.

4. El emplazamiento de los extintores portátiles de incendio permitirá que sean fácilmente visibles y accesibles, estarán situados próximos a los puntos donde se estime mayor probabilidad de iniciarse el incendio y su distribución será tal que el recorrido máximo horizontal, desde cualquier punto del sector de incendio hasta el extintor, no supere 15 m.

5. Se instalarán extintores portátiles en todas las áreas de incendio de los establecimientos industriales (de tipo D y tipo E), excepto en las áreas cuyo nivel de riesgo intrínseco sea bajo 1.

La dotación estará de acuerdo con lo establecido en los apartados anteriores, excepto el recorrido máximo hasta uno de ellos, que podrá ampliarse a **25 m**.

Será necesario instalar dos EXTINTORES DE INCENDIO en el área de incendio correspondiente a la planta de biogás al tratarse de una superficie mayor a 600 m² y tener combustibles de tipo A y C.

6.7. Sistemas de bocas de incendio equipadas.

1. Se instalarán sistemas de bocas de incendio equipadas en los sectores de incendio de los establecimientos industriales, si:

a) Están ubicados en edificios de tipo A y su superficie total construida es de 300 m² o superior.

b) Están ubicados en edificios de tipo B, su nivel de riesgo intrínseco es medio y su superficie total construida es de 500 m² o superior.

c) Están ubicados en edificios de tipo B, su nivel de riesgo intrínseco es alto y su superficie total construida es de 200 m² o superior.

d) Están ubicados en edificios de tipo C, su nivel de riesgo intrínseco es medio y su superficie total construida es de 1000 m² o superior.

e) Están ubicados en edificios de tipo C, su nivel de riesgo intrínseco es alto y su superficie total construida es de 500 m² o superior.

f) Son establecimientos de configuraciones de tipo D o E, su nivel de riesgo intrínseco es alto y la superficie ocupada es de 5.000 m² o superior.

Nota: en las zonas de los almacenamientos operados automáticamente, en los que la actividad impide el acceso de personas, podrá justificarse la no instalación de bocas de incendio equipadas.

Respecto al área de incendio de la planta de biogás No resulta necesaria la instalación de BOCAS DE INCENDIO EQUIPADAS ya que en la configuración tipo E que se presenta el nivel de riesgo intrínseco es bajo y debería ser alto para que hubiera necesidad de instalar BIE.

6.8. Sistemas de columna seca.

1. Se instalarán sistemas de columna seca en los establecimientos industriales si son de riesgo intrínseco medio o alto y su altura de evacuación es de 15 m o superior.

2. Las bocas de salida de la columna seca estarán situadas en recintos de escaleras o en vestíbulos previos a ellas.

No será necesaria la instalación de SISTEMAS DE COLUMNA SECA en este Proyecto ya que el riesgo intrínseco calculado en el mismo es bajo (no es medio ni alto) y no hay altura de evacuación.

6.9. Sistemas de rociadores automáticos de agua.

Se instalarán sistemas de rociadores automáticos de agua en los sectores de incendio de los establecimientos industriales cuando en ellos se desarrollen:

a) Actividades de producción, montajes, transformación, reparación u otras distintas al almacenamiento, si:

1.º Están ubicados en edificios de tipo A, su nivel de riesgo intrínseco es medio y su superficie total construida es de 500 m² o superior.

2.º Están ubicados en edificios de tipo B, su nivel de riesgo intrínseco es medio y su superficie total construida es de 2500 m² o superior.

3.º Están ubicados en edificios de tipo B, su nivel de riesgo intrínseco es alto y su superficie total construida es de 1000 m² o superior.

4.º Están ubicados en edificios de tipo C, su nivel de riesgo intrínseco es medio y su superficie total construida es de 3500 m² o superior.

b) Actividades de almacenamiento, si:

1. Están ubicados en edificios de tipo A, su nivel de riesgo intrínseco es medio y su superficie total construida es de 300 m² o superior.

2. Están ubicados en edificios de tipo B, su nivel de riesgo intrínseco es medio y su superficie total construida es de 1500 m² o superior.

3. Están ubicados en edificios de tipo B, su nivel de riesgo intrínseco es alto y su superficie total construida es de 800 m² o superior.

4. Están ubicados en edificios de tipo C, su nivel de riesgo intrínseco es medio y su superficie total construida es de 2.000 m² o superior.

5. Están ubicados en edificios de tipo C, su nivel de riesgo intrínseco es alto y su superficie total construida es de 1.000 m² o superior.

NOTA: Cuando se realice la instalación de un sistema de rociadores automáticos de agua, concurrentemente con la de un sistema automático de detección de incendio que emplee detectores térmicos de acuerdo con las condiciones de diseño (apartado 1 de este anexo), quedará cancelada la exigencia del sistema de detección.

No será necesaria la instalación de SISTEMAS DE ROCIADORES AUTOMÁTICOS DE AGUA, en el área de la planta de biogás ya que constituye un espacio abierto y descubierto de configuración TIPO E.

6.10. Sistemas de agua pulverizada.

Se instalarán sistemas de agua pulverizada cuando por la configuración, contenido, proceso y ubicación del riesgo sea necesario refrigerar partes de este para asegurar la estabilidad de su estructura, y evitar los efectos del calor de radiación emitido por otro riesgo cercano.

Y en aquellos sectores de incendio y áreas de incendio donde sea preceptiva su instalación de acuerdo con las disposiciones vigentes que regulan la protección contra incendios en actividades industriales sectoriales o específicas (artículo 1 de este reglamento).

No será necesaria la instalación de SISTEMAS DE AGUA PULVERIZADA, ya que en el área y en el sector de incendio incluidos en Proyecto no se presentan ninguna de las dos situaciones descritas en los párrafos anteriores.

6.11. Sistemas de espuma física.

Se instalarán sistemas de espuma física en aquellos sectores de incendio y áreas de incendio donde sea preceptiva su instalación de acuerdo con las disposiciones vigentes que regulan la protección contra incendios en actividades industriales, sectoriales o específicas (artículo 1 de este reglamento) y, en general, cuando existan áreas de un sector de incendio en las que se manipulan líquidos inflamables que, en caso de incendios, puedan propagarse a otros sectores.

No será necesaria la instalación de SISTEMAS DE ESPUMA FÍSICA ya que en el área y en el sector de incendio incluidos en Proyecto no se presenta la situación descrita en el párrafo anterior.

6.12 Sistemas de extinción por polvo.

Se instalarán sistemas de extinción por polvo en aquellos sectores de incendio donde sea preceptiva su instalación de acuerdo con las disposiciones vigentes que regulan la protección contra incendios en actividades industriales sectoriales o específicas (artículo 1 del reglamento).

No será necesaria la instalación de SISTEMAS DE EXTINCIÓN POR POLVO ya que en el área y en el sector de incendio incluidos en Proyecto no se presenta la situación descrita en el párrafo anterior

6.13. Sistemas de extinción por agentes extintores gaseosos.

1. Se instalarán sistemas de extinción por agentes extintores gaseosos en los sectores de incendio de los establecimientos industriales cuando:

a) Sea preceptiva su instalación de acuerdo con las disposiciones vigentes que regulan la protección contra incendios en actividades industriales sectoriales o específicas (artículo 1 del reglamento).

b) Constituyan recintos donde se ubiquen equipos electrónicos, centros de cálculo, bancos de datos, centros de control o medida y análogos y la protección con sistemas de agua pueda dañar dichos equipos.

No será necesaria la instalación de SISTEMAS DE EXTINCIÓN POR AGENTES EXTINTORES GASEOSOS, ya que en el área y sector de incendio del Proyecto no se presentan ninguna de las dos situaciones descritas en los párrafos a) y b) anteriores.

6.14. Sistemas de alumbrado de emergencia.

1. Contarán con una instalación de alumbrado de emergencia de las vías de evacuación los sectores de incendio de los edificios industriales cuando:

- a) Estén situados en planta bajo rasante.
- b) Estén situados en cualquier planta sobre rasante, cuando la ocupación, P, sea igual o mayor de 10 personas y sean de riesgo intrínseco medio o alto.
- c) En cualquier caso, cuando la ocupación, P, sea igual o mayor de 25 personas.

No será necesaria la instalación de SISTEMAS DE ALUMBRADO DE EMERGENCIA atendiendo al punto 1 anterior, ya que no se presentan en el mismo ninguna circunstancia de las que se indican en los párrafos a), b) y c) anteriores .

2. Contarán con una instalación de alumbrado de emergencia:

- a) Los locales o espacios donde estén instalados cuadros, centros de control o mandos de las instalaciones técnicas de servicios (citadas en el anexo II.8 de reglamento) o de los procesos que se desarrollan en el establecimiento industrial.
- b) Los locales o espacios donde estén instalados los equipos centrales o los cuadros de control de los sistemas de protección contra incendios.

Será necesaria la instalación de SISTEMAS DE ALUMBRADO DE EMERGENCIA, en los puntos donde estén instalados cuadros, centros de control o mando de las instalaciones técnicas de servicios o de los equipos de proceso que se integran en el establecimiento industrial.

3. La instalación de los sistemas de alumbrado de emergencia **cumplirá** las siguientes condiciones:

- a) Será fija, estará provista de fuente propia de energía y entrará automáticamente en funcionamiento al producirse un fallo del 70 por ciento de su tensión nominal de servicio.

- b) Mantendrá las condiciones de servicio durante **una hora**, como mínimo, desde el momento en que se produzca el fallo.
- c) Proporcionará una iluminancia **de un lx**, como mínimo, en el nivel del suelo en los recorridos de evacuación.
- d) La iluminancia será, como mínimo, **de cinco lx** en los espacios definidos en el apartado 16.2 del anexo III.
- e) La uniformidad de la iluminación proporcionada en los distintos puntos de cada zona será tal que el cociente entre la iluminancia máxima y la mínima sea menor que 40.
- f) Los niveles de iluminación establecidos deben obtenerse considerando nulo el factor de reflexión de paredes y techos y contemplando un factor de mantenimiento que comprenda la reducción del rendimiento luminoso debido al envejecimiento de las lámparas y a la suciedad de las luminarias.

6.15. Señalización.

Se procederá a la señalización de las salidas de uso habitual o de emergencia, así como la de los medios de protección contra incendios de utilización manual, cuando no sean fácilmente localizables desde algún punto de la zona protegida, teniendo en cuenta lo dispuesto en el Reglamento de señalización de los centros de trabajo, aprobado por el Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.

La señalización de las vías de evacuación se encuentra representada en el plano de planta de protección contra incendios.

7. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS A INSTALAR EN EL ESTABLECIMIENTO.

Las instalaciones específicas contra incendios que deberán instalarse en este Proyecto son las siguientes:

Laboratorio de control de calidad de la semilla:

- Un extintor de polvo ABC de eficacia 34A-233B de 6 kg.
- Alumbrado de emergencia sobre la puerta de salida al exterior.
- Señalización de la salida de evacuación.
- Un extintor CO₂ de eficacia 89 B de 5 kg junto al cuadro general de protección y maniobra.

ANEJO 14

ESTUDIO BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD

INDICE DEL ANEJO

- 1.- ANTECEDENTES Y DATOS GENERALES.
 - 1.1.- Objeto y autor del Estudio Básico de Seguridad y Salud.
 - 1.2.- Proyecto al que se refiere.
 - 1.3.- Descripción del emplazamiento y la obra.
 - 1.4.- Instalaciones provisionales y asistencia sanitaria.
 - 1.5.- Maquinaria de obra.
 - 1.6.- Medios auxiliares.

- 2.- RIESGOS LABORALES EVITABLES COMPLETAMENTE.
Identificación de los riesgos laborales que van a ser totalmente evitados.
Medidas técnicas que deben adoptarse para evitar tales riesgos.

- 3.- RIESGOS LABORALES NO ELIMINABLES COMPLETAMENTE.
Relación de los riesgos laborales que van a estar presentes en la obra.
Medidas preventivas y protecciones técnicas que deben adoptarse para su control y reducción.
Medidas alternativas y su evaluación.

- 4.- RIESGOS LABORALES ESPECIALES.
Trabajos que entrañan riesgos especiales.
Medidas específicas que deben adoptarse para controlar y reducir estos riesgos.

- 5.- PREVISIONES PARA TRABAJOS FUTUROS.
 - 5.1.- Elementos previstos para la seguridad de los trabajos de mantenimiento.
 - 5.2.- Otras informaciones útiles para trabajos posteriores.

- 6.- NORMAS DE SEGURIDAD Y SALUD APLICABLES A LA OBRA.

1.- ANTECEDENTES Y DATOS GENERALES.

1.1.- OBJETO Y AUTOR DEL ESTUDIO BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD.

El presente Estudio Básico de Seguridad y Salud está redactado para dar cumplimiento al Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción, en el marco de la Ley 31/1995 de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.

Su autor es D. Jose Puyuelo Citoler, Ingeniero Técnico Agrícola, y su elaboración ha sido encargada por GANADOS ARCAS S.L, con NIF B-22299549 y con domicilio a efecto de notificaciones en la c/ Samper S/N, 22.394-Olsón. (Huesca)

De acuerdo con el artículo 3 del R.D. 1627/1997, si en la obra interviene más de una empresa, o una empresa y trabajadores autónomos, o más de un trabajador autónomo, el Promotor deberá designar un Coordinador en materia de Seguridad y Salud durante la ejecución de la obra. Esta designación deberá ser objeto de un contrato expreso.

De acuerdo con el artículo 7 del citado R.D., el objeto del Estudio Básico de Seguridad y Salud es servir de base para que el contratista elabore el correspondiente Plan de Seguridad y Salud en el Trabajo, en el que se analizarán, estudiarán, desarrollarán y complementarán las previsiones contenidas en este documento, en función de su propio sistema de ejecución de la obra.

1.2.- PROYECTO AL QUE SE REFIERE.

El presente Estudio Básico de Seguridad y Salud se refiere al Proyecto cuyos datos generales son:

PROYECTO DE REFERENCIA	
Proyecto de Ejecución de	un reactor anaerobio para la producción de energía eléctrica y térmica a partir de la combustión de biogás obtenido de la co-digestión de una mezcla de estiércol y sorgo
Ingeniero autor del Proyecto	JOSE PUYUELO CITOLER
Titularidad del encargo	GANADOS ARCAS S.L
Emplazamiento	OLSÓN (HUESCA)
Plazo de ejecución previsto	5 MESES
Número máximo de operarios	
Total aproximado de jornadas	100
OBSERVACIONES:	

--

1.3.- DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO Y LA OBRA.

En la tabla siguiente se indican las principales características y condicionantes del emplazamiento donde se realizará la obra:

DATOS DEL EMPLAZAMIENTO	
Accesos a la obra	RODADO A TRAVES DE VÍA RURAL.
Topografía del terreno	HORIZONTAL
Edificaciones colindantes	NAVE GANADERA.
Suministro de energía eléctrica	NO EXISTENTE.
Suministro de agua	NO EXISTENTE.
Sistema de saneamiento	NO EXISTENTE.
Servidumbres y condicionantes	LOS IMPUESTOS POR LA ORDENACIÓN URBANA.
OBSERVACIONES:	

En la tabla siguiente se indican las características generales de la obra a que se refiere el presente Estudio Básico de Seguridad y Salud, y se describen brevemente las fases de que consta:

DESCRIPCIÓN DE LA OBRA Y SUS FASES	
Demoliciones	NO SE REQUIEREN.
Movimiento de tierras	EXPLANADA DE LA EDIFICACIÓN.
Cimentación-soleras y estructuras	MORTEROS AUTONIVELANTES EN RECRECIDO DE SOLERA.
Cubiertas	SE REQUIEREN.
Tabiquería	NO SE REQUIEREN.
Acabados	HORMIGÓN CON TEXTURA
Instalaciones	INSTALACIÓN ELÉCTRICA PARA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD, INSTALACIÓN HIDRÁULICA PARA TRANSPORTE DE LAS DIFERENTES MATERIAS, INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN Y PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS.
OBSERVACIONES:	

1.4.- INSTALACIONES PROVISIONALES Y ASISTENCIA SANITARIA.

De acuerdo con el apartado 15 del Anexo 4 del R.D.1627/97, la obra dispondrá de los servicios higiénicos que se indican en la tabla siguiente:

SERVICIOS HIGIÉNICOS	
	Vestuarios con asientos y taquillas individuales, provistas de llave.
X	Lavabo con agua fría, agua caliente, y espejo.
X	Duchas con agua fría y caliente.
X	Retretes.
OBSERVACIONES: 1.- La utilización de los servicios higiénicos será no simultánea en caso de haber operarios de distintos sexos.	

De acuerdo con el apartado A 3 del Anexo VI del R.D. 486/97, la obra dispondrá del material de primeros auxilios que se indica en la tabla siguiente, en la que se incluye además la identificación y las distancias a los centros de asistencia sanitaria más cercanos:

PRIMEROS AUXILIOS Y ASISTENCIA SANITARIA		
NIVEL DE ASISTENCIA	NOMBRE Y UBICACION	DISTANCIA APROX. (Km.)
Primeros auxilios	Botiquín portátil	En la obra
Asistencia Primaria (Urgencias)	CENTRO SALUD AINSA	27,2
Asistencia Especializada (Hospital)	HOSPITAL DE BARBASTRO	46,7
OBSERVACIONES:		

1.5.- MAQUINARIA DE OBRA.

La maquinaria que se prevé emplear en la ejecución de la obra se indica en la relación (no exhaustiva) de tabla adjunta:

MAQUINARIA PREVISTA			
X	Grúas-torre	X	Hormigoneras
X	Montacargas-plataformas elevadoras.	X	Camiones con grua
X	Maquinaria para movimiento de tierras	X	Cabrestantes mecánicos
	Sierra circular		
OBSERVACIONES:			

1.6.- MEDIOS AUXILIARES.

En la tabla siguiente se relacionan los medios auxiliares que van a ser empleados en la obra y sus características más importantes:

MEDIOS AUXILIARES	
MEDIOS	CARACTERÍSTICAS
<input type="checkbox"/> Andamios colgados Móviles	Deben someterse a una prueba de carga previa. Correcta colocación de los pestillos de seguridad de los ganchos. Los pescantes serán preferiblemente metálicos. Los cabrestantes se revisarán trimestralmente. Correcta disposición de barandilla de segur., barra intermedia y rodapié. Obligatoriedad permanente del uso de cinturón de seguridad.
<input checked="" type="checkbox"/> Andamios tubulares Apoyados	Deberán montarse bajo la supervisión de persona competente. Se apoyarán sobre una base sólida y preparada adecuadamente. Se dispondrán anclajes adecuados a las fachadas. Las cruces de San Andrés se colocarán por ambos lados. Correcta disposición de las plataformas de trabajo. Correcta disposición de barandilla de segur., barra intermedia y rodapié. Correcta disposición de los accesos a los distintos niveles de trabajo. Uso de cinturón de seguridad de sujeción Clase A, Tipo I durante el montaje y el desmontaje.
<input type="checkbox"/> Andamios sobre borriquetas	La distancia entre apoyos no debe sobrepasar los 3,5 m.
<input type="checkbox"/> Escaleras de mano	Zapatas antideslizantes. Deben sobrepasar en 1 m la altura a salvar. Separación de la pared en la base = $\frac{1}{4}$ de la altura total.
<input checked="" type="checkbox"/> Instalación eléctrica	Cuadro general en caja estanca de doble aislamiento, situado a $h > 1\text{m}$: I. diferenciales de 0,3A en líneas de máquinas y fuerza. I. diferenciales de 0,03A en líneas de alumbrado a tensión $> 24\text{V}$. I. magnetotérmico general omnipolar accesible desde el exterior. I. magnetotérmicos en líneas de máquinas, tomas de cte. y alumbrado. La instalación de cables será aérea desde la salida del cuadro. La puesta a tierra (caso de no utilizar la del edificio) será $\leq 80 \Omega$.
OBSERVACIONES:	

2.- RIESGOS LABORALES EVITABLES COMPLETAMENTE.

La tabla siguiente contiene la relación de los riesgos laborales que pudiendo presentarse en la obra, van a ser totalmente evitados mediante la adopción de las medidas técnicas que también se incluyen:

RIESGOS EVITABLES		MEDIDAS TÉCNICAS ADOPTADAS	
	Derivados de la rotura de instalaciones existentes		Neutralización de las instalaciones existentes
X	Presencia de líneas eléctricas aéreas o subterráneas	X	Corte del fluido, puesta a tierra y cortocircuito de los cables
OBSERVACIONES:			

3.- RIESGOS LABORALES NO ELIMINABLES COMPLETAMENTE.

Este apartado contiene la identificación de los riesgos laborales que no pueden ser completamente eliminados, y las medidas preventivas y protecciones técnicas que deberán adoptarse para el control y la reducción de este tipo de riesgos. La primera tabla se refiere a aspectos generales afectan a la totalidad de la obra, y las restantes a los aspectos específicos de cada una de las fases en las que ésta puede dividirse.

TODA LA OBRA		
RIESGOS		
X	Caídas de operarios al mismo nivel	
X	Caídas de operarios a distinto nivel	
X	Caídas de objetos sobre operarios	
	Caídas de objetos sobre terceros	
X	Choques o golpes contra objetos	
	Fuertes vientos	
X	Trabajos en condiciones de humedad	
X	Contactos eléctricos directos e indirectos	
X	Cuerpos extraños en los ojos	
X	Sobreesfuerzos	
MEDIDAS PREVENTIVAS Y PROTECCIONES COLECTIVAS		GRADO DE ADOPCIÓN
X	Orden y limpieza de las vías de circulación de la obra	permanente
X	Orden y limpieza de los lugares de trabajo	permanente
X	Recubrimiento, o distancia de seguridad (1m) a líneas eléctricas de B.T.	permanente
X	Iluminación adecuada y suficiente (aluminado de obra)	permanente
X	No permanecer en el radio de acción de las máquinas	permanente
X	Puesta a tierra en cuadros, masas y máquinas sin doble aislamiento	permanente
X	Señalización de la obra (señales y carteles)	permanente
X	Cintas de señalización y balizamiento a 10 m de distancia	alternativa al vallado
X	Vallado del perímetro completo de la obra, resistente y de altura $\geq 2m$	permanente
	Marquesinas rígidas sobre accesos a la obra	permanente
	Pantalla inclinada rígida sobre aceras, vías de circulación o ed. colindantes	permanente
X	Extintor de polvo seco, de eficacia 21A - 113B	permanente
	Evacuación de escombros	frecuente
X	Escaleras auxiliares	ocasional
X	Información específica	para riesgos concretos
X	Cursos y charlas de formación	frecuente
X	Grúa parada y en posición veleta	con viento fuerte
X	Grúa parada y en posición veleta	final de cada jornada
EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL (EPIs)		EMPLEO
X	Cascos de seguridad	permanente
X	Calzado protector	permanente
X	Ropa de trabajo	permanente
X	Ropa impermeable o de protección	con mal tiempo
X	Gafas de seguridad	frecuente
X	Cinturones de protección del tronco	ocasional
MEDIDAS ALTERNATIVAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN		GRADO DE EFICACIA
OBSERVACIONES:		

FASE: DEMOLICIONES

RIESGOS

Desplomes en edificios colindantes
Caídas de materiales transportados
Desplome de andamios
Atrapamientos y aplastamientos
Atropellos, colisiones y vuelcos
Contagios por lugares insalubres
Ruidos
Vibraciones
Ambiente pulvígeno
Electrocuciones

MEDIDAS PREVENTIVAS Y PROTECCIONES COLECTIVAS	GRADO DE ADOPCIÓN
Observación y vigilancia de los edificios colindantes	
Apuntalamientos y apeos	
Pasos o pasarelas	
Cabinas o pórticos de seguridad en máquinas	
Redes verticales	
Barandillas de seguridad	
Arriostramiento cuidadoso de los andamios	
Riegos con agua	
Andamios de protección	
Conductos de desescombro	
Anulación de instalaciones antiguas	

EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL (EPIs)	EMPLEO
Botas de seguridad	
Guantes contra agresiones mecánicas	
Gafas de seguridad	
Mascarilla filtrante	
Protectores auditivos	
Cinturones y arneses de seguridad	
Mástiles y cables fiadores	

MEDIDAS ALTERNATIVAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN	GRADO DE EFICACIA

OBSERVACIONES:

FASE: MOVIMIENTO DE TIERRAS		
RIESGOS		
	Desplomes, hundimientos y desprendimientos del terreno	
	Desplomes en edificios colindantes	
X	Caídas de materiales transportados	
X	Atrapamientos y aplastamientos	
X	Atropellos, colisiones, vuelcos y falsas maniobras de máquinas	
X	Contagios por lugares insalubres	
X	Ruidos	
X	Vibraciones	
X	Ambiente pulvígeno	
	Interferencia con instalaciones enterradas	
X	Electrocuciones	
X	Condiciones meteorológicas adversas	
MEDIDAS PREVENTIVAS Y PROTECCIONES COLECTIVAS		GRADO DE ADOPCIÓN
X	Observación y vigilancia del terreno	diaria
	Talud natural del terreno	permanente
	Entibaciones	frecuente
X	Limpieza de bolos y viseras	frecuente
	Observación y vigilancia de los edificios colindantes	diaria
	Apuntalamientos y apeos	ocasional
X	Achique de aguas	frecuente
	Pasos o pasarelas	permanente
X	Separación de tránsito de vehículos y operarios	permanente
X	Cabinas o pórticos de seguridad en máquinas (Rops y Fops)	permanente
X	No acopiar junto al borde de la excavación	permanente
	Plataformas para paso de personas, en bordes de excavación	ocasional
X	No permanecer bajo el frente de excavación	permanente
	Barandillas en bordes de excavación (0,9 m)	permanente
X	Rampas con pendientes y anchuras adecuadas	permanente
X	Acotar las zonas de acción de las máquinas	permanente
X	Topes de retroceso para vertido y carga de vehículos	permanente
X	Evitar trabajos superpuestos	permanente
EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL (EPIs)		EMPLEO
X	Botas de seguridad	permanente
X	Botas de goma	ocasional
X	Guantes de cuero	ocasional
X	Guantes de goma	ocasional
MEDIDAS ALTERNATIVAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN		GRADO DE EFICACIA
OBSERVACIONES:		

FASE: CIMENTACIÓN-SOLERAS Y ESTRUCTURAS		
RIESGOS		
X	Desplomes y hundimientos del terreno	
	Desplomes en edificios colindantes	
	Caídas de operarios al vacío	
X	Caídas de materiales transportados	
X	Atrapamientos y aplastamientos	
X	Atropellos, colisiones y vuelcos	
X	Contagios por lugares insalubres	
X	Lesiones y cortes en brazos y manos	
X	Lesiones, pinchazos y cortes en pies	
X	Dermatitis por contacto con hormigones y morteros	
X	Ruidos	
X	Vibraciones	
X	Proyecciones de morteros.	
	Radiaciones y derivados de la soldadura	
X	Ambiente pulvígeno	
X	Electrocuciones	
MEDIDAS PREVENTIVAS Y PROTECCIONES COLECTIVAS		GRADO DE ADOPCIÓN
X	Apuntalamientos y apeos	permanente
X	Achique de aguas	frecuente
	Pasos o pasarelas	permanente
X	Separación de tránsito de vehículos y operarios	ocasional
	Cabinas o pórticos de seguridad en máquinas (Rops y Fops)	permanente
X	No acopiar junto al borde de la excavación	permanente
	Observación y vigilancia de los edificios colindantes	diaria
X	No permanecer bajo el frente de excavación	permanente
	Redes verticales perimetrales (correcta colocación y estado)	permanente
X	Redes horizontales (interiores y bajo los forjados)	frecuente
	Andamios y plataformas para encofrados	permanente
	Plataformas de carga y descarga de material	permanente
	Barandillas resistentes (0,9 m de altura, con listón intermedio y rodapié)	permanente
	Tableros o planchas rígidas en huecos horizontales	permanente
	Escaleras peldañeadas y protegidas, y escaleras de mano	permanente
EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL (EPIs)		EMPLEO
X	Gafas de seguridad	ocasional
X	Guantes de cuero o goma	frecuente
X	Botas de seguridad	permanente
X	Botas de goma o P.V.C. de seguridad	ocasional
X	Pantallas faciales, guantes, manguitos, mandiles y polainas para soldar	en estructura metálica
X	Cinturones y arneses de seguridad	frecuente
X	Mástiles y cables fiadores	frecuente
MEDIDAS ALTERNATIVAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN		GRADO DE EFICACIA
OBSERVACIONES:		

FASE: TABIQUERÍA

RIESGOS

Caídas de operarios a distinto nivel
Caídas de materiales transportados, a nivel y a niveles inferiores
Atrapamientos y aplastamientos en manos durante el montaje de andamios
Atrapamientos por los medios de elevación y transporte
Lesiones y cortes en manos
Lesiones, pinchazos y cortes en pies
Dermatitis por contacto con hormigones, morteros y otros materiales
Incendios por almacenamiento de productos combustibles
Golpes o cortes con herramientas
Electrocuciones
Proyecciones de partículas al cortar materiales

MEDIDAS PREVENTIVAS Y PROTECCIONES COLECTIVAS	GRADO DE ADOPCIÓN
Apuntalamientos y apeos	permanente
Pasos o pasarelas	permanente
Redes verticales	permanente
Redes horizontales	frecuente
Andamios (constitución, arriostamiento y accesos correctos)	permanente
Plataformas de carga y descarga de material en cada planta	permanente
Barandillas rígidas (0,9 m de altura, con listón intermedio y rodapié)	permanente
Tableros o planchas rígidas en huecos horizontales	permanente
Escaleras peldañeadas y protegidas	permanente
Evitar trabajos superpuestos	permanente
Bajante de escombros adecuadamente sujetas	permanente
Protección de huecos de entrada de material en plantas	permanente

EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL (EPIs)	EMPLEO
Gafas de seguridad	frecuente
Guantes de cuero o goma	frecuente
Botas de seguridad	permanente
Cinturones y arneses de seguridad	frecuente
Mástiles y cables fiadores	frecuente
Casco	permanente

MEDIDAS ALTERNATIVAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN	GRADO DE EFICACIA

OBSERVACIONES:

FASE: ACABADOS

RIESGOS

	Caídas de operarios al vacío
X	Caídas de materiales transportados
X	Ambiente pulvígeno
X	Lesiones y cortes en manos
X	Lesiones, pinchazos y cortes en pies
X	Dermatitis por contacto con materiales
	Incendio por almacenamiento de productos combustibles
X	Inhalación de sustancias tóxicas
X	Quemaduras
X	Electrocución
X	Atrapamientos con o entre objetos o herramientas
X	Deflagraciones, explosiones e incendios

MEDIDAS PREVENTIVAS Y PROTECCIONES COLECTIVAS		GRADO DE ADOPCIÓN
X	Ventilación adecuada y suficiente (natural o forzada)	permanente
X	Andamios	permanente
X	Plataformas de carga y descarga de material	permanente
X	Barandillas	permanente
	Escaleras peldañeadas y protegidas	permanente
X	Evitar focos de inflamación	permanente
	Equipos autónomos de ventilación	permanente
X	Almacenamiento correcto de los productos	permanente

EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL (EPIs)		EMPLEO
X	Gafas de seguridad	ocasional
X	Guantes de cuero o goma	frecuente
X	Botas de seguridad	frecuente
	Cinturones y arneses de seguridad	ocasional
	Mástiles y cables fiadores	ocasional
X	Mascarilla filtrante	ocasional
	Equipos autónomos de respiración	ocasional

MEDIDAS ALTERNATIVAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN	GRADO DE EFICACIA

OBSERVACIONES:

FASE: INSTALACIONES

RIESGOS

	Caídas a distinto nivel por el hueco del ascensor
X	Lesiones y cortes en manos y brazos
X	Dermatitis por contacto con materiales
X	Inhalación de sustancias tóxicas
X	Quemaduras
X	Golpes y aplastamientos de pies
X	Incendio por almacenamiento de productos combustibles
X	Electrocuciones
X	Contactos eléctricos directos e indirectos
X	Ambiente pulvígeno
X	Caídas a distinto nivel

MEDIDAS PREVENTIVAS Y PROTECCIONES COLECTIVAS		GRADO DE ADOPCIÓN
	Ventilación adecuada y suficiente (natural o forzada)	permanente
X	Escalera portátil de tijera con calzos de goma y tirantes	frecuente
	Protección del hueco del ascensor	permanente
	Plataforma provisional para ascensoristas	permanente
X	Realizar las conexiones eléctricas sin tensión	permanente

EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL (EPIs)		EMPLEO
X	Gafas de seguridad	ocasional
X	Guantes de cuero o goma	frecuente
X	Botas de seguridad	frecuente
X	Cinturones y arneses de seguridad	ocasional
	Mástiles y cables fiadores	ocasional
X	Mascarilla filtrante	ocasional

MEDIDAS ALTERNATIVAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN		GRADO DE EFICACIA

OBSERVACIONES:

4.- RIESGOS LABORALES ESPECIALES.

En la siguiente tabla se relacionan aquellos trabajos que, siendo necesarios para el desarrollo de la obra definida en el Proyecto de referencia, implican riesgos especiales para la seguridad y la salud de los trabajadores, y están por ello incluidos en el Anexo II del R.D. 1627/97.

También se indican las medidas específicas que deben adoptarse para controlar y reducir los riesgos derivados de este tipo de trabajos.

TRABAJOS CON RIESGOS ESPECIALES	MEDIDAS ESPECÍFICAS PREVISTAS
Especialmente graves de caídas de altura, sepultamientos y hundimientos	
En proximidad de líneas eléctricas de alta tensión	Señalizar y respetar la distancia de seguridad (5m). Pórticos protectores de 5 m de altura. Calzado de seguridad.
Con exposición a riesgo de ahogamiento por inmersión	
Que implican el uso de explosivos	
Que requieren el montaje y desmontaje de elementos prefabricados pesados	
OBSERVACIONES:	

5.- PREVISIONES PARA TRABAJOS FUTUROS.

5.1.- ELEMENTOS PREVISTOS PARA LA SEGURIDAD DE LOS TRABAJOS DE MANTENIMIENTO.

En el Proyecto de Ejecución a que se refiere el presente Estudio Básico de Seguridad y Salud se han especificado una serie de elementos que han sido previstos para facilitar las futuras labores de mantenimiento y reparación del edificio en condiciones de seguridad y salud, y que una vez colocados, también servirán para la seguridad durante el desarrollo de las obras.

Estos elementos son los que se relacionan en la tabla siguiente.

UBICACIÓN	ELEMENTOS	PREVISIÓN
Cubiertas	Ganchos de servicio	
	Elementos de acceso a cubierta (puertas, trampillas)	
	Barandillas en cubiertas planas	
	Grúas desplazables para limpieza de fachadas	
Fachadas	Ganchos en ménsula (pescantes)	
	Pasarelas de limpieza	

OBSERVACIONES:		

5.2.- OTRAS INFORMACIONES ÚTILES PARA TRABAJOS POSTERIORES.

6.- NORMAS DE SEGURIDAD APLICABLES A LA OBRA.

GENERAL

<input type="checkbox"/>	Ley de Prevención de Riesgos Laborales.	Ley 31/95	08-11-95	J.Estado	10-11-95
<input type="checkbox"/>	Reglamento de los Servicios de Prevención.	RD 39/97	17-01-97	M.Trab.	31-01-97
<input type="checkbox"/>	Disposiciones mínimas de seguridad y salud en obras de construcción. (transposición Directiva 92/57/CEE)	RD 1627/97	24-10-97	Varios	25-10-97
<input type="checkbox"/>	Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud.	RD 485/97	14-04-97	M.Trab.	23-04-97
<input type="checkbox"/>	Modelo de libro de incidencias. Corrección de errores.	Orden --	20-09-86 --	M.Trab. --	13-10-86 31-10-86
<input type="checkbox"/>	Modelo de notificación de accidentes de trabajo. Reglamento Seguridad e Higiene en el Trabajo de la Construcción.	Orden	16-12-87		29-12-87
<input type="checkbox"/>	Modificación. Complementario.	Orden Orden	20-05-52 19-12-53	M.Trab. M.Trab.	15-06-52 22-12-53
<input type="checkbox"/>	Cuadro de enfermedades profesionales. Ordenanza general de seguridad e higiene en el trabajo. Corrección de errores.	RD 1995/78 Orden --	-- 09-03-71 --	-- M.Trab. --	25-08-78 16-03-71 06-04-71
<input type="checkbox"/>	Ordenanza trabajo industrias construcción, vidrio y cerámica. Anterior no derogada. Corrección de errores. Modificación (no derogada), Orden 28-08-70. Interpretación de varios artículos. Interpretación de varios artículos.	Orden Orden -- Orden Orden	28-08-79 28-08-70 -- 27-07-73 21-11-70	M.Trab. M.Trab. -- M.Trab. M.Trab.	-- 05→09-09-70 17-10-70 28-11-70 05-12-70
<input type="checkbox"/>	Señalización y otras medidas en obras fijas en vías fuera de poblaciones.	Orden	31-08-87	M.Trab.	--
<input type="checkbox"/>	Protección de riesgos derivados de exposición a ruidos.	RD 1316/89	27-10-89	--	02-11-89
<input type="checkbox"/>	Disposiciones mín. seg. Y salud sobre manipulación manual de cargas (Directiva 90/269/CEE)	RD 487/97	23-04-97	M.Trab.	23-04-97
<input type="checkbox"/>	Reglamento sobre trabajos con riesgo de amianto. Corrección de errores. Normas complementarias. Modelo libro de registro.	Orden -- Orden Orden	31-10-84 -- 07-01-87 22-12-87	M.Trab. -- M.Trab. M.Trab.	07-11-84 22-11-84 15-01-87 29-12-87
<input type="checkbox"/>	Estatuto de los trabajadores. Regulación de la jornada laboral.	Ley 8/80 RD 2001/83	01-03-80 28-07-83	M.Trab. --	-- -- 80 03-08-83
	Formación de comités de seguridad.	D. 423/71	11-03-71	M.Trab.	16-03-71

EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL (EPI)

<input type="checkbox"/>	Condiciones comerc. Y libre circulación de EPI (Directiva 89/686/CEE). Modificación: Marcado "CE" de conformidad y año de colocación. Modificación RD 159/95.	RD 1407/92 RD 159/95 Orden	20-11-92 03-02-95 20-03-97	MRCor.	28-12-92 08-03-95 06-03-97
<input type="checkbox"/>	Disp. Mínimas de seg. Y salud de equipos de protección individual. (Transposición Directiva 89/656/CEE).	RD 773/97	30-05-97	M.Presid.	12-06-97
<input type="checkbox"/>	EPI contra caída de altura. Disp. De descenso.	UNEEN341	22-05-97	AENOR	23-06-97
<input type="checkbox"/>	Requisitos y métodos de ensayo: calzado seguridad/protección/trabajo.	UNEEN344/A1	20-10-97	AENOR	07-11-97
<input type="checkbox"/>	Especificaciones calzado seguridad uso profesional.	UNEEN345/A1	20-10-97	AENOR	07-11-97
<input type="checkbox"/>	Especificaciones calzado protección uso profesional.	UNEEN346/A1	20-10-97	AENOR	07-11-97
<input type="checkbox"/>	Especificaciones calzado trabajo uso profesional.	UNEEN347/A1	20-10-97	AENOR	07-11-97

INSTALACIONES Y EQUIPOS DE OBRA

<input type="checkbox"/>	Disp. Min. De seg. Y salud para utilización de los equipos de trabajo (Transposición Directiva 89/656/CEE).	RD 1215/97	18-07-97	M.Trab.	18-07-97
<input type="checkbox"/>	MIE-BT-028 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión	Orden	31-10-73	MI	27→31-12-73
<input type="checkbox"/>	ITC MIE-AEM 3 Carretillas automotoras de manutención.	Orden	26-05-89	MIE	09-06-89
<input type="checkbox"/>	Reglamento de aparatos elevadores para obras. Corrección de errores. Modificación. Modificación.	Orden -- Orden Orden	23-05-77 -- 07-03-81 16-11-81	MI -- MIE --	14-06-77 18-07-77 14-03-81 --
<input type="checkbox"/>	Reglamento Seguridad en las Máquinas. Corrección de errores. Modificación. Modificaciones en la ITC MSG-SM-1. Modificación (Adaptación a directivas de la CEE). Regulación potencia acústica de maquinarias. (Directiva 84/532/CEE). Ampliación y nuevas especificaciones.	RD 1495/86 -- RD 590/89 Orden	23-05-86 -- 19-05-89 08-04-91	P.Gob. -- M.R.Cor. M.R.Cor.	21-07-86 04-10-86 19-05-89 11-04-91
	Modificación (Adaptación a directivas de la CEE).	RD 830/91	24-05-91	M.R.Cor.	31-05-91
	Regulación potencia acústica de maquinarias. (Directiva 84/532/CEE).	RD 245/89	27-02-89	MIE	11-03-89
	Ampliación y nuevas especificaciones.	RD 71/92	31-01-92	MIE	06-02-92
<input type="checkbox"/>	Requisitos de seguridad y salud en máquinas. (Directiva 89/392/CEE).	RD 1435/92	27-11-92	MRCor.	11-12-92

[] ITC-MIE-AEM2. Grúas-Torre desmontables para obra.
Corrección de errores, Orden 28-06-88

[] ITC-MIE-AEM4. Grúas móviles autopropulsadas usadas

Orden	28-06-88	MIE	07-07-88
--	--	--	05-10-88
RD 2370/96	18-11-96	MIE	24-12-96

ANEJO 15

ESTUDIO DE GESTIÓN DE RESIDUOS EN OBRAS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

INTRODUCCIÓN.

El presente ESTUDIO DE GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN, se redacta de acuerdo con la Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular. Se atiende en especial el Artículo 30 de dicha ley, “Residuos de construcción y demolición”.

2. DATOS BÁSICOS DEL PROYECTO.

Promotor:	GANADOS ARCAS, S.L.
Título:	Proyecto de construcción de Planta de Biogás
Emplazamiento:	Olsón, Huesca

3. CLASIFICACIÓN Y CANTIDADES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN NO PELIGROSOS.

- Clasificación y descripción de los residuos.

- Fracción 1. Madera. En estructuras y carpinterías.

- Fracción 2. Minerales: hormigón, ladrillos, azulejos, cerámica y piedra

Residuos generados principalmente en las actividades propias del sector de la construcción, de la demolición, de la reparación domiciliaria y de la implantación de servicios. Son residuos no peligrosos que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas.

Los residuos inertes no son solubles ni combustibles, ni reaccionan físicamente ni químicamente ni de ninguna otra manera, ni son biodegradables, ni afectan negativamente a otras materias con las que entran en contacto de forma que puedan dar lugar a contaminación del medio ambiente o perjudicar a la salud humana. Se contemplan los residuos inertes procedentes de obras de construcción y demolición,

incluidos los de obras menores de construcción y reparación domiciliaria sometidas a licencia municipal o no.

- Fracción 3. Metales: aceros de edificación y ferrallas.

- Fracción 4 vidrios: procedentes de carpinterías.

-Fracción 5 plásticos: procedentes de envases, embalares y manufacturas para construcción.

-Fracción 6 yeso: procedentes de revestimientos.

- **Determinación de la cantidad de residuos que se generarán en la obra.**

Se pueden presentar residuos de las siguientes fracciones:

	Descripción	Tm	Densidad	m ³
FRACCIÓN 1	Madera	0,0056	1,5	0,0037

<u>Fracción 2. Minerales:</u>				
	Descripción	Tm	Densidad	m ³
1	Hormigón	2,4	2,5	0,967

<u>Fracción 3. Metales:</u>				
	Descripción	Tm	Densidad	m ³
1	Acero	0,519	7,8	0,066

<u>Fracción 5. Plásticos:</u>				
	Descripción	Tm	Densidad	m ³
1	Plásticos	0,10	0,025	4

4.- MEDIDAS PARA LA PREVENCIÓN DE RESIDUOS EN LA OBRA

Se establecen las siguientes pautas las cuales deben interpretarse como una clara estrategia por parte del poseedor de los residuos para alcanzar los siguientes objetivos.

- **Minimizar y reducir las cantidades de materias primas que se utilizan y de los residuos que se originan son aspectos prioritarios en las obras.**

Hay que prever la cantidad de materiales que se necesitan para la ejecución de la obra.

Un exceso de materiales, además de ser caro, es origen de un mayor volumen de residuos sobrantes de ejecución. También es necesario prever el acopio de los materiales fuera de zonas de tránsito de la obra, de forma que permanezcan bien embalados y protegidos hasta el momento de su utilización, con el fin de evitar residuos procedentes de la rotura de piezas.

- Los residuos que se originan deben ser gestionados de la manera más eficaz para su valorización.

Es necesario prever en qué forma se va a llevar a cabo la gestión de todos los residuos que se originan en la obra. Se debe determinar la forma de valorización de los residuos, si se reutilizaran, reciclaran o servirán para recuperar la energía almacenada en ellos. El objetivo es poder disponer de los medios y trabajos necesarios para que los residuos resultantes estén en las mejores condiciones para su valorización.

- Fomentar la clasificación de los residuos que se producen de manera que sea mas fácil su valorización y gestión en el vertedero.

La recogida selectiva de los residuos es tan útil para facilitar su valorización como para mejorar su gestión en el vertedero. Así, los residuos, una vez clasificados pueden enviarse a gestores especializados en el reciclaje o deposición de cada uno de ellos, evitándose así transportes innecesarios porque los residuos sean excesivamente heterogéneos o porque contengan materiales no admitidos por el vertedero o la central repicadora.

- Elaborar criterios y recomendaciones específicas para la mejora de la gestión.

No se puede realizar una gestión de residuos eficaz si no se conocen las mejores posibilidades para su gestión. Se trata, por tanto, de analizar las condiciones técnicas necesarias y, antes de empezar los trabajos, definir un conjunto de prácticas para una buena gestión de la obra, y que el personal deberá cumplir durante la ejecución de los trabajos.

- Planificar la obra teniendo en cuenta las expectativas de generación de residuos y de su eventual minimización o reutilización.

Se deben identificar, en cada una de las fases de la obra, las cantidades y características de los residuos que se originaran en el proceso de ejecución, con el fin de hacer una previsión de los métodos adecuados para su minimización o reutilización y de las mejores alternativas para su deposición.

Es necesario que las obras vayan planificándose con estos objetivos, porque la evolución nos conduce hacia un futuro con menos vertederos, cada vez más caros y alejados.

- Disponer de un directorio de los compradores de residuos, vendedores de materiales reutilizados y recicladores más próximos.

La información sobre las empresas de servicios e industriales dedicadas a la gestión de residuos es una base imprescindible para planificar una gestión eficaz.

- El personal de la obra que participa en la gestión de los residuos deben tener una formación suficiente sobre los aspectos administrativos necesarios.

El personal debe recibir la formación necesaria para ser capaz de rellenar partes de transferencia de residuos al transportista (apreciar cantidades y características de los residuos), verificar la calificación de los transportistas y supervisar que los residuos no se manipulan de modo que se mezclen con otros que deberían ser depositados en vertederos especiales.

- La reducción del volumen de residuos reporta un ahorro en el coste de su gestión.

El coste actual de vertido de los residuos no incluye el coste ambiental real de la gestión de estos residuos. Hay que tener en cuenta que cuando se originan residuos también se producen otros costes directos, como los de almacenamiento en la obra, carga y transporte; asimismo se generan otros costes indirectos, los de los nuevos materiales que ocuparan el lugar de los residuos que podrían haberse reciclado en la propia obra; por otra parte, la puesta en obra de esos materiales dará lugar a nuevos residuos. Además, hay que considerar la pérdida de los beneficios que se podían haber alcanzado si se hubiera recuperado el valor potencial de los residuos al ser utilizados como materiales reciclados.

- Los contratos de suministro de materiales deben incluir un apartado en el que se defina claramente que el suministrador de los materiales y productos de la obra se hará cargo de los embalajes en que se transportan hasta ella.

Se trata de hacer responsable de la gestión a quien origina el residuo. Esta prescripción administrativa de la obra también tiene un efecto disuasorio sobre el derroche de los materiales de embalaje que padecemos.

- Los contenedores, sacos, depósitos y demás recipientes de almacenaje y transporte de los diversos residuos deben estar etiquetados debidamente.

Los residuos deben ser fácilmente identificables para los que trabajan con ellos y para todo el personal de la obra. Por consiguiente, los recipientes que los contienen deben ir etiquetados, describiendo con claridad la clase y características de los residuos. Estas etiquetas tendrán el tamaño y disposición adecuada, de forma que sean visibles, inteligibles y duraderas, esto es, capaz de soportar el deterioro de los agentes atmosféricos y el paso del tiempo.

- Acopio de materiales fuera de las zonas de tránsito.

De modo que permanezcan bien embalados y protegidos hasta el momento de su uso, con el fin de evitar que la rotura de piezas origine la producción de nuevos residuos.

- No se permitirá el lavado de las cubas de los camiones hormigonera en el recinto de la obra.

De modo que deberán volver a la planta de la que provengan, pues está preparada y dispone de lugares adecuados para realizar las operaciones de lavado de sus cubas sin peligro de vertidos accidentales de aguas alcalinizadas (aguas con lechada de cemento).

5.- OPERACIONES DE REUTILIZACIÓN, VALORIZACIÓN O ELIMINACIÓN DE RESIDUOS.

- Reutilización:

Las tierras procedentes de excavación se reutilizarán para formación de la explanada.

- Valorización:

Los materiales susceptibles de valorización (hormigones, maderas, metales, plásticos, vidrios, papel.) se entregarán a un gestor autorizado para que proceda a su valorización.

6.- PLIEGO DE CONDICIONES

Para el Productor de Residuos.

- Incluir en el Proyecto de Ejecución de la obra en cuestión, un "estudio de gestión de residuos", el cual ha de contener como mínimo:

- a) Estimación de los residuos que se van a generar.
- b) Las medidas para la prevención de estos residuos.
- c) Las operaciones encaminadas a la posible reutilización y separación de estos residuos.
- d) Planos de instalaciones previstas para el almacenaje, manejo, separación, etc.
- e) Pliego de Condiciones
- f) Valoración del coste previsto de la gestión de los residuos, en capítulo específico.

- Disponer de la documentación que acredite que los residuos han sido gestionados adecuadamente, ya sea en la propia obra, o entregados a una instalación para su posterior tratamiento por Gestor Autorizado. Esta documentación la debe guardar al menos los 5 años siguientes.

- Si fuera necesario, por así exigírselo, constituir la fianza o garantía que asegure el cumplimiento de los requisitos establecidos en la Licencia, en relación con los residuos.
Para el Poseedor de los Residuos en la Obra.

La figura del poseedor de los residuos en la obra es fundamental para una eficaz gestión de los mismos, puesto que está a su alcance tomar las decisiones para la mejor gestión de los residuos y las medidas preventivas para minimizar y reducir los residuos que se originan.

En síntesis, los principios que debe observar son los siguientes:

- Presentar ante el promotor un Plan que refleje como llevara a cabo esta gestión, si decide asumirla al mismo, o en su defecto, si no es así, estará obligado a entregarlos a un Gestor de Residuos acreditándolo fehacientemente. Si se los entrega a un intermediario que únicamente ejerza funciones de recogida para entregarlos posteriormente a un Gestor, debe igualmente poder acreditar quien es el Gestor final de estos residuos.

- Este Plan, debe ser aprobado por la Dirección Facultativa, y aceptado por la Propiedad, pasando entonces a ser otro documento contractual de la obra.

- Mientras se encuentren los residuos en su poder, los debes mantener en condiciones de higiene y seguridad, así como evitar la mezcla de las distintas fracciones ya seleccionadas, si esta selección hubiere sido necesaria, pues además establece el articulado a partir de que valores se ha de proceder a esta clasificación de forma individualizada.

Si al no pudiera por falta de espacio, debe obtener igualmente por parte del Gestor final, un documento que acredite que ello ha realizado en lugar del Poseedor de los residuos.

- Debe sufragar los costes de gestión, y entregar al Productor (Promotor), los certificados y demás documentación acreditativa.

- En todo momento cumplirá las normas y órdenes dictadas.

- Todo el personal de la obra, del cual es el responsable, conocerá sus obligaciones acerca de la manipulación de los residuos de obra.

- Es necesario disponer de un directorio de compradores/vendedores potenciales de materiales usados o reciclados cercanos a la ubicación de la obra.

- Las iniciativas para reducir, reutilizar y reciclar los residuos en la obra han de ser coordinadas debidamente.

- Animar al personal de la obra a proponer ideas sobre cómo reducir, reutilizar y reciclar residuos.

- Facilitar la difusión, entre todo el personal de la obra, de las iniciativas e ideas que surgen en la propia obra para la mejor gestión de los residuos.
- Informar a los técnicos redactores del proyecto acerca de las posibilidades de aplicación de los residuos en la propia obra o en otra.

- Debe seguirse un control administrativo de la información sobre el tratamiento de los residuos en la obra, y para ello se deben conservar los registros de los movimientos de los residuos dentro y fuera de ella.

- Los contenedores deben estar etiquetados correctamente, de forma que los trabajadores obra conozcan donde deben depositar los residuos.

- Siempre que sea posible, intentar reutilizar y reciclar los residuos de la propia obra antes de optar por usar materiales procedentes de otros solares.

- El personal de la obra es responsable de cumplir correctamente todas aquellas órdenes y normas que el responsable de la gestión de los residuos disponga. Pero, además, se puede servir de su experiencia práctica en la aplicación de esas prescripciones para mejorarlas o proponer otras nuevas.

- Para el personal de obra, los cuales están bajo la responsabilidad del Contratista y consecuentemente del Poseedor de los Residuos, estarán obligados a:
 - Etiquetar de forma conveniente cada uno de los contenedores que se van a usar en función de las características de los residuos que se depositar.
 - Las etiquetas deben informar sobre que materiales pueden, o no, almacenarse en cada recipiente. La información debe ser clara y comprensible.
 - Utilizar siempre el contenedor apropiado para cada residuo. Las etiquetas se colocan para facilitar la correcta separación de estos.
 - Separar los residuos a medida que son generados para que no se mezclen con otros y resulten contaminados.
 - No colocar residuo apilado y mal protegido alrededor de la obra ya que, si se tropieza con ellos o quedan extendidos sin control, pueden ser causa de accidentes.

- Nunca sobrecargar los contenedores destinados al transporte. Son más difíciles de maniobrar y transportar, y dan lugar a que caigan residuos, que no acostumbran a ser recogidos del suelo.

- Los contenedores deben salir de la obra perfectamente cubiertos. No se debe permitir que la abandonen sin estarlo porque pueden originar accidentes durante el transporte.

- Para una gestión más eficiente, se deben proponer ideas referidas a cómo reducir, reutilizar o reciclar los residuos producidos en la obra.

- Las buenas ideas deben comunicarse a los gestores de los residuos de la obra para que las apliquen y las compartan con el resto del personal.

7.- PLANOS DE LAS INSTALACIONES PREVISTAS PARA LAS OPERACIONES DE GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN.

En la obra que nos ocupa no se han planteado zonas de acopio ya que las tierras serán extendidas de forma inmediata.

Igualmente, no se han planteado zonas para la separación de residuos, ya que no se contempla esa actuación.

8.- VALORACIÓN DEL COSTE PREVISTO DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN.

La cantidad de residuos que será necesario trasladar a vertedero autorizado por medio de gestor de residuos, serán las indicadas en el punto 4.

Residuos de la construcción y demolición no peligrosos				
	Descripción	Tm	€/Tm	Total €
	Hormigón	2,4	12	28,8
	Acero	0,519	12	6,228
	Plásticos	0,10	12	1,2
Totales:				36,528 €

ANEJO 16
ESTUDIO DE LA
VIABILIDAD
ECONÓMICA

ESTUDIO ECONÓMICO

La evaluación económica de un proyecto es un proceso fundamental para determinar su viabilidad financiera. El objetivo del presente anejo se basa en realizar un estudio económico de la implantación de una planta de biogás, para ello se va a realizar una evaluación meticulosa de los costes, beneficios y posibles riesgos, proporcionando una visión clara sobre la rentabilidad y el impacto económico esperado. Este ejercicio servirá como base para la toma de decisiones sobre la futura inversión del proyecto.

En primer lugar, se van a llevar a cabo unos cálculos estimados para conocer los flujos de caja ordinarios y posteriormente, con los datos obtenidos y las estimaciones precisas se procede a calcular los índices de rentabilidad correspondientes, es decir el VAN, el TIR y el *pay back*. Como dato de partida, consideramos una vida útil de 25 años del proyecto, es decir, el número de años considerados durante los cuales la inversión estará en funcionamiento y generando rendimientos positivos.

- Flujo de caja ordinarios

Los flujos de caja ordinario representan la diferencia entre cobros y pagos generados por la actividad operativa de la inversión. Este flujo refleja la salud financiera constante de una empresa, siendo esencial para evaluar la capacidad de generar efectivo a partir de sus operaciones habituales. Los cobros incluyen los ingresos provenientes de la venta de bienes o servicios, así como cobros financieros y subvenciones. Mientras que los pagos, abarcan los costos operativos, los pagos de inversión, pagos ordinarios, pagos extraordinarios, flujo destruido y otros desembolsos relacionados con las actividades diarias.

- **PAGOS**

A continuación, se van a describir los pagos que se producen en el proyecto

- o **Pagos de inversión**

En el presente capítulo se representan los pagos realizados por la inversión. Se establece una amortización de la inversión a 15 años con un 6% de intereses fijos.

A continuación, se desglosan los siguientes pagos:

- Coste de la inversión; **291.170,34 €** sin considerar el I.V.A.
- Permisos y licencias: 5823.40€, estimado como un 2% del presupuesto del proyecto

EL total de pagos referidos a la inversión es de **296.993,74€**

o **Pagos ordinarios:**

Los pagos o gastos ordinarios hacen referencia a todos los gastos necesarios para el correcto desarrollo del proceso de producción. Estos gastos son necesarios para mantener las operaciones diarias de la planta de biogás. A continuación, describimos los gastos ordinarios de la planta de biogás.

- **Personal:**

El empleo generado en este tipo de instalaciones es bajo. Flotats (2008). Para el proceso de control y operación de la planta de biogás hemos establecido 0,375 unidades de trabajo, es decir 3 horas diarias. El coste mensual que supone la mano de obra establecido es de 417€, y un coste anual de 5000€ en 12 pagas.

El coste en seguridad social se establece en un 30% del coste total

Coste anual:

- **Cultivo del sorgo**

La mezcla utilizada para la digestión anaerobia hemos determinado la utilización 30 hectáreas de sorgo. Los costes que suponen el desarrollo de este cultivo son los siguientes.

- Siembra directa: $70€/ha * 30ha: 2100€/año$
- Semilla: $5€/kg \text{ de sorgo} * 12Kg/ha * 30 ha: 1800€/año$
- Aplicación de digestato: $40€/ha * 30ha = 1200€$
- Ensilaje del sorgo: Conociendo que el rendimiento de la máquina es de $2Ha/hora$ entonces: $250€/hora * 15 horas: 3750€/año$
- Transporte del sorgo a la planta: $2 tractores * 60€/h * 15h: 1800€/año$
- Plástico para cubrir el ensilaje: $350€/año$
- Los costes ordinarios totales derivados del ensilaje del sorgo son: **11000€/año**

- **Carbón activo**

El carbón activo necesario para la desulfuración del biogás estimado en el capítulo 11.5.2, *Sistemas de purificación de biogás*, es de 141Kg cada 43 días de modo que, teniendo en cuenta que la planta opera durante 352 días al año. El coste del carbón activo necesario estimando un precio de 5€/Kg será:

$$\frac{352 \text{ dias}}{43 \text{ dias}} * 141Kg * 5€/kg: \mathbf{5771.16€/año}$$

- Mantenimiento y reparación

Se estima un 2% de los costes totales de los equipos incluidos en la instalación a partir del 5 año de funcionamiento.

$$149250\text{€} * 2\%: \mathbf{2985\text{€/año}}$$

- Total pagos ordinarios

La cuantía total de los gastos ordinarios se corresponde con la suma de todos los conceptos considerados previamente. Así pues, la cuantía total de los pagos ordinarios serán los siguientes:

Los gastos ordinarios totales en los primeros cinco años serán de: **23271,16€/año**

Los gastos ordinarios totales a partir del quinto año se estiman en: **26256,16€/año**

o **Pagos extraordinarios:**

Dentro de estos pagos se contemplarían los referidos a la renovación de la maquinaria que se produce dentro del periodo de vida útil del proyecto. En nuestro caso hemos considerado un gasto del valor de los equipos de impulsión en el año 15 del inicio de la actividad. De modo que estos pagos corresponderían a la suma del coste inicial de los sistemas de bombeo, además del coste del sistema CC-mix. **19250€**

- Flujo destruido:

Hemos establecido un flujo destruido del precio del estiércol, este Flujo lo hemos estimado en **25011€**

- **COBROS**

A continuación, se van a desarrollar los ingresos que nos proporciona la planta de biogás a través de la venta de los productos generados.

o Cobros ordinarios:

Se corresponden con los ingresos que se prevé tener a partir de la ejecución del proyecto. En nuestro caso los ingresos se corresponden con la venta de la electricidad producida a lo largo del año.

Tal y como se indica en el Real decreto 661/2007 del 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. Las instalaciones pertenecientes al grupo a.1. Instalaciones que incluyen una central de cogeneración,

subgrupo a1.3, cogeneraciones que utilicen como combustible principal biomasa y/o biogás y a su vez dentro del subgrupo b7.2 instalaciones que empleen como combustible principal biogás, se regula un precio de venta de la energía producida en 13,3474 C€/kWh en los primeros 15 años, y a partir de entonces 6,6487 C€/kWh en instalaciones con una potencia inferior a 500kW. De modo que los cobros regulados a percibir serán los siguientes.

Primeros 15 años:

$$348994,71 \frac{kWh}{año} * 0,133474 \text{ €} = 46581,92 \text{ €}$$

A partir del año 15:

$$348994,71 \frac{kWh}{año} * 0,66487 \text{ €} = 23203,61 \text{ €}$$

En este caso estamos teniendo en cuenta únicamente la energía eléctrica producida, despreciando la energía térmica, ya que se empleará para el calentamiento del digestor en los meses fríos y la restante se disipará.

Por otro lado, tenemos la producción de digestato.

El digestato se trata de un producto con un importante valor fertilizante. Este será utilizado como elemento fertilizante de la explotación, evitando así la compra de fertilizante exterior y suponiendo un ahorro en costes de la explotación en su conjunto. Tal y como desarrollamos en el punto 8.3 Rendimientos del proceso, la riqueza total en términos de unidades fertilizantes que contienen nuestro digestato, está desarrollado en la siguiente tabla.

Forma	ST(%)	NTK (kg/m ³)	NH ₄ (Kg/m ³)	P ₂ O ₅ (Kg/m ³)	K ₂ O (Kg/m ³)
Fracción sólida	32	4050,48	1885.41	3491.5	4050.14
Fracción Líquida	3	5159	3264.3	2421.9	5586.2
TOTAL	-	9209.48	5149.71	5913.4	9636.34

Estas unidades fertilizantes las vamos a convertir en fertilizantes minerales convencionales para estimar el valor del mismo, ya que su aplicación se corresponde a un ahorro de fertilizante mineral, que es el ahorro que se produce.

Tras los cálculos pertinentes, podríamos considerar que la producción de digestato líquido y sólido podría equivalerse a 49278Kg de un abono convencional 5-12-20 con un valor en el mercado de 29567€. A 600€/ton

Además, podríamos formular otro abono nitrogenado en base a las unidades fertilizantes restantes. En nuestro caso, las 6745.58 unidades restantes de Nitrógeno equivaldrían a 14660 Kg de Urea 46. Esto tiene un valor actual en el mercado de 9529€

De modo que el ahorro que nos supondría la utilización del digestato como fertilizante en la explotación sería de **39095,8€/año**

Cobros ordinarios totales

Los cobros ordinarios anuales de la venta y ahorro de la explotación serán de

- En los primeros 15 años 85677,72€/año
- A partir del año 15 62299,41€/año

- o Valor residual de los equipos que conforman la instalación se ha calculado en base a su depreciación

El valor residual establecido para los equipos de la instalación en el año 20 se ha determinado en función de la depreciación que han sufrido los equipos de bombeo y del sistema CC-Mix desde su renovación en el año 15 del inicio de la actividad. El resto de los cobros por valor residual de resto de equipos que conforman la instalación se han omitido. Valor residual equipos año 25: **12833€**

- Margen de beneficio:

El sector en el que está involucrada nuestra industria depende exclusivamente del precio asignado por las compañías eléctricas al kWh producido. Tal y como hemos comentado anteriormente este precio está regulado según el RD 611/2007 del 25 de mayo. Por otro lado, el digestato se comporta como fertilizante, de modo que al ser consumido en su totalidad por la explotación agrícola ganadera se considera un precio fijo, al no tener que depender del mercado para fijar el precio de venta.

De tal manera el beneficio medio anual calculado sería de **8209,12€**

- **RESULTADOS DE FLUJO DE CAJA**

Para un periodo de vida útil de 25 años, y estableciendo un pago inicial de 50000€ del coste total del proyecto, el flujo de caja resultante considerando un préstamo a 15 años de la cantidad restante con una cuota anual del 6% en intereses y considerando los datos anteriormente citados obtenemos los siguientes flujos de caja para el conjunto de la explotación.

AÑO	COBRO ORD	COBRO EXTR	COBRO FINAN	SUBVENC	PAGO ORD	PAGO EXTR	PAGO FINAN	FLUJO DESTR	PAGO INVERS	FLUJO CAJA
0			246,993						296,993	-50,000
1	85,678				23,271		25,011	27,195		10,201
2	85,678				23,271		25,011	27,195		10,201
3	85,678				23,271		25,011	27,195		10,201
4	85,678				23,271		25,011	27,195		10,201
5	85,678				23,271		25,011	27,195		10,201
6	85,678				26,256		25,011	27,195		7,216
7	85,678				26,256		25,011	27,195		7,216
8	85,678				26,256		25,011	27,195		7,216
9	85,678				26,256		25,011	27,195		7,216
10	85,678				26,256		25,011	27,195		7,216
11	85,678				26,256		25,011	27,195		7,216
12	85,678				26,256		25,011	27,195		7,216
13	85,678				26,256		25,011	27,195		7,216
14	85,678				26,256		25,011	27,195		7,216
15	85,678				26,256		25,011	27,195		7,216
16	62,299				26,256	19,250		27,195		-10,402
17	62,299				26,256			27,195		8,848
18	62,299				26,256			27,195		8,848
19	62,299				26,256			27,195		8,848
20	62,299				26,256			27,195		8,848
21	62,299				26,256			27,195		8,848
22	62,299				26,256			27,195		8,848
23	62,299				26,256			27,195		8,848
24	62,299				26,256			27,195		8,848
25	62,299	12,833			26,256			27,195		21,681

Tabla 39 Flujo de caja de la inversión, fijando una vida útil en 25 años. Fuente
Elaboración propia

A partir del flujo de caja y junto con la tasa de actualización considerada, 6%, se obtienen el valor de los siguientes parámetros.

- **VAN** (valor Actual Neto): Es el sumatorio de todos los flujos de caja ordinarios actualizados esperados. En nuestro caso es igual a 55242 €
- **'Pay back'** o periodo de recuperación con descuento, es el número de años necesarios para recuperar el Esfuerzo inversor. En nuestro caso son 7 años
- **TIR** (Tasa interna de Rentabilidad): Es el tipo de interés unitario que hacen el VAN igual a cero. En nuestro caso 17,24%

Estos tres parámetros nos indican que la inversión es viable económicamente.

Al estar la venta de electricidad regulada por las compañías eléctricas hemos realizado la estimación de diversos supuestos, teniendo en cuenta que el precio inicial son 0,133474€/kWh para los primeros 15 años y 0,06687€/kWh después.

Si baja un 15% el precio de la luz

- Para un año dentro de los primeros 15 años son 0,1134529€/kWh que se traduce en 39594,4619341€ al año más 39096€ del precio del digestato, dando un total de 78690,4619341€.
- Para un año después de los primeros 15 años son 0,05651€/kWh que se traduce en 19721,69106€ al año más 39096€ del precio del digestato, dando un total de 58817,69106€.

Si sube un 15% el precio de la luz

- Para un año dentro de los primeros 15 años son 0,1534911€/kWh que se traduce en 53567,581932€ al año más 39096€ del precio del digestato, dando un total de 92663,581932€.
- Para un año después de los primeros 15 años son 0,07646€/kWh que se traduce en 26684,1355€ al año más 39096€ del precio del digestato, dando un total de 65780,1355€.

Si sube un 25% el precio de la luz

- Para un año dentro de los primeros 15 años son 0,1668385€/kWh que se traduce en 58225,75€ al año más 39096€ del precio del digestato, dando un total de 97321,753€.
- Para un año después de los primeros 15 años son 0,08310875€/kWh que se traduce en 29004,51€ al año más 39096€ del precio del digestato, dando un total de 68100,514€.

Como podemos ver en la siguiente figura, con una bajada del precio de la luz del 15% o superior, el flujo de caja es negativo y, por tanto, no es rentable

AÑO	COBRO ORD	COBRO EXTR	COBRO FINAN	SUBVENC	PAGO ORD	PAGO EXTR	PAGO FINAN	FLUJO DESTR	PAGO INVERS	FLUJO CAJA
0			246,993						296,993	-50,000
1	78,690				23,271		25,011	27,195		3,213
2	78,690				23,271		25,011	27,195		3,213
3	78,690				23,271		25,011	27,195		3,213
4	78,690				23,271		25,011	27,195		3,213
5	78,690				23,271		25,011	27,195		3,213
6	78,690				26,256		25,011	27,195		228
7	78,690				26,256		25,011	27,195		228
8	78,690				26,256		25,011	27,195		228
9	78,690				26,256		25,011	27,195		228
10	78,690				26,256		25,011	27,195		228
11	78,690				26,256		25,011	27,195		228
12	78,690				26,256		25,011	27,195		228
13	78,690				26,256		25,011	27,195		228
14	78,690				26,256		25,011	27,195		228
15	78,690				26,256		25,011	27,195		228
16	58,817				26,256	19,250		27,195		-13,884
17	58,817				26,256			27,195		5,366
18	58,817				26,256			27,195		5,366
19	58,817				26,256			27,195		5,366
20	58,817				26,256			27,195		5,366
21	58,817				26,256			27,195		5,366
22	58,817				26,256			27,195		5,366
23	58,817				26,256			27,195		5,366
24	58,817				26,256			27,195		5,366
25	58,817	12,833			26,256			27,195		18,199

Tabla 40. Flujo de caja de la inversión, fijando una vida útil en 25 años con un 15% de descenso en el precio de la luz. Fuente Elaboración propia

A partir del flujo de caja y junto con la tasa de actualización considerada se obtienen el valor de los siguientes parámetros.

- **VAN** (valor Actual Neto): Es el sumatorio de todos los flujos de caja ordinarios actualizados esperados. En nuestro caso es igual a -23.319,76 €
- **TIR** (Tasa interna de Rentabilidad): Es el tipo de interés unitario que hacen el VAN igual a cero. En nuestro caso 1,57%

En cambio, si consideramos un aumento del precio de la luz de un 15% obtenemos beneficios como se muestra en la siguiente tabla.

AÑO	COBRO ORD	COBRO EXTR	COBRO FINAN	SUBVENC	PAGO ORD	PAGO EXTR	PAGO FINAN	FLUJO DESTR	PAGO INVERS	FLUJO CAJA
0			246,993						296,993	-50,000
1	92,663				23,271		25,011	27,195		17,186
2	92,663				23,271		25,011	27,195		17,186
3	92,663				23,271		25,011	27,195		17,186
4	92,663				23,271		25,011	27,195		17,186
5	92,663				23,271		25,011	27,195		17,186
6	92,663				26,256		25,011	27,195		14,201
7	92,663				26,256		25,011	27,195		14,201
8	92,663				26,256		25,011	27,195		14,201
9	92,663				26,256		25,011	27,195		14,201
10	92,663				26,256		25,011	27,195		14,201
11	92,663				26,256		25,011	27,195		14,201
12	92,663				26,256		25,011	27,195		14,201
13	92,663				26,256		25,011	27,195		14,201
14	92,663				26,256		25,011	27,195		14,201
15	92,663				26,256		25,011	27,195		14,201
16	65,780				26,256	19,250		27,195		-6,921
17	65,780				26,256			27,195		12,329
18	65,780				26,256			27,195		12,329
19	65,780				26,256			27,195		12,329
20	65,780				26,256			27,195		12,329
21	65,780				26,256			27,195		12,329
22	65,780				26,256			27,195		12,329
23	65,780				26,256			27,195		12,329
24	65,780				26,256			27,195		12,329
25	65,780	12,833			26,256			27,195		25,162

Tabla 41. Flujo de caja de la inversión, fijando una vida útil en 25 años con un 15% de ascenso en el precio de la luz. Fuente Elaboración propia

A partir del flujo de caja y junto con la tasa de actualización considerada se obtienen el valor de los siguientes parámetros.

- **VAN** (valor Actual Neto): Es el sumatorio de todos los flujos de caja ordinarios actualizados esperados. En nuestro caso es igual a 133773.61 €
- **'Pay back'** o periodo de recuperación con descuento, es el número de años necesarios para recuperar el Esfuerzo inversor. En nuestro caso son 4 años
- **TIR** (Tasa interna de Rentabilidad): Es el tipo de interés unitario que hacen el VAN igual a cero. En nuestro caso 32.72%

Como es de esperar, mayor rentabilidad se obtiene en un supuesto más positivo con una subida de precio de venta de la luz del 25%.

AÑO	COBRO ORD	COBRO EXTR	COBRO FINAN	SUBVENC	PAGO ORD	PAGO EXTR	PAGO FINAN	FLUJO DESTR	PAGO INVERS	FLUJO CAJA
0			246,993						296,993	-50,000
1	97,321				23,271		25,011	27,195		21,844
2	97,321				23,271		25,011	27,195		21,844
3	97,321				23,271		25,011	27,195		21,844
4	97,321				23,271		25,011	27,195		21,844
5	97,321				23,271		25,011	27,195		21,844
6	97,321				26,256		25,011	27,195		18,859
7	97,321				26,256		25,011	27,195		18,859
8	97,321				26,256		25,011	27,195		18,859
9	97,321				26,256		25,011	27,195		18,859
10	97,321				26,256		25,011	27,195		18,859
11	97,321				26,256		25,011	27,195		18,859
12	97,321				26,256		25,011	27,195		18,859
13	97,321				26,256		25,011	27,195		18,859
14	97,321				26,256		25,011	27,195		18,859
15	97,321				26,256		25,011	27,195		18,859
16	68,100				26,256	19,250		27,195		-4,601
17	68,100				26,256			27,195		14,649
18	68,100				26,256			27,195		14,649
19	68,100				26,256			27,195		14,649
20	68,100				26,256			27,195		14,649
21	68,100				26,256			27,195		14,649
22	68,100				26,256			27,195		14,649
23	68,100				26,256			27,195		14,649
24	68,100				26,256			27,195		14,649
25	68,100	12,833			26,256			27,195		27,482

Tabla 42. Flujo de caja de la inversión, fijando una vida útil en 25 años con un 25% de ascenso en el precio de la luz. Fuente Elaboración propia

A partir del flujo de caja y junto con la tasa de actualización considerada se obtienen el valor de los siguientes parámetros.

- **VAN** (valor Actual Neto): Es el sumatorio de todos los flujos de caja ordinarios actualizados esperados. En nuestro caso es igual a 186.138.24 €
- **“Pay back”** o periodo de recuperación con descuento, es el número de años necesarios para recuperar el Esfuerzo inversor. En nuestro caso son 3 años
- **TIR** (Tasa interna de Rentabilidad): Es el tipo de interés unitario que hacen el VAN igual a cero. En nuestro caso 42,57%

- **CONCLUSIONES.**

Como podemos observar, una pequeña variación del precio determina la rentabilidad de la planta. Por lo tanto, esta rentabilidad es totalmente dependiente del precio fijado por las compañías eléctricas.

Cabe mencionar el beneficio secundario que nos produce el digestato. Actualmente los precios de los fertilizantes han subido exponencialmente, de modo que,

si conseguimos un ahorro evitando la compra de insumos exteriores, independientemente del precio fijado de la luz, podría suponer importantes ingresos para la explotación.

En resumen, se trata de una inversión rentable desde el punto de vista con un precio de venta de la luz fijado, sin restare importancia al beneficio secundario que nos aporta el digestato.

PLANOS

ÍNDICE

1. PLANO DE SITUACIÓN
2. PLANO DE EMPLAZAMIENTO
3. DISTRIBUCIÓN DE LOS EQUIPOS Y LÍNEAS QUE CONFORMAN LA PANTA
4. LÍNEA 1: CONDUCCIÓN DEL DIGESTATO RECIRCULANTE HASTA EL SISTEMA DE CC-MIX
5. LÍNEA 2: CONDUCCIÓN DEL DIGESTATO
6. LÍNEA 3: CONDUCCIÓN DE BIOGÁS
7. LÍNEA 4: CONDUCCIÓN DEL AGUA CALIENTE COMUNICANDO EL MOTOR CON EL INTERCAMBIADOR
8. INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y LUMÍNICA

1. PLANO DE SITUACIÓN



PROYECTO DE EJECUCIÓN DE UN REACTOR ANAEROBIO PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y TÉRMICA A PARTIR DE LA COMBUSTIÓN DE BIOGÁS

TRABAJO FIN DE GRADO
ALUMNO AUTOR:
JOSÉ PUYUELO CITOLER

Emplazamiento: Parcela 68 Poligono 7 OLSÓN HUESCA

S/C **PLANO DE SITUACIÓN**

Firma:
 Plano Nº 1 **Noviembre 2023**

2. PLANO DE EMPLAZAMIENTO



PROYECTO DE EJECUCIÓN DE UN REACTOR ANAEROBIO
 PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y TÉRMICA
 A PARTIR DE LA COMBUSTIÓN DE BIOGÁS

Emplazamiento: Parcela 68 Poligono 7 OLSÓN HUESCA

S/C

PLANO DE EMPLAZAMIENTO

TRABAJO FIN DE GRADO

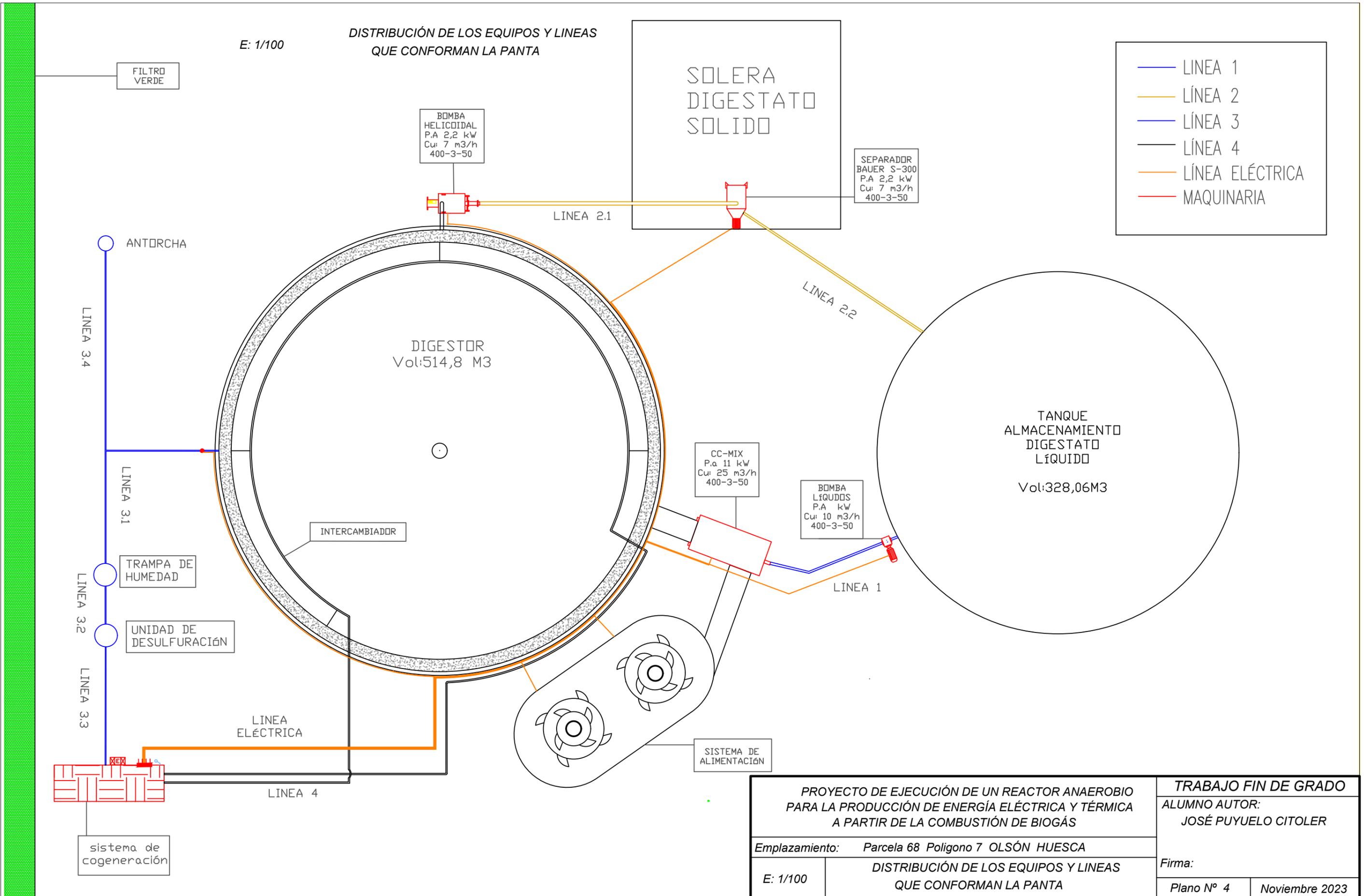
ALUMNO AUTOR:
 JOSÉ PUYUELO CITOLER

Firma:

Plano Nº 2

Noviembre 2023

3. DISTRIBUCIÓN DE LOS EQUIPOS Y LÍNEAS QUE CONFORMAN LA PANTA



E: 1/100

DISTRIBUCIÓN DE LOS EQUIPOS Y LINEAS QUE CONFORMAN LA PANTA

- LINEA 1
- LÍNEA 2
- LÍNEA 3
- LÍNEA 4
- LÍNEA ELÉCTRICA
- MAQUINARIA

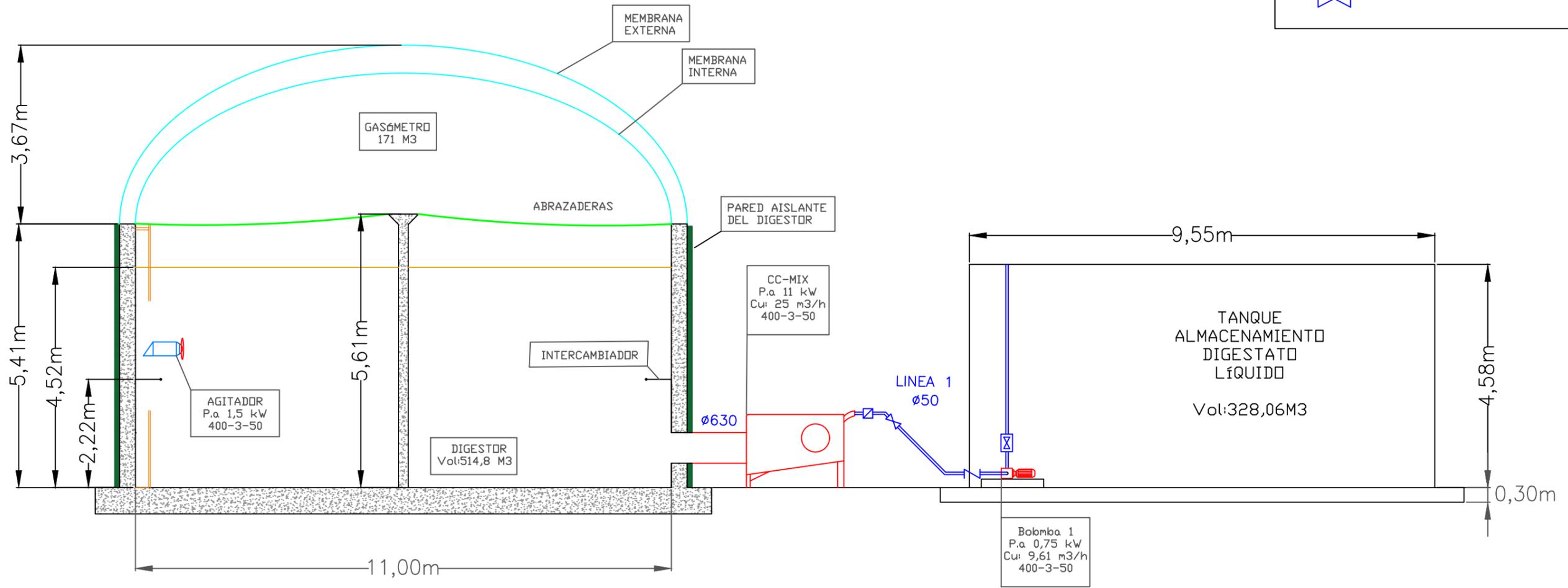
<p>PROYECTO DE EJECUCIÓN DE UN REACTOR ANAEROBIO PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y TÉRMICA A PARTIR DE LA COMBUSTIÓN DE BIOGÁS</p>		<p>TRABAJO FIN DE GRADO</p>	
<p>Emplazamiento: Parcela 68 Poligono 7 OLSÓN HUESCA</p>		<p>ALUMNO AUTOR: JOSÉ PUYUELO CITOLER</p>	
<p>E: 1/100</p>	<p>DISTRIBUCIÓN DE LOS EQUIPOS Y LINEAS QUE CONFORMAN LA PANTA</p>		<p>Firma:</p>
		<p>Plano Nº 4</p>	<p>Noviembre 2023</p>

**4. LÍNEA 1:
CONDUCCIÓN DEL
DIGESTATO
RECIRCULANTE
HASTA EL SISTEMA DE
CC-MIX**

E: 1/100

LÍNEA 1: CONDUCCIÓN DEL DIGESTATO RECIRCULANTE HASTA EL SISTEMA DE CC-MIX

LEYENDA FONTANERÍA	
	VÁLVULA GENERAL DE CORTE
	CAUDALIMETRO Ø 50
	VÁLVULA DE CORTE
	VÁLVULA RETENCIÓN
	LÍNEA DIGESTATO RECIRCULANTE Ø50
	EQUIPOS DE FUERZA DE LA INSTALACIÓN
	VÁLVULA DE TRES VIAS

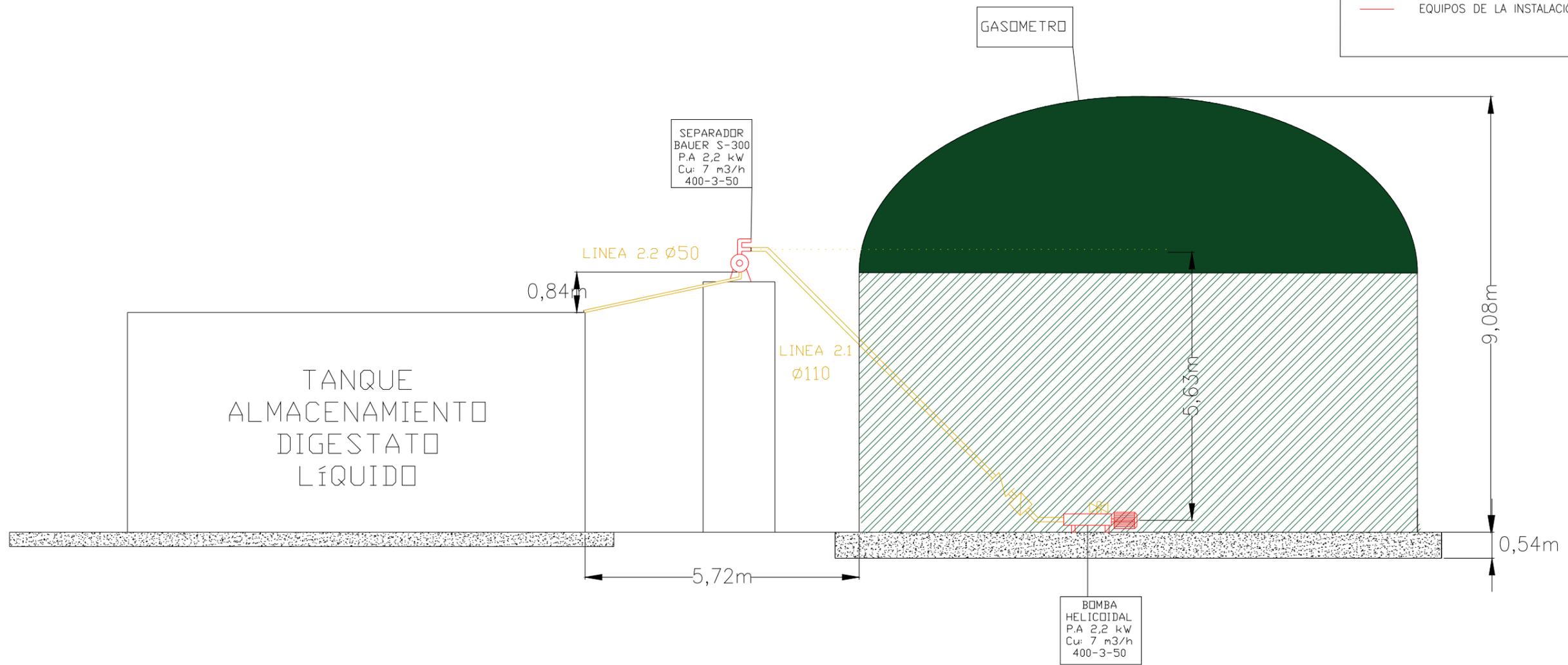


<p>PROYECTO DE EJECUCIÓN DE UN REACTOR ANAEROBIO PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y TÉRMICA A PARTIR DE LA COMBUSTIÓN DE BIOGÁS</p>		TRABAJO FIN DE GRADO	
		ALUMNO AUTOR: JOSÉ PUYUELO CITOLER	
Emplazamiento: Parcela 68 Poligono 7 OLSÓN HUESCA		Firma:	
E: 1/100	LÍNEA 1: CONDUCCIÓN DEL DIGESTATO RECIRCULANTE HASTA EL SISTEMA DE CC-MIX	Plano Nº 4	Noviembre 2023

5. LÍNEA 2: CONDUCCIÓN DEL DIGESTATO

LEYENDA FONTANERÍA

-  VÁLVULA GENERAL DE CORTE
-  CAUDALÍMETRO Ø110
-  VÁLVULA DE CORTE
-  VÁLVULA DE RETENCIÓN
-  LÍNEA DE DIGESTATO Ø110 - Ø50
-  VÁLVULA DE TRES VÍAS
-  EQUIPOS DE LA INSTALACIÓN



PROYECTO DE EJECUCIÓN DE UN REACTOR ANAEROBIO
 PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y TÉRMICA
 A PARTIR DE LA COMBUSTIÓN DE BIOGÁS

TRABAJO FIN DE GRADO
 ALUMNO AUTOR:
 JOSÉ PUYUELO CITOLER

Emplazamiento: Parcela 68 Poligono 7 OLSÓN HUESCA

E: 1/100

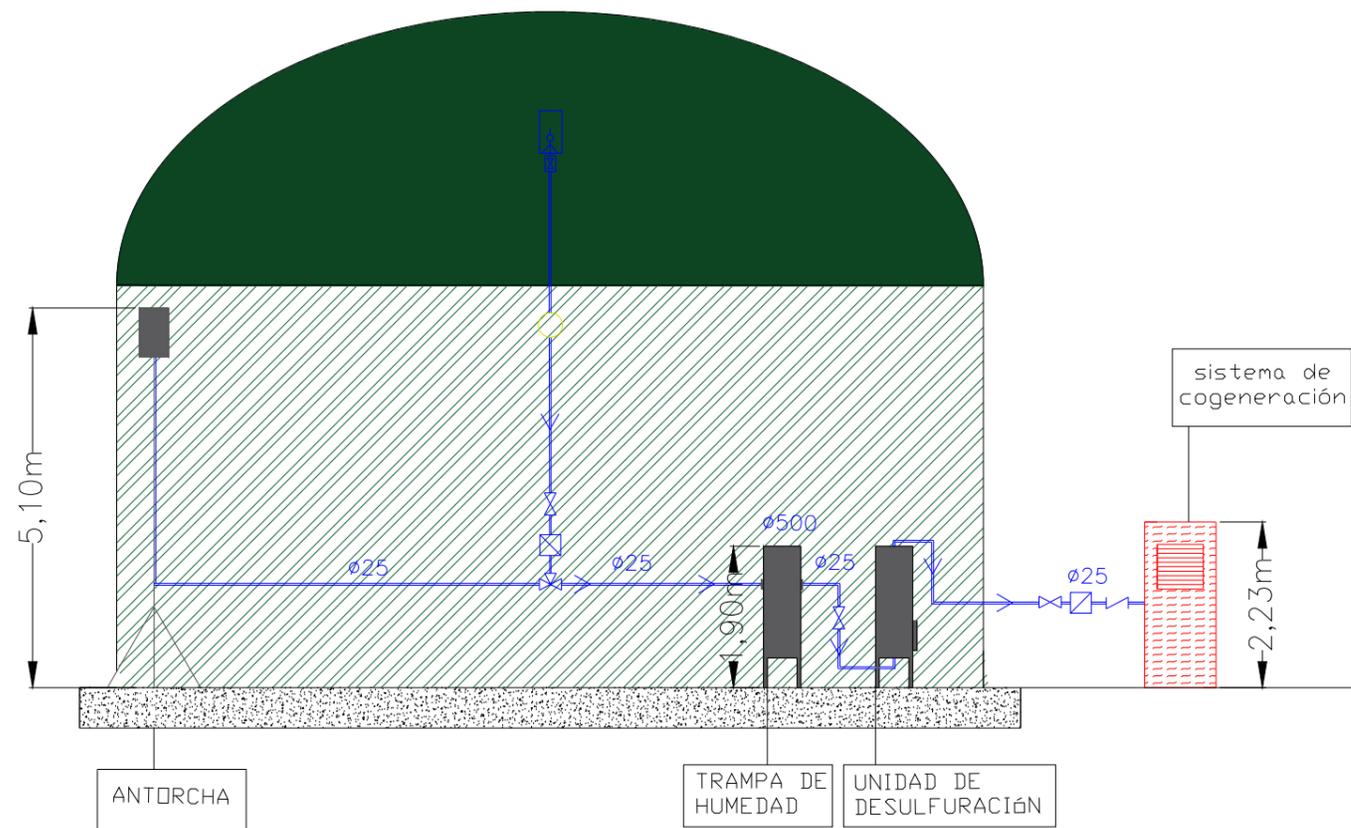
LÍNEA 2: CONDUCCIÓN DEL DIGESTATO

Firma:

Plano N° 5

Noviembre 2023

6. LÍNEA 3: CONDUCCIÓN DE BIOGÁS



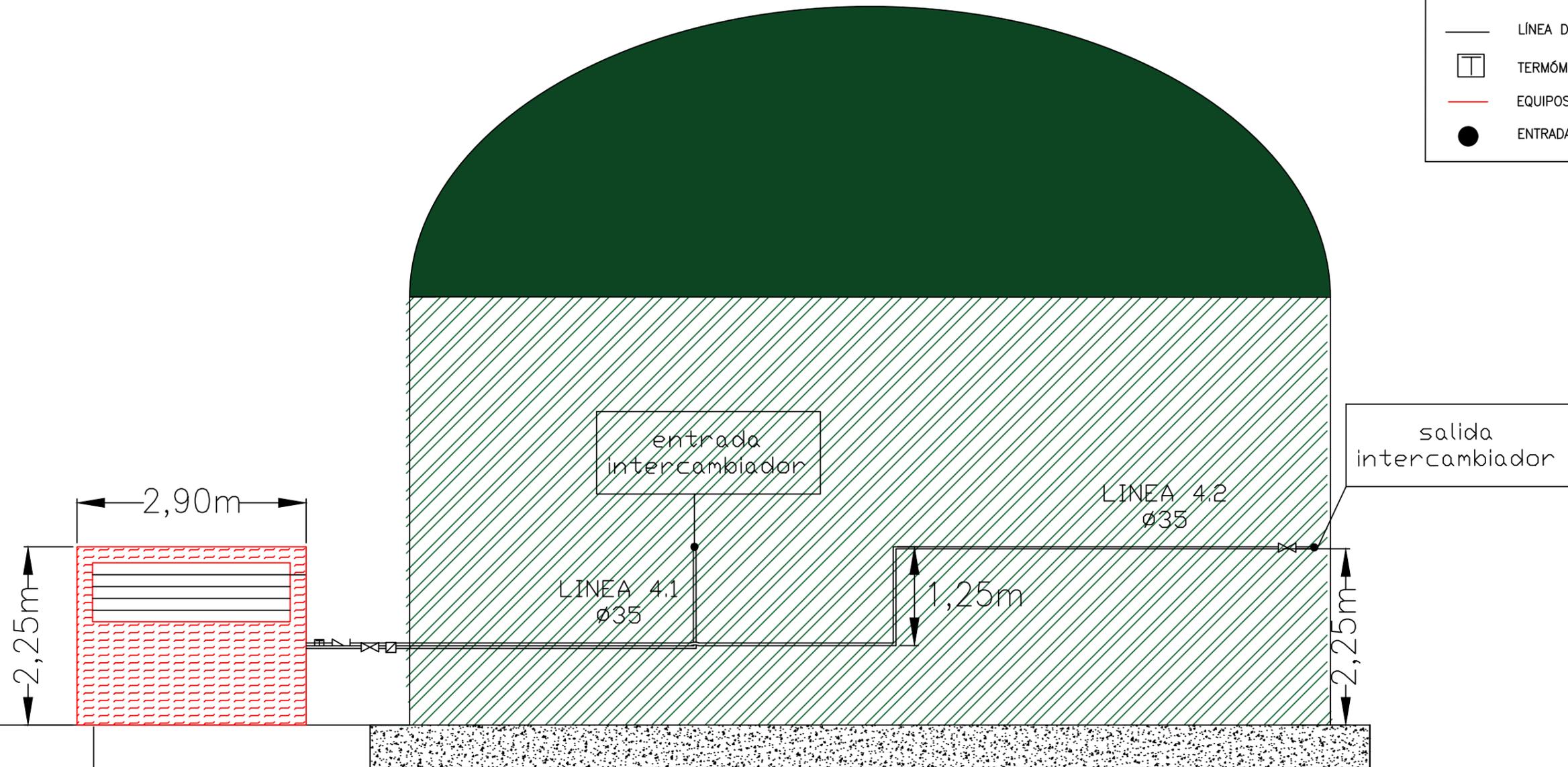
LEYENDA FONTANERÍA	
	VÁLVULA GENERAL DE CORTE
	ANALIZADOR DE BIOGÁS
	VÁLVULA DE CORTE
	VÁLVULA REGULADORA DE LA PRESIÓN
	ACOMETIDA DEL BIOGÁS
	LÍNEA BIOGÁS Ø25
	VÁLVULA DE TRES VÍAS
	SOPLADOR DE BIOGÁS

PROYECTO DE EJECUCIÓN DE UN REACTOR ANAEROBIO PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y TÉRMICA A PARTIR DE LA COMBUSTIÓN DE BIOGÁS		ALUMNO AUTOR: JOSÉ PUYUELO CITOLER	
Emplazamiento: Parcela 68 Poligono 7 OLSÓN HUESCA		Firma:	
E: 1/100	LÍNEA 3: CONDUCCIÓN DE BIOGÁS	Plano N° 6	Noviembre 2023

**7. LÍNEA 4:
CONDUCCIÓN DEL
AGUA CALIENTE
COMUNICANDO EL
MOTOR CON EL
INTERCAMBIADOR**

LEYENDA FONTANERÍA

-  VÁLVULA GENERAL DE CORTE
-  CAUDALÍMETRO $\phi 35$
-  VÁLVULA DE CORTE MONITORIZADA
-  VÁLVULA DE RETENCIÓN
-  LÍNEA DE AGUA CALIENTE $\phi 35$
-  TERMÓMETRO MONITORIZADO
-  EQUIPOS DE LA INSTALACIÓN
-  ENTRADA Y SALIDA DEL INTECAMBIADOR



sistema de cogeneración

entrada intercambiador

salida intercambiador

LINEA 4.1
 $\phi 35$

LINEA 4.2
 $\phi 35$

1,25m

2,90m
2,25m

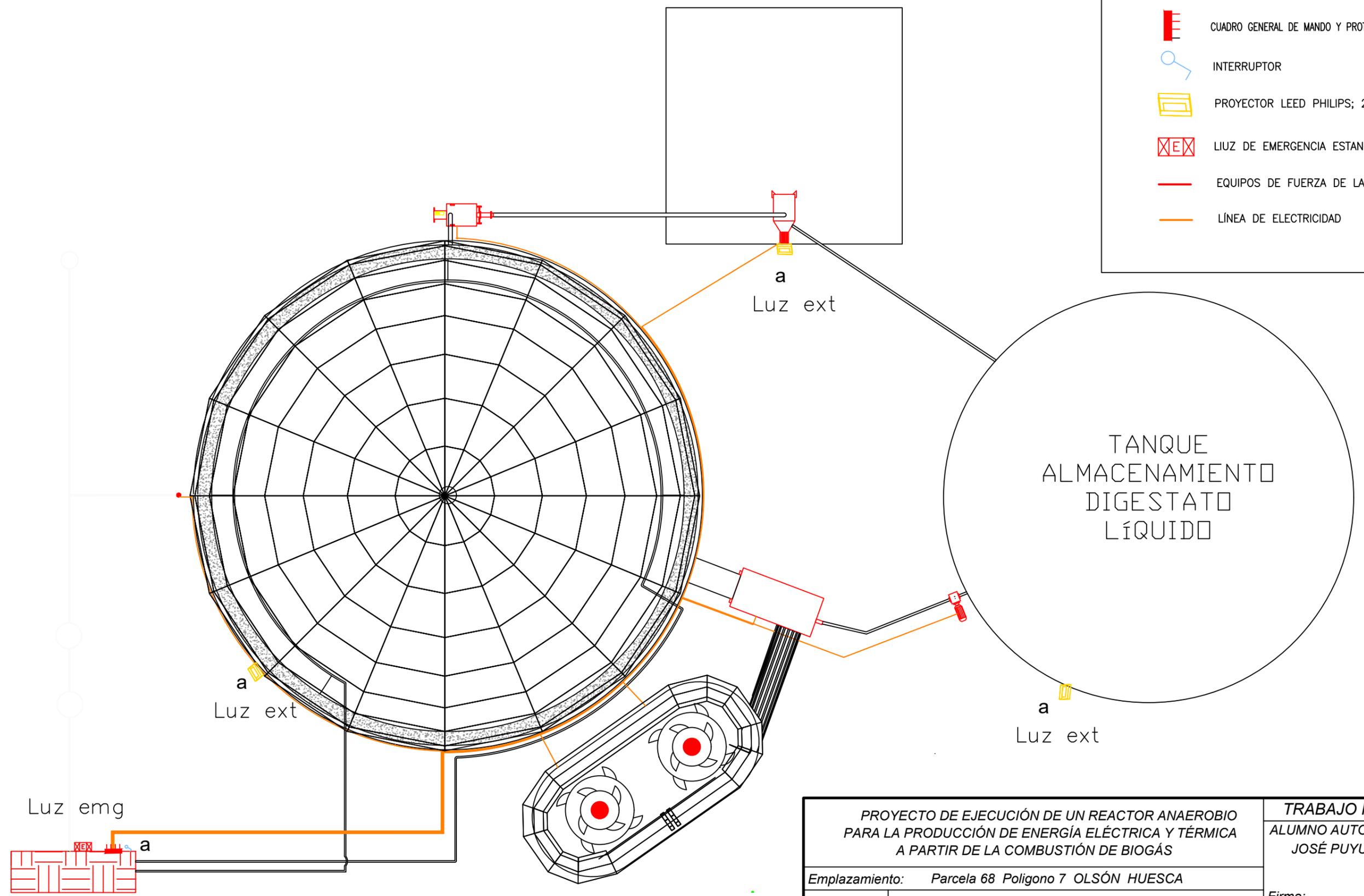
2,25m

PROYECTO DE EJECUCIÓN DE UN REACTOR ANAEROBIO PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y TÉRMICA A PARTIR DE LA COMBUSTIÓN DE BIOGÁS		TRABAJO FIN DE GRADO	
		ALUMNO AUTOR: JOSÉ PUYUELO CITOLER	
Emplazamiento: Parcela 68 Poligono 7 OLSÓN HUESCA		Firma:	
E: 1/60	LÍNEA 4: CONDUCCIÓN DEL AGUA CALIENTE COMUNICANDO EL MOTOR CON EL INTERCAMBIADOR	Plano Nº 7	Noviembre 2023

8. INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y LUMÍNICA

LEYENDA ELÉCTRICA Y LUMÍNICA

-  CUADRO GENERAL DE MANDO Y PROTECCIÓN
-  INTERRUPTOR
-  PROYECTOR LEED PHILIPS; 21000 LUM
-  LIUZ DE EMERGENCIA ESTANCA
-  EQUIPOS DE FUERZA DE LA INSTALACIÓN
-  LÍNEA DE ELECTRICIDAD



PROYECTO DE EJECUCIÓN DE UN REACTOR ANAEROBIO PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y TÉRMICA A PARTIR DE LA COMBUSTIÓN DE BIOGÁS		TRABAJO FIN DE GRADO ALUMNO AUTOR: JOSÉ PUYUELO CITOLER	
Emplazamiento: Parcela 68 Poligono 7 OLSÓN HUESCA		Firma:	
E: 1/100	INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y LUMÍNICA	Plano Nº 8	Noviembre 2023



PLIEGO DE CONDICIONES

A - PLIEGO DE CLAUSULAS ADMINISTRATIVAS. PLIEGO GENERAL

B- PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS PARTICULARES. PLIEGO PARTICULAR

PROYECTO: PROYECTO DE EJECUCIÓN DE UN REACTOR ANAEROBIO PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y TÉRMICA A PARTIR DE LA COMBUSTIÓN DE BIOGÁS OBTENIDO DE LA CODIGESTIÓN DE UNA MEZCLA DE ESTIÉRCOL Y SORGO

PROMOTOR: José Puyuelo Citoler

SITUACIÓN: Olsón, Huesca

NIVEL DE CONTROL Y CLASES DE EJECUCIÓN

Los valores adoptados serán los indicados en el proyecto, o, en su defecto, los siguientes:

Nivel control de ejecución en el caso de estructuras de hormigón será: X Normal
(*)

Intenso

Las clases de ejecución que serán aplicables a cada elemento en el caso de estructuras de acero serán (repetirlo para los distintos elementos estructurales si tuvieran clases diferentes):

Clase de ejecución	<input type="checkbox"/> X 2 (Control normal)	– Elemento estructural: (*)
	<input type="checkbox"/> 3 (Control intenso)	Todos los elementos
	<input type="checkbox"/> 4	(Control intenso)

.....



PLIEGO DE CONDICIONES

(*) Según el Código Estructural, debe cumplirse una clase de fiabilidad RC2. Por ello:

- en los elementos de hormigón, el control de ejecución será intenso o normal
- en los elementos de acero, un control de ejecución intenso o normal, en función de la clase de ejecución, que deberá ser 2 (normal), 3 (intenso) o 4 (intenso)

**ÍNDICE:****A.- PLIEGO DE CLAUSULAS ADMINISTRATIVAS. PLIEGO**

GENERAL.....	3
ANEXO 1. CÓDIGO ESTRUCTURAL.....	53
ANEXO 2. DB-HE AHORRO DE ENERGÍA.....	53
ANEXO 3. CTE DB-HR.....	54
ANEXO 4. SEGURIDAD EN CASO DE INCENDIO.....	55
ANEXOS.....	53
Artículo 1. Calidad de los materiales.....	23
Artículo 1. Naturaleza y objeto del pliego general.....	3
Artículo 10. Facultades y obligaciones del coordinador en materia de Seguridad y Salud durante la ejecución de la obra.....	6
Artículo 10. Materiales para solados y alicatados.....	30
Artículo 100. Pago de arbitrios.....	23
Artículo 101. Garantías por daños materiales ocasionados por vicios y defectos de la construcción.....	23
Artículo 11. Carpintería de taller.....	31
Artículo 11. Facultades y obligaciones de las entidades de control de calidad de la edificación.....	6
Artículo 12. Carpintería metálica.....	31
Artículo 12. Los suministradores de productos.....	7
Artículo 13. Pintura.....	31
Artículo 13. Verificación de los documentos del proyecto.....	7
Artículo 14. Colores, aceites, barnices, etc.....	31
Artículo 14. Plan de Seguridad y Salud.....	7
Artículo 15. Fontanería.....	31
Artículo 15. Plan de Control de Calidad.....	7
Artículo 16. Control de la conformidad de productos.....	8
Artículo 16. Instalaciones eléctricas.....	31
Artículo 17. Control de la conformidad de los procesos de ejecución.....	8
Artículo 17. Movimiento de tierras.....	32
Artículo 18. Control de la comprobación de la conformidad de la estructura terminada.....	8
Artículo 18. Hormigones.....	34
Artículo 19. Morteros.....	35
Artículo 19. Oficina en la obra.....	8
Artículo 2. Conformidad con la normativa de los productos, equipos y materiales.....	23
Artículo 2. Documentación del contrato de obra.....	3
Artículo 20. Encofrados.....	36
Artículo 20. Representación del Contratista. Jefe de Obra.....	8
Artículo 21. Armaduras.....	37
Artículo 21. Trabajos no estipulados expresamente.....	9
Artículo 22. Estructuras de acero.....	37
Artículo 22. Interpretaciones, aclaraciones y modificaciones de los documentos del proyecto.....	9
Artículo 23. Estructuras de madera.....	38
Artículo 23. Reclamaciones contra las ordenes de la dirección facultativa.....	9
Artículo 24. Estructuras mixtas hormigón - acero.....	39
Artículo 24. Recusación por el contratista del personal nombrado por la dirección facultativa.....	9

Artículo 25. Cantería.....	39
Artículo 25. Faltas del Personal.....	9
Artículo 26. Albañilería.....	41
Artículo 26. Subcontratas.....	9
Artículo 27. Cubiertas. Formación de pendientes y faldones.....	43
Artículo 27. Daños materiales.....	9
Artículo 28. Cubiertas planas. Azoteas.....	44
Artículo 28. Responsabilidad civil.....	10
Artículo 29. Aislamientos.....	45
Artículo 29. Caminos y accesos.....	10
Artículo 3. Cumplimiento de la normativa y de los requisitos establecidos por la administración.....	3
Artículo 3. Materiales para hormigones y morteros.....	24
Artículo 30. Replanteo.....	10
Artículo 30. Solados y alicatados.....	47
Artículo 31. Carpintería de taller.....	47
Artículo 31. Inicio de la obra. Ritmo de ejecución de los trabajos.....	10
Artículo 32. Carpintería metálica.....	48
Artículo 32. Orden de los Trabajos.....	11
Artículo 33. Facilidades para otros contratistas.....	11
Artículo 33. Pintura.....	48
Artículo 34. Ampliación del proyecto por causas imprevistas o de fuerza mayor.....	11
Artículo 34. Fontanería.....	49
Artículo 35. Instalación eléctrica.....	49
Artículo 35. Prórroga por causa de fuerza mayor.....	11
Artículo 36. Precauciones a adoptar.....	52
Artículo 36. Responsabilidad de la dirección facultativa en el retraso de la obra.....	11
Artículo 37. Condiciones generales de ejecución de los trabajos.....	11
Artículo 37. Control de la obra del hormigón.....	52
Artículo 38. Control de la obra terminada.....	52
Artículo 38. Gestión de los procesos constructivos.....	11
Artículo 39. Control de la comprobación de la conformidad de la estructura terminada.....	52
Artículo 39. Instalaciones ajenas a la obra.....	11
Artículo 4. Materiales auxiliares de hormigones.....	28
Artículo 4. Tipos de proyectos de edificación y titulaciones requeridas.....	3
Artículo 40. Gestión de los residuos de construcción y demolición.....	52
Artículo 40. Gestión medioambiental de la ejecución.....	12
Artículo 41. Nivel de control y clases de ejecución.....	12
Artículo 42. Actuaciones previas al comienzo de la ejecución.....	12
Artículo 43. Actuaciones durante el desarrollo de la ejecución.....	12
Artículo 44. Documentación de obras ocultas.....	13
Artículo 45. Trabajos defectuosos.....	13
Artículo 46. Vicios ocultos.....	13
Artículo 47. De los materiales y de los aparatos. Su procedencia.....	13
Artículo 48. Presentación de muestras.....	13



Artículo 49. Materiales no utilizables.....	13	Artículo 84. Del constructor en el bajo rendimiento de los obreros.....	20
Artículo 5. Encofrados y cimbras.....	29	Artículo 85. Responsabilidades del constructor.....	20
Artículo 5. Facultades y obligaciones del promotor (artículo 9 de la L.O.E.).....	4	Artículo 86. Formas de abono de las obras.....	20
Artículo 50. Materiales y aparatos defectuosos.....	13	Artículo 87. Relaciones valoradas y certificaciones.....	20
Artículo 51. Gastos ocasionados por pruebas y ensayos.....	14	Artículo 88. Mejoras de obras libremente ejecutadas.....	21
Artículo 52. Limpieza de las obras.....	14	Artículo 89. Abono de trabajos presupuestados con partidaalzada.....	21
Artículo 53. Obras sin prescripciones.....	14	Artículo 9. Facultades y obligaciones del Director de Ejecución de la Obra.....	5
Artículo 54. Acta de recepción.....	14	Artículo 9. Materiales para fábrica y forjados.....	29
Artículo 55. De las recepciones provisionales.....	14	Artículo 90. Abono de agotamientos y otros trabajos especiales no contratados.....	21
Artículo 56. Documentación de la obra ejecutada.....	14	Artículo 91. Pagos.....	21
Artículo 57. Medición definitiva de los trabajos y liquidación provisional de la obra.....	15	Artículo 92. Abono de trabajos ejecutados durante el plazo de garantía.....	22
Artículo 58. Plazo de garantía.....	15	Artículo 93. Indemnización por retraso del plazo de terminación de las obras.....	22
Artículo 59. Conservación de las obras recibidas provisionalmente.....	16	Artículo 94. Demora de los pagos por parte del propietario.....	22
Artículo 6. Aglomerantes, excluido el cemento.....	29	Artículo 95. Mejoras, aumentos y/o reducciones de obra.....	22
Artículo 6. Facultades y obligaciones del proyectista (art. 10 de la L.O.E.).....	4	Artículo 96. Unidades de obra defectuosas, pero aceptables.....	22
Artículo 60. De la recepción definitiva.....	16	Artículo 97. Seguros.....	22
Artículo 61. Prórroga del plazo de garantía.....	16	Artículo 98. Conservación de la obra.....	23
Artículo 62. De las recepciones de trabajos cuya contrata haya sido rescindida.....	16	Artículo 99. Uso por el contratista de edificio o bienes del propietario.....	23
Artículo 63. Criterios generales para la gestión de la calidad de las estructuras.....	16	B.- PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS PARTICULARES.	
Artículo 64. Obligaciones y responsabilidades de la dirección facultativa con respecto al control.....	16	PLIEGO PARTICULAR.....	23
Artículo 65. Laboratorios y entidades de control de calidad.....	17	CAPITULO I - DISPOSICIONES GENERALES.....	3
Artículo 66. Garantía de la conformidad de productos y procesos de ejecución, distintivos de calidad.....	17	CAPITULO II - DISPOSICIONES FACULTATIVAS.....	3
Artículo 67. Principio general.....	17	CAPITULO III - DISPOSICIONES ECONÓMICAS.....	17
Artículo 68. Fianzas.....	17	CAPITULO IV - PRESCRIPCIONES SOBRE MATERIALES.....	23
Artículo 69. Ejecución de trabajos con cargo a la fianza.....	17	CAPITULO V - PRESCRIPCIONES EN CUANTO A LA EJECUCIÓN POR UNIDADES DE OBRA.....	32
Artículo 7. Facultades y obligaciones del constructor (art. 11 de la L.O.E.).....	4	CAPITULO VI - PRESCRIPCIONES SOBRE VERIFICACIONES EN EL EDIFICIO TERMINADO.....	52
Artículo 7. Materiales de cubierta.....	29	CAPITULO VII - GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN.....	52
Artículo 70. Devolución de fianzas.....	17	EPÍGRAFE 1.º - CONDICIONES GENERALES.....	23
Artículo 71. Devolución de la fianza en el caso de efectuarse recepciones parciales.....	18	EPÍGRAFE 1.º - FACULTADES Y OBLIGACIONES DE LOS AGENTES DE LA EDIFICACION.....	3
Artículo 72. Composición de los precios unitarios.....	18	EPÍGRAFE 1.º - PRINCIPIO GENERAL.....	17
Artículo 73. Precios contradictorios.....	18	EPÍGRAFE 2.º - CONDICIONES QUE HAN DE CUMPLIR LOS MATERIALES.....	24
Artículo 74. Reclamación de aumento de precios.....	18	EPÍGRAFE 2.º - FIANZAS.....	17
Artículo 75. Formas tradicionales de medir o de aplicar los precios.....	18	EPÍGRAFE 2.º - RESPONSABILIDAD CIVIL DE LOS AGENTES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE LA EDIFICACIÓN.....	9
Artículo 76. De la revisión de los precios contratados.....	18	EPÍGRAFE 3.º - DE LOS PRECIOS.....	18
Artículo 77. Acopio de materiales.....	19	EPÍGRAFE 3.º - PRESCRIPCIONES GENERALES RELATIVAS A TRABAJOS, MATERIALES Y MEDIOS AUXILIARES.....	10
Artículo 78. Administración.....	19	EPÍGRAFE 4.º - DE LAS RECEPCIONES DE EDIFICIOS Y OBRAS ANEJAS.....	14
Artículo 79. Obras por administración directa.....	19	EPÍGRAFE 4.º - OBRAS POR ADMINISTRACIÓN.....	19
Artículo 8. Facultades y obligaciones del Director de Obra.....	5	EPÍGRAFE 5.º - DE LA GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LAS ESTRUCTURAS.....	16
Artículo 8. Plomo y cinc.....	29	EPÍGRAFE 5.º - VALORACIÓN Y ABONO DE LOS TRABAJOS.....	20
Artículo 80. Obras por administración delegada o indirecta.....	19	EPÍGRAFE 6.º - INDEMNIZACIONES MUTUAS.....	22
Artículo 81. Liquidación de obras por administración.....	19	EPÍGRAFE 7.º - VARIOS.....	22
Artículo 82. Abono al constructor de las cuentas de administración delegada.....	20		
Artículo 83. Normas para la adquisición de los materiales y aparatos.....	20		



A.- PLIEGO DE CLAUSULAS ADMINISTRATIVAS. PLIEGO GENERAL.

CAPITULO I DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1. Naturaleza y objeto del pliego general.

El presente Pliego de Condiciones del Proyecto, teniendo en cuenta la normativa vigente y con objeto de servir de base al correspondiente contrato de obra, tiene por finalidad regular la ejecución de las obras fijando los niveles técnicos y de calidad exigibles, precisando las intervenciones que corresponden, al Promotor o dueño de la obra, al Contratista o constructor de la misma, sus técnicos y encargados, al Director de Obra, al Director de Ejecución de la Obra, a las entidades y laboratorios de control de calidad y los suministradores de productos de la obra, así como las relaciones entre todos ellos y sus correspondientes obligaciones en orden al cumplimiento del contrato de obra.

Artículo 2. Documentación del contrato de obra.

Integran el contrato los siguientes documentos relacionados por orden de prelación en cuanto al valor de: sus especificaciones en caso de omisión o aparente contradicción:

- 1.º Las condiciones fijadas en el propio documento de contrato de empresa o arrendamiento de obra, si existiera.
- 2.º El Pliego de Condiciones particulares.

CAPITULO II DISPOSICIONES FACULTATIVAS

EPÍGRAFE 1.º FACULTADES Y OBLIGACIONES DE LOS AGENTES DE LA EDIFICACION

Artículo 4. Tipos de proyectos de edificación y titulaciones requeridas.

La Ley de Ordenación de la Edificación (L.O.E.) es de aplicación al proceso de la edificación, entendiéndose por tal la acción y el resultado de construir un edificio de carácter permanente, público o privado, cuyo uso principal esté comprendido en los siguientes grupos:

- a) Administrativo, sanitario, religioso, residencial en todas sus formas, docente y cultural.
- b) Aeronáutico; agropecuario; de la energía; de la hidráulica; minero; de telecomunicaciones (referido a la ingeniería de las telecomunicaciones); del transporte terrestre, marítimo, fluvial y aéreo; forestal; industrial; naval; de la ingeniería de saneamiento e higiene, y accesorio a las obras de ingeniería y su explotación.
- c) Todas las demás edificaciones cuyos usos no estén expresamente relacionados en los grupos anteriores.

Se consideran comprendidas en la edificación sus instalaciones fijas y el equipamiento propio, así como los

3.º El Pliego General de Condiciones.

4.º El resto de la documentación de Proyecto (memoria, planos, mediciones y presupuesto).

En las obras que lo requieran, también formarán parte el Estudio de Seguridad y Salud y el Plan de Control de Calidad de la Edificación.

Deberá incluir las condiciones y delimitación de los campos de actuación de laboratorios y entidades de Control de Calidad, si la obra lo requiriese.

Las órdenes e instrucciones de la Dirección Facultativa de las obras se incorporan al Proyecto como interpretación, complemento o precisión de sus determinaciones.

En cada documento las especificaciones literales prevalecen sobre las gráficas y en los planos, la cota prevalece sobre la medida a escala.

Artículo 3. Cumplimiento de la normativa y de los requisitos establecidos por la administración.

La obra se ajustará a la legislación y normas técnicas de obligado cumplimiento aplicables, así como, a las limitaciones establecidas por las administraciones durante la tramitación de las correspondientes autorizaciones para su realización.

elementos de urbanización que permanezcan adscritos al edificio.

Cuando el proyecto a realizar tenga por objeto la construcción de edificios para los usos indicados en el grupo a) la titulación académica y profesional habilitante será la de arquitecto.

Cuando el proyecto a realizar tenga por objeto la construcción de edificios para los usos indicados en el grupo b) la titulación académica y profesional habilitante, con carácter general, será la de ingeniero, ingeniero técnico o arquitecto y vendrá determinada por las disposiciones legales vigentes para cada profesión, de acuerdo con sus respectivas especialidades y competencias específicas.

Cuando el proyecto a realizar tenga por objeto la construcción de edificios para los usos indicados en el grupo c) la titulación académica y profesional habilitante será la de arquitecto, arquitecto técnico, ingeniero o ingeniero técnico y vendrá determinada por las disposiciones legales vigentes para cada profesión, de acuerdo con sus especialidades y competencias específicas.



Artículo 5. Facultades y obligaciones del promotor (artículo 9 de la L.O.E.).

Será Promotor cualquier persona, física o jurídica, pública o privada, que, individual o colectivamente decide, impulsa, programa o financia, con recursos propios o ajenos, las obras de edificación para sí o para su posterior enajenación, entrega o cesión a terceros bajo cualquier título.

Son obligaciones del promotor:

- a) Ostentar sobre el solar la titularidad de un derecho que le faculte para construir en él.
- b) Facilitar la documentación e información previa necesaria para la redacción del proyecto, así como autorizar al director de obra las posteriores modificaciones del mismo.
- c) Gestionar y obtener las preceptivas licencias y autorizaciones administrativas, así como suscribir el acta de recepción de la obra.
- d) Designará al Coordinador de Seguridad y Salud para el proyecto y la ejecución de la obra.
- e) Suscribir los seguros previstos en la Ley de Ordenación de la Edificación.
- f) Entregar al adquirente, en su caso, la documentación de obra ejecutada, o cualquier otro documento exigible por las Administraciones competentes.

Artículo 6. Facultades y obligaciones del proyectista (art. 10 de la L.O.E.).

El proyectista es el agente que, por encargo del promotor y con sujeción a la normativa técnica y urbanística correspondiente, redacta el proyecto. Podrán redactar proyectos parciales del proyecto, o partes que lo complementen, otros técnicos, de forma coordinada con el autor de éste. Cuando el proyecto se desarrolle o complete mediante proyectos parciales u otros documentos técnicos, cada proyectista asumirá la titularidad de su proyecto.

Son obligaciones del proyectista:

- a) Estar en posesión de la titulación académica y profesional habilitante de arquitecto, arquitecto técnico, ingeniero o ingeniero técnico, según corresponda, y cumplir las condiciones exigibles para el ejercicio de la profesión. En caso de personas jurídicas, se debe designar al técnico redactor del proyecto que tenga la titulación profesional habilitante.
- b) Redactar el proyecto con sujeción a la normativa vigente y a lo que se haya establecido en el contrato y entregarlo, con los visados que en su caso fueran preceptivos.
- c) Acordar, en su caso, con el promotor la contratación de colaboraciones parciales.

Artículo 7. Facultades y obligaciones del constructor (art. 11 de la L.O.E.).

El constructor es el agente que asume, contractualmente ante el promotor, el compromiso de ejecutar con medios humanos y materiales, propios o

ajenos, las obras o parte de las mismas con sujeción al proyecto y al contrato.

Son obligaciones del constructor:

- a) Ejecutar la obra con sujeción al proyecto, a la legislación aplicable y a las instrucciones del director de obra y del director de la ejecución de la obra, a fin de alcanzar la calidad exigida en el proyecto.
- b) Tener la titulación o capacitación profesional que habilita para el cumplimiento de las condiciones exigibles para actuar como constructor.
- c) Designar al jefe de obra que asumirá la representación técnica del constructor en la obra y que por su titulación o experiencia deberá tener la capacitación adecuada de acuerdo con las características y la complejidad de la obra.
- d) Asignar a la obra los medios humanos y materiales que su importancia requiera.
- e) Organizar los trabajos de construcción, redactando los planes de obra que se precisen y proyectando o autorizando las instalaciones provisionales y medios auxiliares de la obra.
- f) Elaborar el Plan de Seguridad y Salud de la obra en aplicación del Estudio correspondiente, y disponer, en todo caso, la ejecución de las medidas preventivas, velando por su cumplimiento y por la observancia de la normativa vigente en materia de Seguridad y Salud en el trabajo.
- g) Atender las indicaciones y cumplir las instrucciones del Coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra, y en su caso de la dirección facultativa.
- h) Formalizar las subcontrataciones de determinadas partes o instalaciones de la obra dentro de los límites establecidos en el contrato.
- i) Firmar el acta de replanteo o de comienzo y el acta de recepción de la obra.
- j) Ordenar y dirigir la ejecución material con arreglo al proyecto, a las normas técnicas y a las reglas de la buena construcción. A tal efecto, ostenta la jefatura de todo el personal que intervenga en la obra y coordina las intervenciones de los subcontratistas.
- k) Asegurar la idoneidad de todos y cada uno de los materiales y elementos constructivos que se utilicen, comprobando los preparados en obra y rechazando, por iniciativa propia o por prescripción del Director de Ejecución, los suministros o prefabricados que no cuenten con las garantías o documentos de idoneidad requeridos por las normas de aplicación.
- l) Custodiar los Libros de órdenes y seguimiento de la obra, así como los de Seguridad y Salud y el del Control de Calidad, éstos si los hubiere, y dar el enterado a las anotaciones que en ellos se practiquen.
- m) Facilitar al Director de Ejecución con antelación suficiente, los materiales precisos para el cumplimiento de su cometido.
- n) Preparar las certificaciones parciales de obra y la propuesta de liquidación final.
- o) Suscribir con el Promotor las actas de recepción provisional y definitiva.



- p) Concertar los seguros de accidentes de trabajo y de daños a terceros durante la obra.
- q) Facilitar al director de obra los datos necesarios para la elaboración de la documentación de la obra ejecutada.
- r) Facilitar el acceso a la obra a los Laboratorios y Entidades de Control de Calidad contratados y debidamente homologados para el cometido de sus funciones.
- s) Suscribir las garantías por daños materiales ocasionados por vicios y defectos de la construcción previstas en el Art. 19 de la L.O.E.

Artículo 8. Facultades y obligaciones del Director de Obra.

El director de obra es el agente que, formando parte de la dirección facultativa, dirige el desarrollo de la obra en los aspectos técnicos, estéticos, urbanísticos y medioambientales, de conformidad con el proyecto que la define, la licencia de edificación y demás autorizaciones preceptivas y las condiciones del contrato, con el objeto de asegurar su adecuación al fin propuesto.

Podrán dirigir las obras de los proyectos parciales otros técnicos, bajo la coordinación del director de obra.

Son obligaciones del director de obra:

- a) Estar en posesión de la titulación académica y profesional habilitante de arquitecto, arquitecto técnico, ingeniero o ingeniero técnico, según corresponda y cumplir las condiciones exigibles para el ejercicio de la profesión. En caso de personas jurídicas, se debe designar al técnico director de obra que tenga la titulación profesional habilitante.
- b) Verificar el replanteo y la adecuación de la cimentación y de la estructura proyectadas a las características geotécnicas del terreno.
- c) Dirigir la obra coordinándola con el Proyecto de Ejecución, facilitando su interpretación técnica, económica y estética.
- d) Asistir a las obras, cuantas veces lo requiera su naturaleza y complejidad, a fin de resolver las contingencias que se produzcan en la obra y consignar en el Libro de Órdenes y Asistencias las instrucciones precisas para la correcta interpretación del proyecto.
- e) Elaborar, a requerimiento del promotor o con su conformidad, eventuales modificaciones del proyecto, que vengan exigidas por la marcha de la obra siempre que las mismas se adapten a las disposiciones normativas contempladas y observadas en la redacción del proyecto.
- f) Coordinar, junto al Director de Ejecución, el programa de desarrollo de la obra y el Proyecto de Control de Calidad de la obra, con sujeción al Código Técnico de la Edificación y a las especificaciones del Proyecto.
- g) Comprobar, junto al Director de Ejecución, los resultados de los análisis e informes realizados por Laboratorios y/o Entidades de Control de Calidad.

- h) Coordinar la intervención en obra de otros técnicos que, en su caso, concurren a la dirección con función propia en aspectos de su especialidad.
- i) Dar conformidad a las certificaciones parciales de obra y la liquidación final.
- j) Suscribir el acta de replanteo o de comienzo de obra y el certificado final de obra, así como conformar las certificaciones parciales y la liquidación final de las unidades de obra ejecutadas, con los visados que en su caso fueran preceptivos.
- k) Asesorar al Promotor durante el proceso de construcción y especialmente en el acto de la recepción.
- l) Preparar con el Contratista, la documentación gráfica y escrita del proyecto definitivamente ejecutado para entregarlo al Promotor.
- m) A dicha documentación se adjuntará, al menos, el acta de recepción, la relación identificativa de los agentes que han intervenido durante el proceso de edificación, así como la relativa a las instrucciones de uso y mantenimiento del edificio y sus instalaciones, de conformidad con la normativa que le sea de aplicación. Esta documentación constituirá el Libro del Edificio, y será entregada a los usuarios finales del edificio.

Artículo 9. Facultades y obligaciones del Director de Ejecución de la Obra.

El director de la ejecución de la obra es el agente que, formando parte de la dirección facultativa, asume la función técnica de dirigir la ejecución material de la obra y de controlar cualitativa y cuantitativamente la construcción y la calidad de lo edificado.

Siendo sus funciones específicas:

- a) Estar en posesión de la titulación académica y profesional habilitante y cumplir las condiciones exigibles para el ejercicio de la profesión. En caso de personas jurídicas, designar al técnico director de la ejecución de la obra que tenga la titulación profesional habilitante.
- b) Redactar el documento de estudio y análisis del Proyecto para elaborar los programas de organización y de desarrollo de la obra.
- c) Planificar, a la vista del proyecto técnico, del contrato y de la normativa técnica de aplicación, el control de calidad y económico de las obras.
- d) Redactar, cuando se le requiera, el estudio de los sistemas adecuados a los riesgos del trabajo en la realización de la obra y aprobar el Proyecto de Seguridad y Salud para la aplicación del mismo.
- e) Redactar, cuando se le requiera, el Proyecto de Control de Calidad de la Edificación, desarrollando lo especificado en el Proyecto de Ejecución.
- f) Efectuar el replanteo de la obra y preparar el acta correspondiente, suscribiéndola en unión del Director de Obra y del Constructor.
- g) Comprobar las instalaciones provisionales, medios auxiliares y medidas de Seguridad y Salud en el trabajo, controlando su correcta ejecución.
- h) Realizar o disponer las pruebas y ensayos de materiales, instalaciones y demás unidades de obra



según las frecuencias de muestreo programadas en el Plan de Control, así como efectuar las demás comprobaciones que resulten necesarias para asegurar la calidad constructiva de acuerdo con el proyecto y la normativa técnica aplicable. De los resultados informará puntualmente al Constructor, impartiéndole, en su caso, las órdenes oportunas; de no resolverse la contingencia adoptará las medidas que corresponda dando cuenta al Director de Obra.

- i) Realizar las mediciones de obra ejecutada y dar conformidad, según las relaciones establecidas, a las certificaciones valoradas y a la liquidación final de la obra.
- j) Verificar la recepción en obra de los productos de construcción, ordenando la realización de ensayos y pruebas precisas.
- k) Dirigir la ejecución material de la obra comprobando los replanteos, los materiales, la correcta ejecución y disposición de los elementos constructivos y de las instalaciones, de acuerdo con el proyecto y con las instrucciones del Director de Obra.
- l) Consignar en el Libro de Órdenes y Asistencias las instrucciones precisas.
- m) Suscribir el acta de replanteo o de comienzo de obra y el certificado final de obra, así como elaborar y suscribir las certificaciones parciales y la liquidación final de las unidades de obra ejecutadas.
- n) Colaborar con los restantes agentes en la elaboración de la documentación de la obra ejecutada, aportando los resultados del control realizado.

Durante la construcción, el director de la ejecución de la obra controlará la ejecución de cada unidad de obra verificando su replanteo, los materiales que se utilicen, la correcta ejecución y disposición de los elementos constructivos y de las instalaciones, así como las verificaciones y demás controles a realizar para comprobar su conformidad con lo indicado en el proyecto, la legislación aplicable, las normas de buena práctica constructiva y las instrucciones de la dirección facultativa. El director de la ejecución de la obra verificará que la documentación entregada por el constructor, los suministradores y las entidades de control de calidad es suficiente para la aceptación de los productos, equipos y sistemas amparados por ella.

En la recepción de la obra ejecutada pueden tenerse en cuenta las certificaciones de gestión de calidad que ostenten los agentes que intervienen, así como las verificaciones que, en su caso, realicen las entidades de control de calidad de la edificación. Se comprobará que se han adoptado las medidas necesarias para asegurar la compatibilidad entre los diferentes productos, elementos y sistemas constructivos. En el control de ejecución de la obra se adoptarán los métodos y procedimientos que se contemplen en las evaluaciones técnicas de idoneidad para el uso previsto de productos, equipos y sistemas innovadores.

Artículo 10. Facultades y obligaciones del coordinador en materia de Seguridad y Salud durante la ejecución de la obra.

Según establece la LOE, las titulaciones académicas y profesionales habilitantes para desempeñar la función de coordinador de seguridad y salud en obras de edificación, durante la elaboración del proyecto y la ejecución de la obra, serán las de arquitecto, arquitecto técnico, ingeniero o ingeniero técnico, de acuerdo con sus competencias y especialidades.

Según establece el Real Decreto 1627/1997 por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción, cuando en la ejecución de la obra intervenga más de una empresa, o una empresa y trabajadores autónomos o diversos trabajadores autónomos, el promotor, antes del inicio de los trabajos o tan pronto como se constate dicha circunstancia, designará un coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra. Cuando no sea necesaria la designación de coordinador, las funciones que se le atribuyen en los párrafos anteriores serán asumidas por la dirección facultativa.

El coordinador en materia de Seguridad y Salud durante la ejecución de la obra deberá desarrollar las siguientes funciones:

- a) Coordinar la aplicación de los principios generales de prevención y de seguridad.
- b) Coordinar las actividades de la obra para garantizar que los contratistas y, en su caso, los subcontratistas y los trabajadores autónomos apliquen de manera coherente y responsable los principios de la acción preventiva que se recogen en el artículo 15 de la Ley de Prevención de Riesgo Laborales durante la ejecución de la obra.
- c) Aprobar el plan de seguridad y salud elaborado por el contratista antes del inicio de la obra y, en su caso, las modificaciones introducidas en el mismo.
- d) Coordinar las acciones y funciones de control de la aplicación correcta de los métodos de trabajo.
- e) Adoptar las medidas necesarias para que sólo las personas autorizadas puedan acceder a la obra. La Dirección Facultativa asumirá esta función cuando no fuera necesaria la designación de coordinador.

Artículo 11. Facultades y obligaciones de las entidades de control de calidad de la edificación.

Las entidades de control de calidad de la edificación prestan asistencia técnica en la verificación de la calidad del proyecto, de los materiales y de la ejecución de la obra y sus instalaciones de acuerdo con el proyecto y la normativa aplicable.

Los laboratorios de ensayos para el control de calidad de la edificación prestan asistencia técnica, mediante la realización de ensayos o pruebas de servicio de los materiales, sistemas o instalaciones de una obra de edificación.

Son obligaciones de las entidades y de los laboratorios de control de calidad (art. 14 de la L.O.E.):



- a) Prestar asistencia técnica y entregar los resultados de su actividad al agente autor del encargo y, en todo caso, al director de la ejecución de las obras.
- b) Justificar la capacidad suficiente de medios materiales y humanos necesarios para realizar adecuadamente los trabajos contratados, en su caso, a través de la correspondiente acreditación oficial otorgada por las Comunidades Autónomas con competencia en la materia.

Artículo 12. Los suministradores de productos.

Según establece la LOE, se consideran suministradores de productos los fabricantes, almacenistas, importadores o vendedores de productos de construcción. Se entiende por producto de construcción aquel que se fabrica para su incorporación permanente en una obra incluyendo materiales, elementos semielaborados, componentes y obras o parte de las mismas, tanto terminadas como en proceso de ejecución.

Son obligaciones del suministrador:

- a) Realizar las entregas de los productos de acuerdo con las especificaciones del pedido, respondiendo de su origen, identidad y calidad, así como del cumplimiento de las exigencias que, en su caso, establezca la normativa técnica aplicable.
- b) Facilitar, cuando proceda, las instrucciones de uso y mantenimiento de los productos suministrados, así como las garantías de calidad correspondientes, para su inclusión en la documentación de la obra ejecutada.

Los suministradores entregarán al constructor, quien los facilitará al director de ejecución de la obra, los documentos de identificación del producto exigidos por la normativa de obligado cumplimiento y, en su caso, por el proyecto o por la dirección facultativa. Esta documentación comprenderá, al menos, los siguientes documentos:

- a) los documentos de origen, hoja de suministro y etiquetado;
- b) el certificado de garantía del fabricante, firmado por persona física; y
- c) los documentos de conformidad o autorizaciones administrativas exigidas reglamentariamente, incluida la documentación correspondiente al marcado CE de los productos de construcción, cuando sea pertinente, de acuerdo con las disposiciones que sean transposición de las Directivas Europeas que afecten a los productos suministrados

El suministrador proporcionará la documentación precisa sobre:

- a) los distintivos de calidad que ostenten los productos, equipos o sistemas suministrados, que aseguren las características técnicas de los mismos exigidas en el proyecto y documentará, en su caso, el reconocimiento oficial del distintivo de acuerdo con lo establecido en el artículo 5.2.3 del CTE; y
- b) las evaluaciones técnicas de idoneidad para el uso previsto de productos, equipos y sistemas innovadores, de acuerdo con lo establecido en el

artículo 5.2.5 del CTE, y la constancia del mantenimiento de sus características técnicas.

Artículo 13. Verificación de los documentos del proyecto.

Antes de dar comienzo a las obras, el Constructor consignará por escrito que la documentación aportada le resulta suficiente para la comprensión de la totalidad de la obra contratada, o en caso contrario, solicitará las aclaraciones pertinentes.

Artículo 14. Plan de Seguridad y Salud.

El Constructor, a la vista del Proyecto de Ejecución conteniendo, en su caso, el Estudio de Seguridad y Salud, presentará el Plan de Seguridad y Salud de la obra a la aprobación del Director de Ejecución o por el Coordinador de Seguridad y Salud durante la Ejecución de la obra.

Artículo 15. Plan de Control de Calidad.

Durante la construcción, se desarrollarán las actividades de control necesarias para comprobar la conformidad de los procesos empleados en la ejecución, la conformidad de los materiales y productos que lleguen a la obra, así como la conformidad de aquéllos que se preparen en la misma con la finalidad de ser incorporados a ella con carácter definitivo. Igualmente se deberá contemplar el control de los medios auxiliares utilizados para la ejecución de las estructuras, como cimbras y apuntalamientos.

En el plan de control de calidad del proyecto de ejecución de una obra se incluirá el plan de control de la estructura, indicando las comprobaciones y ensayos que se consideren oportunos. Así mismo se deberá valorar el coste total del control de calidad de la estructura.

Antes de iniciar las actividades de control en la obra, la dirección facultativa aprobará un programa de control, preparado de acuerdo con el plan de control definido en el proyecto, y que tenga en cuenta el cronograma o plan de obra del constructor y su procedimiento de autocontrol. El programa de control contemplará, al menos, los siguientes aspectos:

- a) la identificación de productos y procesos objeto de control, definiendo los correspondientes lotes de control y unidades de inspección, describiendo para cada caso las comprobaciones a realizar y los criterios a seguir en el caso de no conformidad;
- b) la previsión de medios materiales y humanos destinados al control con identificación, en su caso, de las actividades a subcontratar;
- c) la programación del control, en función del procedimiento de autocontrol del constructor y del cronograma de obra previsto para la ejecución por el mismo;
- d) la designación del responsable encargado de la toma de muestras, así como el procedimiento para la toma de estas muestras: lotificación según plan de ensayos, realización de probetas según normativa contemplada en este Código, conservación de las muestras (en obra hasta su traslado a laboratorio)



- e) el sistema de documentación del control que se empleará durante la obra.

El Constructor tendrá a su disposición el Plan de Control de Calidad, si para la obra fuera necesario, en el que se especificarán las características y requisitos que deberán cumplir los materiales y unidades de obra, y los criterios para la recepción de los materiales, según estén avalados o no por sellos, marcas de calidad, ensayos, análisis y pruebas a realizar, determinación de lotes y otros parámetros definidos en el Proyecto por el Director de Ejecución.

Artículo 16. Control de la conformidad de productos.

El fabricante deberá estar en condiciones de aportar garantía de la adecuación de su producto al uso previsto según lo especificado en la norma armonizada y de ponerlas a disposición de quien las solicite con el fin de que, a su vez, pueda transmitir estas garantías al usuario final de la obra o del producto en que se incorporen, facilitando para ello la documentación que incluya la información que avale dichas garantías.

El responsable de la recepción será el encargado de verificar, del modo que considere conveniente, que el producto que está recepcionando es conforme con las especificaciones requeridas. La dirección facultativa, teniendo en cuenta que el marcado CE no garantiza su idoneidad para un uso concreto, y una vez validado el control de recepción, será la responsable de velar porque el producto incorporado en la obra es adecuado a su uso y cumple con las especificaciones requeridas. Se verificará que los valores declarados en los documentos que acompañan al marcado CE son conformes con las especificaciones indicadas en el proyecto y, en la normativa de aplicación.

Artículo 17. Control de la conformidad de los procesos de ejecución.

Durante la construcción de la estructura, la dirección facultativa controlará la ejecución de cada parte de la misma, bien directamente o a través de una entidad de control, verificando su replanteo, los productos que se utilicen y la correcta ejecución y disposición de los elementos constructivos. Efectuará cualquier comprobación adicional que estime necesaria para comprobar la conformidad con lo indicado en el proyecto, la reglamentación aplicable y las órdenes de la propia dirección facultativa. Comprobará que se han adoptado las medidas necesarias para asegurar la compatibilidad entre los diferentes productos, elementos y sistemas constructivos.

Artículo 18. Control de la comprobación de la conformidad de la estructura terminada.

Una vez finalizada la estructura, en su conjunto o alguna de sus fases, la dirección facultativa velará para que se realicen las comprobaciones y pruebas de carga exigidas en su caso por la reglamentación vigente que le fuera aplicable, además de las que pueda establecer voluntariamente el proyecto o decidir la propia dirección

facultativa; determinando la validez, en su caso, de los resultados obtenidos

Artículo 19. Oficina en la obra.

El Constructor habilitará en la obra una oficina en la que existirá una mesa o tablero adecuado, en el que puedan extenderse y consultarse los planos. En dicha oficina tendrá siempre el Contratista a disposición de la Dirección Facultativa:

- El Proyecto de Ejecución completo, incluidos los complementos que en su caso redacte el Director de Obra.
- La Licencia de Obras.
- El Libro de Ordenes y Asistencia.
- El Plan de Seguridad y Salud y Plan de Emergencia
- Libro de Incidencias, si hay para la obra.
- El Proyecto de Control de Calidad y su Libro de registro, si hay para la obra.
- El Reglamento y Ordenanza de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- La documentación de los seguros suscritos por el Constructor.
- Libro de subcontratación
- comunicación de apertura de un centro de trabajo o de reanudación de la actividad
- Contratos con los subcontratistas y subrogación al Plan de Seguridad y Salud.
- Libro de Subcontratación tramitado.
- Manual de Prevención de la empresa.
- Libro de Visitas de la Inspección de Trabajo.
- Teléfonos y direcciones de emergencia.
- Identificación de los trabajadores y sus correspondientes documentos de cotización y reconocimientos médicos.

Dispondrá además el Constructor una oficina para la Dirección facultativa, convenientemente acondicionada para que en ella se pueda trabajar con normalidad a cualquier hora de la jornada.

Artículo 20. Representación del Contratista. Jefe de Obra.

El Constructor viene obligado a comunicar a la propiedad la persona designada como delegado suyo en la obra, que tendrá el carácter de Jefe de Obra de la misma, con dedicación plena y con facultades para representarle y adoptar en todo momento cuantas decisiones competan a la contrata.

Serán sus funciones las del Constructor según se especifica en el artículo 7.

Su titulación o experiencia deberá tener la capacitación adecuada de acuerdo con las características y la complejidad de la obra.

El incumplimiento de esta obligación o, en general, la falta de cualificación suficiente por parte del personal según la naturaleza de los trabajos, facultará al Director de Obra para ordenar la paralización de las obras sin derecho a reclamación alguna, hasta que se subsane la deficiencia.

El Jefe de Obra, por si o por medio de sus técnicos, o encargados estará presente durante la jornada legal de trabajo y acompañará al Director de Obra y/o Director de



Ejecución, en las visitas que hagan a las obras, poniéndose a su disposición para la práctica de los reconocimientos que se consideren necesarios y suministrándoles los datos precisos para la comprobación de mediciones y liquidaciones.

Artículo 21. Trabajos no estipulados expresamente.

Es obligación de la contrata el ejecutar cuando sea necesario para la buena construcción y aspecto de las obras, aun cuando no se halle expresamente determinado en los Documentos de Proyecto, siempre que, sin separarse de su espíritu y recta interpretación, lo disponga el Director de Obra dentro de los límites de posibilidades que los presupuestos habiliten para cada unidad de obra y tipo de ejecución.

En defecto de otra especificación, se entenderá que requiere reformado de proyecto con consentimiento expreso de la propiedad / Promotor, toda variación que suponga incremento de precios de alguna unidad de obra en más del 20 por 100 ó del total del presupuesto en más de un 10 por 100.

Artículo 22. Interpretaciones, aclaraciones y modificaciones de los documentos del proyecto.

El Constructor podrá requerir del Director de Obra o del Director de Ejecución, según sus respectivos cometidos, las instrucciones o aclaraciones que se precisen para la correcta interpretación y ejecución de lo proyectado.

Cuando se trate de aclarar, interpretar o modificar preceptos de los Pliegos de Condiciones o indicaciones de los planos o croquis, las órdenes e instrucciones correspondientes se comunicarán precisamente por escrito al Constructor, estando este obligado a su vez a devolver los originales o las copias suscribiendo con su firma el enterado, que figurará al pie de todas las órdenes, avisos o instrucciones que reciba tanto Director de Obra como del Director de Ejecución.

Cualquier reclamación que, en contra de las disposiciones tomadas por éstos, crea oportuno hacer el Constructor, habrá de dirigirla, dentro precisamente del plazo de tres días, a quién la hubiere dictado, el cual dará al Constructor el correspondiente recibo, si éste lo solicitase.

Artículo 23. Reclamaciones contra las ordenes de la dirección facultativa.

Las reclamaciones que el Contratista quiera hacer contra las órdenes o instrucciones dimanadas de la Dirección Facultativa, sólo podrá presentarlas, a través del Director de Obra, ante la Propiedad, si son de orden económico y de acuerdo con las condiciones estipuladas en los Pliegos de Condiciones correspondientes.

Contra disposiciones de orden técnico de la Dirección de Ejecución, no se admitirá reclamación alguna, pudiendo el Contratista salvar su responsabilidad, si lo estima oportuno, mediante exposición razonada dirigida al Director de Obra, el cual podrá limitar su contestación al acuse de recibo, que en todo caso será obligatorio para este tipo de reclamaciones.

Artículo 24. Recusación por el contratista del personal nombrado por la dirección facultativa.

El Constructor no podrá recusar a los Directores de Obra y/o de Ejecución o al personal encargado por éstos de la vigilancia de las obras, ni pedir que por parte de la propiedad se designen otros facultativos para los reconocimientos y mediciones.

Cuando se crea perjudicado por la labor de éstos procederá de acuerdo con lo estipulado en el artículo precedente, pero sin que por esta causa puedan interrumpirse ni perturbarse la marcha de los trabajos.

Artículo 25. Faltas del Personal.

El Director de Obra, en supuestos de desobediencia a sus instrucciones, manifiesta incompetencia o negligencia grave que comprometan o perturben la marcha de los trabajos, podrá requerir al Contratista para que aparte de la obra a los dependientes u operarios causantes de la perturbación.

Artículo 26. Subcontratas.

Ninguna parte de las obras podrá ser subcontratada sin consentimiento previo de la Dirección Facultativa.

Las subcontrataciones se solicitarán por escrito, con suficiente antelación, aportando los datos sobre el subcontrato, aportando información sobre las características de la empresa subcontratada, la solvencia técnica y económica, los medios a utilizar y organización e integración en la obra que ha de realizarse. La aceptación del subcontrato no releva al Contratista de su responsabilidad contractual.

La Dirección de Obra está facultada para decidir la exclusión de un destajista por ser éste incompetente o no reunir las condiciones necesarias. Comunicada esta decisión al Contratista, éste deberá tomar las medidas precisas para la rescisión.

EPÍGRAFE 2.º

RESPONSABILIDAD CIVIL DE LOS AGENTES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE LA EDIFICACIÓN

Artículo 27. Daños materiales.

Sin perjuicio de sus responsabilidades contractuales, las personas físicas o jurídicas que intervienen en el proceso de la edificación responderán frente a los propietarios y los terceros adquirentes de los edificios o partes de los mismos, en el caso de que sean objeto de división, de los siguientes daños materiales ocasionados en el edificio dentro de los plazos indicados, contados desde la fecha de recepción de la obra, sin reservas o desde la subsanación de éstas:

- a) Durante diez años, de los daños materiales causados en el edificio por vicios o defectos que afecten a la cimentación, los soportes, las vigas, los forjados, los muros de carga u otros elementos estructurales, y que comprometan directamente la resistencia mecánica y la estabilidad del edificio.
- b) Durante tres años, de los daños materiales causados en el edificio por vicios o defectos de los elementos constructivos o de las instalaciones que



ocasionen el incumplimiento de los requisitos de habitabilidad del art. 3 de la L.O.E.

El constructor también responderá de los daños materiales por vicios o defectos de ejecución que afecten a elementos de terminación o acabado de las obras dentro del plazo de un año.

Artículo 28. Responsabilidad civil.

La responsabilidad civil será exigible en forma personal e individualizada, tanto por actos u omisiones de propios, como por actos u omisiones de personas por las que se deba responder.

No obstante, cuando pudiera individualizarse la causa de los daños materiales o quedase debidamente probada la concurrencia de culpas sin que pudiera precisarse el grado de intervención de cada agente en el daño producido, la responsabilidad se exigirá solidariamente.

En todo caso, el promotor responderá solidariamente con los demás agentes intervinientes ante los posibles adquirentes de los daños materiales en el edificio ocasionados por vicios o defectos de construcción.

Sin perjuicio de las medidas de intervención administrativas que en cada caso procedan, la responsabilidad del promotor que se establece en la Ley de Ordenación de la Edificación se extenderá a las personas físicas o jurídicas que, a tenor del contrato o de su intervención decisoria en la promoción, actúen como tales promotores bajo la forma de promotor o gestor de cooperativas o de comunidades de propietarios u otras figuras análogas.

Cuando el proyecto haya sido contratado conjuntamente con más de un proyectista, los mismos responderán solidariamente.

Los proyectistas que contraten los cálculos, estudios, dictámenes o informes de otros profesionales, serán directamente responsables de los daños que puedan derivarse de su insuficiencia, incorrección o inexactitud, sin perjuicio de la repetición que pudieran ejercer contra sus autores.

El constructor responderá directamente de los daños materiales causados en el edificio por vicios o defectos derivados de la impericia, falta de capacidad profesional o técnica, negligencia o incumplimiento de las obligaciones atribuidas al jefe de obra y demás personas físicas o jurídicas que de él dependan.

Cuando el constructor subcontrate con otras personas físicas o jurídicas la ejecución de determinadas partes o instalaciones de la obra, será directamente responsable de los daños materiales por vicios o defectos de su ejecución, sin perjuicio de la repetición a que hubiere lugar.

El director de obra y el director de la ejecución de la obra que suscriban el certificado final de obra serán responsables de la veracidad y exactitud de dicho documento.

Quien acepte la dirección de una obra cuyo proyecto no haya elaborado él mismo, asumirá las responsabilidades derivadas de las omisiones, deficiencias o imperfecciones del proyecto, sin perjuicio de la

repetición que pudiere corresponderle frente al proyectista.

Cuando la dirección de obra se contrate de manera conjunta a más de un técnico, los mismos responderán solidariamente sin perjuicio de la distribución que entre ellos corresponda.

Las responsabilidades por daños no serán exigibles a los agentes que intervengan en el proceso de la edificación, si se prueba que aquellos fueron ocasionados por caso fortuito, fuerza mayor, acto de tercero o por el propio perjudicado por el daño.

Las responsabilidades a que se refiere este artículo se entienden sin perjuicio de las que alcanzan al vendedor de los edificios o partes edificadas frente al comprador conforme al contrato de compraventa suscrito entre ellos, a los artículos 1.484 y siguientes del Código Civil y demás legislación aplicable a la compraventa.

EPÍGRAFE 3.º

PRESCRIPCIONES GENERALES RELATIVAS A TRABAJOS, MATERIALES Y MEDIOS AUXILIARES

Artículo 29. Caminos y accesos.

El Constructor dispondrá por su cuenta los accesos a la obra, el cerramiento o vallado de ésta y su mantenimiento durante la ejecución de la obra. El Director de Obra o el Director de Ejecución podrán exigir su modificación o mejora.

Artículo 30. Replanteo.

El Constructor iniciará las obras con el replanteo de las mismas en el terreno, señalando las referencias principales que mantendrá como base de ulteriores replanteos parciales. Dichos trabajos se considerarán a cargo del Contratista e incluidos en su oferta.

El Constructor someterá el replanteo a la aprobación del Director de Ejecución y una vez esto haya dado su conformidad preparará un acta acompañada de un plano que deberá ser aprobada por el Director de Obra, siendo responsabilidad del Constructor la omisión de este trámite.

Artículo 31. Inicio de la obra. Ritmo de ejecución de los trabajos.

El Constructor dará comienzo a las obras en el plazo marcado en el Contrato, desarrollándolas en la forma necesaria para que dentro de los períodos parciales en aquél señalados queden ejecutados los trabajos correspondientes y, en consecuencia, la ejecución total se lleve a efecto dentro del plazo exigido en el contrato. Obligatoriamente, de forma fehaciente y preferiblemente por escrito, deberá el Contratista dar cuenta al Director de Obra y al Director de Ejecución del comienzo de los trabajos al menos con tres días de antelación.

Para formalizar el inicio de las obras se firmará un acta de replanteo y comienzo de obra que firmarán el director de obra, el director de ejecución de la obra, el coordinador de seguridad y salud, el promotor y el contratista. En dicha acta se hará constar los siguiente:

1. Se cuenta con la licencia de obras.



2. Se dispone del proyecto de ejecución que cumple la licencia de obras.
3. El Constructor ha designado el Jefe de Obra o asume él mismo sus funciones.
4. El Constructor ha realizado el replanteo y éste resulta ajustado a las características del solar.
5. El Coordinador de Seguridad y Salud ha aprobado el Plan de Seguridad y Salud en el trabajo.
6. El Constructor declara estar en condiciones de iniciar los trabajos y la Dirección facultativa, de acuerdo con el Promotor, autoriza su comienzo.

Artículo 32. Orden de los Trabajos.

En general, la determinación del orden de los trabajos es facultad de la contrata, salvo aquellos casos en que, por circunstancias de orden técnico, estime conveniente su variación la Dirección Facultativa.

Artículo 33. Facilidades para otros contratistas.

De acuerdo con lo que requiera la Dirección Facultativa, el Contratista General deberá dar todas las facilidades razonables para la realización de los trabajos que le sean encomendados a todos los demás Contratistas que intervengan en la obra. Ello sin perjuicio de las compensaciones económicas a que haya lugar entre Contratistas por utilización de medios auxiliares o suministros de energía u otros conceptos. En caso de litigio, ambos Contratistas estarán a lo que resuelva la Dirección Facultativa.

Artículo 34. Ampliación del proyecto por causas imprevistas o de fuerza mayor.

Cuando sea preciso por motivo imprevisto o por cualquier accidente, ampliar el Proyecto, no se interrumpirán los trabajos, continuándose según las instrucciones dadas por el Director de Obra en tanto se formula o se tramita el Proyecto Reformado. El Constructor está obligado a realizar con su personal y sus materiales cuanto la Dirección de las obras disponga para apeos, apuntalamientos, derribos, recalzos o cualquier otra obra de carácter urgente, anticipando de momento este servicio, cuyo importe le será consignado en un presupuesto adicional o abonado directamente, de acuerdo con lo que se convenga.

Artículo 35. Prórroga por causa de fuerza mayor.

Si por causa de fuerza mayor o independiente de la voluntad del Constructor, éste no pudiese comenzar las obras, o tuviese que suspenderlas, o no le fuera posible terminarlas en los plazos prefijados, se le otorgará una prórroga proporcionada para el cumplimiento de la contrata, previo informe favorable del Director de Obra. Para ello, el Constructor expondrá, en escrito dirigido al Director de Obra, la causa que impide la ejecución o la marcha de los trabajos y el retraso que por ello se originaría en los plazos acordados, razonando debidamente la prórroga que por dicha causa solicita.

Artículo 36. Responsabilidad de la dirección facultativa en el retraso de la obra.

El Contratista no podrá excusarse de no haber cumplido los plazos de obras estipulados, alegando como causa la carencia de planos u órdenes de la Dirección Facultativa, a excepción del caso en que habiéndolo solicitado por escrito no se le hubiesen proporcionado.

Artículo 37. Condiciones generales de ejecución de los trabajos.

Todos los trabajos se ejecutarán se llevarán a cabo con sujeción al proyecto y a las modificaciones que, bajo su responsabilidad y en uso de sus atribuciones, autoricen el Director de Obra o el Director de Ejecución con la conformidad, en su caso, de la propiedad, dentro de las limitaciones presupuestarias y de conformidad con lo especificado en el artículo 18. Además, deberán ser conformes a las instrucciones de la dirección facultativa, a la reglamentación que sea aplicable y a las normas de buena práctica constructiva. Cualquier modificación de los procesos de ejecución respecto a lo previsto en el proyecto, deberá ser previamente autorizada por la dirección facultativa, previa propuesta justificada del constructor.

Artículo 38. Gestión de los procesos constructivos.

Según establece el Código Estructural en su artículo 14, el constructor deberá disponer de:

- a) unos procedimientos escritos para cada uno de los procesos de ejecución de la estructura, coherentes con el proyecto, acordes con la reglamentación que sea aplicable y conforme con sus propios medios de producción, y
- b) un sistema de gestión de los materiales, productos y elementos que se vayan a colocar en la obra, de manera que se asegure la trazabilidad de los mismos. Dicho sistema de gestión deberá presentar, al menos, las siguientes características:
 - disponer de un registro de suministradores de la obra, con identificación completa de los mismos y de los materiales y productos suministrados,
 - disponer de un sistema de almacenamiento de los acopios en la obra que permita mantener, en su caso, la trazabilidad de cada una de las partidas o remesas que llegan a la obra, y
 - disponer de un sistema de registro y seguimiento de las unidades ejecutadas que relacione estas con las partidas de productos utilizados y, en su caso, con las remesas empleadas en las mismas, de manera que se pueda mantener un determinado nivel de trazabilidad durante la ejecución de la obra, de acuerdo con el nivel de control y la clase de ejecución definido en el proyecto.

Artículo 39. Instalaciones ajenas a la obra.

En el caso de instalaciones industriales ajenas a la obra que suministren productos elaborados o semielaborados a la misma (por ejemplo, los talleres de estructura metálica, las industrias de prefabricados o los talleres de ferralla), deberán disponer de los sistemas adecuados



de gestión de los acopios que les permitan mantener los niveles de trazabilidad establecidos para la estructura.

Artículo 40. Gestión medioambiental de la ejecución.

Sin perjuicio del cumplimiento de la legislación de protección ambiental vigente, la propiedad podrá establecer que el constructor tenga en cuenta una serie de consideraciones de carácter medioambiental durante la ejecución de la estructura, al objeto de minimizar los potenciales impactos derivados de dicha actividad.

Según establece el artículo 14.2 del Código Estructural, se pueden contemplar tres niveles de gestión medioambiental, definidos de acuerdo con el siguiente criterio:

- a) nivel de certificación medioambiental, cuando la obra se encuentre incluida en el alcance de la certificación del constructor de conformidad con UNE-EN ISO 14001 o norma equivalente ISO 14001,
- b) nivel de sensibilización medioambiental, cuando la obra no esté en posesión del certificado indicado en el punto a), pero la dirección facultativa compruebe que el constructor cumple una serie de requisitos ambientales específicos recogidos en el proyecto, previo acuerdo con la propiedad, y
- c) nivel de operatividad medioambiental, cuando el constructor se limite al cumplimiento de la legislación medioambiental vigente.

En su caso, dicha exigencia debería incluirse en un anejo de evaluación ambiental de la estructura, que formará parte del proyecto. En caso de que el proyecto no contemplara este tipo de exigencias para la fase de ejecución, la propiedad podrá obligar a su cumplimiento mediante la introducción de las cláusulas correspondientes en el contrato con el constructor.

En particular, el sistema de gestión medioambiental de la ejecución deberá identificar las correspondientes buenas prácticas medioambientales a seguir durante la ejecución de la obra. En el caso

de que el proyecto haya establecido exigencias relativas a la contribución de la estructura a la sostenibilidad, la ejecución deberá ser coherente con dichas exigencias.

En el caso de que algunas de las unidades de obra sean subcontratadas, el constructor, entendido éste como el contratista principal, deberá velar para que se observe el cumplimiento de las consideraciones medioambientales en la totalidad de la obra.

Artículo 41. Nivel de control y clases de ejecución.

El nivel de control de las estructuras de hormigón y las clases de ejecución de las estructuras de acero deberán ser coherentes, en primer lugar, con la normativa de aplicación, en segundo lugar, con lo especificado en el proyecto y, en tercer lugar, con lo especificado en el contrato de obras.

De acuerdo con los índices de fiabilidad adoptados en el apartado 5.2.1 del Código Estructural, debe cumplirse una clase de fiabilidad RC2. Por ello, el nivel de

inspección durante la ejecución según el apartado B5 del Anejo 18 del Código Estructural debe ser, al menos, el IL2, lo que conlleva a que:

- en los elementos de hormigón, un control de ejecución intenso o normal
- en los elementos de acero, un control de ejecución intenso o normal, en función de la clase de ejecución, que deberá ser 2 (intenso), 3 (normal) o 4 (normal)

Cuando se realice un control de ejecución a nivel intenso el constructor deberá estar en posesión de un sistema de la calidad certificado conforme a la UNE-EN ISO 9001, obtenido de una entidad certificada confirme a la UNE-EN ISO/IEC 17021 para el alcance de las actividades de ejecución requeridas.

Artículo 42. Actuaciones previas al comienzo de la ejecución.

Antes del inicio de la ejecución de la estructura, la dirección facultativa velará para que el constructor efectúe las actuaciones siguientes:

- depósito en las instalaciones de la obra del correspondiente libro de órdenes, facilitado por la dirección facultativa;
- identificación de suministradores inicialmente previsto, así como del resto de agentes involucrados en la obra, reflejando sus datos en el correspondiente directorio que deberá estar permanentemente actualizado hasta la recepción de la obra;
- comprobación de la existencia de la documentación que avale la idoneidad técnica de los equipos previstos para su empleo durante la obra como, por ejemplo, los certificados de calibración o la definición de los parámetros óptimos de soldeo de los equipos de soldadura;
- en caso de que se pretenda realizar soldaduras en obra, se comprobará la existencia de personal soldador con la cualificación u homologación suficiente.

Además, el constructor deberá comprobar la conformidad de la documentación previa de cada uno de los productos antes de su utilización, de acuerdo con los criterios establecidos en el Código Estructural.

Asimismo, con carácter previo al inicio de la ejecución, el constructor deberá comprobar que no hay constancia documental de modificaciones sustanciales que puedan conllevar alteraciones respecto a la estructura de hormigón proyectada inicialmente como, por ejemplo, como consecuencia de la ubicación de nuevas instalaciones.

Al objeto de conseguir la trazabilidad de los materiales y productos empleados en la obra, el constructor deberá comunicar a la dirección facultativa las características del sistema que garantice dicha trazabilidad, con indicación de los criterios de gestión de las partidas y remesas recibidas en la obra, así como de los correspondientes acopios en la misma.

Artículo 43. Actuaciones durante el desarrollo de la ejecución.

Todas las actividades desarrolladas durante la fase de ejecución deberán ser conformes con los



procedimientos de proceso definidos previamente por el constructor y autorizados por la dirección facultativa. Cualquier incidencia o desviación respecto a los mencionados procedimientos deberá ser documentada e incorporada a la documentación de control gestionada por el constructor, informándose de ello a la dirección facultativa.

Sin perjuicio de la reglamentación específica que le sea de aplicación, cualquier empleo durante la obra de un elemento auxiliar (puntales, cimbras, etc.) será responsabilidad del constructor, que deberá disponer de los documentos correspondientes (proyecto, certificado, etc., según el caso) que avalen la conformidad de tales elementos para el uso que se pretende.

Artículo 44. Documentación de obras ocultas.

De todos los trabajos y unidades de obra que hayan de quedar ocultos a la terminación del edificio, se levantarán los planos precisos para que queden perfectamente definidos; estos documentos se extenderán por triplicado, entregándose: uno, al Director de Obra; otro, al Director de Ejecución; y, el tercero, al Contratista, firmados todos ellos por los tres. Dichos planos, que deberán ir suficientemente acotados, se considerarán documentos indispensables e irrecusables para efectuar las mediciones. El contratista deberá avisar al Director de Ejecución de la obra con suficiente antelación y antes de que queden ocultos para que haga las comprobaciones oportunas.

Artículo 45. Trabajos defectuosos.

El Constructor debe emplear los materiales que cumplan las condiciones exigidas en las "Condiciones generales y particulares de índole Técnica" del Pliego de Condiciones y realizará todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con lo especificado también en dicho documento.

Por ello, y hasta que tenga lugar la recepción definitiva del edificio, es responsable de la ejecución de los trabajos que ha contratado y de las faltas y defectos que en éstos puedan existir por su mala ejecución o por la deficiente calidad de los materiales empleados o aparatos colocados, sin que le exonere de responsabilidad el control que compete al Director de Ejecución, ni tampoco el hecho de que estos trabajos hayan sido valorados en las certificaciones parciales de obra, que siempre se entenderán extendidas y abonadas a buena cuenta.

Como consecuencia de lo anteriormente expresado, cuando el Director de Ejecución advierta vicios o defectos en los trabajos ejecutados, o que los materiales empleados o los aparatos colocados no reúnen las condiciones preceptuadas, ya sea en el curso de la ejecución de los trabajos, o finalizados éstos, y antes de verificarse la recepción definitiva de la obra, podrá disponer que las partes defectuosas sean demolidas y reconstruidas de acuerdo con lo contratado, y todo ello a expensas de la contrata. Si ésta no estimase justa la decisión y se negase a la demolición y reconstrucción ordenadas, se planteará la cuestión ante el Director de la Obra, quien resolverá.

Artículo 46. Vicios ocultos.

Si el Director de Ejecución tuviese fundadas razones para creer en la existencia de vicios ocultos de construcción en las obras ejecutadas, ordenará efectuar en cualquier tiempo, y antes de la recepción definitiva, los ensayos, destructivos o no, que crea necesarios para reconocer los trabajos que suponga defectuosos, dando cuenta de la circunstancia al Director de Obra.

Los gastos que se ocasionen, incluidos los debidos a sus consecuencias o daños causados, serán de cuenta del Constructor, siempre que los vicios existan realmente, en caso contrario serán a cargo de la Propiedad.

Artículo 47. De los materiales y de los aparatos. Su procedencia.

El Constructor tiene libertad de proveerse de los materiales y aparatos de todas clases en los puntos que le parezca conveniente, siempre y cuando se cumpla con la normativa vigente y con lo especificado en Pliego de Condiciones. Obligatoriamente, y antes de proceder a su empleo o acopio, el Constructor deberá presentar al Director de Ejecución una lista completa de los materiales y aparatos que vaya a utilizar en la que se especifiquen todas las indicaciones sobre marcas, calidades, procedencia e idoneidad de cada uno de ellos.

Artículo 48. Presentación de muestras.

A petición del Director de obra, el Constructor le presentará las muestras de los materiales siempre con la antelación prevista en el Calendario de la Obra.

Artículo 49. Materiales no utilizables.

El Constructor, a su costa, transportará y colocará, agrupándolos ordenadamente, en condiciones de seguridad y en el lugar adecuado, los materiales procedentes de las excavaciones, derribos, etc., que no sean utilizables en la obra.

Se retirarán de ésta o se llevarán al vertedero, cuando así estuviese establecido en el Pliego de Condiciones Particulares vigente en la obra.

Si no se hubiese preceptuado nada sobre el particular, se retirarán de ella cuando así lo ordene el Director de Ejecución, pero acordando previamente con el Constructor su justa tasación, teniendo en cuenta el valor de dichos materiales y los gastos de su transporte.

Artículo 50. Materiales y aparatos defectuosos.

Cuando los materiales, elementos de instalaciones o aparatos no fuesen de la calidad prescrita en este Pliego, o no tuvieran la preparación en él exigida o cuando a la falta de prescripciones formales de aquél, se reconociera o demostrara que no eran adecuados para su objeto, el Director de Obra, a instancias del Director de Ejecución, dará orden al Constructor de sustituirlos por otros que satisfagan las condiciones o sean los adecuados para el objeto a que se destinen. Si a los quince (15) días de recibir el Constructor orden de que retiren los materiales que no estén en



condiciones, no ha sido cumplida, podrá hacerlo la Propiedad cargando los gastos a la contrata.

Si los materiales, elementos de instalaciones o aparatos fueran defectuosos, pero aceptables a juicio del Director de Obra, se recibirán pero con la rebaja del precio que aquél determine, a no ser que el Constructor prefiera sustituirlos por otros en condiciones.

Artículo 51. Gastos ocasionados por pruebas y ensayos.

Todos los gastos originados por las pruebas y ensayos de materiales o elementos que intervengan en la ejecución de las obras, serán de cuenta de la contrata. Todo ensayo que no haya resultado satisfactorio o que no ofrezca las suficientes garantías podrá comenzarse de nuevo a cargo y cuenta del contratista.

Artículo 52. Limpieza de las obras.

Es obligación del Constructor mantener limpias las obras y sus alrededores, tanto de escombros como de materiales sobrantes, hacer desaparecer las instalaciones provisionales que no sean necesarias, así como adoptar las medidas y ejecutar todos los trabajos que sean necesarios para que la obra ofrezca buen aspecto.

Artículo 53. Obras sin prescripciones.

En la ejecución de trabajos que entran en la construcción de las obras y para los cuales no existan prescripciones consignadas explícitamente en este Pliego ni en la restante documentación del Proyecto, el Constructor se atenderá, en primer término, a las instrucciones que dicte la Dirección Facultativa de las obras y, en segundo lugar, a las reglas y prácticas de la buena construcción.

EPÍGRAFE 4.º

DE LAS RECEPCIONES DE EDIFICIOS Y OBRAS ANEJAS

Artículo 54. Acta de recepción.

La recepción de la obra es el acto por el cual el constructor una vez concluida ésta, hace entrega de la misma al promotor y es aceptada por éste. Podrá realizarse con o sin reservas y deberá abarcar la totalidad de la obra o fases completas y terminadas de la misma, cuando así se acuerde por las partes. La recepción deberá consignarse en un acta firmada, al menos, por el promotor y el constructor, y en la misma se hará constar:

- a) Las partes que intervienen.
- b) La fecha del certificado final de la totalidad de la obra o de la fase completa y terminada de la misma.
- c) El coste final de la ejecución material de la obra.
- d) La declaración de la recepción de la obra con o sin reservas, especificando, en su caso, éstas de manera objetiva, y el plazo en que deberán quedar subsanados los defectos observados. Una vez subsanados los mismos, se hará constar en un acta aparte, suscrita por los firmantes de la recepción.

- e) Las garantías que, en su caso, se exijan al constructor para asegurar sus responsabilidades.
- f) Se adjuntará el certificado final de obra suscrito por el director de obra y el director de la ejecución de la obra y la documentación justificativa del control de calidad realizado.

El promotor podrá rechazar la recepción de la obra por considerar que la misma no está terminada o que no se adecua a las condiciones contractuales. En todo caso, el rechazo deberá ser motivado por escrito en el acta, en la que se fijará el nuevo plazo para efectuar la recepción. Salvo pacto expreso en contrario, la recepción de la obra tendrá lugar dentro de los treinta días siguientes a la fecha de su terminación, acreditada en el certificado final de obra, plazo que se contará a partir de la notificación efectuada por escrito al promotor. La recepción se entenderá tácitamente producida si transcurridos treinta días desde la fecha indicada el promotor no hubiera puesto de manifiesto reservas o rechazo motivado por escrito.

El cómputo de los plazos y garantía establecidos en la Ley de Ordenación de la Edificación se iniciará a partir de la fecha en que se suscriba el acta de recepción, o cuando se entienda ésta tácitamente producida según lo previsto en el párrafo anterior.

Artículo 55. De las recepciones provisionales.

Las recepciones provisionales se realizarán con la intervención de la Propiedad, del Constructor, del Director de obra y del Director de Ejecución. Se convocará también a los restantes técnicos que, en su caso, hubiesen intervenido en la dirección con función propia en aspectos parciales o unidades especializadas.

Practicado un detenido reconocimiento de las obras, se extenderá un acta con tantos ejemplares como intervinientes y firmados por todos ellos. Desde esta fecha empezará a correr el plazo de garantía, si las obras se hallasen en estado de ser admitidas. Seguidamente, los Técnicos de la Dirección Facultativa extenderán el correspondiente Certificado de final de obra.

Cuando las obras no se hallen en estado de ser recibidas, se hará constar en el acta y se darán al Constructor las oportunas instrucciones para remediar los defectos observados, fijando un plazo para subsanarlos, expirado el cual, se efectuará un nuevo reconocimiento a fin de proceder a la recepción provisional de la obra.

Si el Constructor no hubiese cumplido, podrá declararse resuelto el contrato con pérdida de la fianza.

Artículo 56. Documentación de la obra ejecutada.

Durante la ejecución de la obra, el constructor elaborará la documentación que reglamentariamente sea exigible y que, como mínimo, deberá incluir una memoria que recoja las incidencias principales de la ejecución, una colección de planos que reflejen el estado final de la obra tal y como ha sido construida y la documentación correspondiente al control de calidad efectuado durante la obra, todo ello de conformidad con



lo establecido en el proyecto y la normativa. Dicha documentación será entregada a la dirección facultativa que, tras su aprobación, la trasladará a la propiedad como parte de la documentación final de la obra ejecutada.

Una vez finalizada la obra, el proyecto, con la incorporación, en su caso, de las modificaciones debidamente aprobadas, será facilitado al promotor por el director de obra para la formalización de los correspondientes trámites administrativos.

El Director de Obra, asistido por el Contratista y los técnicos que hubieren intervenido en la obra, redactarán la documentación de la obra ejecutada, que se facilitará a la Propiedad. A dicha documentación se adjuntará, al acta de recepción, con la relación identificativa de los agentes que han intervenido durante el proceso de edificación, así como la relativa a las instrucciones de uso y mantenimiento del edificio y sus instalaciones, de conformidad con la normativa que le sea de aplicación. Esta documentación constituirá el Libro del Edificio, que será entregada a los usuarios finales del edificio. Se incluirá en el Libro del Edificio la documentación indicada en el artículo 7.2 de la Parte I del Código Técnico de la Edificación sobre los productos equipos y sistemas que se incorporen a la obra.

A su vez dicha documentación se divide en:

a.- DOCUMENTACIÓN DE SEGUIMIENTO DE OBRA

Dicha documentación según el Código Técnico de la Edificación se compone de:

- Libro de órdenes y asistencias de acuerdo con lo previsto en el Decreto 462/1971 de 11 de marzo.
- Libro de incidencias en materia de seguridad y salud, según el Real Decreto 1627/1997 de 24 de octubre.
- Proyecto con sus anejos y modificaciones debidamente autorizadas por el director de la obra.
- Licencia de obras, de apertura del centro de trabajo y, en su caso, de otras autorizaciones administrativas.
- El certificado final de la obra de acuerdo con el Decreto 462/1971, de 11 de marzo, del Ministerio de la Vivienda.

Una vez finalizada la obra, la documentación de seguimiento será depositada por el director de la obra en el Colegio Oficial correspondiente.

b.- DOCUMENTACIÓN DE CONTROL DE OBRA

El director de la ejecución de la obra recopilará la documentación del control realizado, verificando que es conforme con lo establecido en el proyecto, sus anejos y modificaciones; el constructor recabará de los suministradores de productos y facilitará al director de obra y al director de la ejecución de la obra la documentación de los productos anteriormente señalada, así como sus instrucciones de uso y mantenimiento y las garantías correspondientes cuando proceda. La documentación de calidad preparada por el constructor sobre cada una de las unidades de obra podrá servir, si así lo autorizara el director de la ejecución de la obra, como parte del control de calidad de la obra.

La documentación de control de la obra se compone de:

- Documentación de control, que debe corresponder a lo establecido en el proyecto, más sus anejos y modificaciones.
- Documentación, instrucciones de uso y mantenimiento, así como garantías de los materiales y suministros que debe ser proporcionada por el constructor, siendo conveniente recordárselo fehacientemente.
- En su caso, documentación de calidad de las unidades de obra, preparada por el constructor y autorizada por el director de ejecución en su colegio profesional.

Una vez finalizada la obra, la documentación del seguimiento del control será depositada por el director de la ejecución de la obra en el Colegio Profesional correspondiente.

c.- CERTIFICADO FINAL DE OBRA.

Este se ajustará al modelo publicado en el Decreto 462/1971 de 11 de marzo, del Ministerio de Vivienda, en donde el director de la ejecución de la obra certificará haber dirigido la ejecución material de las obras y controlado cuantitativa y cualitativamente la construcción y la calidad de lo edificado de acuerdo con el proyecto, la documentación técnica que lo desarrolla y las normas de buena construcción.

El director de la obra certificará que la edificación ha sido realizada bajo su dirección, de conformidad con el proyecto objeto de la licencia y la documentación técnica que lo complementa, hallándose dispuesta para su adecuada utilización con arreglo a las instrucciones de uso y mantenimiento.

Al certificado final de obra se le unirán como anejos los siguientes documentos:

- Descripción de las modificaciones que, con la conformidad del promotor, se hubiesen introducido durante la obra haciendo constar su compatibilidad con las condiciones de la licencia.
- Relación de los controles realizados.

d.- DOCUMENTACIÓN SOBRE EL CONTROL DE RECEPCIÓN EN OBRA DE PRODUCTOS, EQUIPOS Y SISTEMAS

Dicha documentación se describe en el artículo 7.2 de la Parte I del Código Técnico de la Edificación y se compone de:

- Documentación de los suministros
- Documentación sobre distintivos de calidad o evaluaciones técnicas de idoneidad
- Documentación sobre el control de recepción mediante ensayos

Artículo 57. Medición definitiva de los trabajos y liquidación provisional de la obra.

Recibidas provisionalmente las obras, se procederá inmediatamente por el Director de Ejecución a su medición definitiva, con precisa asistencia del Constructor o de su representante. Se extenderá la oportuna certificación por triplicado que, aprobada por el Director de Obra con su firma, servirá para el abono por la Propiedad del saldo resultante salvo la cantidad retenida en concepto de fianza.

**Artículo 58. Plazo de garantía.**

El plazo de garantía deberá estipularse en el Contrato o en el Pliego de Condiciones Particulares y en cualquier caso nunca deberá ser inferior a nueve meses (un año con Contratos de las Administraciones Públicas).

Artículo 59. Conservación de las obras recibidas provisionalmente.

Los gastos de conservación durante el plazo de garantía comprendido entre las recepciones provisional y definitiva, correrán a cargo del Contratista.

Si el edificio fuese ocupado o utilizado antes de la recepción definitiva, la guardería, limpieza y reparaciones causadas por el uso correrán a cargo del propietario y las reparaciones por vicios de obra o por defectos en las instalaciones, serán a cargo de la contrata.

Artículo 60. De la recepción definitiva.

La recepción definitiva se verificará después de transcurrido el plazo de garantía en igual forma y con las mismas formalidades que la provisional, a partir de cuya fecha cesará la obligación del Constructor de reparar a su cargo aquellos desperfectos inherentes a la normal conservación de los edificios y quedarán sólo subsistentes todas las responsabilidades que pudieran alcanzarle por vicios de la construcción.

Artículo 61. Prórroga del plazo de garantía.

Si al proceder al reconocimiento para la recepción definitiva de la obra, no se encontrase ésta en las condiciones debidas, se aplazará dicha recepción definitiva y el Director de Obra marcará al Constructor los plazos y formas en que deberán realizarse las obras necesarias y, de no efectuarse dentro de aquellos, podrá resolverse el contrato con pérdida de la fianza.

Artículo 62. De las recepciones de trabajos cuya contrata haya sido rescindida.

En el caso de resolución del contrato, el Contratista vendrá obligado a retirar, en el plazo que se fije en el Pliego de Condiciones Particulares, la maquinaria, medios auxiliares, instalaciones, etc., a resolver los subcontratos que tuviese concertados y a dejar la obra en condiciones de ser reanudada por otra empresa. Las obras y trabajos terminados por completo se recibirán provisionalmente con los trámites establecidos en este Pliego de Condiciones. Transcurrido el plazo de garantía se recibirán definitivamente según lo dispuesto en este Pliego.

Para las obras y trabajos no determinados pero aceptables a juicio del Director de Obra, se efectuará una sola y definitiva recepción.

**EPÍGRAFE 5.º
DE LA GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LAS
ESTRUCTURAS****Artículo 63. Criterios generales para la gestión de la calidad de las estructuras.**

La garantía de la calidad de la estructura será responsabilidad del constructor. Para ello, el

constructor de una estructura dispondrá de un sistema de aseguramiento de la calidad propio que incluya las evidencias necesarias para dar cumplimiento a los requerimientos del control e inspección establecidos en el correspondiente proyecto de ejecución y en el Código Estructural

La dirección facultativa, en representación de la propiedad, deberá velar porque se efectúen las comprobaciones de control suficientes que le permitan asumir la conformidad de la estructura en relación con los requisitos básicos para los que ha sido concebida y proyectada.

La propiedad podrá optar por una de las siguientes alternativas:

- a) un control basado en una comprobación estadística del producto o proceso, llevada a cabo por un laboratorio o entidad de control independiente que desarrolle su actividad para la dirección facultativa.
- b) un control basado en una comprobación estadística del producto o proceso, llevada a cabo directamente por el constructor, combinado con un control externo del anterior llevado a cabo por la dirección facultativa, asistida o no por laboratorios o entidades de control independientes.

No obstante, la dirección facultativa podrá también optar, por otras alternativas de control siempre que demuestre, bajo su supervisión y responsabilidad, que son equivalentes.

Siempre que la legislación aplicable lo permita, el coste del control de calidad efectuado por la dirección facultativa y estimado en el plan de control deberá considerarse de forma independiente en el presupuesto de cualquiera de las actuaciones referentes a la obra y será retribuido directamente por la propiedad y no por la empresa constructora.

Artículo 64. Obligaciones y responsabilidades de la dirección facultativa con respecto al control.I

La dirección facultativa tendrá las siguientes obligaciones y responsabilidades respecto al control:

- a) aprobar un programa de control de calidad para la obra, que desarrolle el plan de control incluido en el proyecto,
- b) velar por el desarrollo y validar las actividades de control en los siguientes casos:
 - control de recepción de los productos que se coloquen en la obra conforme al programa de control,
 - control de los productos una vez recepcionados hasta su colocación,
 - control de la ejecución, y
 - en su caso, control de recepción de otros productos que lleguen a la obra para ser transformados en las instalaciones propias de la misma.
- c) recopilar y archivar la documentación del control realizado.

La dirección facultativa podrá requerir también cualquier justificación adicional de la conformidad de los productos empleados en cualquier instalación industrial que suministre productos a la obra. Asimismo, podrá decidir



la realización de comprobaciones, tomas de muestras, ensayos o inspecciones sobre dichos productos antes de ser transformados o durante su transformación.

Artículo 65. Laboratorios y entidades de control de calidad.

La propiedad encomendará la realización de los ensayos de control a un laboratorio que sea conforme a lo establecido en el apartado 17.2.2.1 del Código Estructural. Asimismo, podrá encomendar a entidades de control de calidad otras actividades de asistencia técnica relativas al control de proyecto, de los productos o de los procesos de ejecución empleados en la obra, de conformidad con lo indicado en 17.2.2.2 del Código Estructural.

Los laboratorios y entidades de control de calidad deberán poder demostrar su independencia respecto al resto de los agentes involucrados en la obra. Previamente al inicio de la misma, entregarán a la propiedad una declaración, firmada por persona física, que avale la referida independencia y que deberá ser incorporada por la dirección facultativa a la documentación final de la obra.

Artículo 66. Garantía de la conformidad de productos y procesos de ejecución, distintivos de calidad.

Durante la ejecución de la estructura se elaborará la documentación que reglamentariamente sea exigible y en ella se incluirá, sin perjuicio de lo que establezcan otras reglamentaciones, la documentación a la que hace

referencia el Anejo 4 del Código Estructural antes, durante y después del suministro.

En todas las actividades ligadas al control de recepción, podrá estar presente un representante del agente responsable de la actividad o producto controlado (autor del proyecto, suministrador de hormigón, suministrador de las armaduras elaboradas, suministrador de los elementos prefabricados, constructor, etc.). En el caso de la toma de muestras, cada representante se quedará con copia del acta correspondiente. Cuando se produzca cualquier incidencia en la recepción derivada de resultados de ensayo no conformes, el suministrador y en su caso, el constructor, tendrá derecho a recibir una copia del correspondiente informe del laboratorio y que deberá ser facilitada por la dirección facultativa.

De forma voluntaria, los productos y los procesos pueden disponer de las garantías necesarias para que se cumplan los requisitos mínimos contemplados en el Código Estructural, dichas garantías pueden demostrarse por cualquiera de los siguientes procedimientos:

- a) mediante la posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido (DCOR) concedido por un organismo de certificación acreditado conforme al Reglamento (CE) Nº 765/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo.
- b) en el caso de productos fabricados en la propia obra o de procesos ejecutados en la misma, mediante un sistema equivalente validado y supervisado bajo la responsabilidad de la dirección facultativa, que asegure que el índice de fiabilidad de la estructura es al menos el mismo.

CAPITULO III DISPOSICIONES ECONÓMICAS

EPÍGRAFE 1.º PRINCIPIO GENERAL

Artículo 67. Principio general.

Todos los que intervienen en el proceso de construcción tienen derecho a percibir puntualmente las cantidades devengadas por su correcta actuación con arreglo a las condiciones contractualmente establecidas.

La propiedad, el contratista y, en su caso, los técnicos pueden exigirse recíprocamente las garantías adecuadas al cumplimiento puntual de sus obligaciones de pago.

Estas disposiciones económicas tienen un carácter subsidiario con respecto a los contratos establecidos entre los agentes de la obra.

EPÍGRAFE 2.º FIANZAS

Artículo 68. Fianzas.

El contratista prestará fianza con arreglo a alguno de los siguientes procedimientos según se estipule:

- a) Depósito previo, en metálico, valores, o aval bancario, por importe entre el 4 por 100 y el 10 por 100 del precio total de contrata.
- b) Mediante retención en las certificaciones parciales o pagos a cuenta en igual proporción.

El porcentaje de aplicación para el depósito o la retención se fijará en el Pliego de Condiciones Particulares o en el Contrato de Obra.

Artículo 69. Ejecución de trabajos con cargo a la fianza.

Si el Contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas, el Director de Obra, en nombre y representación del propietario, los ordenará ejecutar a un tercero, o, podrá realizarlos directamente por administración, abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones a que tenga derecho el Propietario, en el caso de que el importe de la fianza no bastare para cubrir el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fuesen de recibo.

Artículo 70. Devolución de fianzas.

La fianza retenida será devuelta al Contratista en un plazo que no excederá de treinta (30) días una vez firmada el Acta de Recepción Definitiva de la obra. La propiedad podrá exigir que el Contratista le acredite la liquidación y finiquito de sus deudas causadas por la



ejecución de la obra, tales como salarios, suministros, subcontratos.

Artículo 71. Devolución de la fianza en el caso de efectuarse recepciones parciales.

Si la propiedad, con la conformidad del Director de Obra, accediera a hacer recepciones parciales, tendrá derecho el Contratista a que se le devuelva la parte proporcional de la fianza.

EPÍGRAFE 3.º DE LOS PRECIOS

Artículo 72. Composición de los precios unitarios.

El cálculo de los precios de las distintas unidades de obra es el resultado de sumar los costes directos, los indirectos, los gastos generales y el beneficio industrial.

Se considerarán costes directos:

- a) La mano de obra, con sus pluses y cargas y seguros sociales, que interviene directamente en la ejecución de la unidad de obra.
- b) Los materiales, a los precios resultantes a pie de obra, que queden integrados en la unidad de que se trate o que sean necesarios para su ejecución.
- c) Los equipos y sistemas técnicos de seguridad e higiene para la prevención y protección de accidentes y enfermedades profesionales.
- d) Los gastos de personal, combustible, energía, etc., que tengan lugar por el accionamiento o funcionamiento de la maquinaria e instalaciones utilizadas en la ejecución de la unidad de obra.
- e) Los gastos de amortización y conservación de la maquinaria, instalaciones, sistemas y equipos anteriormente citados.

Se considerarán costes indirectos:

Los gastos de instalación de oficinas a pie de obra, comunicaciones edificación de almacenes, talleres, pabellones temporales para obreros, laboratorios, seguros, etc., los del personal técnico y administrativo adscrito exclusivamente a la obra y los imprevistos. Todos estos gastos, se cifrarán en un porcentaje de los costes directos.

Se considerarán gastos generales:

Los gastos generales de empresa, gastos financieros, cargas fiscales y tasas de la Administración, legalmente establecidas. Se cifrarán como un porcentaje de la suma de los costes directos e indirectos (como orientación, en los contratos de obras de la Administración Pública este porcentaje se establece entre un 13 por 100 y un 17 por 100).

Beneficio industrial:

El beneficio industrial del Contratista, se cifrará como un porcentaje de la suma de los costes directos e indirectos y salvo que se especifique otro valor en el Contrato de Obra, será del 6 por 100 (valor establecido para contratos del sector público)

Presupuesto de Ejecución Material:

Se denominará Presupuesto de Ejecución Material el resultado obtenido por la suma de los costes directos e

indirectos, sin incluir Gastos Generales, ni Beneficio Industrial, ni IVA.

Precio de Contrata:

El Presupuesto de Ejecución por Contrata es la suma de los costes directos, los Indirectos, los Gastos Generales, el Beneficio Industrial y el IVA.

El IVA se aplica sobre la suma de todos los conceptos anteriores (costes directos, costes indirectos, Gastos Generales y Beneficio Industrial)

Artículo 73. Precios contradictorios.

Se producirán precios contradictorios sólo cuando la Propiedad por medio del Director de Obra decida introducir unidades o cambios de calidad en alguna de las previstas, o cuando sea necesario afrontar alguna circunstancia imprevista.

El Contratista estará obligado a efectuar los cambios.

A falta de acuerdo, el precio se resolverá contradictoriamente entre el Director de Obra y el Contratista antes de comenzar la ejecución de los trabajos y en el plazo que determine el Pliego de Condiciones Particulares. Si subsiste la diferencia se acudirá, en primer lugar, al concepto más análogo dentro del cuadro de precios del proyecto, y en segundo lugar al banco de precios de uso más frecuente en la localidad.

Los contradictorios que hubiere se referirán siempre a los precios unitarios de la fecha del contrato.

Artículo 74. Reclamación de aumento de precios.

Si el Contratista, antes de la firma del contrato, no hubiese hecho la reclamación u observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error u omisión reclamar aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que sirva de base para la ejecución de las obras.

Artículo 75. Formas tradicionales de medir o de aplicar los precios.

En ningún caso podrá alegar el Contratista los usos y costumbres del país respecto de la aplicación de los precios o de la forma de medir las unidades de obras ejecutadas, se estará a lo previsto en primer lugar, al Pliego General de Condiciones Técnicas y, en segundo lugar, al Pliego de Condiciones Particulares Técnicas.

Artículo 76. De la revisión de los precios contratados.

Contratándose las obras a riesgo y ventura, no se admitirá la revisión de los precios. Solo se admitirá la revisión de precios si así se especifica en el Contrato de Obra. En caso de que se admita, no se admitirá la revisión en tanto que el incremento no alcance, en la suma de las unidades que falten por realizar de acuerdo con el calendario, un montante superior al tres por 100 (3 por 100) del importe total del presupuesto de Contrato.

Caso de producirse variaciones en alza superiores a este porcentaje, se efectuará la correspondiente revisión



de acuerdo con el procedimiento establecido en el Pliego de Condiciones Particulares o en el Contrato de Obra, en caso de no especificarse otra cosa en dichos documentos, el Contratista percibirá la diferencia en más que resulte por la variación del IPC superior al 3 por 100. No habrá revisión de precios de las unidades que puedan quedar fuera de los plazos fijados en el Calendario de la oferta.

Artículo 77. Acopio de materiales.

El Contratista queda obligado a ejecutar los acopios de materiales o aparatos de obra que la Propiedad ordene por escrito.

Los materiales acopiados, una vez abonados por el Propietario son, de la exclusiva propiedad de éste; de su guarda y conservación será responsable el Contratista.

El constructor deberá disponer de un sistema de gestión de los materiales, productos y elementos estructurales que se vayan a colocar en la obra, de manera que se asegure la trazabilidad de los mismos.

Dicho sistema de gestión deberá presentar, al menos, las siguientes características:

- disponer de un registro de suministradores de la obra, con identificación completa de los mismos y de los materiales y productos suministrados,
- disponer de un sistema de almacenamiento de los acopios en la obra que permita mantener, en su caso, la trazabilidad de cada una de las partidas o remesas que llegan a la obra, y
- disponer de un sistema de registro y seguimiento de las unidades ejecutadas que relacione estas con las partidas de productos utilizados y, en su caso, con las remesas empleadas en las mismas, de manera que se pueda mantener la trazabilidad durante la ejecución de la obra, de acuerdo con el nivel de control de la ejecución definido en el proyecto.

EPÍGRAFE 4.º OBRAS POR ADMINISTRACIÓN

Artículo 78. Administración.

Se denominan Obras por Administración aquellas en las que las gestiones que se precisan para su realización las lleva directamente el propietario, bien por sí o por un representante suyo o bien por mediación de un contratista.

Las obras por administración se clasifican en las dos modalidades siguientes:

- a) Obras por administración directa
- b) Obras por administración delegada o indirecta

Artículo 79. Obras por administración directa.

Se denominan "Obras por Administración directa" aquellas en las que el Propietario por sí o por mediación de un representante suyo, que puede ser el propio Director de Obra, expresamente autorizado a estos efectos, lleve directamente las gestiones precisas para la ejecución de la obra, adquiriendo los materiales, contratando su transporte a la obra y, en suma interviniendo directamente en todas las operaciones precisas para que el personal y los obreros contratados

por él puedan realizarla; en estas obras el constructor, si lo hubiese, o el encargado de su realización, es un mero dependiente del propietario, ya sea como empleado suyo o como autónomo contratado por él, que es quien reúne en sí, por tanto, la doble personalidad de propietario y Contratista.

Artículo 80. Obras por administración delegada o indirecta.

Se entiende por "Obra por Administración delegada o indirecta" la que convienen un Propietario y un Constructor para que éste, por cuenta de aquél y como delegado suyo, realice las gestiones y los trabajos que se precisen y se convengan.

Son, por tanto, características peculiares de las "Obras por Administración delegada o indirecta" las siguientes:

- a) Por parte del Propietario, la obligación de abonar directamente o por mediación del Constructor todos los gastos inherentes a la realización de los trabajos convenidos, reservándose el Propietario la facultad de poder ordenar, bien por sí o por medio del Director de Obra en su representación, el orden y la marcha de los trabajos, la elección de los materiales y aparatos que en los trabajos han de emplearse y, en suma, todos los elementos que crea preciso para regular la realización de los trabajos convenidos.
- b) Por parte del Constructor, la obligación de llevar la gestión práctica de los trabajos, aportando sus conocimientos constructivos, los medios auxiliares precisos y, en suma, todo lo que, en armonía con su cometido, se requiera para la ejecución de los trabajos, percibiendo por ello del Propietario un tanto por ciento (%) prefijado sobre el importe total de los gastos efectuados y abonados por el Constructor.

Artículo 81. Liquidación de obras por administración.

Para la liquidación de los trabajos que se ejecuten por administración delegada o indirecta, regirán las normas que a tales fines se establezcan en el contrato de obras; a falta de ellas, las cuentas de administración las presentará el Constructor al Propietario, en relación valorada a la que deberá acompañarse y agrupados en el orden que se expresan los documentos siguientes todos ellos conformados por el Director de Ejecución:

- a) Las facturas originales de los materiales adquiridos para los trabajos y el documento adecuado que justifique el depósito o el empleo de dichos materiales en la obra.
- b) Las nóminas de los jornales abonados, ajustadas a lo establecido en la legislación vigente, especificando el número de horas trabajadas en las obras por los operarios de cada oficio y su categoría, acompañando a dichas nóminas una relación numérica de los encargados, capataces, jefes de equipo, oficiales y ayudantes de cada oficio, peones especializados y sueltos, listeros, guardas, etc., que hayan trabajado en la obra durante el plazo de



tiempo a que correspondan las nóminas que se presentan.

- c) Las facturas originales de los transportes de materiales puestos en la obra o de retirada de escombros.
- d) Los recibos de licencias, impuestos y demás cargas inherentes a la obra que haya pagado o en cuya gestión haya intervenido el Constructor, ya que su abono es siempre de cuenta del Propietario.

A la suma de todos los gastos inherentes a la propia obra en cuya gestión o pago haya intervenido el Constructor se le aplicará, a falta de convenio especial, un quince por ciento (15 por 100), entendiéndose que en este porcentaje están incluidos los medios auxiliares y los de seguridad preventivos de accidentes, los Gastos Generales que al Constructor originen los trabajos por administración que realiza y el Beneficio Industrial del mismo.

Artículo 82. Abono al constructor de las cuentas de administración delegada.

Salvo pacto distinto, los abonos al Constructor de las cuentas de Administración Delegada los realizará el Propietario mensualmente según las partes de trabajos realizados aprobados por el propietario o por su delegado representante.

Independientemente, el Director de Ejecución redactará, con igual periodicidad, la medición de la obra realizada, valorándola con arreglo al presupuesto aprobado. Estas valoraciones no tendrán efectos para los abonos al Constructor salvo que se hubiese pactado lo contrario contractualmente.

Artículo 83. Normas para la adquisición de los materiales y aparatos.

No obstante, las facultades que en estos trabajos por Administración Delegada se reserva el Propietario para la adquisición de los materiales y aparatos, si al Constructor se le autoriza para gestionarlos y adquirirlos, deberá presentar al Propietario, o en su representación al Director de Obra, los precios y las muestras de los materiales y aparatos ofrecidos, necesitando su previa aprobación antes de adquirirlos.

Artículo 84. Del constructor en el bajo rendimiento de los obreros.

Salvo pacto distinto, si de los partes mensuales de obra ejecutada que preceptivamente debe presentar el Constructor al Director de Obra, éste advirtiese que los rendimientos de la mano de obra, en todas o en algunas de las unidades de obra ejecutada, fuesen notoriamente inferiores a los rendimientos normales generalmente admitidos para unidades de obra iguales o similares, se lo notificará por escrito al Constructor, con el fin de que éste haga las gestiones precisas para aumentar la producción en la cuantía señalada por el Director de Obra.

Si hecha esta notificación al Constructor, en los meses sucesivos, los rendimientos no llegasen a los normales,

el Propietario queda facultado para resarcirse de la diferencia, rebajando su importe del quince por ciento (15 por 100) que por los conceptos antes expresados correspondería abonarle al Constructor en las liquidaciones quincenales que preceptivamente deben efectuársele. En caso de no llegar ambas partes a un acuerdo en cuanto a los rendimientos de la mano de obra, se someterá el caso a arbitraje.

Artículo 85. Responsabilidades del constructor.

En los trabajos de "Obras por Administración Delegada", el Constructor solo será responsable de los efectos constructivos que pudieran tener los trabajos o unidades por él ejecutadas y también de los accidentes o perjuicios que pudieran sobrevenir a los obreros o a terceras personas por no haber tomado las medidas precisas que en las disposiciones legales vigentes se establecen. En cambio, y salvo lo expresado en el artículo 70 precedente, no será responsable del mal resultado que pudiesen dar los materiales y aparatos elegidos con arreglo a las normas establecidas en dicho artículo.

En virtud de lo anteriormente consignado, el Constructor está obligado a reparar por su cuenta los trabajos defectuosos y a responder también de los accidentes o perjuicios expresados en el párrafo anterior.

EPÍGRAFE 5.º VALORACIÓN Y ABONO DE LOS TRABAJOS

Artículo 86. Formas de abono de las obras.

Según la modalidad elegida para la contratación de las obras y salvo que en el contrato de obras se preceptúe otra cosa, el abono de los trabajos se efectuará para cada modalidad de la siguiente forma:

1. Tipo fijo o tanto alzado total: Se abonará la cifra previamente fijada.
2. Tipo fijo o tanto alzado por unidad de obra: Este precio por unidad de obra es invariable y se haya fijado de antemano, pudiendo variar solamente el número de unidades ejecutadas. Previa medición y aplicando al total de las diversas unidades de obra ejecutadas, el precio invariable estipulado de antemano para cada una de ellas. Se abonará al Contratista el importe de las comprendidas en los trabajos ejecutados y ultimados con arreglo y sujeción a los documentos que constituyen el Proyecto, los que servirán de base para la medición y valoración de las diversas unidades.
3. Tanto variable por unidad de obra: Según las condiciones en que se realice y los materiales diversos empleados en su ejecución de acuerdo con las Órdenes del Director de Obra, se abonará al Contratista en idénticas condiciones al caso anterior.
4. Por listas de jornales y recibos de materiales, autorizados en la forma que el presente "Pliego General de Condiciones económicas" determina.
5. Por horas de trabajo, ejecutado en las condiciones determinadas en el contrato.

**Artículo 87. Relaciones valoradas y certificaciones.**

En cada una de las épocas o fechas que se fijen en el contrato o en los "Pliegos de Condiciones Particulares" que rijan en la obra, formará el Contratista una relación valorada de las obras ejecutadas durante los plazos previstos, según la medición que habrá practicado el Director de Ejecución.

Lo ejecutado por el Contratista en las condiciones preestablecidas, se valorará aplicando al resultado de la medición general, cúbica, superficial, lineal, ponderada o numeral correspondiente para cada unidad de obra, los precios señalados en el presupuesto para cada una de ellas, teniendo presente además lo establecido en el presente "Pliego General de Condiciones económicas" respecto a mejoras o sustituciones de material y a las obras accesorias y especiales, etc.

Al Contratista, que podrá presenciar las mediciones necesarias para extender dicha relación se le facilitarán por el Director de Ejecución los datos correspondientes de la relación valorada, acompañándolos de una nota de envío, al objeto de que, dentro del plazo de diez (10) días a partir de la fecha del recibo de dicha nota, pueda el Contratista examinarlos y devolverlos firmados con su conformidad o hacer, en caso contrario, las observaciones o reclamaciones que considere oportunas.

Dentro de los diez (10) días siguientes a su recibo, el Director de Obra aceptará o rechazará las reclamaciones del Contratista si las hubiere, dando cuenta al mismo de su resolución, pudiendo éste, en el segundo caso, acudir ante el Propietario contra la resolución del Director de Obra en la forma referida en los "Pliegos Generales de Condiciones Facultativas y Legales".

Tomando como base la relación valorada indicada en el párrafo anterior, expedirá el Director de Obra la certificación de las obras ejecutadas. De su importe se deducirá el tanto por ciento que para la construcción de la fianza se haya preestablecido.

El material acopiado a pie de obra por indicación expresa y por escrito del Propietario, podrá certificarse hasta el noventa por ciento (90 por 100) de su importe, a los precios que figuren en los documentos del Proyecto, sin afectarlos del tanto por ciento de contrata. Las certificaciones se remitirán al Propietario, dentro del mes siguiente al período a que se refieren, y tendrán el carácter de documento y entregas a buena cuenta, sujetas a las rectificaciones y variaciones que se deriven de la liquidación final, no suponiendo tampoco dichas certificaciones aprobación ni recepción de las obras que comprenden.

Las relaciones valoradas contendrán solamente la obra ejecutada en el plazo a que la valoración se refiere. En el caso de que el Director de Obra lo exigiera, las certificaciones se extenderán al origen.

Artículo 88. Mejoras de obras libremente ejecutadas.

Cuando el Contratista, incluso con autorización del Director de Obra, emplease materiales de más esmerada preparación o de mayor tamaño que el señalado en el Proyecto o sustituyese una clase de fábrica con otra que tuviese asignado mayor precio o ejecutase con mayores dimensiones cualquiera parte de la obra, o, en general, introdujese en ésta y sin pedírsela, cualquiera otra modificación que sea beneficiosa a juicio del Director de Obra, no tendrá derecho, sin embargo, más que al abono de lo que pudiera corresponder en el caso de que hubiese construido la obra con estricta sujeción a la proyectada y contratada.

Artículo 89. Abono de trabajos presupuestados con partidaalzada.

Salvo lo preceptuado en el Contrato de Obras o en el "Pliego de Condiciones Particulares de índole económica", vigente en la obra, el abono de los trabajos presupuestados en partidaalzada, se efectuará de acuerdo con el procedimiento que corresponda entre los que a continuación se expresan:

- a) Si existen precios contratados para unidades de obras iguales, las presupuestadas mediante partidaalzada, se abonarán previa medición y aplicación del precio establecido.
- b) Si existen precios contratados para unidades de obra similares, se establecerán precios contradictorios para las unidades con partidaalzada, deducidos de los similares contratados.
- c) Si no existen precios contratados para unidades de obra iguales o similares, la partidaalzada se abonarán íntegramente al Contratista, salvo el caso de que en el Presupuesto de la obra se exprese que el importe de dicha partida debe justificarse, en cuyo caso el Director de Obra indicará al Contratista y con anterioridad a su ejecución, el procedimiento que de seguirse para llevar dicha cuenta, que en realidad será de Administración, valorándose los materiales y jornales a los precios que figuren en el Presupuesto aprobado o, en su defecto, a los que con anterioridad a la ejecución convengan las dos partes, incrementándose su importe total con el porcentaje que se fije en el Contrato de Obras, o en su defecto en el Pliego de Condiciones Particulares, en concepto de Gastos Generales y Beneficio Industrial del Contratista, añadiendo antes del pago definitivo el correspondiente IVA.

Artículo 90. Abono de agotamientos y otros trabajos especiales no contratados.

Cuando fuese preciso efectuar agotamientos, inyecciones y otra clase de trabajos de cualquiera índole especial y ordinaria, que por no estar contratados no sean de cuenta del Contratista, y si no se contratasen con tercera persona, tendrá el Contratista la obligación de realizarlos y de satisfacer los gastos de toda clase que ocasionen, los cuales le serán abonados por el Propietario por separado de la Contrata.



Además de reintegrar mensualmente estos gastos al Contratista, se le abonará juntamente con ellos el tanto por ciento del importe total que, en su caso, se especifique en el Contrato de Obras o en Pliego de Condiciones Particulares.

Artículo 91. Pagos.

Los pagos se efectuarán por el Propietario en los plazos previamente establecidos, y su importe corresponderá precisamente al de las certificaciones de obra conformadas por el Director de Obra, en virtud de las cuales se verifican aquéllos.

Artículo 92. Abono de trabajos ejecutados durante el plazo de garantía.

Efectuada la recepción provisional y si durante el plazo de garantía se hubieran ejecutado trabajos cualesquiera, para su abono se procederá así:

1. Si los trabajos que se realicen estuvieran especificados en el Proyecto, y sin causa justificada no se hubieran realizado por el Contratista a su debido tiempo; y el Director de Obra exigiera su realización durante el plazo de garantía, serán valorados a los precios que figuren en el Presupuesto y abonados de acuerdo con lo establecido en el Contrato de Obras o en su defecto en los Pliegos de Condiciones, en el caso de que los precios que figuren en el proyecto fuesen inferiores a los que rijan en la época de su realización; en caso contrario, se aplicarán los de la época de su realización.
2. Si se han ejecutado trabajos precisos para la reparación de desperfectos ocasionados por el uso del edificio, por haber sido éste utilizado durante dicho plazo por el Propietario, se valorarán y abonarán a los precios del día, previamente acordados.
3. Si se han ejecutado trabajos para la reparación de desperfectos ocasionados por deficiencia de la construcción o de la calidad de los materiales, nada se abonará por ellos al Contratista.

EPÍGRAFE 6.º INDEMNIZACIONES MUTUAS

Artículo 93. Indemnización por retraso del plazo de terminación de las obras.

Las indemnizaciones por retraso en la terminación por causas imputables al contratista se aplicarán según lo establecido en el Contrato de Obra o, en su defecto, se establecerá en un tanto por mil del importe total de los trabajos contratados, por cada día natural de retraso, contados a partir del día de terminación fijado en el Calendario de obra. Las sumas resultantes se podrán aplicar al pago de la última certificación y descontar, si fuera el caso, de la fianza. Las sumas resultantes no podrán ser en ningún caso inferiores a los perjuicios causados.

Artículo 94. Demora de los pagos por parte del propietario.

En caso de demora de los pagos por parte del propietario se aplicará lo especificado en el Contrato de Obras.

EPÍGRAFE 7.º VARIOS

Artículo 95. Mejoras, aumentos y/o reducciones de obra.

No se admitirán mejoras de obra, más que en el caso en que el Director de Obra haya ordenado por escrito la ejecución de trabajos nuevos o que mejoren la calidad de los contratados, así como la de los materiales y aparatos previstos en el contrato. Tampoco se admitirán aumentos de obra en las unidades contratadas, salvo caso de error en las mediciones del Proyecto a menos que el Director de Obra ordene, también por escrito, la ampliación de las contratadas.

En todos estos casos será condición indispensable que ambas partes contratantes, antes de su ejecución o empleo, convengan por escrito los importes totales de las unidades mejoradas, los precios de los nuevos materiales o aparatos ordenados emplear y los aumentos que todas estas mejoras o aumentos de obra supongan sobre el importe de las unidades contratadas. Se seguirán el mismo criterio y procedimiento, cuando el Director de Obra introduzca innovaciones que supongan una reducción apreciable en los importes de las unidades de obra contratadas.

Artículo 96. Unidades de obra defectuosas, pero aceptables.

Cuando por cualquier causa fuera menester valorar obra defectuosa, pero aceptable a juicio del Director de Obra, éste determinará el precio o partida de abono después de oír al Contratista, el cual deberá conformarse con dicha resolución, salvo el caso en que, estando dentro del plazo de ejecución, prefiera demoler la obra y rehacerla con arreglo a condiciones, sin exceder de dicho plazo.

Artículo 97. Seguros.

El Contratista estará obligado a asegurar la obra contratada durante todo el tiempo que dure su ejecución hasta la recepción definitiva; la cuantía del seguro coincidirá en cada momento con el valor que tengan por contrata los objetos asegurados.

El importe abonado por la Sociedad Aseguradora, en el caso de siniestro, se ingresará en cuenta a nombre del Propietario, para que con cargo a ella se abone la obra que se construya, y a medida que ésta se vaya realizando.

El reintegro de dicha cantidad al Contratista se efectuará por certificaciones, como el resto de los trabajos de la construcción. En ningún caso, salvo conformidad expresa del Contratista, hecho en documento público, el Propietario podrá disponer de dicho importe para menesteres distintos del de reconstrucción de la parte siniestrada.

La infracción de lo anteriormente expuesto será motivo suficiente para que el Contratista pueda resolver el



contrato, con devolución de fianza, abono completo de gastos, materiales acopiados, etc., y una indemnización equivalente al importe de los daños causados al Contratista por el siniestro y que no se le hubiesen abonado, pero sólo en proporción equivalente a lo que suponga la indemnización abonada por la Compañía Aseguradora, respecto al importe de los daños causados por el siniestro, que serán tasados a estos efectos por el Director de Obra .

En las obras de reforma o reparación, se fijarán previamente la porción de edificio que debe ser asegurada y su cuantía, y si nada se prevé, se entenderá que el seguro ha de comprender toda la parte del edificio afectada por la obra.

Los riesgos asegurados y las condiciones que figuren en la póliza o pólizas de Seguros, los pondrá el Contratista, antes de contratarlos, en conocimiento del Propietario, al objeto de recabar de éste su previa conformidad o reparos.

Además, se han de establecer garantías por daños materiales ocasionados por vicios y defectos de la construcción, según se describe en el Art. 81, en base al Art. 19 de la L.O.E.

Asimismo, tanto el contratista como los técnicos que intervengan en la obra deberán contar con un seguro que cubra la responsabilidad civil.

Artículo 98. Conservación de la obra.

Si el Contratista, siendo su obligación, no atiende a la conservación de la obra durante el plazo de garantía, en el caso de que el edificio no haya sido ocupado por el Propietario antes de la recepción definitiva, el Director de Obra, en representación del Propietario, podrá disponer todo lo que sea preciso para que se atienda a la guardería, limpieza y todo lo que fuese menester para su buena conservación, abonándose todo ello por cuenta de la Contrata.

Al abandonar el Contratista el edificio, tanto por buena terminación de las obras, como en el caso de resolución del contrato, está obligado a dejarlo desocupado y limpio en el plazo que el Director de Obra fije.

Después de la recepción provisional del edificio y en el caso de que la conservación del edificio corra a cargo del Contratista, no deberá haber en él más herramientas, útiles, materiales, muebles, etc., que los indispensables para su guardería y limpieza y para los trabajos que fuese preciso ejecutar.

En todo caso, ocupado o no el edificio, está obligado el Contratista a revisar y reparar la obra, durante el plazo expresado, procediendo en la forma prevista en el Contrato de Obras o en su defecto en el presente "Pliego de Condiciones Económicas".

Artículo 99. Uso por el contratista de edificio o bienes del propietario.

Cuando durante la ejecución de las obras ocupe el Contratista, con la necesaria y previa autorización del Propietario, edificios o haga uso de materiales o útiles pertenecientes al mismo, tendrá obligación de repararlos y conservarlos para hacer entrega de ellos a la terminación del contrato, en perfecto estado de conservación, reponiendo los que se hubiesen inutilizado, sin derecho a indemnización por esta reposición ni por las mejoras hechas en los edificios, propiedades o materiales que haya utilizado.

En el caso de que al terminar el contrato y hacer entrega del material, propiedades o edificaciones, no hubiese cumplido el Contratista con lo previsto en el párrafo anterior, lo realizará el Propietario a costa de aquél y con cargo a la fianza.

Artículo 100. Pago de arbitrios.

El pago de impuestos y arbitrios en general, municipales o de otro origen, sobre vallas, alumbrado, etc., cuyo abono debe hacerse durante el tiempo de ejecución de las obras y por conceptos inherentes a los propios trabajos que se realizan, correrán a cargo de la contrata, siempre que en el Contrato de Obras o en las condiciones particulares del Proyecto no se estipule lo contrario.

Artículo 101. Garantías por daños materiales ocasionados por vicios y defectos de la construcción.

El régimen de garantías exigibles para las obras de edificación se hará efectivo de acuerdo con la obligatoriedad que se establece en la L.O.E. y su disposición adicional segunda, teniendo como referente las siguientes garantías:

a) Seguro de daños materiales, seguro de caución o garantía financiera, para garantizar, durante un año, el resarcimiento de los daños materiales por vicios o defectos de ejecución que afecten a elementos de terminación o acabado de las obras, que podrá ser sustituido por la retención por el promotor de un 5 por 100 del importe de la ejecución material de la obra.

b) Seguro de daños materiales, seguro de caución o garantía financiera, para garantizar, durante tres años, el resarcimiento de los daños causados por vicios o defectos de los elementos constructivos o de las instalaciones que ocasionen el incumplimiento de los requisitos de habitabilidad del apartado 1, letra c), del artículo 3 de la L.O.E.

c) Seguro de daños materiales, seguro de caución o garantía financiera, para garantizar, durante diez años, el resarcimiento de los daños materiales causados en el edificio por vicios o defectos que tengan su origen o afecten a la cimentación, los soportes, las vigas, los forjados, los muros de carga u otros elementos estructurales, y que comprometan directamente la resistencia mecánica y estabilidad del edificio.

B.- PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS PARTICULARES. PLIEGO PARTICULAR.



CAPITULO IV
PRESCRIPCIONES SOBRE MATERIALES
EPÍGRAFE 1.º CONDICIONES GENERALES

Artículo 1. Calidad de los materiales.

Todos los materiales a emplear en la presente obra serán de primera calidad y reunirán las condiciones exigidas vigentes referentes a materiales y prototipos de construcción.

Artículo 2. Conformidad con la normativa de los productos, equipos y materiales.

1. Los productos de construcción que se incorporen con carácter permanente a los edificios, en función de su uso previsto, llevarán el marcado CE, de conformidad con el Reglamento (UE) N.º 305/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de marzo de 2011 por el que se establecen condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción.
2. En determinados casos, y con el fin de asegurar su suficiencia, el CTE (Código Técnico de la Edificación) y el presente pliego establecen las características técnicas de productos, equipos y sistemas que se incorporen a los edificios, sin perjuicio del Mercado CE que les sea aplicable de acuerdo con las correspondientes Directivas Europeas.
3. Las marcas, sellos, certificaciones de conformidad u otros distintivos de calidad voluntarios que faciliten el cumplimiento de las exigencias básicas del CTE, podrán ser reconocidos por las Administraciones Públicas competentes.
4. También podrán reconocerse, de acuerdo con lo establecido en el apartado anterior, las certificaciones de las prestaciones finales de los productos, equipos o sistemas, o de los edificios acabados, las certificaciones de gestión de la calidad de los agentes que intervienen en edificación, las certificaciones medioambientales que consideren el análisis del ciclo de vida de los productos, otras evaluaciones medioambientales de edificios y otras certificaciones que faciliten el cumplimiento del CTE.
5. Se considerarán conformes con el CTE los productos, equipos y sistemas innovadores que demuestren el cumplimiento de las exigencias básicas del CTE referentes a los elementos constructivos en los que intervienen, mediante una evaluación técnica favorable de su idoneidad para el uso previsto, concedida, a la entrada en vigor del CTE, por las entidades autorizadas para ello por las Administraciones Públicas competentes en aplicación de los criterios siguientes:
 - a) actuarán con imparcialidad, objetividad y transparencia disponiendo de la organización adecuada y de personal técnico competente;
 - b) tendrán experiencia contrastada en la realización de exámenes, pruebas y evaluaciones, avalada por la adecuada

implantación de sistemas de gestión de la calidad de los procedimientos de ensayo, inspección y seguimiento de las evaluaciones concedidas;

- c) dispondrán de un Reglamento, expresamente aprobado por la Administración que autorice a la entidad, que regule el procedimiento de concesión y garantice la participación en el proceso de evaluación de una representación equilibrada de los distintos agentes de la edificación;
 - d) mantendrán una información permanente al público, de libre disposición, sobre la vigencia de las evaluaciones técnicas de aptitud concedidas, así como sobre su alcance; y
 - e) vigilarán el mantenimiento de las características de los productos, equipos o sistemas objeto de la evaluación de la idoneidad técnica favorable.
6. El reconocimiento por las Administraciones Públicas competentes que se establece en los apartados 3, 4 y 5 anteriores se referirá a las marcas, sellos, certificaciones de conformidad u otros distintivos de calidad voluntarios, así como las certificaciones de las prestaciones finales de los productos, equipos o sistemas, o de los edificios acabados, las certificaciones de gestión de calidad de los agentes que intervienen en la edificación, las certificaciones medioambientales así como a las autorizaciones de las entidades que concedan evaluaciones técnicas de la idoneidad, legalmente concedidos en los Estados miembro de la Unión y en los Estados firmantes del Acuerdo sobre el Espacio Económico Europeo.

La dirección facultativa valorará la conveniencia de exigir productos y procesos que dispongan de un distintivo de calidad oficialmente reconocido.

EPÍGRAFE 2.º CONDICIONES QUE HAN DE CUMPLIR LOS MATERIALES

Artículo 3. Materiales para hormigones y morteros

3.1. Cementos

Se entiende como tal un aglomerante hidráulico que responda a alguna de las definiciones de la Instrucción para la recepción de cementos (RC-16).

Deberá ser capaz de proporcionar al hormigón las características que se exigen al mismo en el Artículo 33 del Código Estructural.

En el ámbito de aplicación del Código Estructural podrán utilizarse aquellos cementos que cumplan con las siguientes condiciones:

- Ser conformes con la reglamentación específica vigente.
- Cumplir las limitaciones de uso establecidas en la tabla 28 del Código Estructural.
- Pertener a la clase resistente 32,5 o superior.

Está expresamente prohibido el almacenamiento en el mismo silo o la mezcla de cementos de diferentes tipos, clases de resistencia o fabricantes en la



elaboración del hormigón, pues se perdería la trazabilidad y las garantías del producto.

Se exigirá al contratista la realización de ensayos que demuestren de modo satisfactorio que los cementos cumplen las condiciones exigidas. Las partidas de cemento defectuoso serán retiradas de la obra en el plazo máximo de 8 días. Los métodos de ensayo serán los detallados en la RC-16. Se realizarán en laboratorios homologados.

Se tendrán en cuenta prioritariamente las determinaciones del Código Estructural en su artículo 28.

3.2. Agua

EL agua utilizada, tanto para el amasado como para el curado del hormigón en obra, no debe contener ningún ingrediente perjudicial en cantidades tales que afecten a las propiedades del hormigón o a la protección de las armaduras frente a la corrosión.

En general, pueden emplearse todas las aguas sancionadas como aceptables por la práctica.

Las características de la misma se definen en el artículo 29 del Código Estructural.

El agua de amasado ha de cumplir con las siguientes especificaciones:

- Exponente de hidrógeno, pH, según UNE 83952.
- Sulfatos (en general), expresado en SO_4^{2-} , según UNE 83956.
- Sulfatos (cementos SRC y SR), expresado en SO_4^{2-} , según UNE 83956.
- Ion cloruro en hormigón pretensado, hormigón armado y hormigón en masa con armaduras para evitar fisuración, según UNE 83958.
- Alcalis, que se podrá realizar mediante la técnica de fotometría de llama o espectroscopia de masa con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS).
- Sustancias disueltas, según UNE 83957.
- Hidratos de carbono, según UNE 83959.
- Sustancias orgánicas solubles en éter, según UNE 83960.

3.3. Áridos

3.3.1. Generalidades

La naturaleza de los áridos y su preparación serán tales que permitan garantizar la adecuada resistencia y durabilidad del hormigón que con ellos se fabrica, así como las restantes características que se exijan en éste en el pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto.

Como áridos para la fabricación de hormigones pueden emplearse arenas y gravas existentes en yacimientos naturales, machacados u otros productos cuyo empleo se encuentre sancionado por la práctica o resulte aconsejable como consecuencia de estudios realizados en un laboratorio oficial. En cualquier caso cumplirá las condiciones del Código Estructural (artículo 30).

Los áridos deben tener marcado CE según norma UNE-EN 12620, y las propiedades definidas en la declaración

de prestaciones (DdP) deberán cumplir lo establecido en el artículo 30.1 del Código Estructural.

En la fabricación de hormigones pueden emplearse áridos gruesos (gravas) y áridos finos (arenas), según UNE-EN 12620, rodados o procedentes de rocas machacadas, así como escorias de alto horno enfriadas por aire o áridos reciclados, todos ellos según UNE-EN 12620 y, en general, cualquier otro tipo de árido cuya evidencia de buen comportamiento haya sido establecido como apto por la práctica y se justifique adecuadamente.

En el caso de utilizar escorias de horno alto enfriadas por aire, se seguirá lo establecido en el artículo 30.9 del Código Estructural.

En el caso de utilizar áridos reciclados, se seguirá lo establecido en el apartado 30.8 del Código Estructural, mientras que para el caso de los áridos ligeros se ha de cumplir lo indicado en el Anejo 8 del citado Código Estructural.

Los áridos no deben descomponerse por los agentes exteriores a que estarán sometidos en obra. Por lo cual, no deben emplearse tales como los procedentes de rocas blandas, friables, porosas, etc., ni los que contengan nódulos de yeso, compuestos ferrosos, sulfuros oxidables, etc. En proporciones superiores a lo que permita el Código Estructural.

3.3.2. Designación de los áridos

Los áridos se designarán de acuerdo al formato d/D – IL según se establece en el artículo 30.2 del Código Estructural.

3.3.3. Limitación de tamaño, granulometría de los áridos, requisitos físico-mecánicos y requisitos químicos
Cumplirá las condiciones señaladas en el Código Estructural (artículos 30.3, 30.4, 30.6 y 30.7).

3.3.4. Árido grueso

La forma del árido grueso se expresará mediante su índice de lajas, entendido como el porcentaje en peso de áridos considerados como lajas según UNE-EN 933-3, y su valor debe ser inferior a 35. Como así se establece en el artículo 30.5 del Código Estructural.

3.3.5. Áridos reciclados

Según el artículo 30.8 del Código Estructural, se refine al árido reciclado como al árido obtenido como producto de una operación de reciclado de residuos de hormigón, permitiéndose únicamente la utilización de árido grueso reciclado y en los términos recogidos en el citado artículo 30.8 para la fabricación de hormigón reciclado (HR).

Para su utilización como hormigón estructural no se contemplan porcentajes de sustitución superiores al 20% en peso sobre el contenido total del árido grueso.

El árido grueso reciclado puede emplearse tanto para hormigón en masa como hormigón armado de resistencia característica no superior a 40 N/mm², quedando excluido su empleo en hormigón pretensado.

3.4. Aditivos

Se definen como aditivos, artículo 31 del Código Estructural, aquellas sustancias o productos que,



incorporados al hormigón antes del amasado (o durante el mismo o en el transcurso de un amasado suplementario) en una proporción no superior al 5% del peso del cemento, producen la modificación deseada, en estado fresco o endurecido, de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento.

En los hormigones armados o pretensados no podrán utilizarse como aditivos el cloruro cálcico, ni en general, productos en cuya composición intervengan cloruros, sulfuros, sulfitos u otros componentes químicos que puedan ocasionar o favorecer la corrosión de las armaduras.

En los elementos pretensados mediante armaduras ancladas exclusivamente por adherencia no podrán utilizarse aditivos que tengan carácter de aireantes.

En la fabricación de elementos con armaduras pretensas elaboradas con máquinas de fabricación continua la cantidad total de aire ocluido no excederá del 6% en volumen, medido según UNE-EN 12350-7.

En lo que se refiere al ion cloruro se ha de tener en cuenta lo prescrito en el apartado 33.1 del Código Estructural.

3.4.1. Tipos de Aditivos:

Se consideran únicamente los recogidos en la tabla 31.2 del Código Estructural. Éstos deberán tener marcado CE según la norma UNE-EN 934-2:

- Reductores de agua / Plastificantes.
- Reductores de agua de alta actividad / superplastificantes.
- Modificadores de fraguado / aceleradores, retardadores.
- Inclusores de aire.
- Multifuncionales.
- Moduladores de la viscosidad.

3.5. Adiciones

Según el artículo 32 del Código Estructural, se definen las adiciones como aquellos materiales inorgánicos, puzolánicos o con hidraulicidad latente que, finamente divididos, pueden ser añadidos al hormigón con el fin de mejorar alguna de sus propiedades o conferirse características especiales. Se recoge únicamente la utilización de las cenizas volantes y el humo de sílice como adiciones al hormigón en el momento de su fabricación.

Las cenizas volantes deben tener marcado CE (sujetas a la norma UNE-EN 450-1) y la declaración de prestaciones (DdP) deberá recoger los siguientes requisitos esenciales:

- Sulfatos (SO_3), según UNE-EN 196-2.
- Cloruros (Cl), según UNE-EN 196-2.
- Óxido de Calcio libre, según UNE-EN 451-1.
- Óxido de Calcio reactivo, según UNE-EN 451-1.
- Pérdida de calcificación, según UNE-EN 196-2 (categoría A).
- Finura, según UNE-EN 451-2.
- Demanda de agua, según UNE-EN 451-2 (Clase S).
- Índice de alcalinidad resistente, según UNE-EN 196-1.
- Estabilidad de volumen, según UNE-EN 196-3.

El humo de sílice no podrá contener elementos perjudiciales en cantidades tales que puedan afectar a la durabilidad del hormigón o causar fenómenos de corrosión de las armaduras.

El humo de sílice debe tener marcado CE (conforme a la norma UNE-EN 13263-1+A1) y la declaración de prestaciones (DdP) deberán recoger los siguientes requisitos esenciales:

- Dióxido de silicio (SiO_2), según UNE-EN 196-2.
- Pérdida por calcinación, según UNE-EN 196-2.
- Índice de actividad resistente, según UNE-EN 13263-1+A1.
- Silicio elemental, según ISO 9286.
- Óxido de calcio libre, CaO (I).
- Sulfatos, expresado en SO_3 .
- Cloruros (Cl), según UNE-EN 196-2.
- Superficie específica, según ISO 9277 (S_e , m^2/g).

3.6. Hormigones

Los componentes del hormigón deberán cumplir las prescripciones incluidas en los Artículos 28, 29, 30, 31 y 32 del Código Estructural. Además, el ion cloruro total aportado por los componentes no excederá de los siguientes límites:

- Obras de hormigón pretensado: 0,2% del peso del cemento.
- Obras de hormigón armado u obras de hormigón en masa que contenga armaduras para reducir la fisuración: 0,4% del peso del cemento.

En el caso de hormigones expuestos a ambientes XD o XS los valores anteriores se reducirán al 0,1% del peso de cemento para obras de hormigón pretensado y 0,2% para obras de hormigón armado.

La cantidad total de finos en el hormigón, resultante de sumar el contenido de partículas del árido grueso y del árido fino que pasan por el tamiz UNE 0,063 y la componente caliza, en su caso, del cemento, deberá ser inferior a 200 kg/m^3 . En el caso de emplearse agua reciclada, de acuerdo con el Artículo 29 del Código Estructural, dicho límite podrá incrementarse hasta 210 kg/m^3 . Exclusivamente para el caso de los hormigones autocompactantes, se recomienda que esta cantidad no sea mayor a 250 kg/m^3 .

3.6.1. Calidad

Las condiciones o características de calidad exigidas al hormigón han de referirse a su resistencia a compresión, su consistencia, tamaño máximo del árido, el tipo de ambiente a que va a estar expuesto, y, cuando sea preciso, las referentes a prescripciones relativas a aditivos y adiciones, resistencia a tracción del hormigón, absorción, peso específico, compacidad, desgaste, permeabilidad, aspecto externo, etc.

Tales condiciones deberán ser satisfechas por todas las unidades de producto componentes del total, entendiéndose por unidad de producto la cantidad de hormigón fabricada de una sola vez. Normalmente se asociará el concepto de unidad de producto a la amasada, si bien, en algún caso y a efectos de control, se podrá tomar en su lugar la cantidad de hormigón fabricado en un intervalo de tiempo determinado y en las



mismas condiciones esenciales. En el Código Estructural se emplea la palabra “amasada” como equivalente a unidad de producto. Cualquier característica de calidad medible de una amasada, vendrá expresada por el valor medio de un número de determinaciones (igual o superior a dos) de la característica de calidad en cuestión, realizadas sobre partes o porciones de la amasada.

3.6.2. Características mecánicas

La resistencia del hormigón a compresión se refiere a los resultados obtenidos en ensayos de rotura a compresión a 28 días, realizados sobre probetas cilíndricas de 15 cm. de diámetro y 30 cm. de altura, fabricadas, conservadas y ensayadas conforme a lo establecido en el Código Estructural. En el caso de que el control de calidad se efectúe mediante probetas cúbicas, se seguirá el procedimiento establecido en el apartado 57.3.2 del Código Estructural.

3.6.3. Valor mínimo de resistencia

En los hormigones estructurales, la resistencia de proyecto f_{ck} no será inferior a 20 N/mm² en hormigones en masa, ni a 25 N/mm² en hormigones armados o pretensados.

Cuando el proyecto establezca, de acuerdo con el apartado 57.5.6, del Código Estructural, un control indirecto de la resistencia en estructuras de hormigón en masa o armado para obras de ingeniería de pequeña importancia, en edificios de viviendas de una o dos plantas con luces inferiores a 6,0 metros, o en elementos que trabajen a flexión de edificios de viviendas de hasta cuatro plantas también con luces inferiores a 6,0 metros, deberá adoptarse un valor de la resistencia de cálculo a compresión f_{cd} no superior a 15 N/mm². En estos casos de nivel de control indirecto de la resistencia del hormigón, la cantidad mínima de cemento en la dosificación del hormigón también deberá cumplir los requisitos de la tabla 43.2.1.a. del Código Estructural.

3.6.4. Docilidad del hormigón

La docilidad del hormigón será la necesaria para que, con los métodos previstos de puesta en obra y compactación, el hormigón rodee las armaduras sin solución de continuidad con los recubrimientos exigibles y rellene completamente los encofrados sin que se produzcan coqueas.

En general, la docilidad del hormigón se valorará determinando su consistencia por medio del ensayo de asentamiento, según UNE-EN 12350-2 excepto para los hormigones autocompactantes.

Cuando se determine la docilidad de acuerdo con el ensayo de asentamiento, las distintas clases de consistencia serán las siguientes:

- Seca (S): 0-20 mm de asentamiento.
- Plástica (P): 30-40 mm de asentamiento.
- Blanda (B): 50-90 mm de asentamiento.
- Fluida (F): 100-150 mm de asentamiento.
- Líquida (L): 160-210 mm de asentamiento.

Salvo justificación específica en aplicaciones que así lo requieran, no se empleará las consistencias seca y plástica. Además, no podrá emplearse la consistencia

líquida, salvo que se consiga mediante el empleo de aditivos superplastificantes.

En obras de edificación, para pilares, forjados y vigas se utilizará un hormigón de consistencia fluida salvo justificación en contra. Esta prescripción se podría aplicar también a elementos de ingeniería civil, en especial los que pudiesen estar densamente armados, como por ejemplo tableros de puentes o estribos.

En el caso de hormigones autocompactantes se requiere determinar la autocompactabilidad a través de métodos de ensayo específicos que permiten evaluar las prestaciones del material en términos:

- De fluidez, mediante la determinación del escurrimiento, *SF*, según UNE-EN 12350-8,
- De viscosidad, mediante la determinación del tiempo t_{500} en ensayos de escurrimiento según UNE-EN 12350-8 o mediante la determinación del tiempo t_v en ensayos con embudo en V, según UNE-EN 12350-9,
- De capacidad de paso, determinada mediante el ensayo con caja en L, *PL*, según UNE-EN 12350-10, o mediante el ensayo con el anillo japonés, *PJ*, según UNE-EN 12350-12,
- De resistencia a la segregación, mediante la determinación del porcentaje de segregación, *SR*, según UNE-EN 12350-11.

3.6.5. Tipificación de los hormigones

Los hormigones se tipificarán de acuerdo con el siguiente formato: T-R / C / TM /A, que se recoge en el apartado 33.6 del Código Estructural.

En el caso de hormigones designados por dosificación, apartado 33.6 del Código Estructural, se usará el siguiente formato:

T - D - G/C/TM/A

3.7. Aceros

Se aceptarán aceros de alta adherencia que lleven el sello de conformidad CIETSID.

Estos aceros vendrán marcados de fábrica con señales indelebles para evitar confusiones en su empleo. No presentarán ovalaciones, grietas, sopladuras, ni mermas de sección superiores al 5%.

El módulo de elasticidad será igual o mayor que 210.000 N/mm².

3.7.1. Aceros para armaduras pasivas

Se entiende por armadura pasiva el resultado de montar, en el correspondiente molde o encofrado, el conjunto de armaduras normalizadas, ferrallas elaboradas o ferrallas armadas que, convenientemente solapadas y con los recubrimientos adecuados, tienen una función estructural.

Las características mecánicas, químicas y de adherencia de las armaduras pasivas serán las de las armaduras normalizadas o, en su caso, las de la ferralla armada que las componen.

Los diámetros nominales y geometrías de las armaduras serán las definidas en el presente proyecto.

Se definen los tipos de armaduras de acuerdo con las especificaciones incluidas en la tabla 35.1 del Código Estructural.



Se cumplirán los artículos 34 y 35 del Código Estructural. Los productos de acero que pueden emplearse para la elaboración de armaduras pasivas pueden ser:

- Barras rectas o rollos de acero corrugado o grafilado.
- Alambres de acero corrugado o grafilado.

No se permite el empleo de alambres lisos para la elaboración de armaduras pasivas, excepto como elementos de conexión de armaduras básicas electrosoldadas en celosía.

Los productos de acero para armaduras pasivas no presentarán defectos superficiales ni grietas.

Las secciones nominales y las masas nominales por metro serán las establecidas en la tabla 6 de la norma UNE-EN 10080. La sección equivalente no será inferior al 95,5 por 100 de la sección nominal.

Sólo podrán emplearse barras o rollos de acero soldable que sean conformes con UNE-EN 10080.

Los posibles diámetros nominales de las barras corrugadas serán los definidos en la serie siguiente, de acuerdo con la tabla 6 de la norma UNE-EN 10080:

6 – 8 – 10 – 12 – 14 – 16 – 20 – 25 – 32 y 40 mm

Salvo en el caso de mallas electrosoldadas o armaduras básicas electrosoldadas en celosía, se procurará evitar el empleo del diámetro de 6 mm cuando se aplique cualquier proceso de soldadura, resistente o no resistente, en la elaboración o montaje de la armadura pasiva.

En la tabla 34.2.a del Código Estructural se contemplan los tipos de acero soldable (barras y rollos) a utilizar.

En cuanto a los alambres de acero soldable se definen en el apartado 34.3. del Código Estructural.

3.7.1.1. Alambres corrugados o grafilados

Se entiende por alambres corrugados o grafilados de acero aquéllos que cumplen los requisitos establecidos para la fabricación de mallas electrosoldadas o armaduras básicas electrosoldadas en celosía, de acuerdo con lo establecido en UNE-EN 10080.

Se entiende por alambres lisos aquéllos que cumplen los requisitos establecidos para la fabricación de elementos de conexión en armaduras básicas electrosoldadas en celosía, de acuerdo con lo establecido en UNE-EN 10080.

Los diámetros nominales de los alambres serán los definidos en la tabla 6 de la norma UNE-EN 10080 y, por lo tanto, se ajustarán a la serie siguiente:

4 – 4,5 – 5 – 5,5 – 6 – 6,5 – 7 – 7,5 – 8 – 8,5 – 9 – 9,5 – 10 – 11 – 12 – 14 y 16 mm.

Los diámetros 4 y 4,5 mm sólo pueden utilizarse como armadura de reparto en la losa superior de hormigón vertido en obra en forjados unidireccionales. El diámetro mínimo de dicha armadura de reparto será 5 mm si ésta se tiene en cuenta a efectos de comprobación de los Estados Límite Últimos.

Las armaduras normalizadas se recogen en el apartado 35.2 del Código Estructural, contemplándose las mallas electrosoldadas (apartado 35.2.1) y las armaduras básicas electrosoldadas en celosía (apartado 35.2.2).

3.7.1.2. Malla electrosoldada

Se entiende por malla electrosoldada la armadura formada por la disposición de barras o alambres de acero, longitudinales y transversales, de diámetro nominal igual o diferente, que se cruzan entre sí perpendicularmente y cuyos puntos de contacto están unidos mediante soldadura eléctrica, realizada en un proceso de producción en serie en instalación industrial ajena a la obra, que sea conforme con lo establecido en UNE-EN 10080.

Se entiende por mallas estándar las mallas electrosoldadas fabricadas conforme a las geometrías definidas en las normas UNE 36060, UNE 36061 y UNE 36092, y recogidas en las tablas 35.2.1.b, 35.2.1.c y 35.2.1.d., del Código Estructural.

Se entiende por mallas especiales las mallas electrosoldadas, distintas a las incluidas en las anteriores tablas, fabricadas conforme a los requisitos especificados por el usuario.

Las mallas electrosoldadas serán fabricadas, exclusivamente, a partir de barras o alambres de acero (ambos corrugados o grafilados), que no se mezclarán entre sí y deberán cumplir las exigencias establecidas para los mismos en el Artículo 34 del Código Estructural.

3.7.1.3. Armadura básica electrosoldada en celosía
Se entiende por armadura básica electrosoldada en celosía a la estructura espacial formada por un cordón superior y uno o varios cordones inferiores, todos ellos de acero corrugado o grafilado, y una serie de elementos transversales, lisos o corrugados o grafilados, continuos o discontinuos y unidos a los cordones longitudinales mediante soldadura eléctrica, producida en serie en instalación industrial ajena a la obra, que sean conforme con lo establecido en UNE-EN 10080.

Los cordones longitudinales serán fabricados a partir de barras conformes con el apartado 34.2 o alambres, de acuerdo con el apartado 34.3, mientras que los elementos transversales de conexión se elaborarán a partir de alambres, conformes con el apartado 34.3. Apartados relativos al Código Estructural.

La designación de las armaduras básicas electrosoldadas en celosía será conforme con lo indicado en el apartado 5.3 de la norma UNE-EN 10080. Se definen los tipos de armaduras básicas electrosoldadas en celosía incluidas en la tabla 35.2.2 del Código Estructural.

3.7.1.4. Ferralla

Se define ferralla elaborada, cada una de las formas o disposiciones de elementos que resultan de aplicar, en su caso, los procesos de enderezado, de corte y de doblado a partir de acero conforme con el apartado 34.2 o, en su caso, a partir de mallas electrosoldadas conformes con el apartado 35.2.1. Referidos dichos apartados al Código Estructural.

Ferralla armada, es el resultado de aplicar a las ferrallas elaboradas los correspondientes procesos de armado, bien mediante atado por alambre o mediante soldadura no resistente.

Las especificaciones relativas a los procesos de elaboración, armado y montaje de las armaduras



pasivas se recogen en el Artículo 49 del Código Estructural.

3.7.2. Aceros para armaduras activas

Según se recoge en el artículo 36 del Código Estructural. Se definen los siguientes productos de acero para armaduras activas:

- Alambre: producto de sección maciza, liso o grafilado, que normalmente se suministra en rollo. En la tabla 36.1.a se indican las dimensiones nominales de las grafilas de los alambres (figura 36.1 – del Código Estructural) según la norma UNE 36094.
- Barra: producto de sección maciza que se suministra solamente en forma de elementos rectilíneos.
- Cordón: producto formado por un número de alambres arrollados helicoidalmente, con el mismo paso y el mismo sentido de torsión, sobre un eje ideal común (véase la norma UNE 36094). Los cordones se diferencian por el número de alambres, del mismo diámetro nominal y arrollados helicoidalmente sobre un eje ideal común y que pueden ser 2, 3 o 7 alambres. Los cordones pueden ser lisos o grafilados. Los cordones lisos se fabrican con alambres lisos. Los cordones grafilados se fabrican con alambres grafilados. En este último caso, el alambre central puede ser liso. Los alambres grafilados proporcionan mayor adherencia con el hormigón. En la tabla 36.1.b se indican las dimensiones nominales de las grafilas de los alambres para cordones según la norma UNE 36094.

Se denomina “tendón” al conjunto de las armaduras paralelas de pretensado que, alojadas dentro de un mismo conducto, se consideran en los cálculos como una sola armadura. En el caso de armaduras pretesas, recibe el nombre de tendón, cada una de las armaduras individuales.

El producto de acero para armaduras activas deberá estar libre de defectos superficiales producidos en cualquier etapa de su fabricación que impidan su adecuada utilización. Salvo una ligera capa de óxido superficial no adherente, no son admisibles alambres o cordones oxidados.

Artículo 4. Materiales auxiliares de hormigones

4.1. Productos para curado de hormigones

Se definen como productos para curado de hormigones hidráulicos los que, aplicados en forma de pintura pulverizada, depositan una película impermeable sobre la superficie del hormigón para impedir la pérdida de agua por evaporación.

El color de la capa protectora resultante será claro, preferiblemente blanco, para evitar la absorción del calor solar. Esta capa deberá ser capaz de permanecer intacta durante 7 días al menos después de una aplicación.

4.2. Desencofrantes

Se definen como tales a los productos que, aplicados en forma de pintura a los encofrados, disminuyen la adherencia entre éstos y el hormigón, facilitando la labor de desmoldeo. El empleo de estos productos deberá ser

expresamente autorizado, sin cuyo requisito no se podrán utilizar.

Artículo 5. Encofrados y cimbras

5.1. Encofrados en muros

Podrán ser de madera o metálicos, pero tendrán la suficiente rigidez, latiguillos y puntales para que la deformación máxima debida al empuje del hormigón fresco sea inferior a 1 cm respecto a la superficie teórica de acabado. Para medir estas deformaciones se aplicará sobre la superficie desencofrada una regla metálica de 2 m de longitud, recta si se trata de una superficie plana, o curva si ésta es reglada.

Los encofrados para hormigón visto necesariamente habrán de ser de madera.

5.2. Encofrado de pilares, vigas y arcos

Podrán ser de madera o metálicos, pero cumplirán la condición de que la deformación máxima de una arista encofrada respecto a la teórica, sea menor o igual de 1 cm de la longitud teórica. Igualmente deberán tener el confrontado lo suficientemente rígido para soportar los efectos dinámicos del vibrado del hormigón, de forma que el máximo movimiento local producido por esta causa sea de 5 mm.

Artículo 6. Aglomerantes, excluido el cemento

6.1. Cal hidráulica

Cumplirá las siguientes condiciones:

- Peso específico comprendido entre dos enteros y cinco décimas y dos enteros y ocho décimas.
- Densidad aparente superior a ocho décimas.
- Pérdida de peso por calcinación al rojo blanco menor del 12%.
- Fraguado entre 9 y 30 h.
- Residuo de tamiz 4900 mallas menor del 6%.
- Resistencia a la tracción de pasta pura a los 7 días superior a 8 kg/cm². Curado de la probeta un 1 día al aire y el resto en agua.
- Resistencia a la tracción del mortero normal a los 7 días superior a 4 kg/cm². Curado por la probeta 1 día al aire y el resto en agua.
- Resistencia a la tracción de pasta pura a los 28 días superior a 8 kg/cm² y también superior en 2 kg/cm² a la alcanzada al 7º día.

6.2. Yeso negro

- Deberá cumplir las siguientes condiciones:
- El contenido en sulfato cálcico semihidratado (SO₄Ca/2H₂O) será como mínimo del 50% en peso.
- El fraguado no comenzará antes de los 2 min y no terminará después de los 30 min.
- En tamiz 0,2 UNE 7050 no será mayor del 20%.
- En tamiz 0,08 UNE 7050 no será mayor del 50%.
- Las probetas prismáticas 4-4-16 cm de pasta normal ensayadas a flexión, con una separación entre apoyos de 10,67 cm, resistirán una carga central de 120 kg como mínimo.
- La resistencia a compresión determinada sobre medias probetas procedentes del ensayo a flexión, será como mínimo 75 kg/cm². La toma de muestras



se efectuará como mínimo en un 3% de los casos mezclando el yeso procedente hasta obtener por cuarteo una muestra de 10 kg como mínimo una muestra. Los ensayos se efectuarán según las normas UNE 7064 y UNE 7065.

Artículo 7. Materiales de cubierta

7.1. Tejas

Las tejas de cemento se obtendrán a partir de superficies cónicas o cilíndricas que permitan un solape de 70 a 150 mm o bien estarán dotadas de una parte plana con resaltes o dientes de apoyo para facilitar el encaje de las piezas. Deberán tener la aprobación del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo la autorización de uso del Ministerio de Obras Públicas, un Documento de Idoneidad Técnica de IETCC o una certificación de conformidad incluida en el Registro General del CTE del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo cumpliendo todas sus condiciones.

7.2. Impermeabilizantes

Las láminas impermeabilizantes podrán ser bituminosas, plásticas o de caucho. Las láminas y las imprimaciones deberán llevar una etiqueta identificativa indicando la clase de producto, el fabricante, las dimensiones y el peso por m². Dispondrán de Sello INCE/Marca AENOR y de homologación MICT, o de un sello o certificación de conformidad incluido en el registro del CTE del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo.

Podrán ser bituminosos, ajustándose a uno de los sistemas aceptados por el DB correspondiente del CTE, cuyas condiciones cumplirá, o, no bituminosos o bituminosos modificados teniendo concedido Documento de Idoneidad Técnica de IETCC, cumpliendo todas sus condiciones.

Artículo 8. Plomo y cinc

Salvo indicación de lo contrario, la ley mínima del plomo será de 99%.

Será de la mejor calidad, de primera fusión, dulce, flexible, laminado teniendo las planchas espesor uniforme, fractura brillante y cristalina, desechándose las piezas que tengan picaduras o presenten hojas, aberturas o abolladuras.

Artículo 9. Materiales para fábrica y forjados

9.1. Fábrica de ladrillo y bloque.

Las piezas utilizadas en la construcción de fábricas de ladrillo o bloque se ajustarán a lo estipulado en el artículo 4 del DB SE-F Seguridad Estructural Fábrica del CTE.

La resistencia normalizada a compresión mínima de las piezas será de 5 N/mm².

Los ladrillos serán de primera calidad según queda definido en el Pliego general de condiciones para la recepción de ladrillos cerámicos en las obras de construcción (RL-88). Las dimensiones de los ladrillos se medirán de acuerdo con la UNE 7267. La resistencia a compresión de los ladrillos será como mínimo:

- Ladrillos macizos = 100 kg/cm².
- Ladrillos perforados = 100 kg/cm².
- Ladrillos huecos = 50 kg/cm².

9.2. Viguetas prefabricadas

Las viguetas serán armadas o pretensadas, según la memoria de cálculo, y deberán poseer la autorización de uso correspondiente. No obstante, el fabricante deberá garantizar su fabricación y resultados por escrito, caso de que se requiera.

El fabricante deberá facilitar instrucciones adicionales para su utilización y montaje en caso de ser éstas necesarias siendo responsable de los daños que pudieran ocurrir por carencia de las instrucciones necesarias.

Tanto el forjado como su ejecución se adaptarán a la Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados (Código Estructural).

9.3. Bovedillas

Las características se deberán exigir directamente al fabricante a fin de ser aprobadas.

Artículo 10. Materiales para solados y alicatados

10.1. Baldosas y losas de terrazo

Se compondrán como mínimo de una capa de huella de hormigón o mortero de cemento, triturados de piedra o mármol, y, en general, colorantes y de una capa base de mortero menos rico y árido más grueso.

Los áridos estarán limpios y desprovistos de arcilla y materia orgánica. Los colorantes no serán orgánicos y se ajustarán a la UNE-EN 13748.

Las tolerancias en dimensiones serán:

- Para medidas superiores a 10 cm, cinco décimas de milímetro en más o en menos.
- Para medidas de 10 cm o menos tres décimas de milímetro en más o en menos.
- El espesor medido en distintos puntos de su contorno no variará en más de 1,5 mm y no será inferior a los valores indicados a continuación.
- Se entiende a estos efectos por lado, el mayor del rectángulo si la baldosa es rectangular, y si es de otra forma, el lado mínimo del cuadrado circunscrito.
- El espesor de la capa de la huella será uniforme y no menor en ningún punto de 7 mm, y en las destinadas a soportar tráfico o en las losas no menor de 8 mm.
- La variación máxima admisible en los ángulos, medida sobre un arco de 20 cm de radio, será de ±0,5 mm.
- La flecha mayor de una diagonal no sobrepasará el 4% de la longitud, en más o en menos.
- El coeficiente de absorción de agua determinado según la UNE-EN 13748 será menor o igual al 15%.
- El ensayo de desgaste se efectuará según la UNE-EN 13748, con un recorrido de 250 m en húmedo y con arena como abrasivo; el desgaste máximo admisible será de 4 mm y sin que aparezca la segunda capa tratándose de baldosas para interiores y de 3 mm en baldosas de aceras o destinadas a soportar tráfico.
- Las muestras para los ensayos se tomarán por azar, 20 unidades como mínimo del millar y 5 unidades por



cada millar más, desechando y sustituyendo por otras las que tengan defectos visibles, siempre que el número de desechadas no exceda del 5%.

10.2. Rodapiés de terrazo

Las piezas para rodapié estarán hechas de los mismos materiales que las del solado, tendrán un canto romo y sus dimensiones serán de 40x10 cm. Las exigencias técnicas serán análogas a las del material de solado.

10.3. Azulejos

Se definen como azulejos las piezas poligonales, con base cerámica recubierta de una superficie vidriada de colorido variado, que sirven para revestir paramentos.

Deberán cumplir las siguientes condiciones:

- Ser homogéneos, de textura compacta y resistentes al desgaste.
- Carecer de grietas, coqueras, planos y exfoliaciones y materias extrañas que pueden disminuir su resistencia y duración.
- Tener color uniforme y carecer de manchas eflorescentes.
- La superficie vitrificada será completamente plana, salvo cantos romos o terminales.
- Los azulejos estarán perfectamente moldeados y su forma y dimensiones serán las señaladas en los planos.
- La superficie de los azulejos será brillante, salvo que, explícitamente, se exija que la tengan mate.
- Los azulejos situados en las esquinas no serán lisos sino que presentarán, según los casos, un canto romo, largo o corto, o un terminal de esquina izquierda o derecha, o un terminal de ángulo entrante con aparejo vertical u horizontal.
- La tolerancia en las dimensiones será de un 1% en menos y un 0% en más, para los de primera clase.
- La determinación de los defectos en las dimensiones se hará aplicando una escuadra perfectamente ortogonal a una vertical cualquiera del azulejo, haciendo coincidir una de las aristas con un lado de la escuadra. La desviación del extremo de la otra arista respecto al lado de la escuadra es el error absoluto, que se traducirá a porcentual.

10.4. Baldosas y losas de mármol

Los mármoles deben de estar exentos de los defectos generales tales como pelos, grietas, coqueras, bien sean estos defectos debidos a trastornos de la formación de la masa o a la mala explotación de las canteras. Deberán estar perfectamente planos y pulimentados.

Las baldosas serán piezas de 50x50 cm como máximo y 3 cm de espesor. Las tolerancias en sus dimensiones se ajustarán a las expresadas en el párrafo 9.1 para las piezas de terrazo.

10.5. Rodapiés de mármol

Las piezas de rodapié estarán hechas del mismo material que las de solado; tendrán un canto romo y serán de 10 cm de alto. Las exigencias técnicas serán análogas a las del solado de mármol.

Artículo 11. Carpintería de taller

11.1. Puertas de madera

Las puertas de madera que se emplean en la obra deberán tener la aprobación del Ministerio de Industria, la autorización de uso del MOPU o un documento de idoneidad técnica expedido por el IETCC.

11.2. Cercos

Los cercos de los marcos interiores serán de primera calidad, con una escuadría mínima de 7x5 cm.

Artículo 12. Carpintería metálica

12.1. Ventanas y puertas

Los perfiles empleados en la confección de ventanas y puertas metálicas, serán especiales de doble junta y cumplirán todas las prescripciones legales. No se admitirán rebabas ni curvaturas, rechazándose los elementos que adolezcan de algún defecto de fabricación.

Artículo 13. Pintura

13.1. Pintura al temple

Estará compuesta por una cola disuelta en agua y un pigmento mineral finamente disperso con la adición de un antifermo tipo formol para evitar la putrefacción de la cola. Los pigmentos a utilizar podrán ser:

- Blanco de cinc, que cumplirá la UNE 48041.
- Litopón, que cumplirá la UNE 48040.
- Bióxido de titanio, según la UNE-EN ISO 591.

También podrán emplearse mezclas de estos pigmentos con carbonato cálcico y sulfato básico. Estos dos últimos productos, considerados como cargas, no podrán entrar en una proporción mayor del 25% del peso del pigmento.

13.2. Pintura plástica

Está compuesta por un vehículo formado por barniz adquirido y los pigmentos están constituidos de bióxido de titanio y colores resistentes.

Artículo 14. Colores, aceites, barnices, etc.

Todas las sustancias de uso general en la pintura deberán ser de excelente calidad.

Los colores reunirán las condiciones siguientes:

- Facilidad de extenderse y cubrir perfectamente las superficies.
- Fijeza en su tinta.
- Facultad de incorporarse al aceite, color, etc.
- Ser inalterables a la acción de los aceites o de otros colores.
- Insolubilidad en el agua.
- Los aceites y barnices reunirán las siguientes condiciones:
 - Ser inalterables por la acción del aire.
 - Conservar la fijeza de los colores.
 - Transparencia y color perfectos.
- Los colores estarán bien molidos y serán mezclados con el aceite, bien purificados y sin posos. Su color será amarillo claro, no admitiéndose el que, al usarlos, dejen manchas o ráfagas que indiquen la presencia de sustancias extrañas.

Artículo 15. Fontanería



15.1. Tubería de hierro galvanizado

La designación de pesos, espesores de pared, tolerancias, etc. se ajustarán a las correspondientes normas DIN. Los manguitos de unión serán de hierro maleable galvanizado con junta esmerilada.

15.2. Tubería de cemento centrifugado.

Si se utilizan en el saneamiento horizontal, el diámetro mínimo a utilizar será de 20 cm y los cambios de sección se realizarán mediante las arquetas correspondientes

15.3. Bajantes

Las bajantes tanto de aguas pluviales como fecales serán de fibrocemento o materiales plásticos que dispongan autorización de uso. No se admitirán bajantes de diámetro inferior a 90 mm.

Todas las uniones entre tubos y piezas especiales se realizarán mediante uniones Gibault.

15.4. Tubería de cobre

Si la red de distribución de agua y gas ciudad se realiza con tubería de cobre, se someterá a la citada tubería de gas a la presión de prueba exigida por la empresa suministradora, operación que se efectuará una vez acabado el montaje.

Las designaciones, pesos, espesores de pared y tolerancias se ajustarán a las normas correspondientes de la citada empresa.

Las válvulas a las que se someterá a una presión de prueba superior en un 50% a la presión de trabajo serán de marca aceptada por la empresa suministradora y con las características que ésta indique.

Artículo 16. Instalaciones eléctricas

16.1. Normas

Todos los materiales que se empleen en la instalación eléctrica, tanto de alta como de baja tensión deberán cumplir las prescripciones técnicas que dictan las normas internacionales CBI, los reglamentos en vigor, así como las normas técnico-prácticas de la compañía suministradora de energía.

16.2. Conductores de baja tensión

Los conductores de los cables serán de cobre desnudo recocido, normalmente con formación e hilo único hasta 6 mm².

La cubierta será de policloruro de vinilo tratada convenientemente de forma que asegure mejor resistencia al frío, a la laceración, a la abrasión respecto al policloruro de vinilo normal (PVC).

La acción sucesiva del sol y de la humedad no deben provocar la más mínima alteración de la cubierta. El relleno que sirve para dar forma al cable aplicado por extrusión sobre las almas del cableado debe ser de material adecuado de manera que pueda ser fácilmente separado para la confección de los empalmes y terminales.

Los cables denominados de "instalación", normalmente alojados en tubería protectora, serán de cobre con aislamiento de PVC. La tensión de servicio será de 750 V y la tensión de ensayo de 2.000 V.

La sección mínima que se utilizará en los cables destinados tanto a circuitos de alumbrado como de fuerza será de 1,5 m²

Los ensayos de tensión y de resistencia de aislamiento se efectuarán con la tensión de prueba de 2.000 V, de igual forma que en los cables anteriores.

16.3. Aparatos de alumbrado interior

Las luminarias se construirán con chasis de chapa de acero de calidad, con espesor o nervaduras suficientes para alcanzar la rigidez necesaria.

Los enchufes con toma de tierra tendrán esta toma dispuesta de forma que sea la primera en establecerse y la última en desaparecer y serán irreversibles, sin posibilidad de error en la conexión.

Prescripciones en cuanto a la ejecución por unidades de obra y Prescripciones sobre verificaciones en el edificio terminado.

CAPITULO V

PRESCRIPCIONES EN CUANTO A LA EJECUCIÓN POR UNIDADES DE OBRA

Artículo 17. Movimiento de tierras

17.1. Explanación y préstamos

Consiste en el conjunto de operaciones para excavar, evacuar, rellenar y nivelar el terreno, así como las zonas de préstamos que puedan necesitarse y el consiguiente transporte de los productos removidos a depósito o lugar de empleo.

17.1.1. Ejecución de las obras

Una vez terminadas las operaciones de desbroce del terreno, se iniciarán las obras de excavación, ajustándose a las alineaciones, pendientes, dimensiones y demás información contenida en los planos.

La tierra vegetal que se encuentre en las excavaciones, que no se hubiera extraído en el desbroce, se aceptará para su utilización posterior en protección de superficies erosionables.

En cualquier caso, la tierra vegetal extraída se mantendrá separada del resto de los productos excavados.

Todos los materiales que se obtengan de la excavación, excepción hecha de la tierra vegetal, se podrán utilizar en la formación de rellenos y demás usos fijados en este pliego y se transportarán directamente a las zonas previstas dentro del solar, o vertedero si no tuvieran aplicación dentro de la obra.

En cualquier caso, no se desechará ningún material excavado sin previa autorización. Durante las diversas etapas de la construcción de la explanación, las obras se mantendrán en perfectas condiciones de drenaje.

El material excavado no se podrá colocar de forma que represente un peligro para construcciones existentes, por presión directa o por sobrecarga de los rellenos contiguos.

Las operaciones de desbroce y limpieza se efectuarán con las precauciones necesarias, para evitar daño a las construcciones colindantes y existentes.

Los árboles a derribar caerán hacia el centro de la zona objeto de la limpieza, acotándose las zonas de



vegetación o arbolado destinadas a permanecer en su sitio.

Todos los tocones y raíces mayores de 10 cm de diámetro serán eliminados hasta una profundidad no inferior a 50 cm por debajo de la rasante de excavación y no menor de 15 cm por debajo de la superficie natural del terreno.

Todos los huecos causados por la extracción de tocones y raíces se rellenarán con material análogo al existente, compactándose hasta que su superficie se ajuste al nivel pedido.

No existe obligación por parte del constructor de trocear la madera a longitudes inferiores a 3 m.

La ejecución de estos trabajos se realizará produciendo las menores molestias posibles a las zonas habitadas próximas al terreno desbrozado.

17.1.2. Medición y abono

La excavación de la explanación se abonará por m³ realmente excavados, medidos por diferencia entre los datos iniciales, tomados inmediatamente antes de iniciar los trabajos, y los datos finales, tomados inmediatamente después de concluidos. La medición se hará sobre los perfiles obtenidos.

17.2. Excavación en zanjas y pozos

Consiste en el conjunto de operaciones necesarias para conseguir emplazamiento adecuado para las obras de fábrica y estructuras, y sus cimentaciones; comprenden zanjas de drenaje u otras análogas. Su ejecución incluye las operaciones de excavación, nivelación y evacuación del terreno y el consiguiente transporte de los productos removidos a depósito o lugar de empleo.

17.2.1. Ejecución de las obras

El contratista de las obras notificará con la antelación suficiente el comienzo de cualquier excavación, a fin de que se puedan efectuar las mediciones necesarias sobre el terreno inalterado. El terreno natural adyacente al de la excavación o se modificará ni renovará sin autorización.

La excavación continuará hasta llegar a la profundidad en que aparezca el firme y obtenerse una superficie limpia y firme, a nivel o escalonada, según se ordene. No obstante, la dirección facultativa podrá modificar la profundidad, si a la vista de las condiciones del terreno lo estimara necesario, a fin de conseguir una cimentación satisfactoria.

El replanteo se realizará de tal forma que existirán puntos fijos de referencia, tanto de cotas como de nivel, siempre fuera del área de excavación.

Se llevará en obra un control detallado de las mediciones de la excavación de las zanjas.

El comienzo de la excavación de zanjas se realizará cuando existan todos los elementos necesarios para su excavación, incluida la madera para una posible entibación.

La dirección facultativa indicará siempre la profundidad de los fondos de la excavación de la zanja, aunque sea distinta a la de proyecto, siendo su acabado limpio, a nivel o escalonado.

La contrata deberá asegurar la estabilidad de los taludes y paredes verticales de todas las excavaciones que realice, aplicando los medios de entibación, apuntalamiento, apeo y protección superficial del terreno que considere necesario, a fin de impedir desprendimientos, derrumbamientos y deslizamientos que pudieran causar daño a personas o a las obras, aunque tales medios no estuvieran definidos en el proyecto, o no hubiesen sido ordenados por la dirección facultativa.

La dirección facultativa podrá ordenar en cualquier momento la colocación de entibaciones, apuntalamientos, apeos y protecciones superficiales del terreno.

Se adoptarán por la contrata todas las medidas necesarias para evitar la entrada del agua, manteniendo libre de la misma la zona de excavación, colocándose las ataguías, drenajes, protecciones, cunetas, canaletas y conductos de desagüe que sean necesarios.

Las aguas superficiales deberán ser desviadas por la contrata y canalizadas antes de que alcancen los taludes, las paredes y el fondo de la excavación de la zanja.

El fondo de la zanja deberá quedar libre de tierra, fragmentos de roca, roca alterada, capas de terreno inadecuado o cualquier elemento extraño que pudiera debilitar su resistencia. Se limpiarán las grietas y hendiduras, rellenándose con material compactado u hormigón.

La separación entre el tajo de la máquina y la entibación no será mayor de vez y media la profundidad de la zanja en ese punto.

En el caso de terrenos meteorizables o erosionables por viento o lluvia, las zanjas nunca permanecerán abiertas más de 8 días, sin que sean protegidas o finalizados los trabajos.

Una vez alcanzada la cota inferior de la excavación de la zanja para cimentación, se hará una revisión general de las edificaciones medianeras, para observar si se han producido desperfectos y tomar las medidas pertinentes. Mientras no se efectúe la consolidación definitiva de las paredes y fondos de la zanja, se conservarán las entibaciones, apuntalamientos y apeos que hayan sido necesarios, así como las vallas, cerramientos y demás medidas de protección.

Los productos resultantes de la excavación de las zanjas, que sean aprovechables para un relleno posterior, se podrán depositar en montones situados a un solo lado de la zanja, y a una separación del borde de la misma de 0,60 m como mínimo, dejando libres, caminos, aceras, cunetas, acequias y demás pasos y servicios existentes.

17.2.2. Preparación de cimentaciones

La excavación de cimientos se profundizará hasta el límite indicado en el proyecto. Las corrientes o aguas pluviales o subterráneas que pudieran presentarse, se cegarán o desviarán en la forma y empleando los medios convenientes.



Antes de proceder al vertido del hormigón y la colocación de las armaduras de cimentación, se dispondrá de una capa de hormigón de limpieza de 10 cm de espesor debidamente nivelada.

El importe de esta capa de hormigón se considera incluido en los precios unitarios de cimentación.

17.2.3. Medición y abono

La excavación en zanjas o pozos se abonará por m³ realmente excavados, medidos por diferencia entre los datos iniciales, tomados inmediatamente antes de iniciar los trabajos, y los datos finales, tomados inmediatamente después de finalizados los mismos.

17.3. Relleno y apisonado de zanjas de pozos

Consiste en la extensión o compactación de materiales terrosos, procedentes de excavaciones anteriores o préstamos para relleno de zanjas y pozos.

17.3.1. Extensión y compactación

Los materiales de relleno se extenderán en tongadas sucesivas de espesor uniforme y sensiblemente horizontales. El espesor de estas tongadas será el adecuado a los medios disponibles para que se obtenga en todo el mismo grado de compactación exigido.

La superficie de las tongadas será horizontal o convexa con pendiente transversal máxima del 2%. Una vez extendida la tongada, se procederá a la humectación si es necesario.

El contenido óptimo de humedad se determinará en obra, a la vista de la maquinaria disponible y de los resultados que se obtengan de los ensayos realizados. En los casos especiales en que la humedad natural del material sea excesiva para conseguir la compactación prevista, se tomarán las medidas adecuadas procediendo incluso a la desecación por oreo, o por adición de mezcla de materiales secos o sustancias apropiadas (cal viva, etc.).

Conseguida la humectación más conveniente, posteriormente se procederá a la compactación mecánica de la tongada.

Sobre las capas en ejecución debe prohibirse la acción de todo tipo de tráfico hasta que se haya completado su composición.

Si el relleno tuviera que realizarse sobre terreno natural, se realizará en primer lugar el desbroce y limpieza del terreno, se seguirá con la excavación y extracción de material inadecuado en la profundidad requerida por el proyecto, escarificándose posteriormente el terreno para conseguir la debida trabazón entre el relleno y el terreno. Cuando el relleno se asiente sobre un terreno que tiene presencia de aguas superficiales o subterráneas, se desviarán las primeras y se captarán y conducirán las segundas, antes de comenzar la ejecución.

Si los terrenos fueran inestables, apareciera turba o arcillas blandas, se asegurará la eliminación de este material o su consolidación.

Una vez extendida la tongada se procederá a su humectación si es necesario, de forma que el humedecimiento sea uniforme.

El relleno del trasdós de los muros se realizará cuando éstos tengan la resistencia requerida y no antes de los 21 días si son de hormigón.

Después de haber llovido no se extenderá una nueva tongada de relleno o terraplén hasta que la última se haya secado, o se escarificará añadiendo la siguiente tongada más seca, hasta conseguir que la humedad final sea la adecuada.

Si por razones de sequedad hubiera que humedecer una tongada se hará de forma uniforme, sin que existan encharcamientos.

Se pararán los trabajos de terraplenado cuando la temperatura descienda de 2^o C.

17.3.2. Medición y abono

Las distintas zonas de los rellenos se abonarán por m³ realmente ejecutados, medidos por diferencia entre los datos iniciales, tomados inmediatamente antes de iniciarse los trabajos, y los datos finales, tomados inmediatamente después de compactar el terreno.

Artículo 18. Hormigones

18.1. Dosificación de hormigones

Corresponde al contratista efectuar el estudio granulométrico de los áridos, dosificación de agua y consistencia del hormigón de acuerdo con los medios y puesta en obra que emplee en cada caso, y siempre cumpliendo lo prescrito en el Código Estructural.

18.2. Fabricación de hormigones

En la confección y puesta en obra de los hormigones se cumplirán las prescripciones generales del Código Estructural.

Los áridos, el agua y el cemento deberán dosificarse automáticamente en peso. Las instalaciones de dosificación, lo mismo que todas las demás para la fabricación y puesta en obra del hormigón habrán de someterse a lo indicado en la normativa vigente.

Las tolerancias admisibles en la dosificación serán del 2% para el agua y el cemento, 5% para los distintos tamaños de áridos y 2% para el árido total. En la consistencia del hormigón se admitirá una tolerancia de 20 mm medida con el cono de Abrams.

La instalación de hormigonado será capaz de realizar una mezcla regular e íntima de los componentes proporcionando un hormigón de color y consistencia uniforme.

En la hormigonera deberá colocarse una placa en la que se haga constar la capacidad y la velocidad en revoluciones por minuto recomendadas por el fabricante, las cuales nunca deberán sobrepasarse.

Antes de introducir el cemento y los áridos en el mezclador, éste se habrá cargado de una parte de la cantidad de agua requerida por la masa completándose la dosificación de este elemento en un periodo de tiempo que no deberá ser inferior a 5 segundos ni superior a la tercera parte del tiempo de mezclado, contados a partir del momento en que el cemento y los áridos se hayan introducido en el mezclador. Antes de volver a cargar de



nuevo la hormigonera se vaciará totalmente su contenido.

No se permitirá volver a amasar en ningún caso hormigones que hayan fraguado parcialmente, aunque se añadan nuevas cantidades de cemento, áridos y agua.

18.3. Mezcla en obra

La ejecución de la mezcla en obra se hará de la misma forma que la señalada para la mezcla en central.

18.4. Transporte de hormigón

El transporte desde la hormigonera se realizará tan rápidamente como sea posible.

En ningún caso se tolerará la colocación en obra de hormigones que acusen un principio de fraguado o presenten cualquier otra alteración.

Al cargar los elementos de transporte no debe formarse con las masas montones cónicos, que favorecerían la segregación.

Cuando la fabricación de la mezcla se haya realizado en una instalación central, su transporte a obra deberá realizarse empleando camiones provistos de agitadores.

18.5. Puesta en obra del hormigón

Como norma general no deberá transcurrir más de 1 h entre la fabricación del hormigón, su puesta en obra y su compactación.

No se permitirá el vertido libre del hormigón desde alturas superiores a 1 m, quedando prohibido arrojarlo con palas a gran distancia, distribuirlo con rastrillo, o hacerlo avanzar más de 0,5 m de los encofrados.

Al verter el hormigón se removerá enérgica y eficazmente para que las armaduras queden perfectamente envueltas, cuidando especialmente los sitios en que se reúne gran cantidad de acero, y procurando que se mantengan los recubrimientos y la separación entre las armaduras.

En losas, el extendido del hormigón se ejecutará de modo que el avance se realice en todo su espesor.

En vigas, el hormigonado se hará avanzando desde los extremos, llenándolas en toda su altura y procurando que el frente vaya recogido, para que no se produzcan segregaciones y la lechada escurra a lo largo del encofrado.

18.6. Compactación del hormigón

La compactación de hormigones deberá realizarse por vibración. Los vibradores se aplicarán siempre de modo que su efecto se extienda a toda la masa, sin que se produzcan segregaciones. Si se emplean vibradores internos, deberán sumergirse longitudinalmente en la tongada subyacente y retirarse también longitudinalmente sin desplazarlos transversalmente mientras estén sumergidos en el hormigón. La aguja se introducirá y retirará lentamente, y a velocidad constante, recomendándose a este efecto que no se superen los 10 cm/s, con cuidado de que la aguja no toque las armaduras. La distancia entre los puntos

sucesivos de inmersión no será superior a 75 cm, y será la adecuada para producir en toda la superficie de la masa vibrada una humectación brillante, siendo preferible vibrar en pocos puntos prolongadamente. No se introducirá el vibrador a menos de 10 cm de la pared del encofrado.

18.7. Curado de hormigón

Durante el primer período de endurecimiento se someterá al hormigón a un proceso de curado según el tipo de cemento utilizado y las condiciones climatológicas del lugar.

En cualquier caso, deberá mantenerse la humedad del hormigón y evitarse todas las causas tanto externas, como sobrecarga o vibraciones, que puedan provocar la fisuración del elemento hormigonado. Una vez humedecido el hormigón se mantendrán húmedas sus superficies, mediante arpilleras, esterillas de paja u otros tejidos análogos durante 3 días si el conglomerante empleado fuese cemento Portland I-35, aumentándose este plazo en el caso de que el cemento utilizado fuese de endurecimiento más lento.

18.8. Juntas en el hormigonado

Las juntas podrán ser de hormigonado, contracción o dilatación, debiendo cumplir lo especificado en los planos.

Se cuidará que las juntas creadas por las interrupciones en el hormigonado queden normales a la dirección de los máximos esfuerzos de compresión, o donde sus efectos sean menos perjudiciales.

Cuando sean de temer los efectos debidos a la retracción, se dejarán juntas abiertas durante algún tiempo, para que las masas contiguas puedan deformarse libremente. El ancho de tales juntas deberá ser el necesario para que, en su día, puedan hormigonarse correctamente.

Al reanudar los trabajos se limpiará la junta de toda suciedad, lechada o árido que haya quedado suelto, y se humedecerá su superficie sin exceso de agua, aplicando en toda su superficie lechada de cemento antes de verter el nuevo hormigón. Se procurará alejar las juntas de hormigonado de las zonas en que la armadura esté sometida a fuertes tracciones.

18.9. Terminación de los paramentos vistos

Si no se prescribe otra cosa, la máxima flecha o irregularidad que pueden presentar los paramentos planos, medida respecto a una regla de dos 2 m de longitud aplicada en cualquier dirección será la siguiente:

- Superficies vistas: 6 mm.
- Superficies ocultas: 25 mm.

18.10. Limitaciones de ejecución

El hormigonado se suspenderá, como norma general, en caso de lluvias, adoptándose las medidas necesarias para impedir la entrada de la lluvia a las masas de hormigón fresco o lavado de superficies. Si esto llegara



a ocurrir, se habrá de picar la superficie lavada, regarla y continuar el hormigonado después de aplicar lechada de cemento.

Antes de hormigonar:

- Replanteo de ejes, cotas de acabado.
- Colocación de armaduras.
- Limpieza y humedecido de los encofrados.
- Durante el hormigonado:
 - El vertido se realizará desde una altura máxima de 1 m, salvo que se utilicen métodos de bombeo a distancia que impidan la segregación de los componentes del hormigón. Se realizará por tongadas de 30 cm. Se vibrará sin que las armaduras ni los encofrados experimenten movimientos bruscos o sacudidas, cuidando de que no queden coqueas y se mantenga el recubrimiento adecuado.
 - Se suspenderá el hormigonado cuando la temperatura descienda de 0° C, o lo vaya a hacer en las próximas 48 h. Se podrán utilizar medios especiales para esta circunstancia, pero bajo la autorización de la dirección facultativa.
 - No se dejarán juntas horizontales, pero si a pesar de todo se produjeren, se procederá a la limpieza, rascado o picado de superficies de contacto, vertiendo a continuación mortero rico en cemento, y hormigonando seguidamente. Si hubiesen transcurrido más de 48 h se tratará la junta con resinas epoxi.
 - No se mezclarán hormigones de distintos tipos de cemento.
- Después del hormigonado:
 - El curado se realizará manteniendo húmedas las superficies de las piezas hasta que se alcance un 70% de su resistencia.
 - Se procederá al desencofrado en las superficies verticales pasados 7 días, y de las horizontales no antes de los 21 días. Todo ello siguiendo las indicaciones de la dirección facultativa.

18.11. Medición y abono

El hormigón se medirá y abonará por m³ realmente vertido en obra, midiendo entre caras interiores de encofrado de superficies vistas. En las obras de cimentación que no necesiten encofrado se medirá entre caras de terreno excavado. En el caso de que en el cuadro de precios la unidad de hormigón se exprese por m², como es el caso de soleras, forjado, etc., se medirá de esta forma por m² realmente ejecutado, incluyéndose en las mediciones todas las desigualdades y aumentos de espesor debidas a las diferencias de la capa inferior. Si en el cuadro de precios se indicara que está incluido el encofrado, acero, etc., siempre se considerará la misma medición del hormigón por m³ o por m². En el precio van incluidos siempre los servicios y costos de curado de hormigón.

Artículo 19. Morteros

19.1. Dosificación de morteros

Se fabricarán los tipos de morteros especificados en las unidades de obra, indicándose cuál ha de emplearse en cada caso para la ejecución de las distintas unidades de obra.

19.2. Fabricación de morteros

Los morteros se fabricarán en seco, continuándose el batido después de verter el agua en la forma y cantidad fijada, hasta obtener una pasta homogénea de color y consistencia uniforme sin palomillas ni grumos.

19.3. Medición y abono.

El mortero suele ser una unidad auxiliar y, por tanto, su medición va incluida en las unidades a las que sirve: fábrica de ladrillos, enfoscados, pavimentos, etc. En algún caso excepcional se medirá y abonará por m³, obteniéndose su precio del cuadro de precios, si lo hay, u obteniendo un nuevo precio contradictorio.

Artículo 20. Encofrados

20.1. Construcción y montaje

Tanto las uniones como las piezas que constituyen los encofrados, deberán poseer la resistencia y la rigidez necesarias para que, con la marcha prevista de hormigonado, y especialmente bajo los efectos dinámicos producidos por el sistema de compactación exigido o adoptado, no se originen esfuerzos anormales en el hormigón, ni durante su puesta en obra, ni durante su periodo de endurecimiento, así como tampoco movimientos locales en los encofrados superiores a los 5 mm.

Los enlaces de los distintos elementos o planos de los moldes serán sólidos y sencillos, de modo que su montaje se verifique con facilidad.

Los encofrados de los elementos rectos o planos de más de 6 m de luz libre se dispondrán con la contraflecha necesaria para que, una vez encofrado y cargado el elemento, éste conserve una ligera cavidad en el intradós.

Los moldes ya usados y que vayan a servir para unidades repetidas serán cuidadosamente rectificadas y limpiadas.

Los encofrados de madera se humedecerán antes del hormigonado, a fin de evitar la absorción del agua contenida en el hormigón, y se limpiarán especialmente los fondos dejándose aberturas provisionales para facilitar esta labor.

Las juntas entre las distintas tablas deberán permitir el entumecimiento de las mismas por la humedad del riego y del hormigón, sin que, sin embargo, dejen escapar la pasta durante el hormigonado, para lo cual se podrá realizar un sellado adecuado.

Se tendrán en cuenta los planos de la estructura y de despiece de los encofrados.

Confección de las diversas partes del encofrado:

Montaje según un orden determinado según sea la pieza a hormigonar: si es un muro primero se coloca una cara, después la armadura y, por último, la otra cara; si es en pilares, primero la armadura y después el encofrado, y



si es en vigas primero el encofrado y a continuación la armadura.

No se dejarán elementos separadores o tirantes en el hormigón después de desencofrar, sobre todo en ambientes agresivos.

Se anotará la fecha de hormigonado de cada pieza, con el fin de controlar su desencofrado.

El apoyo sobre el terreno se realizará mediante tablonos/durmientes.

Si la altura es excesiva para los puntales, se realizarán planos intermedios con tablonos colocados perpendicularmente a estos; las líneas de puntales inferiores irán arriostrados.

Se vigilará la correcta colocación de todos los elementos antes de hormigonar, así como la limpieza y humedecido de las superficies.

El vertido del hormigón se realizará a la menor altura posible.

Se aplicarán los desencofrantes antes de colocar las armaduras.

Los encofrados deberán resistir las acciones que se desarrollen durante la operación de vertido y vibrado, y tener la rigidez necesaria para evitar deformaciones, según las siguientes tolerancias:

Espesores en m	Tolerancia en mm
Hasta 0,10	2
De 0,11 a 0,20	3
De 0,21 a 0,40	4
De 0,41 a 0,60	6
De 0,61 a 1,00	8
Más de 1,00	10
Dimensiones horizontales o verticales entre ejes:	
Parciales	20
Totales	40
Desplomes:	
En una planta	10
En total	30

20.2. Apeos y cimbras. Construcción y montaje

Las cimbras y apeos deberán ser capaces de resistir su peso propio y el del elemento completo sustentado, así como otras sobrecargas accidentales que puedan actuar sobre ellas (operarios, maquinaria, viento, etc.). Las cimbras y apeos tendrán la resistencia y disposición necesaria para que en ningún momento los movimientos locales, sumados en su caso a los del encofrado sobrepasen los 5 mm, ni los de conjunto la milésima de la luz (1/1.000).

20.3. Desencofrado y descimbrado del hormigón

El desencofrado de costeros verticales de elementos de poco canto podrá efectuarse a 1 día de hormigonada la pieza, a menos que durante dicho intervalo se hayan producido bajas temperaturas y otras cosas capaces de alterar el proceso normal de endurecimiento del hormigón. Los costeros verticales de elementos de gran canto no deberán retirarse antes de los 2 días con las mismas salvedades apuntadas anteriormente, a menos que se emplee curado a vapor.

El descimbrado podrá realizarse cuando, a la vista de las circunstancias y temperatura, en el resultado de las pruebas de resistencia el elemento de construcción sustentado haya adquirido el doble de la resistencia necesaria para soportar los esfuerzos que aparezcan al descimbrar. El descimbrado se hará de modo suave y uniforme, recomendándose el empleo de cunas, gatos, cajas de arena y otros dispositivos, cuando el elemento a descimbrar sea de cierta importancia.

Condiciones de desencofrado:

- No se procederá al desencofrado hasta transcurrido un mínimo de 7 días para los soportes y 3 días para los demás casos, siempre con la aprobación de la dirección facultativa.
- Los tableros de fondo y los planos de apeo se desencofrarán siguiendo las indicaciones del Código Estructural, con la previa aprobación de la dirección facultativa. Se procederá al aflojado de las cuñas, dejando el elemento separado unos 3 cm durante 12 h, realizando entonces la comprobación de la flecha para ver si es admisible.
- Cuando el desencofrado sea dificultoso se regará abundantemente, también se podrá aplicar desencofrante superficial.
- Se apilarán los elementos de encofrado que se vayan a reutilizar, después de una cuidadosa limpieza.

20.4. Medición y abono

Los encofrados se medirán siempre por m² de superficie en contacto con el hormigón, no siendo de abono las obras o excesos de encofrado, así como los elementos auxiliares de sujeción o apeos necesarios para mantener el encofrado en una posición correcta y segura contra esfuerzos de viento, etc. En este precio se incluyen, además, los desencofrantes y las operaciones de desencofrado y retirada del material. En el caso de que en el cuadro de precios esté incluido el encofrado la unidad de hormigón, se entiende que tanto el encofrado como los elementos auxiliares y el desencofrado van incluidos en la medición del hormigón.

Artículo 21. Armaduras

21.1. Colocación, recubrimiento y empalme de armaduras

Todas estas operaciones se efectuarán de acuerdo con el Código Estructural.

21.2. Medición y abono

De las armaduras de acero empleadas en el hormigón armado se abonarán los kg realmente empleados, deducidos de los planos de ejecución, por medición de su longitud, añadiendo la longitud de los solapes de empalme, medida en obra y aplicando los pesos unitarios correspondientes a los distintos diámetros empleados.

En ningún caso se abonará con solapes un peso mayor del 5% del peso del redondo resultante de la medición efectuada en el plano sin solapes.



El precio comprenderá a la adquisición, los transportes de cualquier clase hasta el punto de empleo, el pesaje, la limpieza de armaduras, si es necesario, el doblado de las mismas, el izado, sustentación y colocación en obra, incluido el alambre para ataduras y separadores, la pérdida por recortes y todas cuantas operaciones y medios auxiliares sean necesarios.

Artículo 22. Estructuras de acero

Según lo prescrito en el Volumen IV del Código Estructural. Dimensionamiento y comprobación de estructuras de acero.

Los Anejos 22 a 29 son de aplicación en los proyectos de edificación y de obra civil en acero. Cumple con los principios y requisitos de seguridad estructural y aptitud al servicio de las estructuras, con las bases de cálculo y las comprobaciones establecidas en el Anejo 18 Bases de cálculo de estructuras. Estos anejos se ocupan únicamente de los requisitos de resistencia, aptitud al servicio, durabilidad y resistencia al fuego de estructuras de acero. No se consideran otros requisitos, como aislamiento térmico o acústico.

El Anejo 22 proporciona unas reglas básicas para aceros estructurales con un espesor mayor o igual a 3 mm ($t \geq 3$ mm). También proporciona disposiciones suplementarias para cálculos de estructuras metálicas en edificación. Los perfiles y chapas finas conformados en frío no están considerados en este anejo. No obstante, en el anejo 22 se tratan las siguientes materias:

- Apartado 1: Generalidades
- Apartado 2: Bases del diseño
- Apartado 3: Materiales
- Apartado 4: Durabilidad
- Apartado 5: Análisis estructural
- Apartado 6: Estados Límite Últimos
- Apartado 7: Estados Límite de Servicio

Los apartados 1 y 2 incluyen requisitos adicionales a los establecidos en el Anejo 18 de este Código Estructural. El apartado 3 incluye las propiedades de los materiales de los productos hechos con aceros estructurales de aleaciones bajas. El apartado 4 establece requisitos generales de durabilidad. El apartado 5 se refiere al análisis estructural de estructuras que para su análisis global se pueden modelizar sus elementos con suficiente precisión, como elementos lineales. El apartado 6 establece requisitos detallados para el cálculo de secciones y elementos. El apartado 7 establece requisitos para la aptitud al servicio.

22.1 Descripción

Sistema estructural realizado con elementos de acero laminado.

22.2 Condiciones previas

- Se dispondrá de zonas de acopio y manipulación adecuadas.
- Las piezas serán de las características descritas en el proyecto de ejecución.
- Se comprobará el trabajo de soldadura de las piezas compuestas realizadas en taller.

- Las piezas estarán protegidas contra la corrosión con pinturas adecuadas.

22.3 Componentes

- Perfiles de acero laminado.
- Perfiles conformados.
- Chapas y pletinas.
- Tornillos calibrados.
- Tornillos de alta resistencia.
- Tornillos ordinarios.
- Roblones.

22.4 Ejecución

- Limpieza de restos de hormigón, etc. de las superficies donde se procede al trazado de replanteos y soldadura de arranques.
- Trazado de ejes de replanteo.
- Se utilizarán calzos, apeos, pernos, sargentos y cualquier otro medio que asegure su estabilidad durante el montaje.
- Las piezas se cortarán con oxicorte o con sierra radial, permitiéndose el uso de cizallas para el corte de chapas.
- Los cortes no presentarán irregularidades ni rebabas.
- No se realizarán las uniones definitivas hasta haber comprobado la perfecta posición de las piezas.
- Los ejes de todas las piezas estarán en el mismo plano.
- Todas las piezas tendrán el mismo eje de gravedad.
- Uniones mediante tornillos de alta resistencia (anejo 26 del Código Estructural):
 - Se colocará una arandela, con bisel cónico, bajo la cabeza y bajo la tuerca.
 - La parte roscada de la espiga sobresaldrá de la tuerca por lo menos un filete.
 - Los tornillos se apretarán en un 80% en la primera vuelta, empezando por los del centro.
 - Los agujeros tendrán un diámetro 2 mm mayor que el nominal del tornillo.
- Uniones mediante soldadura (Anejo 26 del Código Estructural):
 - Se admiten los siguientes procedimientos:
 - Soldeo eléctrico manual, por arco descubierto con electrodo revestido.
 - Soldeo eléctrico automático, por arco en atmósfera gaseosa.
 - Soldeo eléctrico automático, por arco sumergido.
 - Soldeo eléctrico por resistencia.
 - Se prepararán las superficies a soldar realizando exactamente los espesores de garganta, las longitudes de soldado y la separación entre los ejes de soldadura en uniones discontinuas.
 - Los cordones se realizarán uniformemente, sin mordeduras ni interrupciones; después de cada cordón se eliminará la escoria con piqueta y cepillo.
 - Se prohíbe todo enfriamiento anormal por excesivamente rápido de las soldaduras.
 - Los elementos soldados para la fijación provisional de las piezas se eliminarán cuidadosamente con soplete, nunca a golpes. Los restos de soldaduras se eliminarán con radial o lima.



- Una vez inspeccionada y aceptada la estructura se procederá a su limpieza y protección antioxidante, para realizar por último el pintado.

22.5 Control

- Se controlará que las piezas recibidas se corresponden con las especificadas.
- Se controlará la homologación de las piezas cuando sea necesario.
- Se controlará la correcta disposición de los nudos y de los niveles de placas de anclaje.

22.6 Medición

Se medirá por kg de acero elaborado y montado en obra, incluidos despuntes. En cualquier caso, se seguirán los criterios establecidos en las mediciones.

22.7 Mantenimiento

Cada 3 años se realizará una inspección de la estructura para comprobar su estado de conservación y su protección antioxidante y contra el fuego.

Artículo 23. Estructuras de madera

Según lo prescrito en el CTE DB-SE-M

23.1 Descripción

Conjunto de elementos de madera que, unidos entre sí, constituyen la estructura de un edificio.

3.2 Condiciones previas

La madera a utilizar deberá reunir las siguientes condiciones:

- Color uniforme, carente de nudos y de medidas regulares, sin fracturas.
- No tendrá defectos ni enfermedades, putrefacción o carcomas.
- Estará tratada contra insectos y hongos.
- Tendrá un grado de humedad adecuado para sus condiciones de uso, si es desecada contendrá entre el 10 y el 15% de su peso en agua; si es madera seca pesará entre un 33 y un 35% menos que la verde.
- No se utilizará madera sin descortezar y estará cortada al hilo.

23.3 Componentes

- Madera.
- Clavos, tornillos, colas.
- Pletinas, bridas, chapas, estribos, abrazaderas.

23.4 Ejecución

Se construirán los entramados con piezas de las dimensiones y forma de colocación y reparto definidas en proyecto.

Los bridas estarán formadas por piezas de acero plano con secciones comprendidas entre 40x7 y 60x9 mm; los tirantes serán de 40 ó 50x9 mm y entre 40 y 70 cm. Tendrán un talón en su extremo que se introducirá en una pequeña mortaja practicada en la madera. Tendrán por lo menos tres pasadores o tirafondos.

No estarán permitidos los anclajes de madera en los entramados.

Los clavos se colocarán contrapeados, y con una ligera inclinación.

Los tornillos se introducirán por rotación y en orificio previamente practicado de diámetro muy inferior.

Los vástagos se introducirán a golpes en los orificios, y posteriormente clavados.

Toda unión tendrá por lo menos 4 clavos.

No se realizarán uniones de madera sobre perfiles metálicos, salvo que se utilicen sistemas adecuados mediante arpones, estribos, bridas, escuadras, y en general mediante piezas que aseguren un funcionamiento correcto, resistente, estable e indeformable.

23.5 Control

Se ensayarán a compresión, modulo de elasticidad, flexión, cortadura, tracción; se determinará su dureza, absorción de agua, peso específico y resistencia a ser hendida.

Se comprobará la clase, calidad y marcado, así como sus dimensiones.

Se comprobará su grado de humedad; si está entre el 20 y el 30%, se incrementarán sus dimensiones un 0,25% por cada 1% de incremento del contenido de humedad; si es inferior al 20%, se disminuirán las dimensiones un 0,25% por cada 1% de disminución del contenido de humedad.

23.6 Medición

El criterio de medición varía según la unidad de obra, por lo que se seguirán siempre las indicaciones expresadas en las mediciones.

23.7 Mantenimiento

Se mantendrá la madera en un grado de humedad constante del 20% aproximadamente.

Se observará periódicamente para prevenir el ataque de xilófagos.

Se mantendrán en buenas condiciones los revestimientos ignífugos y las pinturas o barnices.

Artículo 24. Estructuras mixtas hormigón - acero

Según lo prescrito en el Volumen V del Código Estructural. Dimensionamiento y comprobación de estructuras mixtas hormigón-acero.

Alcance de los Anejos 30 a 32. Los Anejos 30 a 32 son aplicables al proyecto de las estructuras mixtas y sus elementos mixtos en trabajos de edificación e ingeniería civil. Son conformes con los principios y requisitos relativos a la seguridad y la aptitud al servicio de las estructuras, establecidos en el Capítulo 3 del Código Estructural, así como en las bases de su cálculo y las comprobaciones dadas en el Anejo 18. Los Anejos 30 a 32 se ocupan únicamente de los requisitos de resistencia, aptitud al servicio, durabilidad y resistencia al fuego de estructuras mixtas. No se contemplan otros requisitos, como los relativos al aislamiento térmico o acústico. Los Anejos 30 a 32 están previstos ser utilizados conjuntamente con el resto de este Código Estructural.

El Anejo 30 proporciona unas bases generales para los proyectos de estructuras mixtas junto con reglas específicas para edificación. En este Anejo se tratan las siguientes materias:

Apartado 1: Generalidades

Apartado 2: Bases de cálculo



Apartado 3: Materiales

Apartado 4: Durabilidad

Apartado 5: Análisis estructural

Apartado 6: Estados Límite Últimos

Apartado 7: Estados Límite de Servicio

Apartado 8: Uniones mixtas en pórticos en edificación

Apartado 9: Losas mixtas con chapa nervada en edificación

La Normativa de referencia será la citadas en el Anejo 1 del Código Estructural.

En cuanto a las hipótesis. Además de las hipótesis generales del Anejo 18, se aplicarán aquellas dadas en el apartado 1.3 de los Anejos 19 y 22.

Artículo 25. Cantería

25.1 Descripción

Son elementos de piedra de distinto espesor, forma de colocación, utilidad, etc., utilizados en la construcción de edificios, muros, remates, etc.

Por su uso se pueden dividir en: chapado, mampostería, sillarejo, sillería, piezas especiales.

- Chapado

Revestido de otros elementos ya existentes con piedras de espesor medio, no tiene misión resistente sino solamente decorativa. Se puede utilizar tanto al exterior como al interior, con junta o sin ella. El mortero utilizado puede ser variado.

La piedra puede ir labrada o no, ordinaria, careada, etc.

- Mampostería

Muro realizado con piedras recibidas con morteros, que puede tener misión resistente o decorativa, y que por su colocación se denomina ordinaria, concertada y careada. Las piedras tienen forma más o menos irregular y con espesores desiguales. El peso estará comprendido entre 15 y 25 kg.

Se denomina:

A hueso: cuando las piezas se asientan sin interposición de mortero.

Ordinaria: cuando las piezas se asientan y reciben con mortero.

Tosca: cuando se emplean los mampuestos en bruto, presentando al frente la cara natural de cantera o la que resulta de la simple fractura del mampuesto con almahena.

Rejuntada: aquella cuyas juntas han sido rellenadas expresamente con mortero, bien conservando el plano de los mampuestos, o bien alterándolo. Esta denominación será independiente de que la mampostería sea ordinaria o en seco.

Careada: obtenida corrigiendo los salientes y desigualdades de los mampuestos.

Concertada: se obtiene cuando se labran los lechos de apoyo de los mampuestos; puede ser a la vez rejuntada, tosca, ordinaria o careada.

- Sillarejo

Muro realizado con piedras recibidas con morteros, que puede tener misión resistente o decorativa, que por su colocación se denomina ordinaria, concertada y careada. Las piedras tienen forma más o menos

irregular y con espesores desiguales. El peso de las piezas permitirá la colocación a mano.

- Sillería

Es la fábrica realizada con sillarejos, sillares o piezas de labra, recibidas con morteros, que puede tener misión resistente o decorativa. Las piedras tienen forma regular y con espesores uniformes. Necesitan útiles para su desplazamiento, teniendo una o más caras labradas. El peso de las piezas es de 75 a 150 kg.

- Piezas especiales

Elementos de piedra de utilidad variada, como jambas, dinteles, barandillas, albardillas, cornisas, canecillos, impostas, columnas, arcos, bóvedas y otros. Normalmente tienen misión decorativa, si bien en otros casos además tienen misión resistente.

25.2 Componentes

Chapado:

- Piedra de espesor entre 3 y 15 cm.
- Mortero de cemento y arena de río 1:4.
- Cemento CEM II/A-M 42,5 CEM II/B-V 32,5 R.
- Anclajes de acero galvanizado con formas diferentes.
- Mampostería y sillarejo:
- Piedra de espesor entre 20 y 50 cm.
- Forma irregular o lascas.
- Mortero de cemento y arena de río 1:4.
- Cemento CEM II/A-M 42,5 CEM II/B-V 32,5 R.
- Anclajes de acero galvanizado con formas diferentes.
- Posibilidad de encofrado por dentro de madera, metálico o ladrillo.

Sillería:

- Piedra de espesor entre 20 y 50 cm.
- Forma regular.
- Mortero de cemento y arena de río 1:4.
- Cemento CEM II/A-M 42,5 CEM II/B-V 32,5 R.
- Anclajes de acero galvanizado con formas diferentes.
- Posibilidad de encofrado por dentro de madera, metálico o ladrillo.
- Piezas especiales:
- Piedras de distinto grosor, medidas y formas.
- Forma regular o irregular.
- Mortero de cemento y arena de río 1:4 o morteros especiales.
- - Cemento CEM II/A-M 42,5 CEM II/B-V 32,5 R.
- Anclajes de acero galvanizado con formas diferentes.
- Posibilidad de encofrado por dentro de madera, metálico o ladrillo.

25.3 Condiciones previas

- Planos de proyecto donde se defina la situación, forma y detalles.
- Muros o elementos base terminados.
- Forjados o elementos que puedan manchar las canterías terminados.
- Colocación de piedras a pie de tajo.
- Andamios instalados.
- Puentes térmicos terminados.

25.4 Ejecución

- Extracción de la piedra en cantera y apilado y/o cargado en camión.



- Volcado de la piedra en lugar idóneo.
- Replanteo general.
- Colocación y aplomado de miras de acuerdo a especificaciones de proyecto y dirección facultativa.
- Tendido de hilos entre miras.
- Limpieza y humectación del lecho de la primera hilada.
- Colocación de la piedra sobre la capa de mortero.
- Acuñado de los mampuestos (según el tipo de fábrica, procederá o no).
- Ejecución de las mamposterías o sillares, tanteando con regla y plomada o nivel, rectificando su posición.
- Rejuntado de las piedras, si así se exigiese.
- Limpieza de las superficies.
- Protección de la fábrica recién ejecutada frente a la lluvia, heladas y temperaturas elevadas con plásticos u otros elementos.
- Regado al día siguiente.
- Retirada del material sobrante.
- Anclaje de piezas especiales.

25.5 Control

- Replanteo.
- Distancia entre ejes, a puntos críticos, huecos, etc.
- Geometría de los ángulos, arcos, muros apilastrados.
- Distancias máximas de ejecución de juntas de dilatación.
- Planeidad.
- Aplomado.
- Horizontalidad de las hiladas.
- Tipo de rejuntado exigible.
- Limpieza.
- Uniformidad de las piedras.
- Ejecución de piezas especiales.
- Grueso de juntas.
- Aspecto de los mampuestos: grietas, pelos, adherencias, síntomas de descomposición, fisuración, disgregación.
- Morteros utilizados.

25.6 Seguridad

Se cumplirá estrictamente lo que para estos trabajos establezca la Ordenanza General de Seguridad e Higiene el Trabajo.

Las escaleras o medios auxiliares estarán firmes, sin posibilidad de deslizamiento o caída.

En operaciones donde sea preciso, el oficial contará con la colaboración del ayudante.

Se utilizarán las herramientas adecuadas.

Se tendrá especial cuidado en no sobrecargar los andamios o plataformas.

Se utilizarán guantes y gafas de seguridad.

Se utilizará calzado apropiado.

Cuando se utilicen herramientas eléctricas, éstas estarán dotadas de grado de aislamiento II.

25.7 Medición

Los chapados se medirán por m², indicando espesores, o por m², no descontando los huecos inferiores a 2 m².

Las mamposterías y silleras se medirán por m², no descontando los huecos inferiores a 2 m².

Los solados se medirán por m².

Las jambas, albardillas, cornisas, canecillos, impostas, arcos y bóvedas se medirán por m lineales.

Las columnas se medirán por unidad, así como otros elementos especiales como: bolas, escudos, fustes, etc.

25.8 Mantenimiento

Se cuidará que los rejuntados estén en perfecto estado para evitar la penetración de agua.

Se vigilarán los anclajes de las piezas especiales.

Se evitará la caída de elementos desprendidos.

Se limpiarán los elementos decorativos con productos apropiados.

Se impermeabilizarán con productos idóneos las fábricas que estén en proceso de descomposición.

Se tratarán con resinas especiales los elementos deteriorados por el paso del tiempo.

Artículo 26. Albañilería

26.1. Fábrica de ladrillo

Los ladrillos se colocan según los aparejos presentados en el proyecto. Antes de colocarlos se humedecerán en agua. El humedecimiento deberá ser hecho inmediatamente antes de su empleo, debiendo estar sumergidos en agua 10 min al menos. Salvo especificaciones en contrario, el tendel debe tener un espesor de 10 mm.

Todas las hiladas deben quedar perfectamente horizontales y con la cara buena perfectamente plana, vertical y a plano con los demás elementos que deba coincidir. Para ello se hará uso de las miras necesarias, colocando la cuerda en las divisiones o marcas hechas en las miras.

Salvo indicación en contra se empleará un mortero de 250 kg de cemento I-35 por m³ de pasta.

Al interrumpir el trabajo, se quedará el muro en adaraja para trabar al día siguiente la fábrica con la anterior. Al reanudar el trabajo se regará la fábrica antigua limpiándola de polvo y repicando el mortero.

Las unidades en ángulo se harán de manera que se deje medio ladrillo de un muro contiguo, alternándose las hileras.

La medición se hará por m², según se expresa en el cuadro de precios. Se medirán las unidades realmente ejecutadas, descontándose los huecos.

Los ladrillos se colocarán siempre "a restregón".

Los cerramientos de más de 3,5 m de altura estarán anclados en sus 4 caras.

Los que superen la altura de 3,5 m estarán rematados por un zuncho de hormigón armado.

Los muros tendrán juntas de dilatación y de construcción. Las juntas de dilatación serán las estructurales, quedarán arriostradas y se sellarán con productos sellantes adecuados.

En el arranque del cerramiento se colocará una capa de mortero de 1 cm de espesor en toda la anchura del muro. Si el arranque no fuese sobre forjado, se colocará una lámina de barrera antihumedad.

En el encuentro del cerramiento con el forjado superior se dejará una junta de 2 cm que se rellenará



posteriormente con mortero de cemento, preferiblemente al rematar todo el cerramiento.

Los apoyos de cualquier elemento estructural se realizarán mediante una zapata y/o una placa de apoyo. Los muros conservarán durante su construcción los plomos y niveles de las llagas, y serán estancos al viento y a la lluvia.

Todos los huecos practicados en los muros irán provistos de su correspondiente cargadero.

Al terminar la jornada de trabajo, o cuando haya que suspenderla por las inclemencias del tiempo, se arriostarán los paños realizados y sin terminar.

Se protegerá de la lluvia la fábrica recientemente ejecutada.

Si ha helado durante la noche se revisará la obra del día anterior. No se trabajará mientras esté helando.

El mortero se extenderá sobre la superficie de asiento en cantidad suficiente para que la llaga y el tendel rebosen.

No se utilizarán piezas menores de $\frac{1}{2}$ ladrillo.

Los encuentros de muros y esquinas se ejecutarán en todo su espesor y en todas sus hiladas.

26.2. Tabicón de ladrillo hueco doble

Para la construcción de tabiques se emplearán tabicones huecos colocándolos de canto, con sus lados mayores formando los paramentos del tabique. Se mojarán inmediatamente antes de su uso. Se tomarán con mortero de cemento. Su construcción se hará con auxilio de miras y cuerdas y se rellenarán las hiladas perfectamente horizontales. Cuando en el tabique haya huecos se colocarán previamente los cercos que quedarán perfectamente aplomados y nivelados. Su medición se hará por m^2 de tabique realmente ejecutado.

26.3. Cítaras de ladrillo perforado y hueco doble

Se tomarán con mortero de cemento y con condiciones de medición y ejecución análogas a las descritas en el párrafo 28.2 para el tabicón.

26.4. Tabiques de ladrillo hueco sencillo

Se tomarán con mortero de cemento y con condiciones de ejecución y medición análogas en el párrafo 28.2.

26.5. Guarnecido y maestreado de yeso negro

Para ejecutar los guarnecidos se construirán unas muestras de yeso previamente que servirán de guía al resto del revestimiento. Para ello se colocarán renglones de madera bien rectos, espaciados a 1 m aproximadamente, sujetándolos con dos puntos de yeso en ambos extremos.

Los renglones deben estar perfectamente aplomados, guardando una distancia de 1,5 a 2 cm aproximadamente del paramento a revestir. Las caras interiores de los renglones estarán situadas en un mismo plano, para lo cual se tenderá una cuerda para los puntos superiores e inferiores de yeso, debiendo quedar aplomados en sus extremos. Una vez fijos los renglones se regará el paramento y se echará el yeso entre cada renglón y el paramento, procurando que quede bien relleno el hueco. Para ello, se seguirán lanzando pelladas de yeso al paramento pasando una

regla bien recta sobre las maestras, quedando enrasado el guarnecido con las maestras.

Las masas de yeso habrá que hacerlas en cantidades pequeñas para ser usadas inmediatamente y evitar su aplicación cuando esté "muerto". Se prohibirá tajantemente la preparación del yeso en grandes artesas con gran cantidad de agua para que vaya espesando según se vaya empleando.

Si el guarnecido va a recibir un guarnecido posterior, quedará con su superficie rugosa a fin de facilitar la adherencia del enlucido. En todas las esquinas se colocarán guardavivos metálicos de 2 m de altura. Su colocación se hará por medio de un renglón debidamente aplomado que servirá, al mismo tiempo, para hacer la maestra de la esquina.

La medición se hará por m^2 de guarnecido realmente ejecutado, deduciéndose huecos, incluyéndose en el precio todos los medios auxiliares, andamios, banquetas, etc., empleados para su construcción. En el precio se incluirán así mismo los guardavivos de las esquinas y su colocación.

26.6. Enlucido de yeso blanco

Para los enlucidos se usarán únicamente yesos blancos de primera calidad. Inmediatamente de amasado se extenderá sobre el guarnecido de yeso hecho previamente, extendiéndolo con la llana y apretando fuertemente hasta que la superficie quede completamente lisa y fina. El espesor del enlucido será de 2 a 3 mm. Es fundamental que la mano de yeso se aplique inmediatamente después de amasado para evitar que el yeso esté "muerto".

Su medición y abono será por m^2 de superficie realmente ejecutada. Si en el cuadro de precios figura el guarnecido y el enlucido en la misma unidad, la medición y abono correspondiente comprenderá todas las operaciones y medio auxiliares necesarios para dejar bien terminado y rematado tanto el guarnecido como el enlucido, con todos los requisitos prescritos en este pliego.

26.7. Enfoscados de cemento.

Los enfoscados de cemento se harán con cemento de 550 kg de cemento por m^3 de pasta en paramentos exteriores, y de 500 kg de cemento por m^3 en paramentos interiores, empleándose arena de río o de barranco, lavada para su confección.

Antes de extender el mortero se preparará el paramento sobre el cual haya de aplicarse.

En todos los casos se limpiarán bien de polvo los paramentos y se lavarán, debiendo estar húmeda la superficie de la fábrica antes de extender el mortero. La fábrica debe estar en su interior perfectamente seca. Las superficies de hormigón se picarán, regándolas antes de proceder al enfoscado.

Preparada así la superficie, se aplicará con fuerza el mortero sobre una parte del paramento por medio de la llana, evitando echar una porción de mortero sobre otra ya aplicada. Así se extenderá una capa que se irá regularizando al mismo tiempo que se coloca para lo cual se recogerá con el canto de la llana el mortero.



Sobre el revestimiento blando todavía se volverá a extender una segunda capa, continuando así hasta que la parte sobre la que se haya operado tenga conveniente homogeneidad. Al emprender la nueva operación habrá fraguado la parte aplicada anteriormente. Será necesario pues, humedecer sobre la junta de unión antes de echar sobre ellas las primeras llanas del mortero.

La superficie de los enfoscados debe quedar áspera para facilitar la adherencia del revoco que se echa sobre ellos. En el caso de que la superficie deba quedar fratasada se dará una segunda capa de mortero fino con el fratás.

Si las condiciones de temperatura y humedad lo requieren, a juicio de la dirección facultativa, se humedecerán diariamente los enfoscados, bien durante la ejecución o bien después de terminada, para que el fraguado se realice en buenas condiciones.

- Preparación del mortero:

Las cantidades de los diversos componentes necesarios para confeccionar el mortero vendrán especificadas en la documentación técnica; en caso contrario, cuando las especificaciones vengan dadas en proporción, se seguirán los criterios establecidos, para cada tipo de mortero y dosificación, en la tabla 5 de la NTE-RPE.

No se confeccionará mortero cuando la temperatura del agua de amasado exceda de la banda comprendida entre 5° C y 40° C.

El mortero se batirá hasta obtener una mezcla homogénea. Los morteros de cemento y mixtos se aplicarán a continuación de su amasado, en tanto que los de cal no se podrán utilizar hasta 5 h después.

Se limpiarán los útiles de amasado cada vez que se vaya a confeccionar un nuevo mortero.

- Condiciones generales de ejecución:

Antes de la ejecución del enfoscado se comprobará que: Las superficies a revestir no se verán afectadas, antes del fraguado del mortero, por la acción lesiva de agentes atmosféricos de cualquier índole o por las propias obras que se ejecutan simultáneamente.

Los elementos fijos como rejas, ganchos, cercos, etc. han sido recibidos previamente cuando el enfoscado ha de quedar visto.

Se han reparado los desperfectos que pudiera tener el soporte y éste se halla fraguado cuando se trate de mortero u hormigón.

- Durante la ejecución:

Se amasará la cantidad de mortero que se estime puede aplicarse en óptimas condiciones antes de que se inicie el fraguado; no se admitirá la adición de agua una vez amasado.

Antes de aplicar mortero sobre el soporte se humedecerá ligeramente éste, a fin de que no absorba agua necesaria para el fraguado.

En los enfoscados exteriores vistos, maestreados o no, y para evitar agrietamientos irregulares, será necesario hacer un despiezado del revestimiento en recuadros de lado no mayor de 3 m, mediante llagas de 5 mm de profundidad.

En los encuentros o diedros formados entre un paramento vertical y un techo, se enfoscará éste en primer lugar.

Cuando el espesor del enfoscado sea superior a 15 mm se realizará por capas sucesivas, sin que ninguna de ellas supere este espesor.

Se reforzarán, con tela metálica o malla de fibra de vidrio indesmallable y resistente a la alcalinidad del cemento, los encuentros entre materiales distintos, particularmente, entre elementos estructurales y cerramientos o particiones, susceptibles de producir fisuras en el enfoscado; dicha tela se colocará tensa y fijada al soporte con solape mínimo de 10 cm a ambos lados de la línea de discontinuidad.

En tiempo de heladas, cuando no quede garantizada la protección de las superficies, se suspenderá la ejecución; se comprobará, al reanudar los trabajos, el estado de aquellas superficies que hubiesen sido revestidas.

En tiempo lluvioso se suspenderán los trabajos cuando el paramento no esté protegido y las zonas aplicadas se protegerán con lonas o plásticos.

En tiempo extremadamente seco y caluroso y/o en superficies muy expuestas al sol y/o a vientos muy secos y cálidos, se suspenderá la ejecución.

- Después de la ejecución:

Transcurridas 24 h desde la aplicación del mortero se mantendrá húmeda la superficie enfoscada, hasta que el mortero haya fraguado.

No se fijarán elementos en el enfoscado hasta que haya fraguado totalmente y no antes de 7 días.

26.8. Formación de peldaños

Se construirán con ladrillo hueco doble tomado con mortero de cemento.

Artículo 27. Cubiertas. Formación de pendientes y faldones

27.1 Descripción

Trabajos destinados a la ejecución de los planos inclinados, con la pendiente prevista, sobre los que ha de quedar constituida la cubierta o cerramiento superior de un edificio.

27.2 Condiciones previas

- Documentación arquitectónica y planos de obra:

Planos de planta de cubiertas con definición del sistema adoptado para ejecutar las pendientes, la ubicación de los elementos sobresalientes de la cubierta, etc. Escala mínima 1:100.

Planos de detalle con representación gráfica de la disposición de los diversos elementos, estructurales o no, que conformarán los futuros faldones para los que no exista o no se haya adoptado especificación normativa alguna. Escala 1:20. Los símbolos de las especificaciones citadas se referirán a la norma NTE-QT y, en su defecto, a las señaladas por el fabricante.

Solución de intersecciones con los conductos y elementos constructivos que sobresalen de los planos de cubierta y ejecución de los mismos: shunts, patinillos, chimeneas, etc.



En ocasiones, según sea el tipo de faldón a ejecutar, deberá estar ejecutada la estructura que servirá de soporte a los elementos de formación de pendiente.

27.3 Componentes

Se admite una gama muy amplia de materiales y formas para la configuración de los faldones de cubierta, con las limitaciones que establece la normativa vigente y las que son inherentes a las condiciones físicas y resistentes de los propios materiales.

Sin entrar en detalles morfológicos o de proceso industrial, podemos citar, entre otros, los siguientes materiales:

- Madera.
- Acero.
- Hormigón.
- Cerámica.
- Cemento.
- Yeso.

27.4 Ejecución

La configuración de los faldones de una cubierta de edificio requiere contar con una disposición estructural para conformar las pendientes de evacuación de aguas de lluvia y un elemento superficial (tablero) que, apoyado en esa estructura, complete la formación de una unidad constructiva susceptible de recibir el material de cobertura e impermeabilización, así como de permitir la circulación de operarios en los trabajos de referencia. Formación de pendientes. Existen dos formas de ejecutar las pendientes de una cubierta:

- La estructura principal conforma la pendiente.
- La pendiente se realiza mediante estructuras auxiliares.

1. Pendiente conformada por la propia estructura principal de cubierta:

- a) Cerchas: estructuras trianguladas de madera o metálicas sobre las que se disponen, transversalmente, elementos lineales (correas) o superficiales (placas o tableros de tipo cerámico, de madera, prefabricados de hormigón, etc.). El material de cubrición podrá anclarse a las correas (o a los cabios que se hayan podido fijar a su vez sobre ellas) o recibirse sobre los elementos superficiales o tableros que se configuren sobre las correas.
- b) Placas inclinadas: placas resistentes alveolares que salvan la luz comprendida entre apoyos estructurales y sobre las que se colocará el material de cubrición o, en su caso, otros elementos auxiliares sobre los que clavarlo o recibirlo.
- c) Viguetas inclinadas: que apoyarán sobre la estructura de forma que no ocasionen empujes horizontales sobre ella o estos queden perfectamente contrarrestados. Sobre las viguetas podrá constituirse bien un forjado inclinado con entrevigado de bovedillas y capa de compresión de hormigón, o bien un tablero de madera, cerámico, de elementos prefabricados, de paneles o chapas metálicas perforadas, hormigón celular armado, etc. Las viguetas podrán ser de madera, metálicas

o de hormigón armado o pretensado; cuando se empleen de madera o metálicas llevarán la correspondiente protección.

2. Pendiente conformada mediante estructura auxiliar: Esta estructura auxiliar apoyará sobre un forjado horizontal o bóveda y podrá ejecutarse de modo diverso:

a) Tabiques conejeros: también llamados tabiques palomeros, se realizarán con fábrica aligerada de ladrillo hueco colocado a sardinel, recibida y rematada con maestra inclinada de yeso y contarán con huecos en un 25% de su superficie; se independizarán del tablero mediante una hoja de papel. Cuando la formación de pendientes se lleve a cabo con tabiquillos aligerados de ladrillo hueco sencillo, las limas, cumbresas, bordes libres, doblado en juntas estructurales, etc. se ejecutarán con tabicón aligerado de ladrillo hueco doble. Los tabiques o tabicones estarán perfectamente aplomados y alineados; además, cuando alcancen una altura media superior a 0,50 m, se deberán arriostrar con otros, normales a ellos. Los encuentros estarán debidamente enjarjados y, en su caso, el aislamiento térmico dispuesto entre tabiquillos será del espesor y la tipología especificados en la documentación técnica.

b) Tabiques con bloque de hormigón celular: tras el replanteo de las limas y cumbresas sobre el forjado, se comenzará su ejecución (similar a los tabiques conejeros) colocando la primera hilada de cada tabicón dejando separados los bloques $\frac{1}{4}$ de su longitud. Las siguientes hiladas se ejecutarán de forma que los huecos dejados entre bloques de cada hilada queden cerrados por la hilada superior.

Formación de tableros:

Cualquiera sea el sistema elegido, diseñado y calculado para la formación de las pendientes, se impone la necesidad de configurar el tablero sobre el que ha de recibirse el material de cubrición. Únicamente cuando éste alcance características relativamente autoportantes y unas dimensiones superficiales mínimas suele no ser necesaria la creación de tablero, en cuyo caso las piezas de cubrición irán directamente ancladas mediante tornillos, clavos o ganchos a las correas o cabios estructurales.

El tablero puede estar constituido, según indicábamos antes, por una hoja de ladrillo, bardos, madera, elementos prefabricados, de paneles o chapas metálicas perforadas, hormigón celular armado, etc. La capa de acabado de los tableros cerámicos será de mortero de cemento u hormigón que actuará como capa de compresión, rellenará las juntas existentes y permitirá dejar una superficie plana de acabado. En ocasiones, dicha capa final se constituirá con mortero de yeso.

Cuando aumente la separación entre tabiques de apoyo, como sucede cuando se trata de bloques de hormigón celular, cabe disponer perfiles en T metálicos, galvanizados o con otro tratamiento protector, a modo de correas, cuya sección y separación vendrán definidas



por la documentación de proyecto o, en su caso, las disposiciones del fabricante y sobre los que apoyarán las placas de hormigón celular, de dimensiones especificadas, que conformarán el tablero.

Según el tipo y material de cobertura a ejecutar, puede ser necesario recibir, sobre el tablero, listones de madera u otros elementos para el anclaje de chapas de acero, cobre o zinc, tejas de hormigón, cerámica o pizarra, etc. La disposición de estos elementos se indicará en cada tipo de cobertura de la que formen parte.

Artículo 28. Cubiertas planas. Azoteas

28.1 Descripción

Cubierta o techo exterior cuya pendiente está comprendida entre el 1% y el 15% que, según el uso, pueden ser transitables o no transitables; entre éstas, por sus características propias, cabe citar las azoteas ajardinadas.

Pueden disponer de protección mediante barandilla, balaustrada o antepecho de fábrica.

28.2 Condiciones previas

- Planos acotados de obra, con definición de la solución constructiva adoptada.
- Ejecución del último forjado o soporte, bajantes, petos perimetrales...
- Limpieza de forjado para el replanteo de faldones y elementos singulares.
- Acopio de materiales y disponibilidad de equipo de trabajo.

28.3 Componentes

Los materiales empleados en la composición de estas cubiertas, naturales o elaborados, abarcan una gama muy amplia debido a las diversas variantes que pueden adoptarse tanto para la formación de pendientes, como para la ejecución de la membrana impermeabilizante, la aplicación de aislamiento, los solados o acabados superficiales, los elementos singulares, etc.

28.4 Ejecución

Siempre que se rompa la continuidad de la membrana de impermeabilización se dispondrán refuerzos. Si las juntas de dilatación no estuvieran definidas en proyecto, se dispondrán éstas en consonancia con las estructurales, rompiendo la continuidad de éstas desde el último forjado hasta la superficie exterior.

Las limahoyas, canalones y cazoletas de recogida de agua pluvial tendrán la sección necesaria para evacuarla sobradamente, calculada en función de la superficie que recojan y la zona pluviométrica de enclave del edificio. Las bajantes de desagüe pluvial no distarán más de 20 m entre sí.

Cuando las pendientes sean inferiores al 5% la membrana impermeable puede colocarse independiente del soporte y de la protección (sistema no adherido o flotante). Cuando no se pueda garantizar su permanencia en la cubierta, por succión de viento, erosiones de diversa índole o pendiente excesiva, la adherencia de la membrana será total.

La membrana será monocapa, en cubiertas invertidas y no transitables con protección de grava. En cubiertas transitables y en cubiertas ajardinadas se colocará membrana bicapa.

Las láminas impermeabilizantes se colocarán empezando por el nivel más bajo, disponiéndose un solape mínimo de 8 cm entre ellas. Dicho solape de lámina, en las limahoyas, será de 50 cm y de 10 cm en el encuentro con sumideros. En este caso, se reforzará la membrana impermeabilizante con otra lámina colocada bajo ella que debe llegar hasta la bajante y debe solapar 10 cm sobre la parte superior del sumidero. La humedad del soporte al hacerse la aplicación deberá ser inferior al 5%; en otro caso pueden producirse humedades en la parte inferior del forjado.

La imprimación será del mismo material que la lámina impermeabilizante. En el caso de disponer láminas adheridas al soporte no quedarán bolsas de aire entre ambos.

La barrera de vapor se colocará siempre sobre el plano inclinado que constituye la formación de pendiente. Sobre la misma, se dispondrá el aislamiento térmico. La barrera de vapor, que se colocará cuando existan locales húmedos bajo la cubierta (baños, cocinas,...), estará formada por oxiasfalto (1,5 kg/m²) previa imprimación con producto de base asfáltica o de pintura bituminosa.

28.5 Control

El control de ejecución se llevará a cabo mediante inspecciones periódicas en las que se comprobarán espesores de capas, disposiciones constructivas, colocación de juntas, dimensiones de los solapes, humedad del soporte, humedad del aislamiento, etc.

Acabada la cubierta, se efectuará una prueba de servicio consistente en la inundación de los paños hasta un nivel de 5 cm por debajo del borde de la impermeabilización en su entrega a paramentos. La presencia del agua no deberá constituir una sobrecarga superior a la de servicio de la cubierta. Se mantendrá inundada durante 24 h, transcurridas las cuales no deberán aparecer humedades en la cara inferior del forjado. Si no fuera posible la inundación, se regará continuamente la superficie durante 48 h, sin que tampoco en este caso deban aparecer humedades en la cara inferior del forjado.

Ejecutada la prueba, se procederá a evacuar el agua, operación en la que se tomarán precauciones a fin de que no lleguen a producirse daños en las bajantes.

En cualquier caso, una vez evacuada el agua, no se admitirá la existencia de remansos o estancamientos.

28.6 Medición

La medición y valoración se efectuará, generalmente, por m² de azotea, medida en su proyección horizontal, incluso entrega a paramentos y parte proporcional de remates, terminada y en condiciones de uso.

Se tendrán en cuenta, no obstante, los enunciados señalados para cada partida de la medición o presupuesto, en los que se definen los diversos factores que condicionan el precio descompuesto resultante.



28.7 Mantenimiento

Las reparaciones a efectuar sobre las azoteas serán ejecutadas por personal especializado con materiales y solución constructiva análogos a los de la construcción original.

No se recibirán sobre la azotea elementos que puedan perforar la membrana impermeabilizante como antenas, mástiles, etc., o dificulten la circulación de las aguas y su deslizamiento hacia los elementos de evacuación.

El personal que tenga asignada la inspección, conservación o reparación deberá ir provisto de calzado con suela blanda. Similares disposiciones de seguridad regirán en los trabajos de mantenimiento que en los de construcción.

Artículo 29. Aislamientos

29.1 Descripción

Son sistemas constructivos y materiales que, debido a sus cualidades, se utilizan en las obras de edificación para conseguir aislamiento térmico, corrección acústica, absorción de radiaciones o amortiguación de vibraciones en cubiertas, terrazas, techos, forjados, muros, cerramientos verticales, cámaras de aire, falsos techos o conducciones, e incluso sustituyendo cámaras de aire y tabiquería interior.

29.2 Componentes

Aislantes de corcho natural aglomerado.

Hay de varios tipos, según su uso:

- Acústico.
- Térmico.
- Antivibratorio.

Aislantes de fibra de vidrio.

Se clasifican por su rigidez y acabado:

- Fieltros ligeros:
 - Normal, sin recubrimiento.
 - Hidrofugado.
 - Con papel Kraft.
 - Con papel Kraft-aluminio.
 - Con papel alquitranado.
 - Con velo de fibra de vidrio.
- Mantas o fieltros consistentes:
 - Con papel Kraft.
 - Con papel Kraft-aluminio.
 - Con velo de fibra de vidrio.
 - Hidrofugado, con velo de fibra de vidrio.
 - Con un complejo de aluminio/malla de fibra de vidrio/PVC.
- Paneles semirrígidos:
 - Normal, sin recubrimiento.
 - Hidrofugado, sin recubrimiento.
 - Hidrofugado, con recubrimiento de papel Kraft pegado con polietileno.
 - Hidrofugado, con velo de fibra de vidrio.
- Paneles rígidos:
 - Normal, sin recubrimiento.
 - Con un complejo de papel Kraft/aluminio pegado con polietileno fundido.

- Con una película de PVC blanco pegada con cola ignífuga.
- Con un complejo de oxiasfalto y papel.
- De alta densidad, pegado con cola ignífuga a una placa de cartón-yeso.

Aislantes de lana mineral.

Se clasifican en:

- Fieltros:
 - Con papel Kraft.
 - Con barrera de vapor Kraft/aluminio.
 - Con lámina de aluminio.
- Paneles semirrígidos:
 - Con lámina de aluminio.
 - Con velo natural negro.
- Paneles rígidos:
 - Normal, sin recubrimiento.
 - Autoportante, revestido con velo mineral.
 - Revestido con betún soldable.

Aislantes de fibras minerales.

Se clasifican en:

- Termoacústicos.
- Acústicos.

Aislantes de poliestireno.

Pueden ser:

- Poliestireno expandido o Poliestireno extruido.
 - En fachadas con clasificación ante el fuego B-s₃d₂ o si son industriales C-s₃d₀ o superior.

Aislantes de polietileno.

Pueden ser:

- Láminas normales de polietileno expandido.
- Láminas de polietileno expandido autoextinguibles o ignífugas.

Aislantes de poliuretano.

Pueden ser:

- Espuma de poliuretano para proyección "in situ".
- Planchas de espuma de poliuretano.

Aislantes de vidrio celular.

Elementos auxiliares.

- Cola bituminosa, compuesta por una emulsión iónica de betún-caucho de gran adherencia, para la fijación del panel de corcho, en aislamiento de cubiertas inclinadas o planas, fachadas y puentes térmicos.
- Adhesivo sintético, a base de dispersión de copolímeros sintéticos, apto para la fijación del panel de corcho en suelos y paredes.
- Adhesivos adecuados para la fijación del aislamiento, con garantía del fabricante de que no contengan sustancias que dañen la composición o estructura del aislante de poliestireno, en aislamiento de techos y de cerramientos por el exterior.
- Mortero de yeso negro, para macizar las placas de vidrio celular, en puentes térmicos, paramentos interiores y exteriores, y techos.
- Malla metálica o de fibra de vidrio, para el agarre del revestimiento final en aislamiento de paramentos exteriores con placas de vidrio celular.
- Grava nivelada y compactada, como soporte del poliestireno en aislamiento sobre el terreno.



- Lámina geotextil de protección, colocada sobre el aislamiento en cubiertas invertidas.
- Anclajes mecánicos metálicos, para sujetar el aislamiento de paramentos por el exterior.
- Accesorios metálicos o de PVC, como abrazaderas de correa o grapas-clip, para sujeción de placas en falsos techos.

29.3 Condiciones previas

Ejecución o colocación del soporte o base que sostendrá al aislante.

La superficie del soporte deberá encontrarse limpia, seca y libre de polvo, grasas u óxidos. Deberá estar correctamente saneada y preparada, si así procediera, con la adecuada imprimación que asegure una adherencia óptima.

Los salientes y cuerpos extraños del soporte deben eliminarse, y los huecos importantes deben ser rellenados con un material adecuado.

En el aislamiento de forjados bajo el pavimento, se deberá construir todos los tabiques previamente a la colocación del aislamiento, o al menos levantarlos dos hiladas.

En caso de aislamiento por proyección, la humedad del soporte no superará a la indicada por el fabricante como máxima para la correcta adherencia del producto proyectado.

En rehabilitación de cubiertas o muros, se deberán retirar previamente los aislamientos dañados, pues pueden dificultar o perjudicar la ejecución del nuevo aislamiento.

29.4 Ejecución

Se seguirán las instrucciones del fabricante en lo que se refiere a la colocación o proyección del material.

Las placas deberán colocarse solapadas, a tope o a rompejuntas, según el material.

Cuando se aisle por proyección, el material se proyectará en pasadas sucesivas de 10 a 15 mm, permitiendo la total espumación de cada capa antes de aplicar la siguiente. Cuando haya interrupciones en el trabajo deberán prepararse las superficies adecuadamente para su reanudación. Durante la proyección se procurará un acabado con textura uniforme, que no requiera el retoque a mano. En aplicaciones exteriores se evitará que la superficie de la espuma pueda acumular agua, mediante la necesaria pendiente.

El aislamiento quedará bien adherido al soporte, manteniendo un aspecto uniforme y sin defectos.

Se deberá garantizar la continuidad del aislamiento, cubriendo toda la superficie a tratar, poniendo especial cuidado en evitar los puentes térmicos.

El material colocado se protegerá contra los impactos, presiones u otras acciones que lo puedan alterar o dañar. También se ha de proteger de la lluvia durante y después de la colocación, evitando una exposición prolongada a la luz solar.

El aislamiento irá protegido con los materiales adecuados para que no se deteriore con el paso del tiempo. El recubrimiento o protección del aislamiento se

realizará de forma que éste quede firme y lo haga duradero.

29.5 Control

Durante la ejecución de los trabajos deberán comprobarse, mediante inspección general, los siguientes apartados:

- Estado previo del soporte, el cual deberá estar limpio, ser uniforme y carecer de fisuras o cuerpos salientes.
- Homologación oficial AENOR, en los productos que la tengan.
- Fijación del producto mediante un sistema garantizado por el fabricante que asegure una sujeción uniforme y sin defectos.
- Correcta colocación de las placas solapadas, a tope o a rompejunta, según los casos.
- Ventilación de la cámara de aire, si la hubiera.

29.6 Medición

En general, se medirá y valorará el m² de superficie ejecutada en verdadera dimensión. En casos especiales, podrá realizarse la medición por unidad de actuación. Siempre estarán incluidos los elementos auxiliares y remates necesarios para el correcto acabado, como adhesivos de fijación, cortes, uniones y colocación.

29.7 Mantenimiento

Se deben realizar controles periódicos de conservación y mantenimiento cada 5 años, o antes si se descubriera alguna anomalía, comprobando el estado del aislamiento y, particularmente, si se apreciaran discontinuidades, desprendimientos o daños. En caso de ser preciso algún trabajo de reforma en la impermeabilización, se aprovechará para comprobar el estado de los aislamientos ocultos en las zonas de actuación. De ser observado algún defecto, deberá ser reparado por personal especializado, con materiales análogos a los empleados en la construcción original.

Artículo 30. Solados y alicatados

30.1. Solado de baldosas de terrazo

Las baldosas, bien saturadas de agua, a cuyo efecto deberán tenerse sumergidas en agua 1 h antes de su colocación; se asentarán sobre una capa de mortero de 400 kg/m³ confeccionado con arena, vertido sobre otra capa de arena bien igualada y apisonada, cuidando que el material de agarre forme una superficie continua de asiento y recibido de solado, y que las baldosas queden con sus lados a tope.

Terminada la colocación de las baldosas se las enlechará con lechada de cemento Portland, pigmentada con el color del terrazo, hasta que se llenen perfectamente las juntas, repitiéndose esta operación a las 48 h.

30.2. Solados.

El solado debe formar una superficie totalmente plana y horizontal, con perfecta alineación de sus juntas en todas direcciones. Colocando una regla de 2 m de longitud sobre el solado, en cualquier dirección; no deberán aparecer huecos mayores a 5 mm.



Se impedirá el tránsito por los solados hasta transcurridos 4 días como mínimo, y en caso de ser éste indispensable, se tomarán las medidas precisas para que no se perjudique al solado.

Los pavimentos se medirán y abonarán por m² de superficie de solado realmente ejecutada.

Los rodapiés y los peldaños de escalera se medirán y abonarán por metro lineal. El precio comprende todos los materiales, mano de obra, operaciones y medios auxiliares necesarios para terminar completamente cada unidad de obra con arreglo a las prescripciones de este pliego.

30.3. Alicatados de azulejos

Los azulejos que se emplean en el chapado de cada paramento o superficie, se entonarán perfectamente dentro de su color para evitar contrastes, salvo que expresamente se ordene lo contrario por la dirección facultativa.

El chapado estará compuesto por piezas lisas y las correspondientes y necesarias piezas especiales y de canto romo, y se sentará de modo que la superficie quede tersa y unida, sin alabeo ni deformación a junta seguida, formando las juntas de línea seguida en todos los sentidos, sin quebrantos ni desplomes.

Los azulejos, sumergidos en agua 12 h antes de su empleo, se colocarán con mortero de cemento, no admitiéndose el yeso como material de agarre.

Todas las juntas se rejuntarán con cemento blanco o de color pigmentado, según los casos, y deberán ser terminadas cuidadosamente.

La medición se hará por metro cuadrado realmente realizado, descontándose huecos y midiéndose jambas y mochetas.

Artículo 31. Carpintería de taller

La carpintería de taller se realizará en todo conforme a lo que aparece en los planos del proyecto. Todas las maderas estarán perfectamente rectas, cepilladas y lijadas y bien montadas a plano y escuadra, ajustando perfectamente las superficies vistas.

La carpintería de taller se medirá por m² de carpintería, entre lados exteriores de cercos, y del suelo al lado superior del cerco, en caso de puertas. En esta medición se incluye la medición de la puerta o ventana y de los cercos correspondientes más los tapajuntas y herrajes. La colocación de los cercos se abonará independientemente.

Condiciones técnicas:

Las hojas deberán cumplir las características siguientes, según los ensayos que figuran en el anexo III de la Instrucción de la marca de calidad para puertas planas de madera.

- Resistencia a la acción de la humedad.
- Comprobación del plano de la puerta.
- Comportamiento en la exposición de las dos caras a atmósfera de humedad diferente.
- Resistencia a la penetración dinámica.
- Resistencia a la flexión por carga concentrada en un ángulo.

- Resistencia del testero inferior a la inmersión.
- Resistencia al arranque de tornillos en los largueros, en un ancho no menor de 28 mm.

- Cuando el alma de las hojas resista el arranque de tornillos, no necesitará piezas de refuerzo. En caso contrario los refuerzos mínimos necesarios vienen indicados en los planos.

- En hojas canteadas, el picero irá sin cantear y permitirá un ajuste de 20 mm. Las hojas sin cantear permitirán un ajuste de 20 mm repartidos por igual en picero y cabecero.

- Los junquillos de la hoja vidriera serán como mínimo de 10x10 mm y cuando no esté canteado el hueco para el vidrio, sobresaldrán de la cara 3 mm como mínimo.

- En las puertas entabladas al exterior, sus tablas irán superpuestas o machihembradas de forma que no permitan el paso del agua.

- Las uniones en las hojas entabladas y de peinacería serán por ensamble, y deberán ir encoladas. Se podrán hacer empalmes longitudinales en las piezas, cuando éstas cumplan las condiciones descritas en la NTE-FCM.

- Cuando la madera vaya a ser barnizada, estará exenta de impurezas o azulado por hongos. Si va a ser pintada, se admitirá azulado en un 15% de la superficie.

Cercos de madera:

- Los largueros de la puerta de paso llevarán quicios con entrega de 5 cm, para el anclaje en el pavimento.

- Los cercos vendrán de taller montados, con las uniones de taller ajustadas, con las uniones ensambladas y con los orificios para el posterior atornillado en obra de las plantillas de anclaje. La separación entre ellas será no mayor de 50 cm y de los extremos de los largueros 20 cm debiendo ser de acero protegido contra la oxidación.

- Los cercos llegarán a obra con riostras y rastreles para mantener la escuadra, y con una protección para su conservación durante el almacenamiento y puesta en obra.

Tapajuntas:

- Las dimensiones mínimas de los tapajuntas de madera serán de 10x40 mm.

Artículo 32. Carpintería metálica

Para la construcción y montaje de elementos de carpintería metálica se observarán rigurosamente las indicaciones de los planos del proyecto.

Todas las piezas de carpintería metálica deberán ser montadas, necesariamente, por la casa fabricante o personal autorizado por la misma, siendo el suministrador el responsable del perfecto funcionamiento de todas y cada una de las piezas colocadas en obra.

Todos los elementos se harán en locales cerrados y desprovistos de humedad, asentadas las piezas sobre rastreles de madera, procurando que queden bien niveladas y no haya ninguna que sufra alabeo o torcedura alguna.

La medición se hará por m² de carpintería, midiéndose entre lados exteriores. En el precio se incluyen los



herrajes, junquillos, retenedores, etc., pero quedan exceptuadas la vidriera, pintura y colocación de cercos.

Artículo 33. Pintura

33.1. Condiciones generales de preparación del soporte
La superficie que se va a pintar debe estar seca, desengrasada, sin óxido ni polvo, para lo cual se empleará cepillos, sopletes de arena, ácidos y alices cuando sean metales.

Los poros, grietas, desconchados, etc., se llenarán con másticos o empastes para dejar las superficies lisas y uniformes. Se harán con un pigmento mineral y aceite de linaza o barniz y un cuerpo de relleno para las maderas. En los paneles se empleará yeso amasado con agua de cola, y sobre los metales se utilizarán empastes compuestos de 60-70% de pigmento (albayalde), ocre, óxido de hierro, litopón, etc. y cuerpos de relleno (creta, caolín, tiza, espato pesado), 30-40% de barniz copal o ámbar y aceite de maderas.

Los másticos y empastes se emplearán con espátula en forma de masilla; los líquidos con brocha o pincel o con el aerógrafo o pistola de aire comprimido. Los empastes, una vez secos, se pasarán con papel de lija en paredes y se alisarán con piedra pómez, agua y fieltro, sobre metales.

Antes de su ejecución se comprobará la naturaleza de la superficie a revestir, así como su situación interior o exterior y condiciones de exposición al roce o agentes atmosféricos, contenido de humedad y si existen juntas estructurales.

Estarán recibidos y montados todos los elementos que deben ir en el paramento, como cerco de puertas, ventanas, canalizaciones, instalaciones, etc.

Se comprobará que la temperatura ambiente no sea mayor de 28° C ni menor de 6° C.

El soleamiento no incidirá directamente sobre el plano de aplicación.

La superficie de aplicación estará nivelada y lisa.

En tiempo lluvioso se suspenderá la aplicación cuando el paramento no esté protegido.

Al finalizar la jornada de trabajo se protegerán perfectamente los envases y se limpiarán los útiles de trabajo.

33.2. Aplicación de la pintura

Las pinturas se podrán dar con pinceles y brocha, con aerógrafo, con pistola, (pulverizando con aire comprimido) o con rodillos.

Las brochas y pinceles serán de pelo de diversos animales, siendo los más corrientes el cerdo o jabalí, marta, tejón y ardilla. Podrán ser redondos o planos, clasificándose por números o por los gramos de pelo que contienen. También pueden ser de nylon.

Los aerógrafos o pistolas constan de un recipiente que contiene la pintura con aire a presión (1-6 atmósferas), el compresor y el pulverizador, con orificio que varía desde 0,2 mm hasta 7 mm, formándose un cono de 2 cm al metro de diámetro.

Dependiendo del tipo de soporte se realizarán una serie de trabajos previos, con objeto de que, al realizar la

aplicación de la pintura o revestimiento, consigamos una terminación de gran calidad.

Sistemas de preparación en función del tipo de soporte:

- Yesos y cementos, así como sus derivados:

Se realizará un lijado de las pequeñas adherencias e imperfecciones. A continuación, se aplicará una mano de fondo impregnado los poros de la superficie del soporte. Posteriormente se realizará un plastecido de faltas, repasando las mismas con una mano de fondo. Se aplicará seguidamente el acabado final con un rendimiento no menor del especificado por el fabricante.

- Madera:

Se procederá a una limpieza general del soporte seguida de un lijado fino de la madera.

A continuación, se dará una mano de fondo con barniz diluido mezclado con productos de conservación de la madera si se requiere, aplicado de forma que queden impregnados los poros.

Pasado el tiempo de secado de la mano de fondo, se realizará un lijado fino del soporte, aplicándose a continuación el barniz, con un tiempo de secado entre ambas manos y un rendimiento no menor de los especificados por el fabricante.

- Metales:

Se realizará un raspado de óxidos mediante cepillo, seguido inmediatamente de una limpieza manual esmerada de la superficie.

A continuación, se aplicará una mano de imprimación anticorrosiva, con un rendimiento no inferior al especificado por el fabricante.

Pasado el tiempo de secado se aplicarán dos manos de acabado de esmalte, con un rendimiento no menor al especificado por el fabricante.

33.3. Medición y abono.

La pintura se medirá y abonará en general, por m² de superficie pintada, efectuándose la medición en la siguiente forma:

Pintura sobre muros, tabiques y techos: se medirá descontando los huecos. Las molduras se medirán por superficie desarrollada.

Pintura sobre carpintería: se medirá por las dos caras, incluyéndose los tapajuntas.

Pintura sobre ventanales metálicos: se medirá una cara.

En los precios respectivos está incluido el coste de todos los materiales y operaciones necesarias para obtener la perfecta terminación de las obras, incluso la preparación, lijado, limpieza, plastecido, etc. y todos cuantos medios auxiliares sean precisos.

Artículo 34. Fontanería

34.1. Tubería de cobre

Toda la tubería se instalará de forma que presente un aspecto limpio y ordenado. Se usarán accesorios para todos los cambios de dirección y los tendidos de tubería se realizarán de forma paralela o en ángulo recto a los elementos estructurales del edificio.

La tubería estará colocada en su sitio sin necesidad de forzarla ni flexarla; irá instalada de forma que se



contraiga y dilate libremente sin deterioro para ningún trabajo ni para sí misma.

Las uniones se harán de soldadura blanda con capilaridad. Las grapas para colgar la conducción de forjado serán de latón espaciadas 40 cm.

34.2. Tubería de cemento centrifugado

Se realizará el montaje enterrado, rematando los puntos de unión con cemento. Todos los cambios de sección, dirección y acometida, se efectuarán por medio de arquetas registrables.

En la citada red de saneamiento se situarán pozos de registro con pates para facilitar el acceso.

La pendiente mínima será del 1% en aguas pluviales, y superior al 1,5% en aguas fecales y sucias.

La medición se hará por m lineal de tubería realmente ejecutada, incluyéndose en ella el lecho de hormigón y los corchetes de unión. Las arquetas se medirán a parte por unidades.

Artículo 35. Instalación eléctrica

La ejecución de las instalaciones se ajustará a lo especificado en los reglamentos vigentes y a las disposiciones complementarias que puedan haber dictado la Delegación de Industria en el ámbito de su competencia. Así mismo, en el ámbito de las instalaciones que sea necesario, se seguirán las normas de la compañía suministradora de energía.

Se cuidará en todo momento que los trazados guarden las:

- Maderamen, redes y nonas en número suficiente de modo que garanticen la seguridad de los operarios y transeúntes.

- Maquinaria, andamios, herramientas y todo el material auxiliar para llevar a cabo los trabajos de este tipo.

- Todos los materiales serán de la mejor calidad, con las condiciones que impongan los documentos que componen el Proyecto, o los que se determine en el transcurso de la obra, montaje o instalación.

a) CONDUCTORES ELÉCTRICOS

Serán de cobre electrolítico, aislados adecuadamente, siendo su tensión nominal de 0,6/1 kilovoltios para la línea repartidora y de 750 voltios para el resto de la instalación, debiendo estar homologados según las normas UNE citadas en la instrucción ITC-BT-06.

b) CONDUCTORES DE PROTECCIÓN

Serán de cobre y presentarán el mismo aislamiento que los conductores activos. Se podrán instalar por las mismas canalizaciones que éstos o bien en forma independiente, siguiéndose a este respecto lo que señalen las normas particulares de la empresa distribuidora de energía. La sección mínima de estos conductores será la obtenida utilizando la tabla 2 de la instrucción ITC-BT-19, apartado 2.3, en función de la sección de los conductores de la instalación.

c) IDENTIFICACIÓN DE LOS CONDUCTORES

Deberán poder ser identificados por el color de su aislamiento:

- Azul claro para el conductor neutro.
- Amarillo-verde para el conductor de tierra y protección.

- Marrón, negro y gris para los conductores activos o fases.

d) TUBOS PROTECTORES

Los tubos a emplear serán aislantes flexibles (corrugados) normales, con protección de grado 5 contra daños mecánicos, y que puedan curvarse con las manos, excepto los que vayan a ir por el suelo o pavimento de los pisos, canaladuras o falsos techos, que serán del tipo Preplás, Reflex o similar, y dispondrán de un grado de protección de 7.

Los diámetros interiores nominales mínimos, medidos en milímetros, para los tubos protectores, en función del número, clase y sección de los conductores que deben alojar, se indican en las tablas de la instrucción ITC-BT-21. Para más de 5 conductores por tubo, y para conductores de secciones diferentes a instalar por el mismo tubo, la sección interior de éste será, como mínimo, igual a tres veces la sección total ocupada por los conductores, especificando únicamente los que realmente se utilicen.

e) CAJAS DE EMPALME Y DERIVACIONES

Serán de material plástico resistente o metálicas, en cuyo caso estarán aisladas interiormente y protegidas contra la oxidación.

Las dimensiones serán tales que permitan alojar holgadamente todos los conductores que deban contener. Su profundidad equivaldrá al diámetro del tubo mayor más un 50% del mismo, con un mínimo de 40 mm de profundidad y de 80 mm para el diámetro o lado interior.

La unión entre conductores, se realizaran, siempre dentro de las cajas de empalme excepto en los casos indicados en el apartado 3.1 de la ITC-BT-21, no se realizará nunca por simple retorcimiento entre sí de los conductores, sino utilizando bornes de conexión, conforme a la instrucción ITC-BT-19.

f) APARATOS DE MANDO Y MANIOBRA

Son los interruptores y conmutadores, que cortarán la corriente máxima del circuito en que estén colocados sin dar lugar a la formación de arco permanente, abriendo o cerrando los circuitos sin posibilidad de tomar una posición intermedia. Serán del tipo cerrado y de material aislante.

Las dimensiones de las piezas de contacto serán tales que la temperatura no pueda exceder en ningún caso de 65° C en ninguna de sus piezas.

Su construcción será tal que permita realizar un número del orden de 10.000 maniobras de apertura y cierre, con su carga nominal a la tensión de trabajo. Llevarán marcada su intensidad y tensiones nominales, y estarán probadas a una tensión de 500 a 1.000 voltios.

g) APARATOS DE PROTECCIÓN

Son los disyuntores eléctricos, fusibles e interruptores diferenciales.

Los disyuntores serán de tipo magnetotérmico de accionamiento manual, y podrán cortar la corriente máxima del circuito en que estén colocados sin dar lugar a la formación de arco permanente, abriendo o cerrando los circuitos sin posibilidad de tomar una posición



intermedia. Su capacidad de corte para la protección del cortocircuito estará de acuerdo con la intensidad del cortocircuito que pueda presentarse en un punto de la instalación, y para la protección contra el calentamiento de las líneas se regularán para una temperatura inferior a los 60 °C. Llevarán marcadas la intensidad y tensión nominal de funcionamiento, así como el signo indicador de su desconexión. Estos automáticos magnetotérmicos serán de corte omnipolar, cortando la fase y neutro a la vez cuando actúe la desconexión.

Los interruptores diferenciales serán como mínimo de alta sensibilidad (30 mA) y además de corte omnipolar. Podrán ser "puros", cuando cada uno de los circuitos vayan alojados en tubo o conducto independiente una vez que salen del cuadro de distribución, o del tipo con protección magnetotérmica incluida cuando los diferentes circuitos deban ir canalizados por un mismo tubo.

Los fusibles a emplear para proteger los circuitos secundarios o en la centralización de contadores serán calibrados a la intensidad del circuito que protejan. Se dispondrán sobre material aislante e incombustible, y estarán contruidos de tal forma que no se pueda proyectar metal al fundirse. Deberán poder ser reemplazados bajo tensión sin peligro alguno, y llevarán marcadas la intensidad y tensión nominales de trabajo.

h) PUNTOS DE UTILIZACIÓN

Las tomas de corriente a emplear serán de material aislante, llevarán marcadas su intensidad y tensión nominales de trabajo y dispondrán, como norma general, todas ellas de puesta a tierra. El número de tomas de corriente a instalar, en función de los m² de la vivienda y el grado de electrificación, será como mínimo el indicado en la instrucción ITC-BT-25 en su apartado 4.

i) PUESTA A TIERRA

Las puestas a tierra podrán realizarse mediante placas de 500x500x3 mm o bien mediante electrodos de 2 m de longitud, colocando sobre su conexión con el conductor de enlace su correspondiente arqueta registrable de toma de tierra, y el respectivo borne de comprobación o dispositivo de conexión. El valor de la resistencia será inferior a 20 ohmios.

j) CONDICIONES GENERALES DE EJECUCIÓN DE LAS INSTALACIONES

Las cajas generales de protección se situarán en el exterior del portal o en la fachada del edificio, según la instrucción ITC-BT-13, artículo 1.1. Si la caja es metálica, deberá llevar un borne para su puesta a tierra. La centralización de contadores se efectuará en módulos prefabricados, siguiendo la instrucción ITC-BT-16 y la norma u homologación de la compañía suministradora, y se procurará que las derivaciones en estos módulos se distribuyan independientemente, cada una alojada en su tubo protector correspondiente.

El local de situación no debe ser húmedo, y estará suficientemente ventilado e iluminado. Si la cota del suelo es inferior a la de los pasillos o locales colindantes, deberán disponerse sumideros de desagüe para que, en

caso de avería, descuido o rotura de tuberías de agua, no puedan producirse inundaciones en el local. Los contadores se colocarán a una altura mínima del suelo de 0,50 m y máxima de 1,80 m, y entre el contador más saliente y la pared opuesta deberá respetarse un pasillo de 1,10 m, según la instrucción ITC-BT-16, artículo 2.2.1.

El tendido de las derivaciones individuales se realizará a lo largo de la caja de la escalera de uso común, pudiendo efectuarse por tubos empotrados o superficiales, o por canalizaciones prefabricadas, según se define en la instrucción ITC-BT-14.

Los cuadros generales de distribución se situarán en el interior de las viviendas, lo más cerca posible a la entrada de la derivación individual, a poder ser próximo a la puerta, y en lugar fácilmente accesible y de uso general. Deberán estar realizados con materiales no inflamables, y se situarán a una distancia tal que entre la superficie del pavimento y los mecanismos de mando haya 200 cm.

En el mismo cuadro se dispondrá un borne para la conexión de los conductores de protección de la instalación interior con la derivación de la línea principal de tierra. Por tanto, a cada cuadro de derivación individual entrará un conductor de fase, uno de neutro y un conductor de protección.

El conexionado entre los dispositivos de protección situados en estos cuadros se ejecutará ordenadamente, procurando disponer regletas de conexionado para los conductores activos y para el conductor de protección. Se fijará sobre los mismos un letrero de material metálico en el que debe estar indicado el nombre del instalador, el grado de electrificación y la fecha en la que se ejecutó la instalación.

La ejecución de las instalaciones interiores de los edificios se efectuará bajo tubos protectores, siguiendo preferentemente líneas paralelas a las verticales y horizontales que limitan el local donde se efectuará la instalación.

Deberá ser posible la fácil introducción y retirada de los conductores en los tubos después de haber sido colocados y fijados éstos y sus accesorios, debiendo disponer de los registros que se consideren convenientes.

Los conductores se alojarán en los tubos después de ser colocados éstos. La unión de los conductores en los empalmes o derivaciones no se podrá efectuar por simple retorcimiento o arrollamiento entre sí de los conductores, sino que deberá realizarse siempre utilizando bornes de conexión montados individualmente o constituyendo bloques o regletas de conexión, pudiendo utilizarse bridas de conexión. Estas uniones se realizarán siempre en el interior de las cajas de empalme o derivación.

No se permitirán más de tres conductores en los bornes de conexión.

Las conexiones de los interruptores unipolares se realizarán sobre el conductor de fase.



No se utilizará un mismo conductor neutro para varios circuitos.

Todo conductor debe poder seccionarse en cualquier punto de la instalación en la que derive.

Los conductores aislados colocados bajo canales protectores o bajo molduras se deberá instalarse de acuerdo con lo establecido en la instrucción ITC-BT-20.

Las tomas de corriente de una misma habitación deben estar conectadas a la misma fase. En caso contrario, entre las tomas alimentadas por fases distintas debe haber una separación de 1,5 m, como mínimo.

Las cubiertas, tapas o envolturas, manivela y pulsadores de maniobra de los aparatos instalados en cocinas, cuartos de baño o aseos, así como en aquellos locales en los que las paredes y suelos sean conductores, serán de material aislante.

El circuito eléctrico del alumbrado de la escalera se instalará completamente independiente de cualquier otro circuito eléctrico.

Para las instalaciones en cuartos de baño o aseos, y siguiendo la instrucción ITC-BT-27, se tendrán en cuenta los siguientes volúmenes y prescripciones para cada uno de ellos:

- Volumen 0

Comprende el interior de la bañera o ducha. Grado de protección IPX7. Cableado limitado al necesario para alimentar los aparatos eléctricos fijos situados en este volumen. No se permiten mecanismos. Aparatos fijos que únicamente pueden ser instalados en el volumen 0 y deben ser adecuados a las condiciones de este volumen.

- Volumen 1

Está limitado por el plano horizontal superior al volumen 0, el plano horizontal situado a 2,25 m por encima del suelo y el plano vertical alrededor de la bañera o ducha. Grado de protección IPX4; IPX2, por encima del nivel más alto de un difusor fijo e IPX5, en equipo eléctrico de bañeras de hidromasaje y en los baños comunes en los que se puedan producir chorros de agua durante la limpieza de los mismos. Cableado limitado al necesario para alimentar los aparatos eléctricos fijos situados en los volúmenes 0 y 1. No se permiten mecanismos, con la excepción de interruptores de circuitos MBTS alimentados a una tensión nominal de 12 V de valor eficaz en alterna o de 30 V en continua, estando la fuente de alimentación instalada fuera de los volúmenes 0, 1 y 2. Aparatos fijos alimentados a MBTS no superior a 12 V ca ó 30 V cc.

- Volumen 2

Limitado por el plano vertical exterior al volumen 1, el plano horizontal y el plano vertical exterior a 0,60 m y el suelo y el plano horizontal situado a 2,25 m por encima del suelo. Grado de protección igual que en el volumen 1. Cableado limitado al necesario para alimentar los aparatos eléctricos fijos situados en los volúmenes 0, 1 y 2, y la parte del volumen 3 situado por debajo de la bañera o ducha. No se permiten mecanismos, con la excepción de interruptores o bases de circuitos MBTS cuya fuente de alimentación este instalada fuera de los

volúmenes 0, 1 y 2. Aparatos fijos igual que en el volumen 1.

- Volumen 3

Limitado por el plano vertical exterior al volumen 2, el plano vertical situado a una distancia 2,4 m de éste y el suelo y el plano horizontal situado a 2,25 m de él. Grado de protección IPX5, en los baños comunes, cuando se puedan producir chorros de agua durante la limpieza de los mismos. Cableado limitado al necesario para alimentar los aparatos eléctricos fijos situados en los volúmenes 0, 1, 2 y 3. Se permiten como mecanismos las bases sólo si están protegidas bien por un transformador de aislamiento; o por MBTS; o por un interruptor automático de la alimentación con un dispositivo de protección por corriente diferencial de valor no superior a los 30 mA. Se permiten los aparatos fijos sólo si están protegidos bien por un transformador de aislamiento; o por MBTS; o por un dispositivo de protección de corriente diferencial de valor no superior a los 30 mA.

Las instalaciones eléctricas deberán presentar una resistencia mínima del aislamiento por lo menos igual a $1.000 \times U$ ohmios, siendo U la tensión máxima de servicio expresada en voltios, con un mínimo de 250.000 ohmios.

El aislamiento de la instalación eléctrica se medirá con relación a tierra y entre conductores mediante la aplicación de una tensión continua, suministrada por un generador que proporcione en vacío una tensión comprendida entre los 500 y los 1.000 voltios, y como mínimo 250 voltios, con una carga externa de 100.000 ohmios.

Se dispondrá punto de puesta a tierra accesible y señalizado, para poder efectuar la medición de la resistencia de tierra.

Todas las bases de toma de corriente situadas en la cocina, cuartos de baño, cuartos de aseo y lavaderos, así como de usos varios, llevarán obligatoriamente un contacto de toma de tierra. En cuartos de baño y aseos se realizarán las conexiones equipotenciales.

Los circuitos eléctricos derivados llevarán una protección contra sobretensiones, mediante un interruptor automático o un fusible de cortocircuito, que se deberán instalar siempre sobre el conductor de fase propiamente dicho, incluyendo la desconexión del neutro.

Los apliques del alumbrado situados al exterior y en la escalera se conectarán a tierra siempre que sean metálicos.

La placa de pulsadores del aparato de telefonía, así como el cerrojo eléctrico y la caja metálica del transformador reductor si éste no estuviera homologado con las normas UNE, deberán conectarse a tierra.

Los aparatos electrodomésticos instalados y entregados con las viviendas deberán llevar en sus clavijas de enchufe un dispositivo normalizado de toma de tierra. Se procurará que estos aparatos estén homologados según las normas UNE.



Los mecanismos se situarán a las alturas indicadas en las normas de instalaciones eléctricas de baja tensión.

Artículo 36. Precauciones a adoptar

Las precauciones a adoptar durante la construcción de la obra será las previstas por la Ordenanza de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Artículo 37. Control de la obra del hormigón

Además de los controles establecidos en anteriores apartados y los que en cada momento dictamine la dirección facultativa de las obras, se realizarán todos los que prescribe el Código Estructural:

- Resistencias característica $f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$.
- Consistencia fluida y acero B-500S.

El control de la obra será el indicado en los planos de proyecto.

CAPITULO VI

PRESCRIPCIONES SOBRE VERIFICACIONES EN EL EDIFICIO TERMINADO.

Artículo 38. Control de la obra terminada

De acuerdo con el CTE-Parte I en la obra terminada, bien sobre el edificio en su conjunto, o bien sobre sus diferentes partes y sus instalaciones, parcial o totalmente terminadas, deben realizarse, además de las que puedan establecerse con carácter voluntario, las comprobaciones y pruebas de servicio previstas en el proyecto u ordenadas por la dirección facultativa y las exigidas por la legislación aplicable.

El director de la ejecución de la obra recopilará la documentación del control realizado, verificando que es conforme con lo establecido en el proyecto, sus anejos y modificaciones; el constructor facilitará al director de obra y al director de la ejecución de la obra la documentación de los productos usados y, en su caso, de los controles realizados.

La documentación de calidad preparada por el constructor sobre cada una de las unidades de obra podrá servir, si así lo autorizara el director de la ejecución de la obra, como parte del control de calidad de la obra.

Artículo 39. Control de la comprobación de la conformidad de la estructura terminada

Una vez finalizada la estructura, en su conjunto o alguna de sus fases, la dirección facultativa velará para que se realicen las comprobaciones y pruebas de carga exigidas en su caso por la reglamentación vigente que le fuera aplicable, además de las que pueda establecer voluntariamente el proyecto o decidir la propia dirección facultativa; determinando la validez, en su caso, de los resultados obtenidos.

La documentación generada y las pruebas de carga se realizarán conforme al establecido en el artículo 23 del Código Estructural.

CAPITULO VII GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

Artículo 40. Gestión de los residuos de construcción y demolición

La gestión de residuos de construcción y demolición se realizará conforme al Real Decreto 105/2008.

La persona física o jurídica que ejecute la obra estará obligada a presentar a la propiedad de la misma un plan que refleje cómo llevará a cabo las obligaciones que le incumban en relación con los residuos de construcción y demolición que se vayan a producir en la obra. El plan, una vez aprobado por la dirección facultativa y aceptado por la propiedad, pasará a formar parte de los documentos contractuales de la obra.

El poseedor de residuos de construcción y demolición, cuando no proceda a gestionarlos por sí mismo, y sin perjuicio de los requerimientos del proyecto aprobado, estará obligado a entregarlos a un gestor de residuos o a participar en un acuerdo voluntario o convenio de colaboración para su gestión. Los residuos de construcción y demolición se destinarán preferentemente, y por este orden, a operaciones de reutilización, reciclado o a otras formas de valorización. El poseedor de los residuos estará obligado, mientras se encuentren en su poder, a mantenerlos en condiciones adecuadas de higiene y seguridad, así como a evitar la mezcla de fracciones ya seleccionadas que impida o dificulte su posterior valorización o eliminación.

Los residuos de construcción y demolición deberán separarse en las siguientes fracciones, cuando, de forma individualizada para cada una de dichas fracciones, la cantidad prevista de generación para el total de la obra supere las siguientes cantidades:

Hormigón: 80 t.

Ladrillos, tejas, cerámicos: 40 t.

Metal: 2 t.

Madera: 1 t.

Vidrio: 1 t.

Plástico: 0,5 t.

Papel y cartón: 0,5 t.

La separación en fracciones se llevará a cabo preferentemente por el poseedor de los residuos de construcción y demolición dentro de la obra en que se produzcan. Cuando por falta de espacio físico en la obra no resulte técnicamente viable efectuar dicha separación en origen, el poseedor podrá encomendar la separación de fracciones a un gestor de residuos en una instalación de tratamiento de residuos de construcción y demolición externa a la obra. En este último caso, el poseedor deberá obtener del gestor de la instalación documentación acreditativa de que éste ha cumplido, en su nombre, dicha obligación recogida en el presente apartado.



ANEXOS

ANEXO 1. CÓDIGO ESTRUCTURAL

1. Características generales

Ver cuadro en planos de estructura.

2. Ensayos de control exigibles al hormigón

Ver cuadro en planos de estructura.

3. Ensayos de control exigibles al acero

Ver cuadro en planos de estructura.

4. Ensayos de control exigibles a los componentes del hormigón

Ver cuadro en planos de estructura.

5. Cemento

Antes de comenzar el hormigonado o si varían las condiciones de suministro:

Se realizarán los ensayos físicos, mecánicos y químicos previstos en el RC-16.

Durante la marcha de la obra:

Cuando el cemento esté en posesión de un sello o marca de conformidad oficialmente homologado no se realizarán ensayos.

Cuando el cemento carezca de sello o marca de conformidad se comprobará al menos una vez cada 3 meses de obra; como mínimo 3 veces durante la ejecución de la obra; y cuando lo indique el director de obra, se comprobará al menos: pérdida al fuego, residuo insoluble, principio y fin de fraguado, resistencia a compresión y estabilidad de volumen, según RC-16.

Así mismo se tendrá en cuenta lo especificado en el artículo 28 del Código Estructural.

6. Agua de amasado

Antes de comenzar la obra si no se tiene antecedentes del agua que vaya a utilizarse, si varían las condiciones de suministro, y cuando lo indique el director de obras. Tendrá en cuenta lo establecido en el artículo 29 del Código Estructural.

7. Áridos

Antes de comenzar la obra si no se tienen antecedentes de los mismos, si varían las condiciones de suministro o se vayan a emplear para otras aplicaciones distintas a los ya sancionados por la práctica y siempre que lo indique el director de obra se realizarán los ensayos de identificación mencionados en los artículos correspondientes a las condiciones fisicoquímicas, fisicomecánicas y granulométricas del artículo 30 del Código Estructural.

ANEXO 2. DB-HE AHORRO DE ENERGÍA

1. Características exigibles a los productos:

Los edificios se caracterizan térmicamente a través de las propiedades higrotérmicas de los productos de construcción que componen su envolvente térmica.

Los productos para los cerramientos se definen mediante su conductividad térmica λ (W/m·K), su emisividad ϵ , si fuese particularmente relevante, y el factor de resistencia a la difusión del vapor de agua μ . En su caso, además, cuando proceda, se podrá definir la densidad ρ (kg/m³) y el calor específico c_p (J/kg·K).

Los productos para huecos (incluidas las puertas) se caracterizan mediante la transmitancia térmica U (W/m²·K) y el factor solar g^{\perp} para la parte semitransparente del hueco; por la transmitancia térmica U (W/m²·K) y la absorptividad α para los marcos de huecos (incluidas puertas); y por la transmitancia térmica lineal Ψ (W/mK) para los espaciadores.

Las carpinterías de los huecos se caracterizan, además, por la resistencia a la permeabilidad al aire en m³/h·m² o bien su clase, según lo establecido en la norma UNE-EN 12207:2017.

Los valores de diseño de las propiedades citadas deben obtenerse de valores declarados por el fabricante para cada producto.

El pliego de condiciones del proyecto debe incluir las características higrotérmicas de los productos utilizados en la envolvente térmica del edificio. Deben incluirse en la memoria los cálculos justificativos de dichos valores y consignarse éstos en el pliego.

En todos los casos se utilizarán valores térmicos de diseño, los cuales se pueden calcular a partir de los valores térmicos declarados según la norma UNE-EN ISO 10456:2012 y, complementariamente, la norma UNE-EN ISO 13786:2017, en el caso de productos de alta inercia térmica. En general y salvo justificación, los valores de diseño serán los definidos para una temperatura de 10°C y un contenido de humedad correspondiente al equilibrio con un ambiente a 23°C y 50 % de humedad relativa.

2. Características exigibles a los componentes de la envolvente térmica

Las características exigibles a los cerramientos y particiones interiores son las expresadas mediante su transmitancia térmica o , en componentes que no se describen adecuadamente a través de dicho parámetro, su resistencia térmica R (K·m²/W).

3. Ejecución

Las obras de construcción del edificio se ejecutarán con sujeción al proyecto y sus modificaciones autorizadas por el director de obra previa conformidad del promotor, a la legislación aplicable, a las normas de la buena práctica constructiva, y a las instrucciones del director de obra y del director de la ejecución de la obra, conforme a lo indicado en el artículo 7 de la Parte I del CTE.

4. Control de recepción en obra de productos

Antes de ejecutar la obra, deberán de indicarse las condiciones particulares de control para la recepción de los productos que forman los cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica, incluyendo los ensayos necesarios para comprobar que los mismos reúnen las características exigidas en los apartados anteriores, adjuntándose al presente pliego.

Debe comprobarse que los productos recibidos:



- a) corresponden a los especificados en el pliego de condiciones del proyecto;
- b) disponen de la documentación exigida;
- c) están caracterizados por las propiedades exigidas;
- d) han sido ensayados, cuando así se establezca en el pliego de condiciones o lo determine el director de la ejecución de la obra con el visto bueno del director de obra, con la frecuencia establecida.

El control debe seguir los criterios indicados en el artículo 7.2 de la Parte I del CTE y el CTE-DB-HE

5. Control de la ejecución de la obra

El control de la ejecución de las obras se realizará de acuerdo con las especificaciones del proyecto, sus anexos y modificaciones autorizados por el director de obra y las instrucciones del director de la ejecución de la obra, conforme a lo indicado en el artículo 7.3 de la Parte I del CTE y demás normativa vigente de aplicación.

Se comprobará que la ejecución de la obra se realiza de acuerdo con los controles y con la frecuencia de los mismos establecida en el pliego de condiciones del proyecto.

Cualquier modificación que pueda introducirse durante la ejecución de la obra quedará en la documentación de la obra ejecutada sin que en ningún caso dejen de cumplirse las condiciones mínimas señaladas en este Documento Básico.

En el Libro del Edificio se incluirá la documentación referente a las características de los productos, equipos y sistemas incorporados a la obra.

ANEXO 3. CTE DB-HR

1. Control de la recepción:

Deberá comprobarse que los productos recibidos,

- a) corresponden a los especificados en el pliego de condiciones del proyecto;
- b) disponen de la documentación exigida;
- c) están caracterizados por las propiedades exigidas;
- d) han sido ensayados, cuando así se establezca en el pliego de condiciones o lo determine el director de la ejecución de la obra, con la frecuencia establecida.

2. Datos que deben aportar de las instalaciones los suministradores:

Los suministradores de los equipos y productos incluirán en la documentación de los mismos los valores de las magnitudes que caracterizan los ruidos y las vibraciones procedentes de las instalaciones de los edificios:

- a) el nivel de potencia acústica, L_w , de equipos que producen ruidos estacionarios;
- b) la rigidez dinámica, s' , y la carga máxima, m , de los lechos elásticos utilizados en las bancadas de inercia;
- c) el amortiguamiento, C , la transmisibilidad, \square , y la carga máxima, m , de los sistemas antivibratorios puntuales utilizados en el aislamiento de maquinaria y conductos;
- d) el coeficiente de absorción acústica, α , de los productos absorbentes utilizados en conductos de ventilación y aire acondicionado;

- e) la atenuación de conductos prefabricados, expresada como pérdida por inserción, D , y la atenuación total de los silenciadores que estén interpuestos en conductos, o empotrados en fachadas o en otros elementos constructivos.

3. Condiciones de montaje de equipos generadores de ruido estacionario

Los equipos se instalarán sobre soportes antivibratorios elásticos cuando se trate de equipos pequeños y compactos o sobre una bancada de inercia cuando el equipo no posea una base propia suficientemente rígida para resistir los esfuerzos causados por su función o se necesite la alineación de sus componentes, como por ejemplo del motor y el ventilador o del motor y la bomba. En el caso de equipos instalados sobre una bancada de inercia, tales como bombas de impulsión, la bancada será de hormigón o acero de tal forma que tenga la suficiente masa e inercia para evitar el paso de vibraciones al edificio. Entre la bancada y la estructura del edificio deben interponerse elementos antivibratorios.

Se consideran válidos los soportes antivibratorios y los conectores flexibles que cumplan la UNE 100153 IN.

Se instalarán conectores flexibles a la entrada y a la salida de las tuberías de los equipos.

En las chimeneas de las instalaciones térmicas que lleven incorporados dispositivos electromecánicos para la extracción de productos de combustión se utilizarán silenciadores.

4. Control de la ejecución

Las obras de construcción del edificio se ejecutarán con sujeción al proyecto, a la legislación aplicable, a las normas de la buena práctica constructiva y a las instrucciones del director de obra y del director de la ejecución de la obra, conforme a lo indicado en el CTE y en concreto en el CTE-DB-SI.

El control de la ejecución de las obras se realizará de acuerdo con las especificaciones del proyecto, sus anexos y las modificaciones autorizadas por el director de obra y las instrucciones del director de la ejecución de la obra, conforme a lo indicado en el artículo 7.3 de la Parte I del CTE y demás normativa vigente de aplicación.

Se comprobará que la ejecución de la obra se realiza de acuerdo con los controles establecidos en el pliego de condiciones del proyecto y con la frecuencia indicada en el mismo.

Se incluirá en la documentación de la obra ejecutada cualquier modificación que pueda introducirse durante la ejecución, sin que en ningún caso dejen de cumplirse las condiciones mínimas señaladas en el CTE-DB-SI.

5. Control de obra terminada:

En el caso de que se realicen mediciones in situ para comprobar las exigencias de aislamiento acústico a ruido aéreo, de aislamiento acústico a ruido de impactos y de limitación del tiempo de reverberación, se realizarán



por laboratorios acreditados y conforme a lo establecido en las UNE-EN ISO 16283-1 y UNE-EN ISO 16283-3 para ruido aéreo, en la UNE-EN ISO 16283-2 para ruido de impactos y en la UNE-EN ISO 3382 para tiempo de reverberación. La valoración global de resultados de las mediciones de aislamiento se realizará conforme a las definiciones de diferencia de niveles estandarizada para cada tipo de ruido según lo establecido en el Anejo H del CTE-DB-SI.

Para el cumplimiento de las exigencias de este DB se admiten tolerancias entre los valores obtenidos por mediciones in situ y los valores límite establecidos en el apartado 2.1 del CTE-DB-SI, de 3 dBA

para aislamiento a ruido aéreo, de 3 dB para aislamiento a ruido de impacto y de 0,1 s para tiempo de reverberación.

En el caso de fachadas, cuando se dispongan como aberturas de admisión de aire, según DB-HS 3, sistemas con dispositivo de cierre, tales como aireadores o sistemas de microventilación, la verificación de la exigencia de aislamiento acústico frente a ruido exterior se realizará con dichos dispositivos cerrados.

ANEXO 4. SEGURIDAD EN CASO DE INCENDIO

Las normas básicas de aplicación son el CTE-DB-SI y el Real Decreto 2267/2004 por el que se aprueba el reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.

1. Condiciones técnicas exigibles a los materiales

Los materiales a emplear en la construcción del edificio de referencia, se clasifican a los efectos de su reacción ante el fuego, de acuerdo con el Real Decreto 842/2013, de 31 de octubre, por el que se aprueba la clasificación de los productos de construcción y de los elementos constructivos en función de sus propiedades de reacción y de resistencia frente al fuego.

Los fabricantes de materiales que se empleen vistos o como revestimiento o acabados superficiales, en el caso de no figurar incluidos en el apartado 1.2 del anexo I del Real Decreto 842/2013, deberán acreditar su grado de combustibilidad mediante los oportunos certificados de ensayo, realizados en laboratorios oficialmente homologados para poder ser empleados.

Aquellos materiales con tratamiento adecuado para mejorar su comportamiento ante el fuego (materiales ignifugados), serán clasificados por un laboratorio oficialmente homologado, fijando en un certificado el periodo de validez de la ignifugación.

Pasado el tiempo de validez de la ignifugación, el material deberá ser sustituido por otro de la misma clase obtenida inicialmente mediante la ignifugación, o sometido a nuevo tratamiento que restituya las condiciones iniciales de ignifugación.

Los materiales que sean de difícil sustitución y aquellos que vayan situados en el exterior, se consideran con clase que corresponda al material sin ignifugación. Si dicha ignifugación fuera permanente, podrá ser tenida en cuenta.

2. Condiciones técnicas exigibles a los elementos constructivos

La resistencia ante el fuego de los elementos y productos de la construcción queda fijado por un tiempo, t , durante el cual dicho elemento es capaz de mantener las características de resistencia al fuego, estas características vienen definidas por la siguiente clasificación: capacidad portante (R), integridad (E), aislamiento (I), radiación (W), acción mecánica (M), cierre automático (C), estanqueidad al paso de humos (S), continuidad de la alimentación eléctrica o de la transmisión de señal (P ó HP), resistencia a la combustión de hollines (G), capacidad de protección contra incendios (K), duración de la estabilidad a temperatura constante (D), duración de la estabilidad considerando la curva normalizada tiempo-temperatura (DH), funcionalidad de los extractores mecánicos de humo y calor (F), funcionalidad de los extractores pasivos de humo y calor (B).

La comprobación de dichas condiciones para cada elemento constructivo, se verificará mediante los ensayos descritos en las normas UNE que figuran en las tablas de los anexos del Real Decreto 842/2013.

En el anejo C del DB-SI del CTE se establecen los métodos simplificados que permiten determinar la resistencia de los elementos de hormigón ante la acción representada por la curva normalizada tiempo-temperatura.

En el anejo D del DB-SI del CTE se establece un método simplificado para determinar la resistencia de los elementos de acero ante la acción representada por una curva normalizada tiempo-temperatura.

En el anejo E del DB-SI del CTE se establece un método simplificado de cálculo que permite determinar la resistencia al fuego de los elementos estructurales de madera ante la acción representada por una curva normalizada tiempo-temperatura.

En el anejo F del DB-SI del CTE se encuentran tabuladas las resistencias al fuego de elementos de fábrica de ladrillo cerámico o silicocalcáreo y de los bloques de hormigón, ante la exposición térmica, según la curva normalizada tiempo-temperatura.

Los elementos constructivos se califican mediante la expresión de su condición de resistentes al fuego (RF), así como de su tiempo, t , en minutos, durante el cual mantiene dicha condición (UNE-EN 13501-2).

Los fabricantes de materiales específicamente destinados a proteger o aumentar la resistencia ante el fuego de los elementos constructivos, deberán demostrar mediante certificados de ensayo las propiedades de comportamiento ante el fuego que figuren en su documentación.

Los fabricantes de otros elementos constructivos que hagan constar en la documentación técnica de los mismos su clasificación a efectos de resistencia ante el fuego, deberán justificarlo mediante los certificados de ensayo en que se basan.



La realización de dichos ensayos, deberá llevarse a cabo en laboratorios oficialmente homologados para este fin por la administración del estado.

3. Instalaciones

3.1. Instalaciones propias del edificio

Las instalaciones del edificio deberán cumplir con lo establecido en el apartado 3 del DB-SI, sección 1, sobre espacios ocultos y el paso de instalaciones a través de elementos de compartimentación de incendios.

3.2. Instalaciones de protección contra incendios.

Las instalaciones de protección contra incendios deberán cumplir lo especificado en el CTE-DB-SI, el Real Decreto 2267/2004 por el que se aprueba el reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales y en el Real Decreto 513/2017 por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios.

3.3. Extintores móviles

Las características, criterios de calidad y ensayos de los extintores móviles, se ajustarán además de a la normativa mencionada en el apartado 3.2, a lo especificado en el Real Decreto 709/2015, por el que se establecen los requisitos esenciales de seguridad para la comercialización de los equipos a presión.

El emplazamiento de los extintores permitirá que sean fácilmente visibles y accesibles, estarán situados próximos a los puntos donde se estime mayor probabilidad de iniciarse el incendio, a ser posible, próximos a las salidas de evacuación y, preferentemente, sobre soportes fijados a paramentos verticales, de modo que la parte superior del extintor quede situada entre 80 cm y 120 cm sobre el suelo.

En caso de utilizarse en un mismo local extintores de distintos tipos, se tendrá en cuenta la posible incompatibilidad entre los distintos agentes extintores. Los agentes extintores deben ser adecuados para cada una de las clases de fuego normalizadas, según la norma UNE-EN 2.

Los extintores de incendio estarán señalizados conforme indica el anexo I, sección 2.^a, del Real Decreto 513/2017 por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios. En el caso de que el extintor esté situado dentro de un armario, la señalización se colocará inmediatamente junto al armario, y no sobre la superficie del mismo, de manera que sea visible y aclare la situación del extintor.

Los extintores que estén sujetos a posibles daños físicos, químicos o atmosféricos deberán estar protegidos.

4. Condiciones de mantenimiento y uso

Todas las instalaciones y medios a que se refiere el DB-SI 4 Detección, control y extinción del incendio, deberán conservarse en buen estado.

Las instalaciones de protección activa, incluyendo los extintores, deberán someterse a las operaciones de mantenimiento y control de funcionamiento exigibles, según lo que estipule el Real Decreto 513/2017 por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios.

PRESUPUESTO

ÍNDICE

1. CUADRO DE PRECIOS N.º 1	2
2. CUADRO DE PRECIOS N.º 2	11
3. PRESUPUESTO	26

1. CUADRO DE PRECIOS N.º 1

Cuadro de precios nº 1

Nº	Designación	Importe	
		En cifra (Euros)	En letra (Euros)
1.1	<p>1 MOVIMIENTO DE TIERRAS, DEMOLICIONES Y RESTITUCIONES.</p> <p>m3 Zahorra natural (husos S-1/S-6), puesta en obra, extendida y compactada, incluso preparación de la superficie de asiento, en capas de 15/20 cm. de espesor y con índice de plasticidad cero, medido sobre perfil.</p>	18,94	DIECIOCHO EUROS CON NOVENTA Y CUATRO CÉNTIMOS
1.2	<p>m² Desbroce y limpieza del terreno con arbustos, con medios mecánicos. Comprende los trabajos necesarios para retirar de las zonas previstas para la edificación o urbanización: arbustos, pequeñas plantas, tocones, maleza, broza, maderas caídas, escombros, basuras o cualquier otro material existente, hasta una profundidad no menor que el espesor de la capa de tierra vegetal, considerando como mínima 25 cm; y carga a camión.</p>	2,13	DOS EUROS CON TRECE CÉNTIMOS
1.3	<p>m³ Desmante en terreno, para dar al terreno la rasante de explanación prevista, con empleo de medios mecánicos, y carga a camión.</p>	1,97	UN EURO CON NOVENTA Y SIETE CÉNTIMOS
1.4	<p>m³ Terraplenado para cimientado de terraplén, mediante el extendido en tongadas de espesor no superior a 30 cm de material de la propia excavación, que cumple los requisitos expuestos en el art. 330.3.1 del PG-3 y posterior compactación con medios mecánicos hasta alcanzar una densidad seca no inferior al 95% de la máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado, realizado según UNE 103501, y ello cuantas veces sea necesario, hasta conseguir la cota de subrasante.</p>	9,81	NUEVE EUROS CON OCHENTA Y UN CÉNTIMOS
2 CONDUCCIONES			
2.1	<p>m Tubería de distribución de agua fría de climatización formada por tubo de policloruro de vinilo clorado (PVC-C), de 50 mm de diámetro exterior, PN=6 atm y 1,7 mm de espesor, colocado superficialmente en el exterior del edificio, sin aislamiento y con pintura protectora para aislamiento de color gris. Incluso material auxiliar para montaje y sujeción a la obra, accesorios y piezas especiales.</p>	19,11	DIECINUEVE EUROS CON ONCE CÉNTIMOS
2.2	<p>m Tubería de distribución de agua fría de climatización formada por tubo de policloruro de vinilo clorado (PVC-C), de 110 mm de diámetro exterior, PN=16 atm y 8,1 mm de espesor, colocado superficialmente en el exterior del edificio, sin aislamiento y recubierto con pintura protectora para aislamiento de color gris. Incluso material auxiliar para montaje y sujeción a la obra, accesorios y piezas especiales.</p>	42,29	CUARENTA Y DOS EUROS CON VEINTINUEVE CÉNTIMOS

Cuadro de precios nº 1

Nº	Designación	Importe	
		En cifra (Euros)	En letra (Euros)
2.3	m Tubería de distribución de agua fría de climatización formada por tubo de policloruro de vinilo clorado (PVC-C), de 50 mm de diámetro exterior, PN=6 atm y 1,7 mm de espesor, colocado superficialmente en el exterior del edificio, sin aislamiento y con pintura protectora para aislamiento de color gris. Incluso material auxiliar para montaje y sujeción a la obra, accesorios y piezas especiales.	19,11	DIECINUEVE EUROS CON ONCE CÉNTIMOS
2.4	m. Tubería de polietileno alta densidad PE 100, de 25 mm. de diámetro nominal y una presión de trabajo de 10 kg./cm2., colocada en el exterior	2,64	DOS EUROS CON SESENTA Y CUATRO CÉNTIMOS
2.5	m Tubería, para instalación común de gas, colocada superficialmente, formada por tubo de acero inoxidable con soldadura, de 35 mm de diámetro.	30,17	TREINTA EUROS CON DIECISIETE CÉNTIMOS
2.6	ud Válvula de compuerta de fundición revestida con epoxi, de DN50 mm PN16, cierre elástico, por compuerta de caucho vulcanizada, tipo AVK o similar, colocada en tubería de abastecimiento de agua PVC 50mm. , i/juntas y accesorios, completamente instalada.	107,39	CIENTO SIETE EUROS CON TREINTA Y NUEVE CÉNTIMOS
2.7	ud Válvula de compuerta de fundición revestida con epoxi, de DN110mm PN16, cierre elástico, por compuerta de caucho vulcanizada, tipo AVK o similar, colocada en tubería de descarga del digestato, i/juntas y accesorios, sin incluir dado de anclaje, completamente instalada.	281,57	DOSCIENTOS OCHENTA Y UN EUROS CON CINCUENTA Y SIETE CÉNTIMOS
2.8	Ud Válvula de esfera de latón niquelado para roscar de 1".	82,70	OCHENTA Y DOS EUROS CON SETENTA CÉNTIMOS
2.9	Ud Válvula de compuerta de fundición revestida con epoxi, de DN25mm PN16, cierre elástico, por compuerta de caucho vulcanizada, tipo AVK o similar, colocada en tubería de conducción del agua del intercambiaor, i/juntas y accesorios, sin incluir dado de anclaje, completamente instalada.	94,94	NOVENTA Y CUATRO EUROS CON NOVENTA Y CUATRO CÉNTIMOS
2.10	Ud Regulador de presión con válvula de seguridad por defecto de presión de 15 mbar de presión mínima y rearme automático, de 6 m³/h de caudal máximo, de 25 a 400 mbar de presión de entrada y 22 mbar de presión de salida.	33,88	TREINTA Y TRES EUROS CON OCHENTA Y OCHO CÉNTIMOS
2.11	Ud Válvula de retención de doble clapeta, con cuerpo de hierro fundido y clapeta, eje y resorte de acero inoxidable, DN 50 mm, PN 16 atm.	46,75	CUARENTA Y SEIS EUROS CON SETENTA Y CINCO CÉNTIMOS
2.12	Ud Válvula de retención de doble clapeta, con cuerpo de hierro fundido y clapeta, eje y resorte de acero inoxidable, DN 110 mm, PN 16 atm.	72,42	SETENTA Y DOS EUROS CON CUARENTA Y DOS CÉNTIMOS
2.13	Ud Llave de esfera de acero inoxidable con mando de palanca, con bridas en ambos lados de 3" de diámetro, PN=16 bar.	264,48	DOSCIENTOS SESENTA Y CUATRO EUROS CON CUARENTA Y OCHO CÉNTIMOS

Cuadro de precios nº 1

Nº	Designación	Importe	
		En cifra (Euros)	En letra (Euros)
2.14	Ud Válvula de retención de doble clapeta, con cuerpo de hierro fundido y clapeta, eje y resorte de acero inoxidable, DN 32 mm, PN 16 atm.	44,56	CUARENTA Y CUATRO EUROS CON CINCUENTA Y SEIS CÉNTIMOS
2.15	Ud Contador de agua fría de lectura directa, de chorro simple, caudal nominal 1,5 m³/h, diámetro 1/2", temperatura máxima 30°C, presión máxima 16 bar, apto para aguas muy duras, con tapa, racores de conexión y precinto.	1.747,86	MIL SETECIENTOS CUARENTA Y SIETE EUROS CON OCHENTA Y SEIS CÉNTIMOS
2.16	Ud Sistema de detección automática de gas natural compuesto de 1 sonda conectada a central de detección automática de gas natural para 1 zona, con grado de protección IP54, con instalación en superficie, 1 barra de leds que indican el estado de funcionamiento, el estado de la sonda y la concentración de gas medida por la sonda de cada zona, 2 niveles de alarma, un relé aislado al vacío para cada nivel de alarma con los contactos libres de tensión y fuente de alimentación de 230 V, electroválvula de acero inoxidable, de 3/8", normalmente cerrada y 1 sirena con señal óptica y acústica. Incluso cable unipolar y canalización de protección de cableado.	4.812,14	CUATRO MIL OCHOCIENTOS DOCE EUROS CON CATORCE CÉNTIMOS
2.17	Ud Soporte para tubo de acero de 1 1/4" DN 32 mm formado por anclaje mecánico de expansión, hembra, de acero cincado, M10x40; 0,25 m de varilla roscada de acero galvanizado calidad 4.8 y abrazadera metálica.	7,49	SIETE EUROS CON CUARENTA Y NUEVE CÉNTIMOS
2.18	Ud Gasometro de la marca ZORG BIOGAS de 11 metros de radio y 3.67 metros de altura; 1/3 D capaz de almacenar 171m3 de biogas. Esta formado por dos membranas flexibles, un sistema de abrazaderas que sirven de apoyo a la membrana en el interior del tanque, además de una ventana de inspección visual del biogás contenido. Para mantener la forma estructural del gasómetro, incluye un soplador que incorpora aire entre las dos membranas a una presión de 20 mbar.	15.500,00	QUINCE MIL QUINIENTOS EUROS
3 DEPOSITOS Y OBRAS DE FABRICA			
3.1	m2 m2 Solera de hormigón HA-25 árido rodado tamaño máximo 22 mm, consistencia plástica de 15 cm de espesor, sobre terreno limpio, incluso vertido, vibrado rastreado, regleado y talochado final, curado, formación de juntas de dilatación, contracción y contorno, armada mediante malla electrosoldada D=6 a 20x20. acero B-500T. Medida la superficie ejecutada.	24,11	VEINTICUATRO EUROS CON ONCE CÉNTIMOS
3.2	ud Deposito prefabricado de chapa metálica de 328.06 m3 de capacidad dimensiones de 9.55 m de diametro y 4.58m de altura, impermeabilizado con una funda de polietileno	8.030,38	OCHO MIL TREINTA EUROS CON TREINTA Y OCHO CÉNTIMOS

Cuadro de precios nº 1

Nº	Designación	Importe	
		En cifra (Euros)	En letra (Euros)
3.3	m ² Montaje y desmontaje en una cara del muro, de sistema de encofrado a dos caras con acabado tipo industrial para revestir, realizado con tablero contrachapado fenólico, amortizable en 20 usos, para formación de muro de hormigón armado, de entre 3 y 6 m de altura y superficie curva, para contención de tierras. Incluso, pasamuros para paso de los tensores, elementos de sustentación, fijación y apuntalamiento necesarios para su estabilidad; y líquido desencofrante, para evitar la adherencia del hormigón al encofrado.	36,19	TREINTA Y SEIS EUROS CON DIECINUEVE CÉNTIMOS
3.4	m ³ Pilar de sección circular de hormigón visto, de 40 cm de diámetro medio, realizado con hormigón HA-30/AC-E2/12/IIa, Agilia Arquitectónico "LAFARGEHOLCIM", fabricado en central, y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 120 kg/m ³ ; montaje y desmontaje de sistema de encofrado, con acabado visto con textura lisa, en planta de entre 4 y 5 m de altura libre, formado por: superficie encofrante de moldes cilíndricos de bandas de papel kraft, aluminio y polietileno, de un solo uso y estructura soporte vertical de puntales metálicos, amortizables en 150 usos. Incluso alambre de atar y separadores y agente filmógeno, para el curado de hormigones y morteros.	761,00	SETECIENTOS SESENTA Y UN EUROS
3.5	m ³ Hormigón armado H-250 kg/cm ² ., consistencia plástica, T _{máx.} 20 mm., para ambiente normal, elaborado en central en relleno de losa de cimentación, incluso armadura (50 kg/m ³ .), vertido por medios manuales, vibrado y colocado. Según normas código estructural.	158,61	CIENTO CINCUENTA Y OCHO EUROS CON SESENTA Y UN CÉNTIMOS
3.6	m ² Hoja principal de fachada ventilada, de paneles sándwich aislantes de acero, de 80 mm de espesor y 1000 mm de anchura, formados por cara exterior metálica de chapa nervada, acabado prelacado, de 0,6 mm de espesor, cara interior metálica de chapa micronervada, acabado prelacado, de 0,6 mm de espesor y alma aislante de espuma de poliisocianurato de densidad media 40 kg/m ³ , conductividad térmica 0,03 W/(mK), Euroclase B-s2, d0 de reacción al fuego, colocados en posición vertical y fijados mecánicamente con sistema de fijación vista a una estructura portante o auxiliar. Incluso accesorios de fijación de los paneles y cinta flexible de butilo, adhesiva por ambas caras, para el sellado de estanqueidad de los solapes entre paneles sándwich.	56,55	CINCUENTA Y SEIS EUROS CON CINCUENTA Y CINCO CÉNTIMOS
3.7	kg Acero UNE-EN 10025 S275JR, en estructura de plataforma de trabajo, formada por piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series IPN, IPE, UPN, HEA, HEB o HEM, acabado con imprimación antioxidante, con uniones soldadas en obra.	14,10	CATORCE EUROS CON DIEZ CÉNTIMOS

Cuadro de precios nº 1

Nº	Designación	Importe	
		En cifra (Euros)	En letra (Euros)
3.8	m ² Pavimento de rejilla electrosoldada antideslizante, de 34x38 mm de paso de malla, acabado galvanizado en caliente, realizada con pletinas portantes de acero laminado UNE-EN 10025 S235JR, en perfil plano laminado en caliente, de 20x2 mm, separadas 34 mm entre sí, separadores de varilla cuadrada retorcida, de acero con bajo contenido en carbono UNE-EN ISO 16120-2 C4D, de 4 mm de lado, separados 38 mm entre sí y marco de acero laminado UNE-EN 10025 S235JR, en perfil omega laminado en caliente, de 20x2 mm, fijado con piezas de sujeción, para meseta de escalera.	54,83	CINCUENTA Y CUATRO EUROS CON OCHENTA Y TRES CÉNTIMOS
3.9	kg Acero UNE-EN 10025 S235JR, en estructura de escalera compuesta de zancas y mesetas, formada por piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series IPN, IPE, UPN, HEA, HEB o HEM, acabado con imprimación antioxidante, con uniones soldadas en obra.	10,67	DIEZ EUROS CON SESENTA Y SIETE CÉNTIMOS
3.10	kg Acero UNE-EN 10025 S275JR, en barandillas de escalera, rampas, pasarelas y plataformas de trabajo, con piezas simples de perfiles laminados en caliente L, LD, T, redondo, cuadrado, rectangular o pletina, acabado con imprimación antioxidante, con uniones soldadas en obra.	14,55	CATORCE EUROS CON CINCUENTA Y CINCO CÉNTIMOS
4 INSTALACION ELÉCTRICA			
4.1	m ³ ud caja general de protección de 63 A de intensidad máxima, con bases portafusibles y fusibles de 63 A, según normas de la compañía suministradora. Medida la unidad instalada.	94,40	NOVENTA Y CUATRO EUROS CON CUARENTA CÉNTIMOS
4.2	UD ud contador de energía activa para intensidades de 15-60 A. Colocado.	159,62	CIENTO CINCUENTA Y NUEVE EUROS CON SESENTA Y DOS CÉNTIMOS
4.3	ud ud contador de energía reactiva para intensidades de 30-60 A. Colocado.	138,81	CIENTO TREINTA Y OCHO EUROS CON OCHENTA Y UN CÉNTIMOS
4.4	m Línea subterránea instalada en zanja constituida por un solo circuito trifásico con neutro accesible (III+N), tensión nominal entre fases 380 V., cada fase formada por un solo cable con conductor de cobre, aislado con polietileno reticulado con tensión de aislamiento 0.6/1 kV, cubierta de PVC y sección de 35 mm ² , neutro con las mismas especificaciones y sección 35 mm ² , conductor de protección de 35mm ² , canalizados bajo tubo flexible corrugado de PVC de D=100 mm.incluso p.p. de empalmes en arquetas y colocacion de cinta señalizadora. Medida la longitud colocada.	13,21	TRECE EUROS CON VEINTIUN CÉNTIMOS
4.5	Ud Caja general de protección, equipada con bornes de conexión, bases unipolares previstas para colocar fusibles de intensidad máxima 100 A, esquema 9.	256,57	DOSCIENTOS CINCUENTA Y SEIS EUROS CON CINCUENTA Y SIETE CÉNTIMOS
4.6	m Canalización de canal protectora de acero, de 50x95 mm. Instalación fija en superficie. Incluso accesorios.	27,38	VEINTISIETE EUROS CON TREINTA Y OCHO CÉNTIMOS

Cuadro de precios nº 1

Nº	Designación	Importe	
		En cifra (Euros)	En letra (Euros)
4.7	m Cable unipolar RV-K, siendo su tensión asignada de 0,6/1 kV, reacción al fuego clase Eca, con conductor de cobre clase 5 (-K) de 2,5 mm ² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (R) y cubierta de PVC (V). Incluso accesorios y elementos de sujeción.	1,37	UN EURO CON TREINTA Y SIETE CÉNTIMOS
4.8	m Cable unipolar H07V-K, siendo su tensión asignada de 450/750 V, reacción al fuego clase Eca, con conductor multifilar de cobre clase 5 (-K) de 1,5 mm ² de sección, con aislamiento de PVC (V). Incluso accesorios y elementos de sujeción.	0,80	OCHENTA CÉNTIMOS
4.9	m Cable unipolar RV-K, siendo su tensión asignada de 0,6/1 kV, reacción al fuego clase Eca, con conductor de cobre clase 5 (-K) de 2,5 mm ² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (R) y cubierta de PVC (V). Incluso accesorios y elementos de sujeción.	1,37	UN EURO CON TREINTA Y SIETE CÉNTIMOS
4.10	m Cable unipolar RV-K, siendo su tensión asignada de 0,6/1 kV, reacción al fuego clase Eca, con conductor de cobre clase 5 (-K) de 4 mm ² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (R) y cubierta de PVC (V). Incluso accesorios y elementos de sujeción.	1,64	UN EURO CON SESENTA Y CUATRO CÉNTIMOS
4.11	m Cable unipolar RV-K, siendo su tensión asignada de 0,6/1 kV, reacción al fuego clase Eca, con conductor de cobre clase 5 (-K) de 4 mm ² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (R) y cubierta de PVC (V). Incluso accesorios y elementos de sujeción.	1,64	UN EURO CON SESENTA Y CUATRO CÉNTIMOS
4.12	m Cable unipolar H07V-K, siendo su tensión asignada de 450/750 V, reacción al fuego clase Eca, con conductor multifilar de cobre clase 5 (-K) de 1,5 mm ² de sección, con aislamiento de PVC (V). Incluso accesorios y elementos de sujeción.	0,80	OCHENTA CÉNTIMOS
4.13	m Cable unipolar RV-K, siendo su tensión asignada de 0,6/1 kV, reacción al fuego clase Eca, con conductor de cobre clase 5 (-K) de 4 mm ² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (R) y cubierta de PVC (V). Incluso accesorios y elementos de sujeción.	1,64	UN EURO CON SESENTA Y CUATRO CÉNTIMOS
4.14	m Cable unipolar H07V-K, siendo su tensión asignada de 450/750 V, reacción al fuego clase Eca, con conductor multifilar de cobre clase 5 (-K) de 1,5 mm ² de sección, con aislamiento de PVC (V). Incluso accesorios y elementos de sujeción.	0,80	OCHENTA CÉNTIMOS
4.15	Ud Toma de tierra con una pica de acero cobreado de 1,5 m de longitud.	156,30	CIENTO CINCUENTA Y SEIS EUROS CON TREINTA CÉNTIMOS
4.16	Ud Proyector rectangular, de 486x388x67 mm, con una potencia de 162W y 21000Lumenes	373,18	TRESCIENTOS SETENTA Y TRES EUROS CON DIECIOCHO CÉNTIMOS
5 SEGURIDAD Y SALUD			

Cuadro de precios nº 1

Nº	Designación	Importe	
		En cifra (Euros)	En letra (Euros)
5.1	ms Mes de alquiler (min. 12 meses) de caseta prefabricada para aseo en obra de 1,70x0,90x2,30 m. Estructura y cerramiento de chapa galvanizada pintada, aislamiento de poliestireno expandido. Ventana de 0,84x0,80 m. de aluminio anodizado, corredera, con reja y luna de 6 mm., placa turca, y un lavabo, todo de fibra de vidrio con terminación de gel-coat blanco y pintura antideslizante, suelo contrachapado hidrófugo con capa fenólica antideslizante y resistente al desgaste. Tubería de polibutileno aislante y resistente a incrustaciones, hielo y corrosiones, inst. eléctrica monofásica de 220 V. con automático. Con transporte a 200 km.(ida). Entrega y recogida del módulo con camión grúa. Según R.D. 486/97.	300,00	TRESCIENTOS EUROS
5.2	Ud Hora de limpieza y desinfección de caseta o local provisional en obra.	24,81	VEINTICUATRO EUROS CON OCHENTA Y UN CÉNTIMOS
5.3	m. Cinta de balizamiento bicolor rojo/blanco de material plástico, incluso colocación y desmontaje. s/ R.D. 485/97.	1,22	UN EURO CON VEINTIDOS CÉNTIMOS
5.4	ud Cono de balizamiento reflectante irrompible de 70 cm. de diámetro, (amortizable en cinco usos). s/ R.D. 485/97.	10,39	DIEZ EUROS CON TREINTA Y NUEVE CÉNTIMOS
5.5	Ud Ud Cordón balizamiento reflectante sobre soporte de acero de 10 mm de diámetro, incluso colocación. Medida la unidad colocada.	1,69	UN EURO CON SESENTA Y NUEVE CÉNTIMOS
5.6	Ud Ud Señal preceptiva reflexiva tipo B de 0,90 m, con trípode de acero galvanizado, incluso colocación. Medida la unidad.	72,75	SETENTA Y DOS EUROS CON SETENTA Y CINCO CÉNTIMOS
5.7	Ud Protección de extremo de armadura de 12 a 32 mm de diámetro, mediante colocación de tapón protector de PVC, tipo seta, de color rojo, amortizable en 10 usos.	0,27	VEINTISIETE CÉNTIMOS
5.8	ml ml Valla metálica para acotamiento de espacios formada por elementos automátomo s normalizados de 2,50x1,10 m, incluso montaje y desmontaje. Medida la longitud colocada.	1,51	UN EURO CON CINCUENTA Y UN CÉNTIMOS
5.9	Ud Ud Gafa de montura de vinilo, pantalla exterior de policarbonato, pantalla interior antichoques y cámara de aire entre las dos pantallas para trabajos con riegos de impacto. Medida la unidad.	7,85	SIETE EUROS CON OCHENTA Y CINCO CÉNTIMOS
5.10	UD Ud casco de seguridad homologado.	3,05	TRES EUROS CON CINCO CÉNTIMOS
5.11	Ud Ud Guantes de protección para carga y descarga de materiales abrasivos fabricado en nitrilo vinilo con refuerzo en zona dedos pulgares. Medida la unidad.	3,42	TRES EUROS CON CUARENTA Y DOS CÉNTIMOS
5.12	Ud Ud Par de botas de protección para trabajos de agua, barro, hormigón y pisos con riesgo de deslizamiento, fabricados en goma forrada con lona de algodón y piso antideslizante. Medida la unidad.	12,26	DOCE EUROS CON VEINTISEIS CÉNTIMOS

Cuadro de precios nº 1

Nº	Designación	Importe	
		En cifra (Euros)	En letra (Euros)
5.13	Ud Foco portátil de 500 W de potencia, para exterior, con rejilla de protección, soporte de tubo de acero y cable de 1,5 m, amortizable en 3 usos.	25,05	VEINTICINCO EUROS CON CINCO CÉNTIMOS
6.1	UD Partida correspondiente a imprevistos surgidos durante el desarrollo de las obras a justificar con precios de contrato	18.000,00	DIECIOCHO MIL EUROS
7 PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS			
7.1	Ud Luminaria de emergencia, con tubo lineal fluorescente, 6 W - G5, flujo luminoso 155 lúmenes, carcasa de 245x110x58 mm, clase II, IP42, con baterías de Ni-Cd de alta temperatura, autonomía de 1 h, alimentación a 230 V, tiempo de carga 24 h. Instalación en superficie en zonas comunes. Incluso accesorios y elementos de fijación.	53,32	CINCUENTA Y TRES EUROS CON TREINTA Y DOS CÉNTIMOS
7.2	Ud Extintor portátil de nieve carbónica CO2, de eficacia 34B, con 2 kg de agente extintor, con vaso difusor. Incluso soporte y accesorios de montaje.	48,00	CUARENTA Y OCHO EUROS
7.3	Ud Extintor portátil de polvo químico ABC polivalente antibrasa, con presión incorporada, de eficacia 21A-144B-C, con 6 kg de agente extintor, con manómetro y manguera con boquilla difusora. Incluso soporte y accesorios de montaje.	45,06	CUARENTA Y CINCO EUROS CON SEIS CÉNTIMOS
<p>Olsón Ingeniero Técnico Agrícola</p> <p>Jose Puyuelo Ciitoler</p>			

2. CUADRO DE PRECIOS N.º 2

Cuadro de precios nº 2

Nº	Designación	Importe	
		Parcial (Euros)	Total (Euros)
1.4	<p>m³ Terraplenado para cimiento de terraplén, mediante el extendido en tongadas de espesor no superior a 30 cm de material de la propia excavación, que cumple los requisitos expuestos en el art. 330.3.1 del PG-3 y posterior compactación con medios mecánicos hasta alcanzar una densidad seca no inferior al 95% de la máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado, realizado según UNE 103501, y ello cuantas veces sea necesario, hasta conseguir la cota de subrasante.</p> <p>(Mano de obra)</p> <p>Peón ordinario construcción. 0,077 h 21,13 1,63</p> <p>(Maquinaria)</p> <p>Motoniveladora de 141 kW. 0,020 h 68,67 1,37</p> <p>Pala cargadora sobre neumáticos de 120 kW... 0,030 h 40,76 1,22</p> <p>Camión cisterna, de 8 m³ de capacidad. 0,020 h 40,43 0,81</p> <p>Compactador monocilíndrico vibrante autop... 0,048 h 62,85 3,02</p> <p>Camión basculante de 10 t de carga, de 14... 0,047 h 33,31 1,57</p> <p>(Resto obra) 0,19</p>		
			9,81
2.1	<p>2 CONDUCCIONES</p> <p>m Tubería de distribución de agua fría de climatización formada por tubo de policloruro de vinilo clorado (PVC-C), de 50 mm de diámetro exterior, PN=6 atm y 1,7 mm de espesor, colocado superficialmente en el exterior del edificio, sin aislamiento y con pintura protectora para aislamiento de color gris. Incluso material auxiliar para montaje y sujeción a la obra, accesorios y piezas especiales.</p> <p>(Mano de obra)</p> <p>Oficial 1ª calefactor. 0,207 h 25,56 5,29</p> <p>Ayudante calefactor. 0,207 h 21,92 4,54</p> <p>(Materiales)</p> <p>Pintura protectora de polietileno clorosu... 0,063 kg 24,03 1,51</p> <p>Tubo de policloruro de vinilo clorado (PV... 1,000 m 6,50 6,50</p> <p>Material auxiliar para montaje y sujeción... 1,000 Ud 0,90 0,90</p> <p>(Resto obra) 0,37</p>		
			19,11
2.2	<p>m Tubería de distribución de agua fría de climatización formada por tubo de policloruro de vinilo clorado (PVC-C), de 110 mm de diámetro exterior, PN=16 atm y 8,1 mm de espesor, colocado superficialmente en el exterior del edificio, sin aislamiento y recubierto con pintura protectora para aislamiento de color gris. Incluso material auxiliar para montaje y sujeción a la obra, accesorios y piezas especiales.</p> <p>(Mano de obra)</p> <p>Oficial 1ª calefactor. 0,216 h 25,56 5,52</p> <p>Ayudante calefactor. 0,216 h 21,92 4,73</p> <p>(Materiales)</p> <p>Pintura protectora de polietileno clorosu... 0,092 kg 24,03 2,21</p> <p>Tubo de policloruro de vinilo clorado (PV... 1,000 m 25,20 25,20</p> <p>Material auxiliar para montaje y sujeción... 1,000 Ud 3,80 3,80</p> <p>(Resto obra) 0,83</p>		
			42,29
2.3	<p>m Tubería de distribución de agua fría de climatización formada por tubo de policloruro de vinilo clorado (PVC-C), de 50 mm de diámetro exterior, PN=6 atm y 1,7 mm de espesor, colocado superficialmente en el exterior del edificio, sin aislamiento y con pintura protectora para aislamiento de color gris. Incluso material auxiliar para montaje y sujeción a la obra, accesorios y piezas especiales.</p> <p>(Mano de obra)</p> <p>Oficial 1ª calefactor. 0,207 h 25,56 5,29</p> <p>Ayudante calefactor. 0,207 h 21,92 4,54</p> <p>(Materiales)</p> <p>Pintura protectora de polietileno clorosu... 0,063 kg 24,03 1,51</p> <p>Tubo de policloruro de vinilo clorado (PV... 1,000 m 6,50 6,50</p> <p>Material auxiliar para montaje y sujeción... 1,000 Ud 0,90 0,90</p> <p>(Resto obra) 0,37</p>		
			19,11

Cuadro de precios nº 2

Nº	Designación	Importe	
		Parcial (Euros)	Total (Euros)
2.4	m. Tubería de polietileno alta densidad PE 100, de 25 mm. de diámetro nominal y una presión de trabajo de 10 kg./cm2., colocada en el exterior (Mano de obra) Oficial 1ª fontanero 0,040 h. 12,56 Oficial 2ª fontanero 0,040 h. 11,77 (Materiales) Tubo poliet. PE 100 PN 10 D=25mm 1,000 m. 1,47 Pequeño material inst.hidráulic. 0,200 ud 1,00		
2.5	m Tubería, para instalación común de gas, colocada superficialmente, formada por tubo de acero inoxidable con soldadura, de 35 mm de diámetro. (Mano de obra) Oficial 1ª instalador de intercambiador. 0,445 h 25,56 Ayudante instalador de intercambiador. 0,445 h 21,92 (Materiales) Tubo de acero inoxidable con soldadura, d... 1,000 m 8,11 Material auxiliar para montaje y sujeción... 1,000 Ud 0,35 (Resto obra)		2,64
2.6	ud Válvula de compuerta de fundición revestida con epoxi, de DN50 mm PN16, cierre elástico, por compuerta de caucho vulcanizada, tipo AVK o similar, colocada en tubería de abastecimiento de agua PVC 50mm. , i/juntas y accesorios, completamente instalada. (Mano de obra) Oficial 1ª fontanero 0,520 h. 12,56 Oficial 2ª fontanero 0,520 h. 11,77 (Materiales) Vál.compuerta cie.elást. D=50 mm 1,000 ud 94,74		30,17
2.7	ud Válvula de compuerta de fundición revestida con epoxi, de DN110mm PN16, cierre elástico, por compuerta de caucho vulcanizada, tipo AVK o similar, colocada en tubería de descarga del digestato, i/juntas y accesorios, sin incluir dado de anclaje, completamente instalada. (Mano de obra) Oficial 1ª fontanero 1,030 h. 12,56 Oficial 2ª fontanero 1,030 h. 11,77 (Materiales) Vál.compuerta cie.elást. D=110mm 1,000 ud 234,77 material auxi. conexion 1,000 ud 21,74		107,39
2.8	Ud Válvula de esfera de latón niquelado para roscar de 1". (Mano de obra) Oficial 1ª fontanero. 0,204 h 25,56 Ayudante fontanero. 0,204 h 21,92 (Materiales) Válvula de esfera de latón niquelado para... 1,000 Ud 70,00 Material auxiliar para instalaciones de f... 1,000 Ud 1,40 (Resto obra)		281,57
			82,70

Cuadro de precios nº 2

Nº	Designación	Importe	
		Parcial (Euros)	Total (Euros)
2.14	Ud Válvula de retención de doble clapeta, con cuerpo de hierro fundido y clapeta, eje y resorte de acero inoxidable, DN 32 mm, PN 16 atm.		
	(Mano de obra)		
	Oficial 1ª fontanero.	0,200 h	25,56
	Ayudante fontanero.	0,200 h	21,92
	(Materiales)		
	Válvula de retención de doble clapeta, co...	1,000 Ud	32,80
Material auxiliar para instalaciones de f...	1,000 Ud	1,40	
(Resto obra)			0,87
			44,56
2.15	Ud Contador de agua fría de lectura directa, de chorro simple, caudal nominal 1,5 m³/h, diámetro 1/2", temperatura máxima 30°C, presión máxima 16 bar, apto para aguas muy duras, con tapa, racores de conexión y precinto.		
	(Mano de obra)		
	Oficial 1ª calefactor.	0,446 h	25,56
	(Materiales)		
	Caudalímetro electromagnético para diametr...	1,000 Ud	1.700,00
	Material auxiliar para instalaciones de c...	1,000 Ud	2,19
(Resto obra)			34,27
			1.747,86
2.16	Ud Sistema de detección automática de gas natural compuesto de 1 sonda conectada a central de detección automática de gas natural para 1 zona, con grado de protección IP54, con instalación en superficie, 1 barra de leds que indican el estado de funcionamiento, el estado de la sonda y la concentración de gas medida por la sonda de cada zona, 2 niveles de alarma, un relé aislado al vacío para cada nivel de alarma con los contactos libres de tensión y fuente de alimentación de 230 V, electroválvula de acero inoxidable, de 3/8", normalmente cerrada y 1 sirena con señal óptica y acústica. Incluso cable unipolar y canalización de protección de cableado.		
	(Mano de obra)		
	Oficial 1ª electricista.	9,267 h	25,56
	Oficial 1ª instalador de intercambiador.	1,123 h	25,56
	Ayudante electricista.	9,267 h	21,92
	(Materiales)		
	Cable unipolar ES07Z1-K (AS), siendo su t...	122,000 m	0,43
	Central de detección automática de gas na...	1,000 Ud	196,63
	Analizador de BIogás	1,000 Ud	4.000,00
(Resto obra)			94,36
			4.812,14
2.17	Ud Soporte para tubo de acero de 1 1/4" DN 32 mm formado por anclaje mecánico de expansión, hembra, de acero cincado, M10x40; 0,25 m de varilla roscada de acero galvanizado calidad 4.8 y abrazadera metálica.		
	(Mano de obra)		
	Oficial 1ª fontanero.	0,121 h	25,56
	Ayudante fontanero.	0,121 h	21,92
	(Materiales)		
	Varilla roscada M10 de acero galvanizado ...	0,250 Ud	1,31
	Anclaje mecánico de expansión, hembra, de...	1,000 Ud	0,55
Abrazadera metálica, para tubo de 1 1/4" ...	1,000 Ud	0,72	
(Resto obra)			0,15
			7,49
2.18	Ud Gasómetro de la marca ZORG BIOGAS de 11 metros de radio y 3.67 metros de altura; 1/3 D capaz de almacenar 171m3 de biogas. Esta formado por dos membranas flexibles, un sistema de abrazaderas que sirven de apoyo a la membrana en el interior del tanque, además de una ventana de inspección visual del biogás contenido. Para mantener la forma estructural del gasómetro, incluye un soplador que incorpora aire entre las dos membranas a una presión de 20 mbar.		
	(Medios auxiliares)		
Gasómetro	1,000 Ud	15.500,00	15.500,00
			15.500,00

Cuadro de precios nº 2

Nº	Designación	Importe	
		Parcial (Euros)	Total (Euros)
3.1	3 DEPOSITOS Y OBRAS DE FABRICA		
	m2 m2 Solera de hormigón HA-25 árido rodado tamaño máximo 22 mm, consistencia plástica de 15 cm de espesor, sobre terreno limpio, incluso vertido, vibrado rastreado, regleado y talochado final, curado, formación de juntas de dilatación, contracción y contorno, armada mediante malla electrosoldada D=6 a 20x20. acero B-500T. Medida la superficie ejecutada.		
	(Mano de obra)		
	Cuadrilla O2+P 0,830 h 19,38	16,09	
	(Materiales)		
3.2	Hormigón HA-25 0,170 m3 39,08	6,64	
	Material auxiliar. 0,350 ud 0,65	0,23	
	(Resto obra)		1,15
			24,11
3.2	ud Deposito prefabricado de chapa metálica de 328.06 m3 de capacidad dimensiones de 9.55 m de diametro y 4.58m de altura, impermeabilizado con una funda de polietileno		
	(Medios auxiliares)		
	Deposito prefabricado de chapa metálica d... 1,000 ud 8.030,38	8.030,38	
			8.030,38
3.3	m² Montaje y desmontaje en una cara del muro, de sistema de encofrado a dos caras con acabado tipo industrial para revestir, realizado con tablero contrachapado fenólico, amortizable en 20 usos, para formación de muro de hormigón armado, de entre 3 y 6 m de altura y superficie curva, para contención de tierras. Incluso, pasamuros para paso de los tensores, elementos de sustentación, fijación y apuntalamiento necesarios para su estabilidad; y líquido desencofrante, para evitar la adherencia del hormigón al encofrado.		
	(Mano de obra)		
	Oficial 1ª encofrador. 0,403 h 25,90	10,44	
	Ayudante encofrador. 0,403 h 22,89	9,22	
	(Materiales)		
	Agente desmoldeante, a base de aceites es... 0,030 l 2,23	0,07	
	Tablero contrachapado fenólico de madera ... 0,050 m² 254,80	12,74	
	Estructura soporte de sistema de encofrad... 0,007 Ud 315,48	2,21	
	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm... 0,120 kg 1,12	0,13	
	Puntas de acero de 20x100 mm. 0,040 kg 7,13	0,29	
	Pasamuros de PVC para paso de los tensore... 0,400 Ud 0,95	0,38	
	(Resto obra)		0,71

Cuadro de precios nº 2

Nº	Designación	Importe		
		Parcial (Euros)	Total (Euros)	
3.4	m³ Pilar de sección circular de hormigón visto, de 40 cm de diámetro medio, realizado con hormigón HA-30/AC-E2/12/IIa, Agilia Arquitectónico "LAFARGEHOLCIM", fabricado en central, y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 120 kg/m³; montaje y desmontaje de sistema de encofrado, con acabado visto con textura lisa, en planta de entre 4 y 5 m de altura libre, formado por: superficie encofrante de moldes cilíndricos de bandas de papel kraft, aluminio y polietileno, de un solo uso y estructura soporte vertical de puntales metálicos, amortizables en 150 usos. Incluso alambre de atar y separadores y agente filmógeno, para el curado de hormigones y morteros.			
	(Mano de obra)			
	Oficial 1ª ferrallista.	0,792 h	25,90	20,51
	Oficial 1ª encofrador.	2,474 h	25,90	64,08
	Oficial 1ª estructurista, en trabajos de ...	0,320 h	25,90	8,29
	Ayudante ferrallista.	0,792 h	22,89	18,13
	Ayudante encofrador.	2,474 h	22,89	56,63
	Ayudante estructurista, en trabajos de pu...	1,291 h	22,89	29,55
	(Materiales)			
	Ferralla elaborada en taller industrial c...	120,000 kg	1,64	196,80
	Separador homologado de plástico, para ar...	12,000 Ud	0,07	0,84
	Agente filmógeno, para el curado de hormi...	1,500 l	3,29	4,94
	Molde cilíndrico desechable, de bandas de...	10,000 m²	21,15	211,50
	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm...	0,600 kg	1,12	0,67
	Hormigón HA-30/AC-E2/12/IIa, Agilia Archi...	1,050 m³	125,90	132,20
	Puntal metálico telescópico, de hasta 3 m...	0,044 Ud	16,45	0,72
	Puntal metálico telescópico, de hasta 5 m...	0,044 Ud	27,77	1,22
(Resto obra)			14,92	
3.5	m3 Hormigón armado H-250 kg/cm2., consistencia plástica, Tmáx. 20 mm., para ambiente normal, elaborado en central en relleno de losa de cimentación, incluso armadura (50 kg/m3.), vertido por medios manuales, vibrado y colocado. Según normas código estructural.			761,00
	(Mano de obra)			
	Oficial primera	0,660 h.	12,24	8,08
	Peón ordinario	0,660 h.	10,60	7,00
	Oficial 1ª ferralla	0,500 h.	12,56	6,28
	Ayudante ferralla	0,500 h.	11,77	5,89
	(Maquinaria)			
	Vibrador hormigón gasolina 75 mm	0,350 h.	1,57	0,55
	(Materiales)			
	Hormigón H-250/20 central	1,100 m3	99,07	108,98
Alambre atar 1,30 mm.	0,500 kg	0,89	0,45	
Acero corrugado B 400 S	54,000 kg	0,39	21,06	
(Resto obra)			0,32	
3.6	m² Hoja principal de fachada ventilada, de paneles sándwich aislantes de acero, de 80 mm de espesor y 1000 mm de anchura, formados por cara exterior metálica de chapa nervada, acabado prelacado, de 0,6 mm de espesor, cara interior metálica de chapa micronervada, acabado prelacado, de 0,6 mm de espesor y alma aislante de espuma de poliisocianurato de densidad media 40 kg/m³, conductividad térmica 0,03 W/(mK), Euroclase B-s2, d0 de reacción al fuego, colocados en posición vertical y fijados mecánicamente con sistema de fijación vista a una estructura portante o auxiliar. Incluso accesorios de fijación de los paneles y cinta flexible de butilo, adhesiva por ambas caras, para el sellado de estanqueidad de los solapes entre paneles sándwich.			158,61
	(Mano de obra)			
	Oficial 1ª montador de cerramientos indus...	0,270 h	25,56	6,90
	Ayudante montador de cerramientos industr...	0,270 h	21,96	5,93
	(Materiales)			
	Panel sándwich aislante de acero, para fa...	1,050 m²	25,89	27,18
	Chapa plegada de acero galvanizado prelac...	0,400 m	6,53	2,61
	Chapa plegada de acero galvanizado prelac...	0,300 m	5,05	1,52
	Tornillo autorroscante de 6,5x130 mm de a...	8,000 Ud	0,89	7,12
	Cinta flexible de butilo, adhesiva por am...	2,000 m	2,09	4,18
(Resto obra)			1,11	
			56,55	

Cuadro de precios nº 2

Nº	Designación	Importe	
		Parcial (Euros)	Total (Euros)
3.7	kg Acero UNE-EN 10025 S275JR, en estructura de plataforma de trabajo, formada por piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series IPN, IPE, UPN, HEA, HEB o HEM, acabado con imprimación antioxidante, con uniones soldadas en obra. (Mano de obra) Oficial 1ª montador de estructura metálic... 0,252 h 25,90 Ayudante montador de estructura metálica. 0,252 h 22,89 (Maquinaria) Equipo y elementos auxiliares para soldad... 0,015 h 3,23 (Materiales) Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en pe... 1,000 kg 1,47 (Resto obra)		
3.8	m² Pavimento de rejilla electrosoldada antideslizante, de 34x38 mm de paso de malla, acabado galvanizado en caliente, realizada con pletinas portantes de acero laminado UNE-EN 10025 S235JR, en perfil plano laminado en caliente, de 20x2 mm, separadas 34 mm entre sí, separadores de varilla cuadrada retorcida, de acero con bajo contenido en carbono UNE-EN ISO 16120-2 C4D, de 4 mm de lado, separados 38 mm entre sí y marco de acero laminado UNE-EN 10025 S235JR, en perfil omega laminado en caliente, de 20x2 mm, fijado con piezas de sujeción, para meseta de escalera. (Mano de obra) Oficial 1ª montador de estructura metálic... 0,333 h 25,90 Ayudante montador de estructura metálica. 0,333 h 22,89 (Materiales) Rejilla electrosoldada antideslizante, de... 1,000 m² 37,51 (Resto obra)		14,10
3.9	kg Acero UNE-EN 10025 S235JR, en estructura de escalera compuesta de zancas y mesetas, formada por piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series IPN, IPE, UPN, HEA, HEB o HEM, acabado con imprimación antioxidante, con uniones soldadas en obra. (Mano de obra) Oficial 1ª montador de estructura metálic... 0,184 h 25,90 Ayudante montador de estructura metálica. 0,184 h 22,89 (Maquinaria) Equipo y elementos auxiliares para soldad... 0,015 h 3,23 (Materiales) Acero laminado UNE-EN 10025 S235JR, en pe... 1,000 kg 1,43 (Resto obra)		54,83
3.10	kg Acero UNE-EN 10025 S275JR, en barandillas de escalera, rampas, pasarelas y plataformas de trabajo, con piezas simples de perfiles laminados en caliente L, LD, T, redondo, cuadrado, rectangular o pletina, acabado con imprimación antioxidante, con uniones soldadas en obra. (Mano de obra) Oficial 1ª montador de estructura metálic... 0,258 h 25,90 Ayudante montador de estructura metálica. 0,258 h 22,89 (Maquinaria) Equipo y elementos auxiliares para soldad... 0,026 h 3,23 (Materiales) Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en pe... 1,000 kg 1,59 (Resto obra)		10,67
	4 INSTALACION ELÉCTRICA		14,55

Cuadro de precios nº 2

Nº	Designación	Importe	
		Parcial (Euros)	Total (Euros)
4.1	m3 ud caja general de protección de 63 A de intensidad máxima, con bases portafusibles y fusibles de 63 A, según normas de la compañía suministradora. Medida la unidad instalada. (Medios auxiliares)		
	ud caja general de protección de 80 A de ... 1,000 m3 94,40	94,40	94,40
4.2	UD ud contador de energía activa para intensidades de 15-60 A. Colocado. (Medios auxiliares)		94,40
	ud contador de energía activa para intens... 1,000 UD 159,62	159,62	159,62
4.3	ud ud contador de energía reactiva para intensidades de 30-60 A. Colocado. (Medios auxiliares)		159,62
	ud contador de energía reactiva para inte... 1,000 ud 138,81	138,81	138,81
4.4	m Línea subterránea instalada en zanja constituida por un solo circuito trifásico con neutro accesible (III+N), tensión nominal entre fases 380 V., cada fase formada por un solo cable con conductor de cobre, aislado con polietileno reticulado con tensión de aislamiento 0.6/1 kV, cubierta de PVC y sección de 35 mm ² , neutro con las mismas especificaciones y sección 35 mm ² , conductor de protección de 35mm ² , canalizados bajo tubo flexible corrugado de PVC de D=100 mm.incluso p.p. de empalmes en arquetas y colocacion de cinta señalizadora. Medida la longitud colocada. (Mano de obra)		138,81
	Oficial 1ª electricista 0,100 h. 12,43	1,24	
	Oficial 2ª electricista 0,100 h. 9,62	0,96	
	(Materiales)		
	Pequeño material 0,050 ud 0,92	0,05	
	Tubo flexible corrugado de PVC 1,000 m. 1,18	1,18	
	Cond.aisla. RV 0,6-1kV 35 mm ² Cu 6,190 ud 1,58	9,78	
4.5	Ud Caja general de protección, equipada con bornes de conexión, bases unipolares previstas para colocar fusibles de intensidad máxima 100 A, esquema 9. (Mano de obra)		13,21
	Oficial 1ª electricista. 0,556 h 25,56	14,21	
	Oficial 1ª construcción. 0,334 h 24,85	8,30	
	Ayudante electricista. 0,556 h 21,92	12,19	
	Peón ordinario construcción. 0,334 h 21,13	7,06	
	(Materiales)		
	Marco y puerta metálica con cerradura o c... 1,000 Ud 110,00	110,00	
	Fusible de cuchillas, tipo gG, intensidad... 3,000 Ud 5,85	17,55	
	Caja general de protección, equipada con ... 1,000 Ud 53,24	53,24	
	Tubo de PVC liso, serie B, de 110 mm de d... 3,000 m 3,73	11,19	
	Tubo de PVC liso, serie B, de 160 mm de d... 3,000 m 5,44	16,32	
Material auxiliar para instalaciones eléc... 1,000 Ud 1,48	1,48		
(Resto obra)	5,03		
4.6	m Canalización de canal protectora de acero, de 50x95 mm. Instalación fija en superficie. Incluso accesorios. (Mano de obra)		256,57
	Oficial 1ª electricista. 0,067 h 25,56	1,71	
	Ayudante electricista. 0,067 h 21,92	1,47	
	(Materiales)		
	Canal protectora de acero, de 50x95 mm, p... 1,000 m 23,66	23,66	
(Resto obra)	0,54		
			27,38

Cuadro de precios nº 2

Nº	Designación	Importe	
		Parcial (Euros)	Total (Euros)
4.7	m Cable unipolar RV-K, siendo su tensión asignada de 0,6/1 kV, reacción al fuego clase Eca, con conductor de cobre clase 5 (-K) de 2,5 mm ² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (R) y cubierta de PVC (V). Incluso accesorios y elementos de sujeción.		
	(Mano de obra)		
	Oficial 1ª electricista.	0,017 h	25,56
	Ayudante electricista.	0,017 h	21,92
	(Materiales)		
Cable unipolar RV-K, siendo su tensión as...	1,000 m	0,54	0,54
(Resto obra)			0,03
			1,37
4.8	m Cable unipolar H07V-K, siendo su tensión asignada de 450/750 V, reacción al fuego clase Eca, con conductor multifilar de cobre clase 5 (-K) de 1,5 mm ² de sección, con aislamiento de PVC (V). Incluso accesorios y elementos de sujeción.		
	(Mano de obra)		
	Oficial 1ª electricista.	0,011 h	25,56
	Ayudante electricista.	0,011 h	21,92
	(Materiales)		
Cable unipolar H07V-K, siendo su tensión ...	1,000 m	0,26	0,26
(Resto obra)			0,02
			0,80
4.9	m Cable unipolar RV-K, siendo su tensión asignada de 0,6/1 kV, reacción al fuego clase Eca, con conductor de cobre clase 5 (-K) de 2,5 mm ² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (R) y cubierta de PVC (V). Incluso accesorios y elementos de sujeción.		
	(Mano de obra)		
	Oficial 1ª electricista.	0,017 h	25,56
	Ayudante electricista.	0,017 h	21,92
	(Materiales)		
Cable unipolar RV-K, siendo su tensión as...	1,000 m	0,54	0,54
(Resto obra)			0,03
			1,37
4.10	m Cable unipolar RV-K, siendo su tensión asignada de 0,6/1 kV, reacción al fuego clase Eca, con conductor de cobre clase 5 (-K) de 4 mm ² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (R) y cubierta de PVC (V). Incluso accesorios y elementos de sujeción.		
	(Mano de obra)		
	Oficial 1ª electricista.	0,017 h	25,56
	Ayudante electricista.	0,017 h	21,92
	(Materiales)		
Cable unipolar RV-K, siendo su tensión as...	1,000 m	0,81	0,81
(Resto obra)			0,03
			1,64
4.11	m Cable unipolar RV-K, siendo su tensión asignada de 0,6/1 kV, reacción al fuego clase Eca, con conductor de cobre clase 5 (-K) de 4 mm ² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (R) y cubierta de PVC (V). Incluso accesorios y elementos de sujeción.		
	(Mano de obra)		
	Oficial 1ª electricista.	0,017 h	25,56
	Ayudante electricista.	0,017 h	21,92
	(Materiales)		
Cable unipolar RV-K, siendo su tensión as...	1,000 m	0,81	0,81
(Resto obra)			0,03
			1,64

Cuadro de precios nº 2

Nº	Designación	Importe	
		Parcial (Euros)	Total (Euros)
4.12	m Cable unipolar H07V-K, siendo su tensión asignada de 450/750 V, reacción al fuego clase Eca, con conductor multifilar de cobre clase 5 (-K) de 1,5 mm ² de sección, con aislamiento de PVC (V). Incluso accesorios y elementos de sujeción. (Mano de obra) Oficial 1ª electricista. 0,011 h 25,56 Ayudante electricista. 0,011 h 21,92 (Materiales) Cable unipolar H07V-K, siendo su tensión ... 1,000 m 0,26 (Resto obra)		0,28 0,24 0,26 0,02
4.13	m Cable unipolar RV-K, siendo su tensión asignada de 0,6/1 kV, reacción al fuego clase Eca, con conductor de cobre clase 5 (-K) de 4 mm ² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (R) y cubierta de PVC (V). Incluso accesorios y elementos de sujeción. (Mano de obra) Oficial 1ª electricista. 0,017 h 25,56 Ayudante electricista. 0,017 h 21,92 (Materiales) Cable unipolar RV-K, siendo su tensión as... 1,000 m 0,81 (Resto obra)		0,43 0,37 0,81 0,03
4.14	m Cable unipolar H07V-K, siendo su tensión asignada de 450/750 V, reacción al fuego clase Eca, con conductor multifilar de cobre clase 5 (-K) de 1,5 mm ² de sección, con aislamiento de PVC (V). Incluso accesorios y elementos de sujeción. (Mano de obra) Oficial 1ª electricista. 0,011 h 25,56 Ayudante electricista. 0,011 h 21,92 (Materiales) Cable unipolar H07V-K, siendo su tensión ... 1,000 m 0,26 (Resto obra)		0,28 0,24 0,26 0,02
4.15	Ud Toma de tierra con una pica de acero cobreado de 1,5 m de longitud. (Mano de obra) Oficial 1ª electricista. 0,278 h 25,56 Ayudante electricista. 0,278 h 21,92 Peón ordinario construcción. 0,001 h 21,13 (Materiales) Arqueta de polipropileno para toma de tie... 1,000 Ud 74,00 Puente para comprobación de puesta a tier... 1,000 Ud 46,00 Grapa abarcón para conexión de pica. 1,000 Ud 1,00 Saco de 5 kg de sales minerales para la m... 0,333 Ud 3,50 Conductor de cobre desnudo, de 35 mm ² . 0,250 m 2,81 Electrodo para red de toma de tierra cobr... 1,000 Ud 16,00 Material auxiliar para instalaciones de t... 1,000 Ud 1,15 (Resto obra)		7,11 6,09 0,02 74,00 46,00 1,00 1,17 0,70 16,00 1,15 3,06
4.16	Ud Proyector rectangular, de 486x388x67 mm, con una potencia de 162W y 21000Lumenes (Mano de obra) Oficial 1ª electricista. 0,334 h 25,56 Ayudante electricista. 0,334 h 21,92 (Materiales) Luminaria rectangular, de 486x388x67 mm, ... 1,000 Ud 350,00 (Resto obra)		8,54 7,32 350,00 7,32
	5 SEGURIDAD Y SALUD		373,18

Cuadro de precios nº 2

Nº	Designación	Importe		
		Parcial (Euros)	Total (Euros)	
5.1	ms Mes de alquiler (min. 12 meses) de caseta prefabricada para aseo en obra de 1,70x0,90x2,30 m. Estructura y cerramiento de chapa galvanizada pintada, aislamiento de poliestireno expandido. Ventana de 0,84x0,80 m. de aluminio anodizado, corredera, con reja y luna de 6 mm., placa turca, y un lavabo, todo de fibra de vidrio con terminación de gel-coat blanco y pintura antideslizante, suelo contrachapado hidrófugo con capa fenólica antideslizante y resistente al desgaste. Tubería de polibutileno aislante y resistente a incrustaciones, hielo y corrosiones, inst. eléctrica monofásica de 220 V. con automático. Con transporte a 200 km.(ida). Entrega y recogida del módulo con camión grúa. Según R.D. 486/97.			
	(Mano de obra)			
	Peón ordinario	0,000 h.	10,60	0,00
	(Materiales)			
	Alq. caseta pref. aseo 1,70x0,90	1,000 ud	294,40	294,40
	Transp.200km.ent.r.y rec.1 módulo	0,090 ud	62,17	5,60
				300,00
5.2	Ud Hora de limpieza y desinfección de caseta o local provisional en obra.			
	(Mano de obra)			
	Peón Seguridad y Salud.	1,151 h	21,13	24,32
	(Resto obra)			0,49
				24,81
5.3	m. Cinta de balizamiento bicolor rojo/blanco de material plástico, incluso colocación y desmontaje. s/ R.D. 485/97.			
	(Mano de obra)			
	Peón ordinario	0,010 h.	10,60	0,11
	(Materiales)			
	Cinta balizamiento bicolor 8 cm.	1,100 m.	1,01	1,11
				1,22
5.4	ud Cono de balizamiento reflectante irrompible de 70 cm. de diámetro, (amortizable en cinco usos). s/ R.D. 485/97.			
	(Mano de obra)			
	Peón ordinario	0,000 h.	10,60	0,00
	(Materiales)			
	Cono balizamiento estándar 70 cm	0,200 ud	51,94	10,39
				10,39
5.5	Ud Ud Cordón balizamiento reflectante sobre soporte de acero de 10 mm de diámetro, incluso colocación. Medida la unidad colocada.			
	(Mano de obra)			
	Peón ordinario.	0,100 h	9,09	0,91
	(Materiales)			
	Cordón balizamiento.	1,100 m	0,57	0,63
	Soporte de acero de 10 mms/dia.	0,200 Ud	0,34	0,07
	(Resto obra)			0,08
				1,69
5.6	Ud Ud Señal preceptiva reflexiva tipo B de 0,90 m, con trípode de acero galvanizado, incluso colocación. Medida la unidad.			
	(Mano de obra)			
	Peón ordinario.	0,480 h	9,09	4,36
	(Materiales)			
	Señal preceptiva de 0,90 mts tip	0,100 Ud	532,11	53,21
	Trípode acero galvaniz. para señ	0,100 Ud	117,22	11,72
	(Resto obra)			3,46
				72,75

Cuadro de precios nº 2

Nº	Designación	Importe	
		Parcial (Euros)	Total (Euros)
5.7	Ud Protección de extremo de armadura de 12 a 32 mm de diámetro, mediante colocación de tapón protector de PVC, tipo seta, de color rojo, amortizable en 10 usos.		
	(Mano de obra)		
	Peón Seguridad y Salud.	0,012 h	21,13
	(Materiales)		
	Tapón protector de PVC, tipo seta, de col...	0,100 Ud	0,10
	(Resto obra)		0,01
			0,27
5.8	ml ml Valla metálica para acotamiento de espacios formada por elementos autónomo s normalizados de 2,50x1,10 m, incluso montaje y desmontaje. Medida la longitud colocada.		
	(Mano de obra)		
	Peón ordinario.	0,010 h	9,09
	(Materiales)		
	Valla autónoma normalizada de 2,	0,040 Ud	33,75
	(Resto obra)		1,35
			0,07
			1,51
5.9	Ud Ud Gafa de montura de vinilo, pantalla exterior de policarbonato, pantalla interior antichoque y cámara de aire entre las dos pantallas para trabajos con riegos de impacto. Medida la unidad.		
	(Materiales)		
	Gafa antiimpacto vinilo.	1,000 Ud	7,48
	(Resto obra)		0,37
			7,85
5.10	UD Ud casco de seguridad homologado.		
	(Medios auxiliares)		
	Casco de seguridad homologado	1,000 UD	3,05
			3,05
5.11	Ud Ud Guantes de protección para carga y descarga de materiales abrasivos fabricado en nitrilo vinilo con refuerzo en zona dedos pulgares. Medida la unidad.		
	(Materiales)		
	Guantes de nitrilo/vinilo.	1,000 Ud	3,26
	(Resto obra)		0,16
			3,42
5.12	Ud Ud Par de botas de protección para trabajos de agua, barro, hormigón y pisos con riesgo de deslizamiento, fabricados en goma forrada con lona de algodón y piso antideslizante. Medida la unidad.		
	(Materiales)		
	Par de botas goma forradas piso	1,000 Ud	11,68
	(Resto obra)		0,58
			12,26
5.13	Ud Foco portátil de 500 W de potencia, para exterior, con rejilla de protección, soporte de tubo de acero y cable de 1,5 m, amortizable en 3 usos.		
	(Mano de obra)		
	Peón Seguridad y Salud.	0,115 h	21,13
	(Materiales)		
	Foco portátil de 500 W de potencia, para ...	0,333 Ud	66,46
	(Resto obra)		0,49
			25,05
	6 VARIOS		

Cuadro de precios nº 2

Nº	Designación	Importe	
		Parcial (Euros)	Total (Euros)
6.1	UD Partida correspondiente a imprevistos surgidos durante el desarrollo de las obras a justificar con precios de contrato (Medios auxiliares) Partida correspondiente a imprevistos sur... 1,000 UD 18.000,00	18.000,00	
			18.000,00
	7 PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS		
7.1	Ud Luminaria de emergencia, con tubo lineal fluorescente, 6 W - G5, flujo luminoso 155 lúmenes, carcasa de 245x110x58 mm, clase II, IP42, con baterías de Ni-Cd de alta temperatura, autonomía de 1 h, alimentación a 230 V, tiempo de carga 24 h. Instalación en superficie en zonas comunes. Incluso accesorios y elementos de fijación. (Mano de obra) Oficial 1ª electricista. 0,222 h 25,56 Ayudante electricista. 0,222 h 21,92 (Materiales) Luminaria de emergencia, con tubo lineal ... 1,000 Ud 41,73 (Resto obra) 1,05	5,67 4,87 41,73 1,05	
			53,32
7.2	Ud Extintor portátil de nieve carbónica CO2, de eficacia 34B, con 2 kg de agente extintor, con vaso difusor. Incluso soporte y accesorios de montaje. (Mano de obra) Peón ordinario construcción. 0,133 h 21,13 (Materiales) Extintor portátil de nieve carbónica CO2,... 1,000 Ud 44,25 (Resto obra) 0,94	2,81 44,25 0,94	
			48,00
7.3	Ud Extintor portátil de polvo químico ABC polivalente antibrasa, con presión incorporada, de eficacia 21A-144B-C, con 6 kg de agente extintor, con manómetro y manguera con boquilla difusora. Incluso soporte y accesorios de montaje. (Mano de obra) Peón ordinario construcción. 0,111 h 21,13 (Materiales) Extintor portátil de polvo químico ABC po... 1,000 Ud 41,83 (Resto obra) 0,88	2,35 41,83 0,88	
			45,06
	Olsón Ingeniero Técnico Agrícola Jose Puyuelo Ciitoler		

3. PRESUPUESTO

Presupuesto parcial nº 1 MOVIMIENTO DE TIERRAS, DEMOLICIONES Y RESTITUCIONES.

Nº	Ud	Descripción	Medición				Precio	Importe
1.1	M3	Zahorra natural (husos S-1/S-6), puesta en obra, extendida y compactada, incluso preparación de la superficie de asiento, en capas de 15/20 cm. de espesor y con índice de plasticidad cero, medido sobre perfil.						
			Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
		RECRECIDO DE BASE-RODADURA SC	1	400,00	4,00	0,25	400,000	
							400,000	400,000
		Total m3					400,000	18,94
								7.576,00
1.2	M²	Desbroce y limpieza del terreno con arbustos, con medios mecánicos. Comprende los trabajos necesarios para retirar de las zonas previstas para la edificación o urbanización: arbustos, pequeñas plantas, tocones, maleza, broza, maderas caídas, escombros, basuras o cualquier otro material existente, hasta una profundidad no menor que el espesor de la capa de tierra vegetal, considerando como mínima 25 cm; y carga a camión.						
		Total m²					961,000	2,13
								2.046,93
1.3	M³	Desmante en terreno, para dar al terreno la rasante de explanación prevista, con empleo de medios mecánicos, y carga a camión.						
		Total m³					480,000	1,97
								945,60
1.4	M³	Terraplenado para cimiento de terraplén, mediante el extendido en tongadas de espesor no superior a 30 cm de material de la propia excavación, que cumple los requisitos expuestos en el art. 330.3.1 del PG-3 y posterior compactación con medios mecánicos hasta alcanzar una densidad seca no inferior al 95% de la máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado, realizado según UNE 103501, y ello cuantas veces sea necesario, hasta conseguir la cota de subrasante.						
		Total m³					480,000	9,81
								4.708,80
Total presupuesto parcial nº 1 MOVIMIENTO DE TIERRAS, DEMOLICIONES Y RESTITUCION...								15.277,33

Presupuesto parcial nº 2 CONDUCCIONES

Nº	Ud Descripción	Medición	Precio	Importe	
2.1	M Tubería de distribución de agua fría de climatización formada por tubo de policloruro de vinilo clorado (PVC-C), de 50 mm de diámetro exterior, PN=6 atm y 1,7 mm de espesor, colocado superficialmente en el exterior del edificio, sin aislamiento y con pintura protectora para aislamiento de color gris. Incluso material auxiliar para montaje y sujeción a la obra, accesorios y piezas especiales.				
		Total m	3,140	19,11	60,01
2.2	M Tubería de distribución de agua fría de climatización formada por tubo de policloruro de vinilo clorado (PVC-C), de 110 mm de diámetro exterior, PN=16 atm y 8,1 mm de espesor, colocado superficialmente en el exterior del edificio, sin aislamiento y recubierto con pintura protectora para aislamiento de color gris. Incluso material auxiliar para montaje y sujeción a la obra, accesorios y piezas especiales.				
		Total m	6,520	42,29	275,73
2.3	M Tubería de distribución de agua fría de climatización formada por tubo de policloruro de vinilo clorado (PVC-C), de 50 mm de diámetro exterior, PN=6 atm y 1,7 mm de espesor, colocado superficialmente en el exterior del edificio, sin aislamiento y con pintura protectora para aislamiento de color gris. Incluso material auxiliar para montaje y sujeción a la obra, accesorios y piezas especiales.				
		Total m	5,970	19,11	114,09
2.4	M. Tubería de polietileno alta densidad PE 100, de 25 mm. de diámetro nominal y una presión de trabajo de 10 kg./cm2., colocada en el exterior				
		Total m.:	21,350	2,64	56,36
2.5	M Tubería, para instalación común de gas, colocada superficialmente, formada por tubo de acero inoxidable con soldadura, de 35 mm de diámetro.				
		Total m	37,260	30,17	1.124,13
2.6	Ud Válvula de compuerta de fundición revestida con epoxi, de DN50 mm PN16, cierre elástico, por compuerta de caucho vulcanizada, tipo AVK o similar, colocada en tubería de abastecimiento de agua PVC 50mm. , i/juntas y accesorios, completamente instalada.				
		Total ud	1,000	107,39	107,39
2.7	Ud Válvula de compuerta de fundición revestida con epoxi, de DN110mm PN16, cierre elástico, por compuerta de caucho vulcanizada, tipo AVK o similar, colocada en tubería de descarga del digestato, i/juntas y accesorios, sin incluir dado de anclaje, completamente instalada.				
		Total ud	1,000	281,57	281,57
2.8	Ud Válvula de esfera de latón niquelado para roscar de 1".				
		Total Ud	4,000	82,70	330,80
2.9	Ud Válvula de compuerta de fundición revestida con epoxi, de DN25mm PN16, cierre elástico, por compuerta de caucho vulcanizada, tipo AVK o similar, colocada en tubería de conducción del agua del intercambiaor, i/juntas y accesorios, sin incluir dado de anclaje, completamente instalada.				
		Total Ud	1,000	94,94	94,94
2.10	Ud Regulador de presión con válvula de seguridad por defecto de presión de 15 mbar de presión mínima y rearme automático, de 6 m³/h de caudal máximo, de 25 a 400 mbar de presión de entrada y 22 mbar de presión de salida.				
		Total Ud	1,000	33,88	33,88
2.11	Ud Válvula de retención de doble clapeta, con cuerpo de hierro fundido y clapeta, eje y resorte de acero inoxidable, DN 50 mm, PN 16 atm.				
		Total Ud	1,000	46,75	46,75
2.12	Ud Válvula de retención de doble clapeta, con cuerpo de hierro fundido y clapeta, eje y resorte de acero inoxidable, DN 110 mm, PN 16 atm.				
		Total Ud	1,000	72,42	72,42
2.13	Ud Llave de esfera de acero inoxidable con mando de palanca, con bridas en ambos lados de 3" de diámetro, PN=16 bar.				
		Total Ud	1,000	264,48	264,48

Presupuesto parcial nº 2 CONDUCCIONES

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
2.14	Ud	Válvula de retención de doble clapeta, con cuerpo de hierro fundido y clapeta, eje y resorte de acero inoxidable, DN 32 mm, PN 16 atm.			
		Total Ud	1,000	44,56	44,56
2.15	Ud	Contador de agua fría de lectura directa, de chorro simple, caudal nominal 1,5 m³/h, diámetro 1/2", temperatura máxima 30°C, presión máxima 16 bar, apto para aguas muy duras, con tapa, racores de conexión y precinto.			
		Total Ud	3,000	1.747,86	5.243,58
2.16	Ud	Sistema de detección automática de gas natural compuesto de 1 sonda conectada a central de detección automática de gas natural para 1 zona, con grado de protección IP54, con instalación en superficie, 1 barra de leds que indican el estado de funcionamiento, el estado de la sonda y la concentración de gas medida por la sonda de cada zona, 2 niveles de alarma, un relé aislado al vacío para cada nivel de alarma con los contactos libres de tensión y fuente de alimentación de 230 V, electroválvula de acero inoxidable, de 3/8", normalmente cerrada y 1 sirena con señal óptica y acústica. Incluso cable unipolar y canalización de protección de cableado.			
		Total Ud	2,000	4.812,14	9.624,28
2.17	Ud	Soporte para tubo de acero de 1 1/4" DN 32 mm formado por anclaje mecánico de expansión, hembra, de acero cincado, M10x40; 0,25 m de varilla roscada de acero galvanizado calidad 4.8 y abrazadera metálica.			
		Total Ud	4,000	7,49	29,96
2.18	Ud	Gasómetro de la marca ZORG BIOGAS de 11 metros de radio y 3.67 metros de altura; 1/3 D capaz de almacenar 171m3 de biogas. Esta formado por dos membranas flexibles, un sistema de abrazaderas que sirven de apoyo a la membrana en el interior del tanque, además de una ventana de inspección visual del biogás contenido. Para mantener la forma estructural del gasómetro, incluye un soplador que incorpora aire entre las dos membranas a una presión de 20 mbar.			
		Total Ud	1,000	15.500,00	15.500,00
Total presupuesto parcial nº 2 CONDUCCIONES :					33.304,93

Presupuesto parcial nº 3 DEPOSITOS Y OBRAS DE FABRICA

Nº	Ud	Descripción	Medición			Precio	Importe	
3.1	M2	m2 Solera de hormigón HA-25 árido rodado tamaño máximo 22 mm, consistencia plástica de 15 cm de espesor, sobre terreno limpio, incluso vertido, vibrado rastreado, regleado y talochado final, curado, formación de juntas de dilatación, contracción y contorno, armada mediante malla electrosoldada D=6 a 20x20. acero B-500T. Medida la superficie ejecutada.	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
		SOLERA SEPARADOR LÍQUIDOS-SÓLIDOS	1	5,50	5,50		30,250	
							30,250	30,250
		Total m2				30,250	24,11	729,33
3.2	Ud	Deposito prefabricado de chapa metálica de 328.06 m3 de capacidad dimensiones de 9.55 m de diametro y 4.58m de altura, impermeabilizado con una funda de polietileno						
		Total ud				1,000	8.030,38	8.030,38
3.3	M²	Montaje y desmontaje en una cara del muro, de sistema de encofrado a dos caras con acabado tipo industrial para revestir, realizado con tablero contrachapado fenólico, amortizable en 20 usos, para formación de muro de hormigón armado, de entre 3 y 6 m de altura y superficie curva, para contención de tierras. Incluso, pasamuros para paso de los sensores, elementos de sustentación, fijación y apuntalamiento necesarios para su estabilidad; y líquido desencofrante, para evitar la adherencia del hormigón al encofrado.						
		Total m²				186,950	36,19	6.765,72
3.4	M³	Pilar de sección circular de hormigón visto, de 40 cm de diámetro medio, realizado con hormigón HA-30/AC-E2/12/Ila, Agilia Arquitectónico "LAFARGEHOLCIM", fabricado en central, y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 120 kg/m³; montaje y desmontaje de sistema de encofrado, con acabado visto con textura lisa, en planta de entre 4 y 5 m de altura libre, formado por: superficie encofrante de moldes cilíndricos de bandas de papel kraft, aluminio y polietileno, de un solo uso y estructura soporte vertical de puntales metálicos, amortizables en 150 usos. Incluso alambre de atar y separadores y agente filmógeno, para el curado de hormigones y morteros.						
		Total m³				0,670	761,00	509,87
3.5	M3	Hormigón armado H-250 kg/cm2., consistencia plástica, Tmáx. 20 mm., para ambiente normal, elaborado en central en relleno de losa de cimentación, incluso armadura (50 kg/m3.), vertido por medios manuales, vibrado y colocado. Según normas código estructural.						
		Total m3				82,610	158,61	13.102,77
3.6	M²	Hoja principal de fachada ventilada, de paneles sándwich aislantes de acero, de 80 mm de espesor y 1000 mm de anchura, formados por cara exterior metálica de chapa nervada, acabado prelacado, de 0,6 mm de espesor, cara interior metálica de chapa micronervada, acabado prelacado, de 0,6 mm de espesor y alma aislante de espuma de poliisocianurato de densidad media 40 kg/m³, conductividad térmica 0,03 W/(mK), Euroclase B-s2, d0 de reacción al fuego, colocados en posición vertical y fijados mecánicamente con sistema de fijación vista a una estructura portante o auxiliar. Incluso accesorios de fijación de los paneles y cinta flexible de butilo, adhesiva por ambas caras, para el sellado de estanqueidad de los solapes entre paneles sándwich.						
		Total m²				203,950	56,55	11.533,37
3.7	Kg	Acero UNE-EN 10025 S275JR, en estructura de plataforma de trabajo, formada por piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series IPN, IPE, UPN, HEA, HEB o HEM, acabado con imprimación antioxidante, con uniones soldadas en obra.						
		Total kg				200,000	14,10	2.820,00
3.8	M²	Pavimento de rejilla electrosoldada antideslizante, de 34x38 mm de paso de malla, acabado galvanizado en caliente, realizada con pletinas portantes de acero laminado UNE-EN 10025 S235JR, en perfil plano laminado en caliente, de 20x2 mm, separadas 34 mm entre sí, separadores de varilla cuadrada retorcida, de acero con bajo contenido en carbono UNE-EN ISO 16120-2 C4D, de 4 mm de lado, separados 38 mm entre sí y marco de acero laminado UNE-EN 10025 S235JR, en perfil omega laminado en caliente, de 20x2 mm, fijado con piezas de sujeción, para meseta de escalera.						
		Total m²				2,250	54,83	123,37
3.9	Kg	Acero UNE-EN 10025 S235JR, en estructura de escalera compuesta de zancas y mesetas, formada por piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series IPN, IPE, UPN, HEA, HEB o HEM, acabado con imprimación antioxidante, con uniones soldadas en obra.						
		Total kg				250,000	10,67	2.667,50

Presupuesto parcial nº 3 DEPOSITOS Y OBRAS DE FABRICA

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
3.10	Kg	Acero UNE-EN 10025 S275JR, en barandillas de escalera, rampas, pasarelas y plataformas de trabajo, con piezas simples de perfiles laminados en caliente L, LD, T, redondo, cuadrado, rectangular o pletina, acabado con imprimación antioxidante, con uniones soldadas en obra.			
		Total kg:	50,000	14,55	727,50
Total presupuesto parcial nº 3 DEPOSITOS Y OBRAS DE FABRICA :					47.009,81

Presupuesto parcial nº 4 INSTALACION ELÉCTRICA

Nº	Ud	Descripción	Medición			Precio	Importe	
4.1	M3	ud caja general de protección de 63 A de intensidad máxima, con bases portafusibles y fusibles de 63 A, según normas de la compañía suministradora. Medida la unidad instalada.						
			Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
		NUEVA ALIMENTACION COLOMINA	1				1,000	
							1,000	1,000
		Total m3					1,000	94,40
								94,40
4.2	Ud	ud contador de energía activa para intensidades de 15-60 A. Colocado.						
			Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
		NUEVA ALIMENTACION COLOMINA	1				1,000	
							1,000	1,000
		Total UD					1,000	159,62
								159,62
4.3	Ud	ud contador de energía reactiva para intensidades de 30-60 A. Colocado.						
			Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
		NUEVA ALIMENTACION COLOMINA	1				1,000	
							1,000	1,000
		Total ud					1,000	138,81
								138,81
4.4	M	Línea subterránea instalada en zanja constituida por un solo circuito trifásico con neutro accesible (III+N), tensión nominal entre fases 380 V., cada fase formada por un solo cable con conductor de cobre, aislado con polietileno reticulado con tensión de aislamiento 0,6/1 kV, cubierta de PVC y sección de 35 mm ² , neutro con las mismas especificaciones y sección 35 mm ² , conductor de protección de 35mm ² , canalizados bajo tubo flexible corrugado de PVC de D=100 mm.incluso p.p. de empalmes en arquetas y colocacion de cinta señalizadora. Medida la longitud colocada.						
			Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
		Derivación Individual	1	3,10			3,100	
							3,100	3,100
		Total m					3,100	13,21
								40,95
4.5	Ud	Caja general de protección, equipada con bornes de conexión, bases unipolares previstas para colocar fusibles de intensidad máxima 100 A, esquema 9.						
		Total Ud					1,000	256,57
								256,57
4.6	M	Canalización de canal protectora de acero, de 50x95 mm. Instalación fija en superficie. Incluso accesorios.						
		Total m					30,000	27,38
								821,40
4.7	M	Cable unipolar RV-K, siendo su tensión asignada de 0,6/1 kV, reacción al fuego clase Eca, con conductor de cobre clase 5 (-K) de 2,5 mm ² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (R) y cubierta de PVC (V). Incluso accesorios y elementos de sujeción.						
		Total m					11,690	1,37
								16,02
4.8	M	Cable unipolar H07V-K, siendo su tensión asignada de 450/750 V, reacción al fuego clase Eca, con conductor multifilar de cobre clase 5 (-K) de 1,5 mm ² de sección, con aislamiento de PVC (V). Incluso accesorios y elementos de sujeción.						
		Total m					20,210	0,80
								16,17
4.9	M	Cable unipolar RV-K, siendo su tensión asignada de 0,6/1 kV, reacción al fuego clase Eca, con conductor de cobre clase 5 (-K) de 2,5 mm ² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (R) y cubierta de PVC (V). Incluso accesorios y elementos de sujeción.						
		Total m					28,800	1,37
								39,46
4.10	M	Cable unipolar RV-K, siendo su tensión asignada de 0,6/1 kV, reacción al fuego clase Eca, con conductor de cobre clase 5 (-K) de 4 mm ² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (R) y cubierta de PVC (V). Incluso accesorios y elementos de sujeción.						
		Total m					14,500	1,64
								23,78

Presupuesto parcial nº 4 INSTALACION ELÉCTRICA

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
4.11	M	Cable unipolar RV-K, siendo su tensión asignada de 0,6/1 kV, reacción al fuego clase Eca, con conductor de cobre clase 5 (-K) de 4 mm ² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (R) y cubierta de PVC (V). Incluso accesorios y elementos de sujeción.			
		Total m	17,820	1,64	29,22
4.12	M	Cable unipolar H07V-K, siendo su tensión asignada de 450/750 V, reacción al fuego clase Eca, con conductor multifilar de cobre clase 5 (-K) de 1,5 mm ² de sección, con aislamiento de PVC (V). Incluso accesorios y elementos de sujeción.			
		Total m	18,800	0,80	15,04
4.13	M	Cable unipolar RV-K, siendo su tensión asignada de 0,6/1 kV, reacción al fuego clase Eca, con conductor de cobre clase 5 (-K) de 4 mm ² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (R) y cubierta de PVC (V). Incluso accesorios y elementos de sujeción.			
		Total m	29,100	1,64	47,72
4.14	M	Cable unipolar H07V-K, siendo su tensión asignada de 450/750 V, reacción al fuego clase Eca, con conductor multifilar de cobre clase 5 (-K) de 1,5 mm ² de sección, con aislamiento de PVC (V). Incluso accesorios y elementos de sujeción.			
		Total m	61,000	0,80	48,80
4.15	Ud	Toma de tierra con una pica de acero cobreado de 1,5 m de longitud.			
		Total Ud	1,000	156,30	156,30
4.16	Ud	Proyector rectangular, de 486x388x67 mm, con una potencia de 162W y 21000Lumenes			
		Total Ud	3,000	373,18	1.119,54
Total presupuesto parcial nº 4 INSTALACION ELÉCTRICA :					3.023,80

Presupuesto parcial nº 5 SEGURIDAD Y SALUD

Nº	Ud	Descripción	Medición				Precio	Importe
5.1	Ms	Mes de alquiler (min. 12 meses) de caseta prefabricada para aseo en obra de 1,70x0,90x2,30 m. Estructura y cerramiento de chapa galvanizada pintada, aislamiento de poliestireno expandido. Ventana de 0,84x0,80 m. de aluminio anodizado, corredera, con reja y luna de 6 mm., placa turca, y un lavabo, todo de fibra de vidrio con terminación de gel-coat blanco y pintura antideslizante, suelo contrachapado hidrófugo con capa fenólica antideslizante y resistente al desgaste. Tubería de polibutileno aislante y resistente a incrustaciones, hielo y corrosiones, inst. eléctrica monofásica de 220 V. con automático. Con transporte a 200 km.(ida). Entrega y recogida del módulo con camión grúa. Según R.D. 486/97.	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
			3					
						3,000		
						3,000	3,000	
			Total ms		3,000	300,00	900,00	
5.2	Ud	Hora de limpieza y desinfección de caseta o local provisional en obra.						
			Total Ud		3,000	24,81	74,43	
5.3	M.	Cinta de balizamiento bicolor rojo/blanco de material plástico, incluso colocación y desmontaje. s/ R.D. 485/97.	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
			1	200,00				
						200,000		
						200,000	200,000	
			Total m.:		200,000	1,22	244,00	
5.4	Ud	Cono de balizamiento reflectante irrompible de 70 cm. de diámetro, (amortizable en cinco usos). s/ R.D. 485/97.	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
			50					
						50,000		
						50,000	50,000	
			Total ud		50,000	10,39	519,50	
5.5	Ud	Cordón balizamiento reflectante sobre soporte de acero de 10 mm de diámetro, incluso colocación. Medida la unidad colocada.	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
			200					
						200,000		
						200,000	200,000	
			Total Ud		200,000	1,69	338,00	
5.6	Ud	Señal preceptiva reflexiva tipo B de 0,90 m, con trípode de acero galvanizado, incluso colocación. Medida la unidad.	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
			2					
						2,000		
						2,000	2,000	
			Total Ud		2,000	72,75	145,50	
5.7	Ud	Protección de extremo de armadura de 12 a 32 mm de diámetro, mediante colocación de tapón protector de PVC, tipo seta, de color rojo, amortizable en 10 usos.						
			Total Ud		50,000	0,27	13,50	
5.8	MI	Valla metálica para acotamiento de espacios formada por elementos autónomo s normalizados de 2,50x1,10 m, incluso montaje y desmontaje. Medida la longitud colocada.	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
			30					
						30,000		
						30,000	30,000	
			Total ml		30,000	1,51	45,30	
5.9	Ud	Gafa de montura de vinilo, pantalla exterior de policarbonato, pantalla interior antichoque y cámara de aire entre las dos pantallas para trabajos con riegos de impacto. Medida la unidad.	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
			5					
						5,000		
						5,000	5,000	
			Total Ud		5,000	7,85	39,25	

Presupuesto parcial nº 5 SEGURIDAD Y SALUD

Nº	Ud	Descripción	Medición				Precio	Importe
5.10	Ud	Ud casco de seguridad homologado.						
			Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
			5				5,000	
							5,000	5,000
			Total Ud:		5,000		3,05	15,25
5.11	Ud	Ud Guantes de protección para carga y descarga de materiales abrasivos fabricado en nitrilo vinilo con refuerzo en zona dedos pulgares. Medida la unidad.						
			Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
			8				8,000	
							8,000	8,000
			Total Ud:		8,000		3,42	27,36
5.12	Ud	Ud Par de botas de protección para trabajos de agua, barro, hormigón y pisos con riesgo de deslizamiento, fabricados en goma forrada con lona de algodón y piso antideslizante. Medida la unidad.						
			Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
			5				5,000	
							5,000	5,000
			Total Ud:		5,000		12,26	61,30
5.13	Ud	Ud Foco portátil de 500 W de potencia, para exterior, con rejilla de protección, soporte de tubo de acero y cable de 1,5 m, amortizable en 3 usos.						
			Total Ud:		3,000		25,05	75,15
			Total presupuesto parcial nº 5 SEGURIDAD Y SALUD :					2.498,54

Presupuesto parcial nº 6 VARIOS

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
6.1	Ud	Partida correspondiente a imprevistos surgidos durante el desarrollo de las obras a justificar con precios de contrato			
			Total UD	1,000	18.000,00
					<u>18.000,00</u>
			Total presupuesto parcial nº 6 VARIOS :		18.000,00

Presupuesto parcial nº 7 PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
7.1	Ud	Luminaria de emergencia, con tubo lineal fluorescente, 6 W - G5, flujo luminoso 155 lúmenes, carcasa de 245x110x58 mm, clase II, IP42, con baterías de Ni-Cd de alta temperatura, autonomía de 1 h, alimentación a 230 V, tiempo de carga 24 h. Instalación en superficie en zonas comunes. Incluso accesorios y elementos de fijación.			
		Total Ud	1,000	53,32	53,32
7.2	Ud	Extintor portátil de nieve carbónica CO2, de eficacia 34B, con 2 kg de agente extintor, con vaso difusor. Incluso soporte y accesorios de montaje.			
		Total Ud	1,000	48,00	48,00
7.3	Ud	Extintor portátil de polvo químico ABC polivalente antibrasa, con presión incorporada, de eficacia 21A-144B-C, con 6 kg de agente extintor, con manómetro y manguera con boquilla difusora. Incluso soporte y accesorios de montaje.			
		Total Ud	1,000	45,06	45,06
Total presupuesto parcial nº 7 PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS :					146,38

Presupuesto de ejecución material

1 MOVIMIENTO DE TIERRAS, DEMOLICIONES Y RESTITUCIONES.	15.277,33
2 CONDUCCIONES	33.304,93
3 DEPOSITOS Y OBRAS DE FABRICA	47.009,81
4 INSTALACION ELÉCTRICA	3.023,80
5 SEGURIDAD Y SALUD	2.498,54
6 VARIOS	18.000,00
7 PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS	146,38
Total	119.260,79

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de CIENTO DIECINUEVE MIL DOSCIENTOS SESENTA EUROS CON SETENTA Y NUEVE CÉNTIMOS.

Olsón
Ingeniero Técnico Agrícola

Jose Puyuelo Ciitoler

Proyecto: TUBERÍAS Y DEPÓSITOS

Capítulo	Importe
Capítulo 1 MOVIMIENTO DE TIERRAS, DEMOLICIONES Y RESTITUCIONES.	15.277,33
Capítulo 2 CONDUCCIONES	33.304,93
Capítulo 3 DEPOSITOS Y OBRAS DE FABRICA	47.009,81
Capítulo 4 INSTALACION ELÉCTRICA	3.023,80
Capítulo 5 SEGURIDAD Y SALUD	2.498,54
Capítulo 6 VARIOS	18.000,00
Capítulo 7 PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS	146,38
Presupuesto de ejecución material	119.260,79
13% de gastos generales	15.503,90
6% de beneficio industrial	7.155,65
Suma	141.920,34
21% IVA	29.803,27
Presupuesto de ejecución por contrata	171.723,61

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata a la expresada cantidad de CIENTO SETENTA Y UN MIL SETECIENTOS VEINTITRES EUROS CON SESENTA Y UN CÉNTIMOS.

Olsón
Ingeniero Técnico Agrícola


Jose Puyuelo Cortés