



Trabajo Fin de Grado

Estudio de viabilidad de la biodigestión como
ahorro energético en la industria ganadera en
Méjico

Autor

Isabel Serrano Sangüesa

Director

Carlos Monné Bailo

EINA – Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2015

Estudio de viabilidad de la biodigestión como ahorro energético en la industria ganadera en México

La motivación de este proyecto es poner a disposición del lector, de manera sintetizada, el potencial de la biodigestión en explotaciones agropecuarias en México. Dichas explotaciones, principalmente las de ganado bovino y porcícola, son elevadas en número y con un crecimiento continuado en la actualidad.

La implementación de estos sistemas permite sacar provecho de la materia orgánica que en la industria ganadera se produce y que, en la mayoría de los casos, no se les da ningún valor en el ciclo productivo de la explotación; promoviendo, de este modo, un sistema productivo más sostenible y que permita satisfacer en la medida de lo posible las necesidades energéticas de las labores industriales de las explotaciones.

Los recursos utilizados para la elaboración del presente TFG abarcaron tanto la consulta de bibliografía independiente así como otra otorgada por el Gobierno de México, principalmente la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y el Fideicomiso de Riesgo Compartido de México.

Asimismo, se abordó el proyecto de la implementación de la tecnología considerada como más favorable, la laguna anaerobia, del que se dimensionaron los elementos más relevantes. Entre sus principales componentes, cabe destacar un biodigestor o laguna de 3.650 metros cúbicos, así como una pila de mezclado y la laguna del efluente, de 70,56 y 360 metros cúbicos respectivamente. Además, se seleccionó un sistema de generación eléctrica de 30 kW basado en la producción de biogás promedio obtenida de 150.380 metros cúbicos al año.

Para finalizar, y con el fin de realizar una estimación económica de dicho sistema, se ha procurado identificar las partidas involucradas en la implementación de estas tecnologías y su coste para la explotación, que asciende a \$1.773.407,89 pesos mexicanos (*94.834,65 euros*).

TRABAJOS DE FIN DE GRADO / FIN DE MÁSTER



**Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza**

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D^a. Isabel Serrano Sangüesa,

con nº de DNI 76924300 H en aplicación de lo dispuesto en el art. 14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)
Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales, (Título del Trabajo)
Estudio de viabilidad de la biodigestión como ahorro energético en la industria ganadera en México

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 22 de septiembre de 2015

Fdo: Isabel Serrano Sangüesa

Índice

1.	Introducción y objetivos.....	5
2.	Presentación de la explotación	6
3.	Análisis de la biodigestión y el sector agropecuario en México	7
3.1.	Sector porcícola nacional	8
3.1.1	Población Animal.....	8
3.1.2	Volumen de producción porcina.....	9
3.1.3	Participación de la ganadería porcina por estado.....	9
3.1.4	Sistemas de producción porcícola.....	10
3.2.	Sector bovino nacional.....	11
3.2.1	Población animal	11
3.2.2	Volumen de producción bovina	11
3.2.3	Participación de la ganadería bovina por estado	12
3.2.4	Sistemas de producción bovina.....	13
3.3.	Biodigestores en funcionamiento en México	14
4.	Normativa involucrada.....	15
5.	Ayudas	17
6.	Proveedores	18
6.1.	Proveedores en México.....	18
6.2.	Proveedores en España	21
6.3.	Otros proveedores consultados	21
7.	Selección de una instalación de biodigestión para una explotación ganadera tipo	22
8.	Factores a tener en cuenta en la explotación de una laguna anaerobia	23
8.1.	Ubicación.....	23
8.2.	Estudio de requerimientos administrativos previos	24
8.2.1	Manifestación de Impacto Ambiental.....	24
8.2.2	Manejo del biogás	24
9.	Diseño de un sistema de laguna anaerobia en una instalación de biodigestión tipo	25
9.1.	Esquema del sistema de biodigestión tipo laguna cubierta.....	25
9.2.	Biodigestor	26
9.2.1	Consideraciones previas al diseño del biodigestor	26
9.2.2	Biomasa disponible	29
9.2.3	Selección del tiempo de retención hidráulico.....	31
9.2.4	Determinación de la mezcla estiércol-agua y flujo volumétrico del influente ...	32
9.2.5	Volumen de biodigestor	32

9.2.6	Dimensionamiento del biodigestor	33
9.2.7	Características de la geomembrana	35
9.2.8	Puesta en marcha del biodigestor.....	36
9.3.	Pila de mezclado.....	39
9.4.	Laguna del efluente	40
9.5.	Selección del grupo motogenerador.....	41
10.	Estimación del potencial energético de la instalación	42
10.1.	Producción estimada de biogás	42
10.1.1	Metodología general	42
10.1.2	Metodología basada en el Carbono Orgánico Utilizable.....	43
10.1.3	Estimación según Dieter Deublein y Angelika Steinhauser.....	44
10.2.	Producción energética.....	46
10.3.	Posibilidad de interconexión a la red y concepto de Medición Neta.....	48
10.3.1.	Beneficiarios del contrato de interconexión	48
10.3.2.	Concepto de Medición Neta	49
11.	Costes asociados a la implantación de sistemas de biodigestión	50
11.1.	Costos generales	50
11.2.	Costo del sistema de biodigestión laguna anaerobia implementado.....	51
12.	Conclusiones.....	55
	Bibliografía	57
	ANEXO 1: CARACTERÍSTICAS MÍNIMAS DE LOS SISTEMAS DE BIODIGESTIÓN TIPO LAGUNA ANAEROBIA	60
	ANEXO 2: FORMULARIO DE REGISTRO DE LOS SISTEMAS DE BIODIGESTIÓN Y DE AUTOGENERACIÓN A TRAVÉS DE BIOGÁS	64
	ANEXO 3: DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO	72
	ANEXO 4: MÉTODO PARA LA ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DEL BIODIGESTOR	73
	ANEXO 5: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL GRUPO GENERADOR	75
	ANEXO 6: REQUISITOS TÉCNICOS PARA LA INTERCONEXIÓN DE FUENTES DISTRIBUIDAS DE GENERACIÓN EN PEQUEÑA ESCALA.	79
	ANEXO 7: REQUISITOS TÉCNICOS PARA LA INTERCONEXIÓN DE FUENTES DISTRIBUIDAS DE GENERACIÓN EN MEDIANA ESCALA.....	84

1. Introducción y objetivos

México cuenta con gran cantidad de explotaciones agropecuarias (principalmente de ganado bovino y porcino) que producen una gran cuantía de materia orgánica (excretas, aguas residuales y sueros, entre otros) a la cual, en la mayoría de los casos, no se les da ningún valor en el ciclo productivo de la explotación. Asimismo, dichos desechos representan un problema para el medio ambiente, por ser causantes de contaminación de los suelos, las aguas subterráneas y el aire.

Sin embargo, se puede sacar provecho de esta coyuntura a través de su utilización como una fuente de energía renovable. Mediante el empleo de las excretas de dichas explotaciones se puede generar energía, tanto eléctrica como térmica, que pueda resultar provechoso y permita satisfacer las necesidades energéticas de las labores industriales de las explotaciones.

De este modo, en la actualidad se empieza a emplear la tecnología de la biodigestión en el sector agropecuario mediante la adaptación de sus instalaciones de modo que permitan la implantación de estos sistemas. Esto conlleva en ocasiones la adopción de sistemas de recogida más adecuados de purines y/o la adaptación de sus procesos industriales, como por ejemplo, la sustitución de motores que funcionen con el biogás generado, así como la aplicación térmica en dichos procesos.

El objetivo de dicho TFG es poner a disposición, de manera resumida, el potencial de la biodigestión en las explotaciones agrarias de México. Para ello, se realizará un análisis de la normativa involucrada en dichos sistemas, las ayudas a las que las explotaciones pueden acogerse y los proveedores potenciales de sistemas de biodigestión, tanto locales como españoles, de manera muy sintetizada.

Asimismo, es objeto de este trabajo determinar el proceso de biodigestión más adecuado basado en las características observadas en las explotaciones agropecuarias allí localizadas, así como basado en otras deducciones frutas del análisis anteriormente mencionado. Para ello, se ha tomado como referencia una explotación tipo sobre la que aplicar los conocimientos y regulaciones consideradas en los puntos anteriores y esbozar el sistema de biodigestión más favorable.

Este TFG pretende proveer una pauta o guía para seleccionar e implementar un sistema de estas características que permita una reducción en la contaminación producida por estas explotaciones así como beneficiarse de cierto aprovechamiento energético.

2. Presentación de la explotación

Con objeto de estimar la viabilidad de la implementación de sistemas de biodigestión que favorezcan el ahorro energético, se ha seleccionado un caso concreto de una explotación ganadera mexicana sobre la que se pretende estudiar la posibilidad de incorporar la biodigestión, haciendo hincapié en algunos aspectos clave como normativa involucrada, ayudas a las que poder acogerse y proveedores de sistemas de biodigestión disponibles en la zona. Del mismo modo se pretende determinar a grosso modo su potencial energético así como un esbozo del sistema de biodigestión más adecuado para el caso de estudio.

Para ello, se ha seleccionado una explotación que cumpla con el principal requisito de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación de México para que la implementación de estos sistemas sea rentable. Según SAGARPA, deben ser establos mayores de 300 cabezas, con sistemas de producción en confinamiento.

CONCENTRADOS BOVILAC S.P.R. de R.L. de C.V. es una empresa localizada en Namiquipa (Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México, 2015), región de Chihuahua (véase Ilustraciones 1 y 2), dedicada a la fabricación de alimento de alta calidad para becerros, ganado de engorda, caballos y vacas lecheras (Municipio de Namiquipa, 2015).



Ilustración 1: Instalaciones de la explotación
Fuente: Concentrados Bovilac S.P.R de R.L de C.V

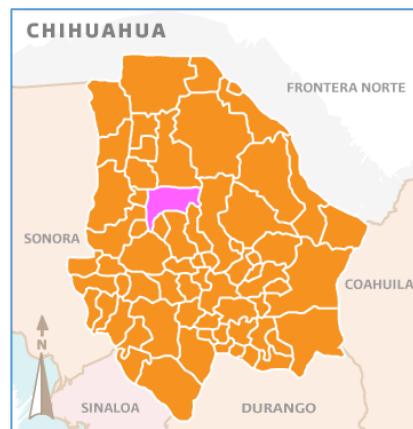


Ilustración 2: Localización de Namiquipa dentro del estado de Chihuahua.
Fuente: Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México

La empresa fue fundada en el año 2000 y desde entonces ha ido creciendo y aumentando las instalaciones (Concentrados Bovilac S.P.R de R.L de C.V., 2015).

El proceso de fabricación de pienso consume mucha energía ya que utiliza equipos eléctricos de gran tamaño con necesidades energéticas elevadas. Mediante la incorporación de un sistema de biodigestión se pretende que dichos consumos energéticos se reduzcan en la medida de lo posible aprovechando los purines de 400 vientres de ganado bovino estabulados en los corrales de la explotación para producción lechera y cárnica.

3. Análisis de la biodigestión y el sector agropecuario en México

La ganadería es una de las actividades primarias con mayor crecimiento durante la última década (Padilla, 2012), lo que se ha visto reflejado en un sector pecuario rentable y sustentable que garantiza la producción y abastecimiento de alimentos sanos y de calidad para la población. Asimismo, en el “Octavo Encuentro Ganadero” el presidente de la Confederación Nacional de Organizaciones Ganaderas de México (CNOG), Oswaldo Cházaro Montalvo, afirmó que la ganadería mexicana se ha visto sometida a un crecimiento del 3,6% anual en los últimos diez años, superando al crecimiento de la población humana del país y de la economía en su conjunto.

No obstante, este frenético crecimiento está causando un grave problema de contaminación (véase ilustración 3) y empeoramiento de la salud pública: el elevado número de unidades productivas (concretamente las granjas de ganado bovino y porcino) producen grandes volúmenes de purines y desechos que deben ser gestionados adecuadamente.



Ilustración 3: Aspectos medioambientales relacionados con la cría de ganado intensivo.

Fuente: PigCHAMP Pro Europa S.L.

Sin embargo, se ha tomado esta problemática como una gran oportunidad para el **aprovechamiento energético** como una fuente de energía renovable: mediante el uso de excretas para la producción de biogás se pretende generar energía eléctrica y/o térmica que permita satisfacer los requerimientos energéticos de las plantas productivas a través del aprovechamiento de esta fuente de energía renovable (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2013).

Las actividades ganaderas ocupan una superficie de 110 millones de hectáreas, ubicándose el 28% en el trópico mexicano, el 23% en la zona templada y el 49% en áreas desérticas o semidesérticas (Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México, 2015). La ganadería se ubica en alrededor de **430 mil unidades de producción especializada** (sobre el 13% del total), dedicadas principalmente a la avicultura, porcicultura y a la producción de leche y carne de

bovinos, con buenos estándares de calidad e inocuidad, que les permiten satisfacer entre el 70 y el 98% del mercado nacional, según sea el producto de que se trate y acceder a mercados internacionales.

Sin embargo, junto a ellas existe otro gran sector de aproximadamente 2,9 millones de unidades de producción pecuaria en traspatio o que practican la ganadería en forma extensiva con bajos niveles de tecnificación y precario acceso a mercados (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación - SAGARPA, 2012).

Consecuentemente, y teniendo en cuenta el potencial que estas tecnologías parecen poseer, se considera relevante analizar el estado actual de los sistemas de biodigestión ya incorporados en la industria ganadera nacional así como algunos factores que se han considerado de relevancia; entre los que destaca la disponibilidad de materia prima, la facilidad de acceso a la misma y el tipo de biodigestores más utilizados en México.

3.1. Sector porcícola nacional

3.1.1 Población Animal

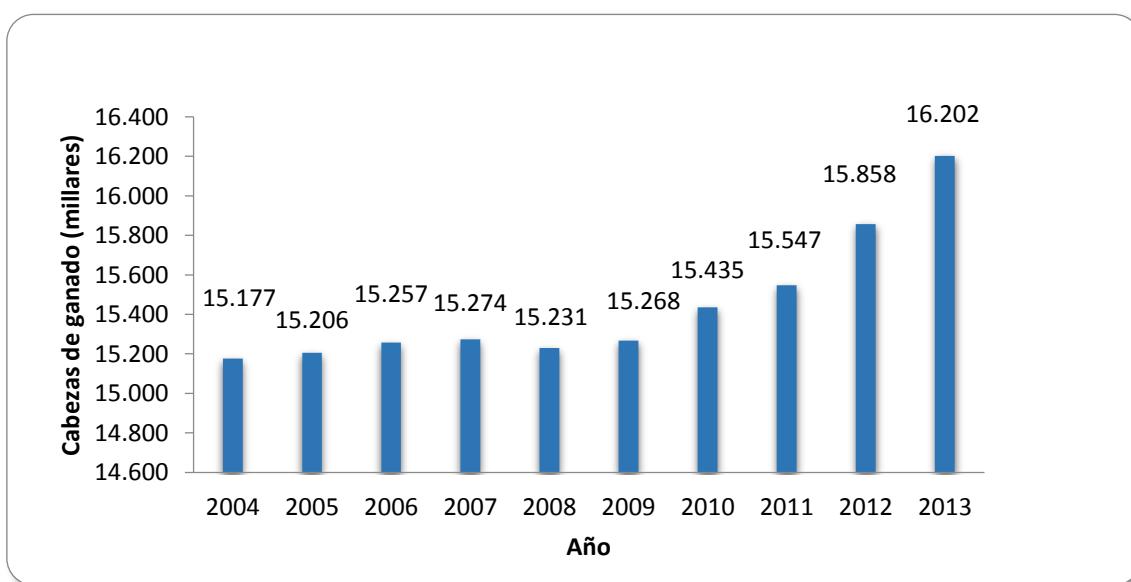


Ilustración 4: Población Porcícola en México 2004-2013
Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por INEGI

En el período de referencia, los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística (en lo que sigue INEGI) muestran, como se representa en la ilustración 4, el crecimiento anteriormente mencionado, lo que resulta propicio para la implementación de sistemas de biodigestión alimentados con excretas de cerdo.

3.1.2 Volumen de producción porcina

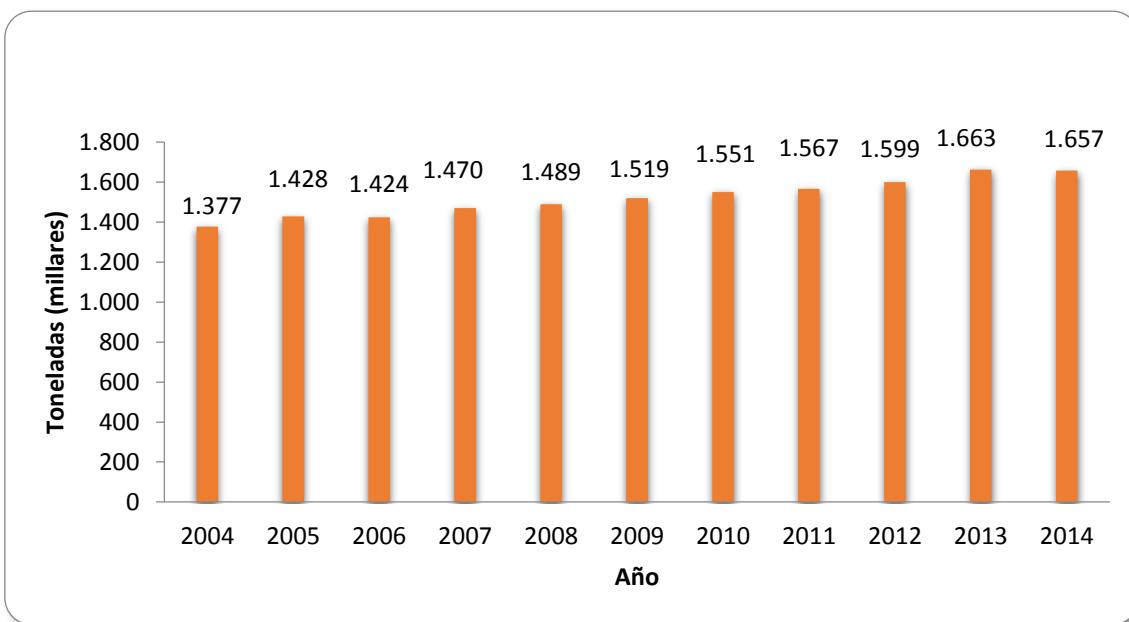


Ilustración 5: Volumen de Producción Porcícola 2004 - 2014.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por INEGI

Según la ilustración 5, aunque se observa un continuo crecimiento del volumen de producción, el avance es mucho menos significativo que en la evolución de la población porcícola. Según el “Servicio de Información Agropecuaria de México”, este comportamiento es debido a la compleja situación económica mundial, así como al encarecimiento de los granos utilizados en la alimentación del ganado.

3.1.3 Participación de la ganadería porcina por estado

La población ganadera no se reparte homogéneamente en México. Cerca del 47% de las unidades productivas porcícolas se concentran en tan sólo 5 estados federales, que, por orden de importancia, son: Jalisco (A), Sonora (B), Puebla (C), Veracruz (D) y Guanajuato (E) (Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera - SIAP, 2015); destacando entre ellos Jalisco y Sonora, con un 16 y un 9% del total, respectivamente. Dichas poblaciones aparecen representadas en la ilustración 6:



Ilustración 6: Estados federales con mayor participación en la ganadería porcícola en México.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por el Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera

De este modo, son los estados antes mencionados, aquellos en los que es más viable la implantación de sistemas de biodigestión para el tratamiento de residuos pecuarios.

Asimismo, el “*Diagnóstico General de la Situación Actual de los Sistemas de Biodigestión en México*” muestra cómo se está produciendo una mayor expansión de la producción en aquellas unidades productivas más tecnificadas.

3.1.4 Sistemas de producción porcícola

Considerando que el aprovechamiento de las excretas requiere que éstas puedan recolectarse de manera sencilla, es esencial conocer el nivel de tecnificación de las explotaciones porcinas.

Para ello, se ha recurrido a las estadísticas realizadas por INEGI, que muestra información del año 2008. Según este organismo gubernamental, en dicho año se censaron 5.731 granjas formales (tecnificadas) y 1.726.780 predios de traspatio (corrales con un nivel de tecnificación mínimo).

Sin embargo, las primeras albergan a 8,3 millones frente a 6,8 millones de cabezas de ganado que se localizan en los predios de traspatio. Este hecho se debe a que los sistemas de cría intensiva que se implementan en las explotaciones agropecuarias tecnificadas son diseñados para obtener el máximo rendimiento de los animales a través del mínimo espacio y coste.

A partir de lo anteriormente expuesto se concluye que, si bien la tecnificación no está desarrollada de manera uniforme y el número de granjas con la tecnología adecuada es reducido, aquellas que sí tienen la tecnología necesaria constan del nivel de producción de cabezas de ganado necesario para hacer factible la implementación de los sistemas de digestión anaerobia.

3.2. Sector bovino nacional

3.2.1 Población animal

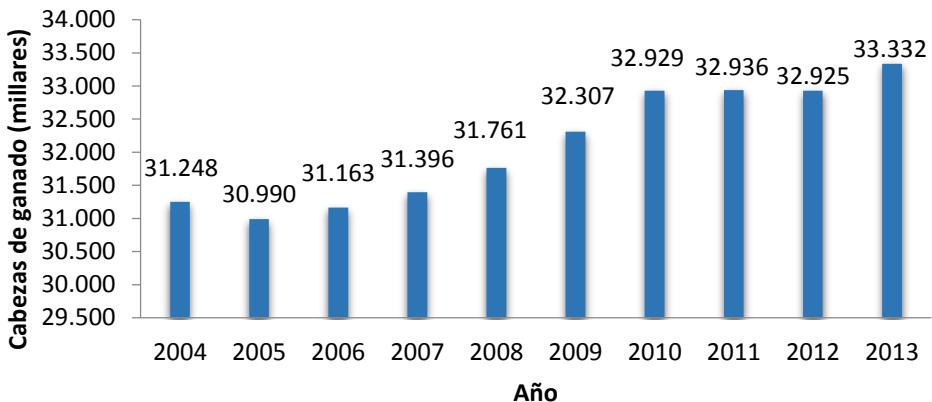


Ilustración 7: Población Bovina en México 2004-2013

Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por INEGI

Según recoge la ilustración 7, la población de ganado bovino ha experimentado un crecimiento continuado en la última década. En el año 2013 existía un volumen de 33.332 millares de cabezas de ganado, en torno al 7% más que en 2004.

3.2.2 Volumen de producción bovina

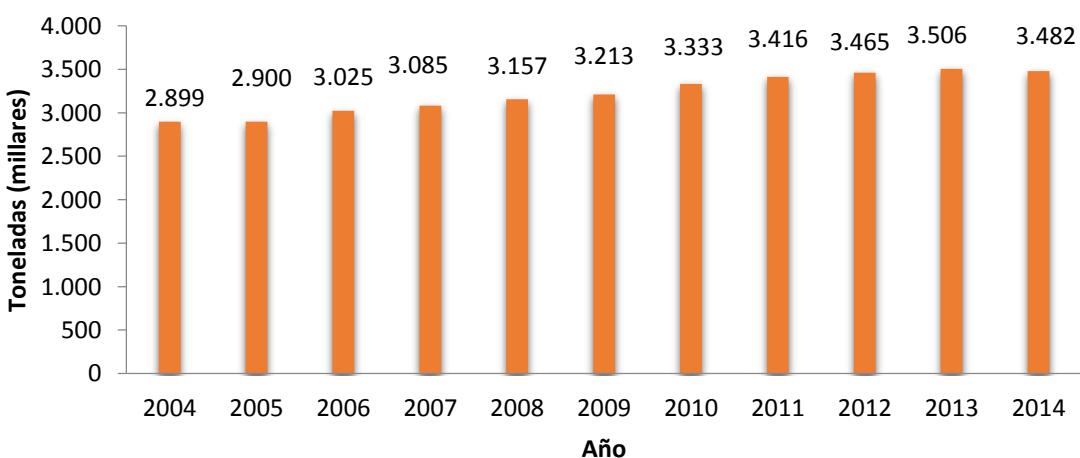


Ilustración 8: Volumen de Producción Bovina 2004 - 2014

Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por INEGI

La producción bovina presentó un crecimiento del 20% entre 2004 y 2014; similar al que se experimentó en el sector agropecuario porcícola.

3.2.3 Participación de la ganadería bovina por estado

Según la información proporcionada por el Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera, las principales explotaciones de ganado bovino se localizan en los estados de Veracruz (A), Jalisco (B), Chiapas (C), Chihuahua (D) y Michoacán (E). Dichas poblaciones aparecen representadas en la ilustración 9:

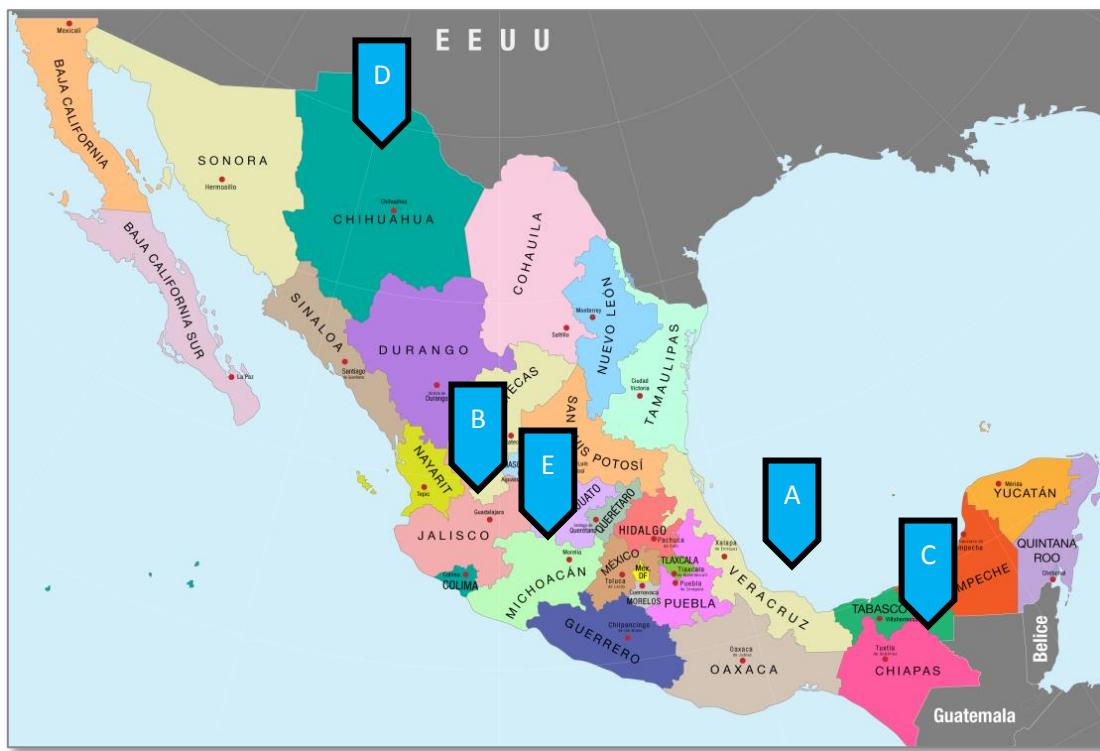


Ilustración 9: Estados federales con mayor participación en la ganadería bovina en México
Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por el Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera

La distribución por estados se ha representado en la ilustración 10:

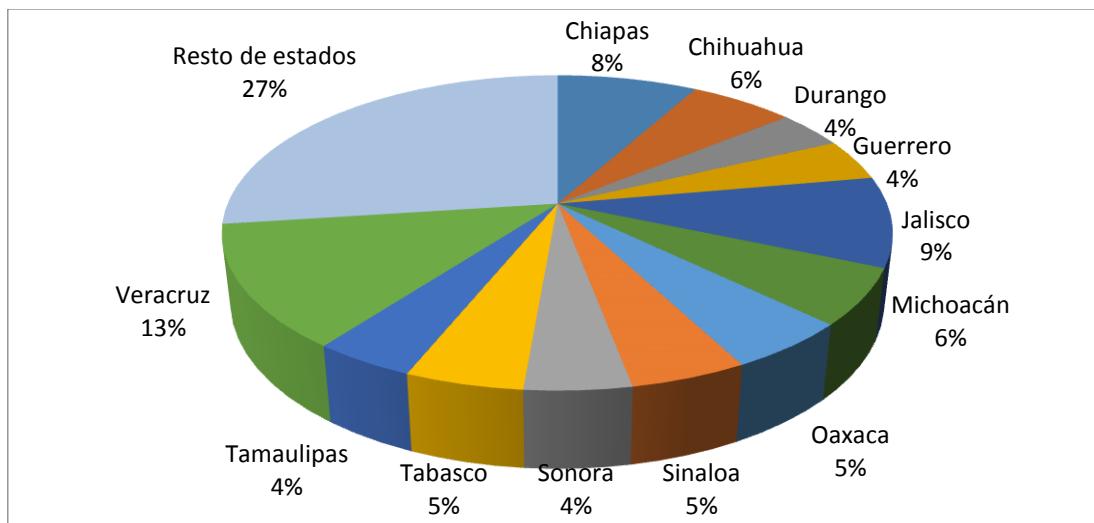


Ilustración 10: Distribución por estados productores de ganado bovino en México

Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por el Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera

3.2.4 Sistemas de producción bovina

Tal y como se ha mencionado en el caso del ganado bovino, para la correcta implantación de tecnologías de biodigestión a partir de excretas es necesario que la producción agropecuaria conste de cierto grado de tecnificación.

Según SAGARPA, las explotaciones de nivel tecnológico especializado alcanzaron el 50,6% del total de producción, el semi-especializado en torno al 21,3% y el familiar el 28,1%.

Los sistemas productivos destinados a la explotación de ganado bovino se expresan en la tabla 1 en función de los estados en los que se encuentren (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2013):

SISTEMAS PRODUCTIVOS DE GANADO BOVINO Y ESTADOS	
Sistema productivo	Estados
Especializado	Durango, Coahuila, Guanajuato, Jalisco, Aguascalientes, Chihuahua, México, San Luis Potosí, Hidalgo, Querétaro y Baja California
Semi-especializado	Jalisco, Chihuahua, Michoacán, Puebla, México, Tlaxcala, Zacatecas, Hidalgo, Baja California y Sonora
Doble propósito	Veracruz, Jalisco, Guanajuato, Chiapas, San Luis Potosí, Tabasco, Guerrero, Sinaloa, Zacatecas y Coahuila
Familiar	Jalisco, México, Hidalgo, Durango, Coahuila, Aguascalientes, Nuevo León, Michoacán, Sonora y Baja California
Extensivo	Tamaulipas, Veracruz y Tabasco

Tabla 1: Sistemas Productivos de Ganado Bovino y Estados

Fuente: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación de México

3.3. Biodigestores en funcionamiento en México

En la actualidad, el Fideicomiso de Riesgo Compartido tiene constancia de la existencia de 721 biodigestores, 174 de los cuales son apoyados por sus programas de ayudas. Dicho organismo ha elaborado un plan de ayuda al fomento de la sustentabilidad del medio rural, hecho que se comenta en el capítulo 5 referido a las Ayudas del presente TFG.

En cuanto a la localización de los sistemas de biodigestión ya implementados, SAGARPA advierte que se encuentran en las regiones del Noroeste y Centro Occidente del país; caracterizadas por tener un mayor número de explotaciones agropecuarias, tanto porcícolas como bovinas.

El mayor número de biodigestores se localiza en Sonora (116), seguido de Jalisco (107), Yucatán (38), Puebla (19) y Nuevo León (16) (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2013). A continuación se muestra la contribución en porcentajes de estos estados al cómputo global de México:

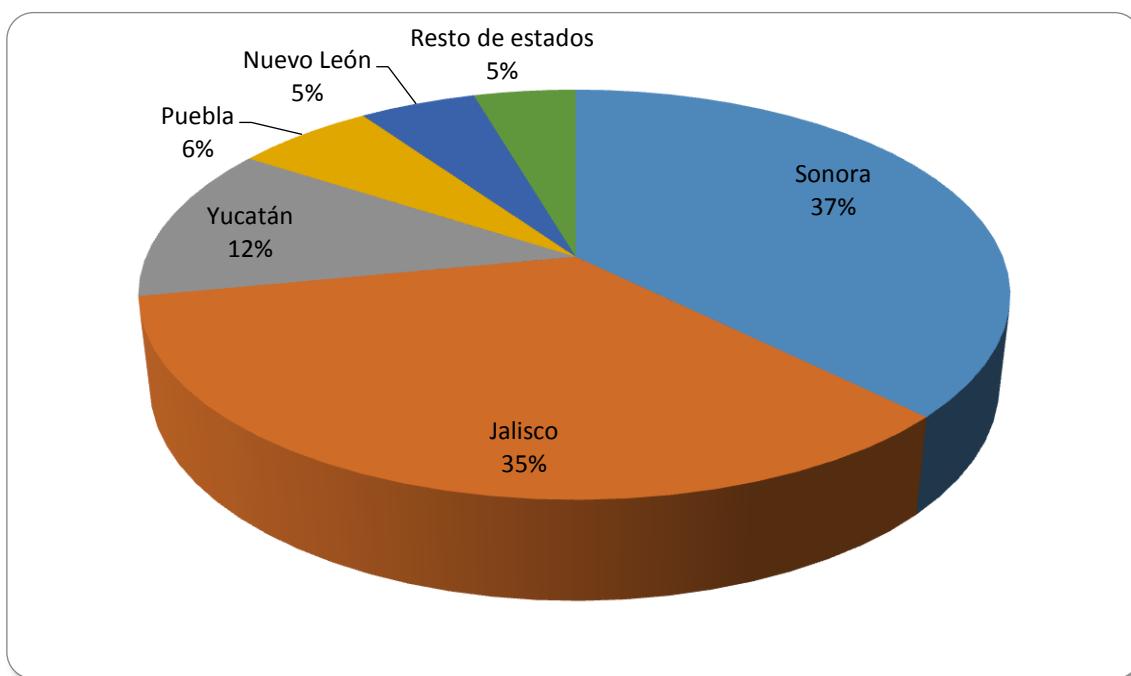


Ilustración 11: Localización de los Sistemas de Biodigestión en México
Fuente: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación

En lo que respecta a la tecnología de biodigestión predominante, la mayor parte de las instalaciones constan de **lagunas anaerobias**; de los biodigestores construidos, el 94,2% utilizan este sistema. Otras tecnologías empleadas, aunque en menor grado de penetración, son la modular (en torno a 17 sistemas) y la tipo bolsa, con 3 biodigestores en funcionamiento.

4. Normativa involucrada

- **Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al ambiente.** Es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable.
- **Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en materia de Evaluación del Impacto Ambiental,** de observancia general en todo el territorio nacional y en las zonas donde México ejerce su soberanía y jurisdicción, y tiene por objeto reglamentar la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en lo relativo al establecimiento, administración y manejo de las áreas naturales protegidas de competencia de la Federación.
- **Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996,** que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- **Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996,** que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas.
- **Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997,** que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, con objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población.
- **Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002,** que establece las especificaciones y los límites máximos permisibles de contaminantes en los lodos y biosólidos provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, con el fin de posibilitar su aprovechamiento o disposición final proteger al medio ambiente y la salud humana.
- **Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003,** que establece las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.
- **Norma Oficial Mexicana NOM-085-SEMARNAT-1994,** para contaminación atmosférica y fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, ,partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno y los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, así como los niveles máximos permisibles de emisión de bióxido de azufre en los equipos de calentamiento por combustión.

- **Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012**, que establece las especificaciones y lineamientos de carácter técnico que deben satisfacer las instalaciones destinadas a la utilización de la energía eléctrica, a fin de que ofrezcan condiciones adecuadas de seguridad para las personas y sus propiedades.
- **Norma Oficial Mexicana NOM-002-STPS-2010**, que establece los requerimientos para la prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo.
- **Norma Oficial Mexicana NOM-017-STPS-2008**, que establece los requisitos mínimos para que el patrón seleccione, adquiera y proporcione a sus trabajadores, el equipo de protección personal correspondiente para protegerlos de los agentes del medio ambiente de trabajo que puedan dañar su integridad física y salud.
- **Norma Oficial Mexicana NOM-026-STPS-2008**. Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.
- **Norma Oficial Mexicana NOM-029-STPS-2011**, que establece las condiciones de seguridad para la realización de actividades de operación y mantenimiento de las instalaciones eléctricas en los centros de trabajo, a fin de evitar accidentes al personal responsable de llevarlas a cabo y a personas ajenas a dichas actividades que pudieran estar expuestas.
- **Norma Oficial Mexicana NOM-003-SECRE-2011**, que establece los requisitos mínimos que deben cumplirse en el diseño, construcción, pruebas, inspección, operación, mantenimiento y seguridad, de los sistemas de distribución de gas natural y de gas LP por ductos.
- **Norma Oficial Mexicana NOM-006-CNA-1997**, que establece las especificaciones y métodos de prueba de las fosas sépticas prefabricadas, para el tratamiento preliminar de las aguas residuales, con el fin de asegurar su confiabilidad y contribuir a la preservación de los recursos hídricos y del ambiente.

5. Ayudas

El Fideicomiso de Riesgo Compartido, en lo que sigue FIRCO, fue creado en el año 1981 con el objetivo de impulsar los agronegocios, el desarrollo rural y realizar funciones de agente técnico en programas del sector agropecuario y pesquero en México.

Una de sus principales prioridades es impulsar la sustentabilidad en sistemas productivos ganaderos, de modo que reviertan su impacto ambiental y que se mitigue la generación de gases efecto invernadero. Con este objetivo, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (en lo que sigue SAGARPA), a través de FIRCO promueve la utilización de los desechos orgánicos en la producción de biogás para abastecer necesidades energéticas y en su caso la obtención de ingresos por la venta de Certificados de Reducción de Emisiones.

En enero de 2009, mediante el Acuerdo COTEN/FIRCO/01/09 se autorizó la operación del “*Proyecto de Apoyo al Valor Agregado de Agronegocios con Esquemas de Riesgo Compartido (PROVAR)*”, en el que se integra la *Componente de Energía Renovable y Biodigestores*, definiendo como Unidad Responsable y Ejecutora del Proyecto a FIRCO.

De este modo emergió la Componente, con objetivo de “impulsar la inversión en el establecimiento y equipamiento de infraestructura para la obtención y utilización de biogás a partir de excretas ganaderas, para mitigar el efecto de éstas en el medio ambiente.

Para lo anterior se definen tres áreas prioritarias de apoyo a la inversión:

1. **Sistemas de Biogás** a incorporarse a Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL). Enfocados a Unidades Pecuarias con manejo intensivo, en donde se prevé la generación y venta de Bonos de Carbono, así como la generación de electricidad que incremente la rentabilidad.
2. **Moto-generadores accionados con Biogás**, que permitan complementar los sistemas de biodigestión para la generación de electricidad en proyectos existentes.
3. **Sistemas Independientes de Biogás**, para la generación de electricidad e incidir en la disminución del impacto ambiental. Planteados como sistemas demostrativos, no consideran la generación y comercialización de Bonos de Carbono y tienen como interés la generación de energía eléctrica para reducir los costos de operación y resolver los problemas de contaminación ambiental.”

Los montos de apoyo son los siguientes:

Sistemas de biogás (biodigestores): Hasta el 50% de la inversión proyectada, incluyendo su instalación, sin rebasar un millón de pesos por beneficiario o agronegocio.

Motogeneradores: Hasta el 50% del costo del sistema, incluyendo la instalación de los equipos, sin rebasar quinientos mil pesos por beneficiario o agronegocio.

Con objeto de fijar unas condiciones mínimas de operación, FIRCO redacta las “*Especificaciones Técnicas Mínimas de los Sistemas de Biodigestión*”, que han sido recogidas en el anexo 1 y el “*Formulario de Registro de los Sistemas de Biodigestión y de Autogeneración a través de Biogás*” del anexo 2.

6. Proveedores

6.1. Proveedores en México



Ilustración 12: Localización de los Principales Proveedores de Sistemas de Biodigestión en México
Fuente: Elaboración propia

- 1) Grupo Belman Servicios Integrales S.A.
Cristanema 92 Col. Ciudad Jardín, Del. Coyoacán, México DF C.P. 04370
www.grupobelman.com.mx
- 2) Bioworks S.A.
Andrea de Castagno 27, Col. Mixcoac, México DF C.P. 03710
www.bioworks.com.mx
- 3) Comercializadora Peninsular de Sistemas Sanitarios Ecológicos S.A.
Toltecas 90-102, Col. Ajusco, Coyoacán, México DF C.P. 04300
www.copensae.com.mx
- 4) Soluciones Ambientales Integrales S.A.
Calvario 1, Col. Tlalpan Centro, México DF C.P. 14000
www.geosai.com
- 5) Environmental Fabrics, Inc.
Benito Juárez 173, Col. Tlalpan Centro, Del. Tlalpan, México DF C.P. 14000
www.efdemexico.com

- 6)** Biogemex S.A.
Lomas del Pedregal 507-07, Col. Lomas del Campestre, León C.P. 37150
www.biogemex.net
- 7)** Geomembranas Plásticas S.A.
Pío X 152, Col. San Jerónimo, León C.P. 37148
www.geoplas.com.mx
- 8)** LEDA Sustentabilidad S.A.
Texcalco 11, Tecamachalco, México C.P. 53970
www.leda.com
- 9)** Environmental Solutions Mexico S.A.
Av. Aguascalientes 517-13, Col. Bosques del Prado Norte C.P. 20127
www.grupo-esm.com
- 10)** Rotoplas S.A.
Paseo de la Reforma 115 Piso 18, Col. Lomas de Chapultepec, Del. Miguel Hidalgo, México DF, C.P. 11000
www.rotoplas.com
- 11)** Consorcio Ingeniería Ambiental Mexicana (CIAM)
Aniceto Ortega 817 PB-D, Del Valle, México DF
www.ciam.mx
- 12)** Sistema Biobolsa
Amatlan 37 Piso 4, Col. Condesa, México DF C.P. 06140
www.sistemabiobolsa.com
- 13)** Eurodepósitos Hidráulicos S.A.
Plaza Concentro, Av. Vallarta 6503, Int. B-23, Col. Ciudad Granja, Zapopan, Jalisco, México
www.eurodepositos.mx
- 14)** Naturagrotx S.L.
Prolongación de Allende 752, San Sebastián, Texcoco, México
www.naturagrotx.netii.net
marcoeltoro@hotmail.com
- 15)** Plastic Liners S.A.
Calle L MZ. 19, LT. 2, Col. 1^a Victoria Sección Bosques, Del. Álvaro Obregón, México DF
www.plasticliners.webs.com
- 16)** Mopesa Motores Power, S.A
Antiguo Camino a San Lorenzo 295, Col. Tlacopa, Toluca de Estado de México, México C.P. 50010
www.madisa.com
izamora@madisa.com

- 17)** Biofermentadores de Alta Eficiencia, S.A.
Simao de Veiga 106, Col. Plaza de Toros, Ciudad de León, México C.P. 37450
bfae@prodigy.net.mx
jaimeg.bfae@prodigy.net.mx
www.agroindustrialrse.com
- 18)** Proteko Desarrollos e Infraestructura, S.A.
California No. 326 Nte. L-5 Col. Centro, Cd. Obregón, Sonora, México C.P. 85000
proteko@prodigy.net.mx
- 19)** GT Energía S.A.
Senda eterna 308-2, Col. Milenio III, Santiago de Querétaro, México C.P. 76060
www.gtenergiarenovable.mx
gtenergiarenovable@gmail.com
adell@prodigy.net.mx
- 20)** Servicios Ambientales y de Energías Renovables del Centro, S.A.
Hermenegildo Galeana 603, Celaya, Guanajuato, México 38040
- 21)** GEO Proyectos y Diseños Ambientales S.A.
Uxmal No. 607-A, Col. Letrán Valle Del. Benito, Juárez C.P. 03650
<http://www.geosistemas.net>
hcanto@geosistemas.net
informacion@geosistemas.net
- 22)** ICR Ambiental S.A.
41 Poniente 2120 Local 16 Integrarte, Ex-hacienda La Noria Puebla, Pue. C.P. 72410
T. +52 222> 2982113
F. +52 222> 2982114
www.icrambiental.com
info@icrambiental.com
- 23)** Groenergy S.A.
<http://www.groenergy.com>
- 24)** Kent & Sørensen Overseas S.A.
Calle 54 378, Mérida, Yucatán, México 97000
T. + 52 (999) 930-9325.
F. + 52 (999) 930-9326.
<http://www.creativovales.com/clientes/kentsorensen/>
cservice@kentsorensen.com

6.2. Proveedores en España

- Grupo Nova Energía
C/Vall 57,
08360 Canet de Mar
Barcelona - España
T. (+34) 93 794 33 91
F. (+34) 93 794 08 67
info@gruponovaenergia.com
<http://www.gruponovaenergia.com>
- Paver Prefabricados, S.A.
Pol. Industrial TORRELAVIT s/n
08775 Barcelona
T. (+34) 93 899 54 84
F. (+34) 93 899 58 78
paver@paverprefabricados.com
<http://paverprefabricados.com>
- Ecobiogás S.L.
Plaça Major, 12
25245 Vila-Sana, Lleida
T. (+34) 973 070 608
F. (+34) 973 606 001
info@ecobiogas.es
<http://www.ecobiogas.es>

6.3. Otros proveedores consultados

- Aqualimpia El Salvador S.A. de C.V.
Bosques de Santa Elena, 1
Pasaje de los Laureles, casa No. 3
Santa Elena, San Salvador
El Salvador
T. (503) 2246 0384
F. (503) 7883 3083
elsalvador@aqualimpia.com
<http://www.aqualimpia.com>
- Grupo ICE
Sabana Norte, San José
Costa Rica
Persona de contacto:
Carolina Hernández Chanto
Tel: (506) 2000-5889
chernandezch@ice.go.cr
www.grupoice.com

7. Selección de una instalación de biodigestión para una explotación ganadera tipo

Las lagunas anaerobias son el sistema de biodigestión más indicado siempre y cuando se den las siguientes características en la explotación (Fideocomiso de Riesgo Compartido - FIRCO, 2015):

- Deben ser granjas mayores de 300 vientres o establos mayores a 500 cabezas, con sistemas de producción en confinamiento.
- Con sistemas adecuados de recolección de excretas para ser dispuestas en un biodigestor y con laguna de oxidación
- En caso de que se considere la instalación de un motogenerador, los consumos de energía eléctrica de esta unidad deben sustentar técnicamente el sistema.

De este modo, se tomó la decisión de realizar el dimensionamiento del **biodigestor tipo laguna anaerobia** para la explotación tipo objeto de estudio, dado que se cumplen los requisitos y es el más indicado para el tratamiento de purines procedentes de explotaciones agropecuarias, tal y como se comenta en el apartado 3.3 del presente TFG.

Su dimensionamiento irá orientado a cumplir con los requerimientos exigidos por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación de México, de manera que se tenga acceso a obtener las ayudas y montos de apoyo que este organismo ofrece. Para ello, debe seguirse las disposiciones incluidas en los anexos 1 y 2.

Además se ha consultado el manual “*Especificaciones Técnicas para el Diseño y Construcción de Biodigestores en México*”, elaborado por FIRCO en el año 2010, que pretende asegurar la calidad, durabilidad y rendimiento de los mismos.

Asimismo, se ha seguido el manual “*Especificaciones Técnicas para Biodigestores Pequeños Tipo Laguna*” que se elaboró más tarde con objeto de “desarrollar sistemas que permitan la obtención de energía eléctrica y/o térmica, o en su caso, la destrucción del biogás a través de quema directa mediante biodigestores pequeños tipo laguna cubierta”.

8. Factores a tener en cuenta en la explotación de una laguna anaerobia

8.1. Ubicación

Previamente a la excavación en el terreno, será necesario realizar un estudio de mecánica de suelos que permita conocer el tipo de suelo. Deberá incluir al menos lo siguiente (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2010):

- La capacidad de carga del suelo
- La estratigrafía del subsuelo
- Cálculo para la estabilidad de los taludes
- Sondeos del subsuelo, no menores a 10 m, para la determinación del nivel del manto freático

No se deberá excavar si se detecta que el manto freático se localiza a menos de 7 m. En el caso de que el manto freático se localice entre los primeros 7 y 10 metros, el biodigestor se construirá superficial o semienterrado, en condiciones que garanticen su estabilidad en función del tipo de suelo (Fideocomiso de Riesgo Compartido, 2013).

Asimismo, se deberán tener en cuenta al menos las siguientes restricciones, según la *Ley General para el Equilibrio Ecológico y Protección al ambiente (LGEEPA)*:

- Evitar la cercanía de aeródromos de servicio público o aeropuertos.
- No ubicarlo dentro de áreas naturales protegidas.
- Se deberá instalar en un lugar que no afecte a la población aledaña al lugar de ubicación de la unidad.
- No ubicarlo en zonas de marismas, manglares, esteros, pantanos, humedales, estuarios, planicies aluviales, fluviales, recarga de acuíferos, zonas arqueológicas, fracturas o fallas geológicas.
- La distancia con respecto a cuerpos de aguas superficiales con caudal continuo, lagos y lagunas, debe ser de 500m como mínimo.
- Se deberá localizar fuera de zonas de inundación.
- La distancia entre el límite del sistema y cualquier pozo de extracción de agua, deberá ser de al menos 500m.
- El manto freático o aguas subterráneas, deberán encontrarse a una profundidad de al menos 7 metros, para asegurar una distancia mínima entre estas y el fondo del biodigestor de al menos 3 metros.

8.2. Estudio de requerimientos administrativos previos

8.2.1 Manifestación de Impacto Ambiental

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (SEMARNAT) exige presentar una “*Manifestación de Impacto Ambiental*”, MIA, cuando se pretende realizar alguna de las obras o actividades incluidas en el artículo 28 de la “*Ley General del Equilibrio Ecológico*”. Dicho documento y objetivo del proceso es homólogo a la “*Evaluación de Impacto Ambiental*” que se implementa en España según directivas de la Unión Europea.

De acuerdo a la “*Ley General para el Equilibrio Ecológico y Protección del Medio Ambiente*”, la construcción de un sistema de biodigestión no deberá elaborar una MIA siempre y cuando se cumplan sus disposiciones en cuanto a la restricción de la ubicación del biodigestor. De este modo, es suficiente la confección de un informe preventivo previo a la ejecución de la obra, siempre y cuando se verifiquen además los requerimientos estatales y municipales correspondientes.

8.2.2 Manejo del biogás

Según la SAGARPA, una explotación no deberá darse de alta como empresa con actividades altamente riesgosas siempre y cuando no se manejen cantidades de metano (CH_4) superiores a 500 kg o $746,7 \text{ m}^3$. Considerando una concentración mínima del 50% de éste en el biogás, no se podrán alcanzar los 1.493 m^3 de biogás.

Producciones superiores exigirían un estudio de riesgo y programa de prevención de accidentes ante la autoridad ambiental de SEMARNAT.

9. Diseño de un sistema de laguna anaerobia en una instalación de biodigestión tipo

Con objeto de exemplificar el método de diseño, se pretende esbozar una instalación tipo para una explotación agropecuaria, así como plantear los cálculos y el diseño básico de algunos de los componentes principales de la instalación: el biodigestor y las fosas de mezcla y efluente. Además, se seleccionará el grupo motogenerador más adecuado para la instalación.

9.1. Esquema del sistema de biodigestión tipo laguna cubierta

En este sistema la generación de biogás se lleva a cabo dentro de una laguna privada del acceso al aire, en la que los purines son introducidos tras haber sido homogeneizados con agua en una pila de mezclado donde se obtienen características uniformes y favorables para el proceso.

Dicha laguna consiste en una fosa excavada en el terreno y revestida en su totalidad con una geomembrana que impida el percolado de los purines y productos del proceso a la tierra.

Los principales componentes de la instalación son los siguientes:

- Un **sistema de manejo de estiércol** que conduzca los purines de la explotación agraria al sistema de biodigestión.
- Un **separador de sólidos**, opcional y según las características de los purines y la explotación, que procure un material biológico libre de sólidos que provoquen taponamientos en las tuberías y problemas en el proceso de fermentación. Los métodos más comunes son por flotación, separador de malla y extrusor.
- Una **fosa de mezclado**, que permita controlar la concentración de los purines introducidos al biodigestor, así como su relación agua/excretas requerida a introducir en el sistema para que el proceso de digestión anaerobia se produzca de la manera más eficiente posible.
- Una **laguna revestida de polietileno de alta densidad**, en la que el estiércol se deposita mezclado con agua. Se les hace permanecer en ella el tiempo necesario para que se produzca adecuadamente el proceso de digestión anaerobia en el que se produce el biogás. El material que sedimenta en el fondo se extrae mediante un sistema de tuberías para evitar que se produzcan cegamientos que perjudiquen la operación del biodigestor.
- Una **laguna a cielo abierto** en la que se recoge el efluente producto del proceso. Dicho efluente es comúnmente utilizado como biofertilizante, dado su alto nivel de nutrientes, trasladado por gravedad a los diferentes cultivos.
- Un **sistema de tuberías y bombas** para transportar el biogás hasta el sistema de generación eléctrica.
- Una **antorchas de emergencia** para quemar en condiciones de seguridad el biogás en el caso de que se produzcan anomalías en la planta, como aumento de la presión de trabajo o en las tareas de mantenimiento.
- Una **planta generadora de electricidad**.

- Un sistema de distribución eléctrico, ya sea para consumo en la explotación o para la interconexión de la planta con la red.

Una configuración típica de este sistema de biodigestión podría ser el representado por la ilustración 13:

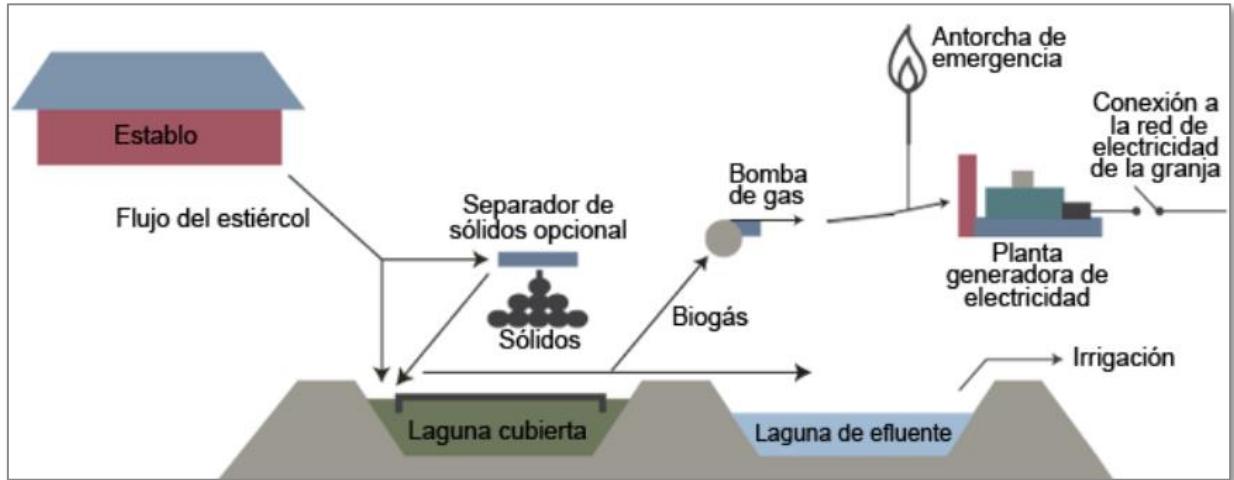


Ilustración 13: Esquema del Biodigestor Laguna Cubierta
Fuente: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación

Nótese que la configuración anterior carece de pila de mezclado. Sin embargo, se considera un componente conveniente; por lo que en lo que sigue se estudiará como parte del sistema de biodigestión tipo propuesto.

9.2. Biodigestor

9.2.1 Consideraciones previas al diseño del biodigestor

Previamente al dimensionamiento del biodigestor, deben tenerse en consideración algunos factores base que nos permitirán hacer una estimación de la cantidad real disponible de materia prima y del modo en que ésta se degradará en el proceso de digestión anaerobia. A partir de estos datos, se procederá a la determinación del tiempo de retención hidráulico y el volumen del biodigestor.

Dichos factores se mencionan a continuación:

Tipo y disponibilidad de la biomasa

- Material de carga
 - Especie: Bovinos, porcinos, ovinos, equinos, aves de criadero, etc.
 - Clase: vacas lecheras, de engorda, jóvenes, reproducción, etc.
- Número de cabezas de ganado.
- Producción de estiércol estimada [kg/cabeza y día]

- Porcentaje de estiércol recolectable en el establo (depende de la infraestructura y del manejo del ganado).
 - Establos freestall (Estabulación libre con cubículos): son los que más recolectan y por lo general captan cerca del 80% del estiércol.
 - Establos más antiguos: captan de 40 a 60% del estiércol.
- Forma de recolección del estiércol:
 - Por tractor con escrepa, que es el más difundido. Este método se representa en las ilustraciones 14 y 15 (Ochoa Martínez, Sánchez Duarte, Figueroa Viramontes, & Núñez Hernández, 2011)



Ilustración 14: Sistema de Limpieza por Escrepa



Ilustración 15: Limpieza de Corrales por Escrepa

- Por golpe de agua: Se deberá especificar la cantidad, en m^3 para mantener una concentración adecuada en el biodigestor. Dicho sistema se muestra en la ilustración 16 (Ochoa Martínez, Sánchez Duarte, Figueroa Viramontes, & Núñez Hernández, 2011):



Ilustración 16: Limpieza en el Área de Alimentación por Golpe de Agua

Aspectos geográficos de la zona

- Localización del proyecto: Las condiciones climatológicas condicionarán el tiempo de retención.
- Superficie disponible para la implantación del sistema de biodigestión.

Características fisicoquímicas y microbiológicas de la biomasa

El proveedor debe tener en consideración ciertos parámetros que proporcionan una estimación más exacta de la producción de biogás (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2010):

- PH
- Temperatura del efluente [ºC]
- Densidad de la muestra [kg/l]
- Contenido de Sólidos (Totales, Volátiles Totales, Suspendedos Totales, Disueltos Totales y Fijos Totales; [mg/l])
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO; [mg/l])
- Relación Carbono/Nitrógeno (Nitrógeno Total y Carbono Orgánico Total; C:N [mg/l])
- Presencia de Agentes Inhibidores, principalmente metales como: Magnesio (Mg), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Hierro (Fe).
- Potasio (K; [mg/l])
- Calcio (Ca; [mg/l])
- Fosforo (P; [mg/l])
- Coliformes Totales (Unidades Formadoras de Colonias; [UFC/l])

9.2.2 Biomasa disponible

Como se ha mencionado con anterioridad, la materia prima para la producción de biogás es el estiércol fresco, en este caso el de vaca, siendo éste animal el que más estiércol produce y el que más fácil es de recoger.

El cálculo debe basarse en la información recolectada en cada caso concreto y dependerá de la estructura y desarrollo de los animales en corrales mes a mes, durante el año de operación representativo, en donde se registren los movimientos en la existencia de cabezas considerando distintos parámetros zootécnicos, como tasas de pariciones, mortalidad, entradas y salidas por compra venta, entre otros (Fideocomiso de Riesgo Compartido; Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2013).

En este caso, la materia prima de la que se pretende partir es:

- Ganado bovino destinado a la producción lechera
- 400 cabezas
- Estabulación libre con cubículos
- Recolección del estiércol por golpe de agua

Para el cálculo de la cantidad de estiércol disponible existe una gran variedad de tablas que recogen información en función del tipo de ganado y su etapa de desarrollo, siendo la de Dieter Deublein y Angelika Steinhauser en su libro “*Biogas from Waste and Renewable Resources*” una de las más completas. Dicha información se representa en la tabla 2.

UAE: Unidad Animal Equivalente, base de conversión es una vaca o un vacuno de engorda.

		Estiércol líquido [m ³ /animal]			
		UAE	Día	Mes	Año
Bovinos	Vacas, vacunos de engorda	1	0.05	1.5	18.00
	Vacas de producción lechera	1.2	0.055	1.65	19.80
	Toro de reproducción	0.7	0.023	0.69	8.28
	Vacunos jóvenes < 2 años	0.6	0.025	0.75	9.00
	Ternero de crianza < 1 año	0.2	0.008	0.24	2.88
	Ternero de engorda	0.3	0.004	0.12	1.44
Porcinos	Porcino de engorda	0.12	0.0045	0.135	1.62
	Porcina	0.34	0.0045	0.135	1.62
	Porcino jóvenes (<12kg)	0.01	0.0045	0.135	1.62
	Porcino jóvenes (12 – 20 kg)	0.02	0.001	0.03	0.36
	Porcino jóvenes (20 – 45 kg)	0.06	0.003	0.09	1.08
	Porcino jóvenes (45 – 60 kg)	0.16	0.0045	0.135	1.62
Ovinos	Ovejas < 1 año	0.005	0.003	0.09	1.08
	Ovejas > 1 año	0.1	0.006	0.18	2.16
Equinos	Caballos < 3 años	0.7	0.023	0.69	8.28
	Caballos enanos	0.7	0.023	0.69	8.28
	Caballos > 3 años	1.1	0.033	0.99	11.88
Aves de criadero	Pollo de engorda <1200 g	0.0023	0.0001	0.003	0.04
	Gallina < 1200 g	0.0023	0.0001	0.003	0.04
	Pollo < 800 g	0.0016	0.0001	0.003	0.04
	Gallina < 800 g	0.0016	0.0001	0.003	0.04

Tabla 2: Potencial de Producción de Estiércol por Animal
Fuente: Biogas from Waste and Renewable Resources

Se obtiene la capacidad de producción de estiércol de la explotación:

$$\text{Producción de estiércol} = 400 \text{ animales} \cdot 0.055 \frac{\text{m}^3}{\text{animal día}} = 22 \text{ m}^3 \text{ diarios}$$

Al ubicarse el ganado en establos *freestall*, la cantidad de estiércol que se puede recoger es aproximadamente un 80% del total producido durante el día, de manera que se dispone de **17,6 m³ de estiércol** para ingresar al biodigestor.

9.2.3 Selección del tiempo de retención hidráulico

El tiempo de retención hidráulico (TRH) viene determinado por la temperatura ambiente media del lugar donde se vaya a instalar el biodigestor. La temperatura influirá en la actividad de las bacterias que digieren el estiércol, de manera que tendrán más actividad cuanta mayor temperatura tenga la localización.

De este modo, se determina el Tiempo de Retención Hidráulico como el tiempo que debe permanecer el sustrato dentro del biodigestor para alcanzar un mínimo del 60% de destrucción de los sólidos volátiles. Dicho parámetro debe determinarse para cada proyecto en particular, y considerará la carga orgánica, la temperatura del influente y la del medio ambiente (Fideocomiso de Riesgo Compartido; Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2013).

En el anexo 3 (Fideocomiso de Riesgo Compartido, 2013) se localiza un mapa de México en el que se representan de manera orientativa y como referencia las temperaturas medias anuales y el tiempo de retención hidráulico estimado para alcanzar la degradación del 60%.

De este modo, se infiere que para un biodigestor localizado en el municipio de Namiquipa (Chihuahua) se requiere un tiempo de retención hidráulico estimado de **43 días**.

9.2.4 Determinación de la mezcla estiércol-agua y flujo volumétrico del influente

Para estimar el flujo volumétrico dentro del biodigestor, es necesario estimar la relación agua-excretas requerida a introducir en el sistema para que el proceso de digestión anaerobia se produzca de la manera más eficiente posible.

Es muy recomendable que el estiércol se encuentre diluido para evitar que se generen azolves en la superficie capaces de obstruir conductos y otros elementos de la instalación. No obstante, concentraciones bajas de materia orgánica a biodegradar podría perjudicar el rendimiento de la instalación reduciendo la producción de biogás.

El volumen de agua a adicionar dependerá en gran parte del método de recolección de las excretas de las unidades productivas, por ejemplo: aquellos sistemas que utilicen agua para el manejo de las excretas, como la recolección por golpe de agua, proporcionarán estiércol más diluido que requerirá menor cantidad de agua.

Para el caso de los biodigestores tipo laguna se podrá considerar hasta una relación mínima de agua-solidos de 3:1 (si las excretas han sido previamente diluidas) y máxima de 9:1. Para el caso de que el sistema de manejo de excretas requiera una relación de sólidos mayor, se propondrán otros diseños de biodigestores o equipamientos que garanticen la óptima producción del biogás, como sistemas de recirculación y recalentamiento (Fideocomiso de Riesgo Compartido; Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2013).

En el caso de estudio, se ha seleccionado una mezcla **3:1**, dado que la recogida se realiza por golpe de agua.

9.2.5 Volumen de biodigestor

El biodigestor debe ser capaz de albergar en sí tanto las excretas como el biogás que se produzca mediante la digestión anaerobia. De este modo, de manera general, el volumen del biodigestor debe ser, al menos, igual al volumen del material a degradar y un volumen adicional para el almacenamiento del biogás, considerando el tiempo de digestión necesario.

Usualmente, se otorga un espacio para la fase líquida (excretas) y un volumen adicional para el almacenamiento del biogás, que puede ser el recomendado y comúnmente utilizado en diseño de reactores, en torno a un 20-30 % adicional al volumen de operación. Dicho volumen adicional, en el caso de tipo laguna cubierta, lo da la geomembrana y su expansión (Fideocomiso de Riesgo Compartido, 2013).

El método de cálculo consiste en determinar en primer lugar la materia prima de partida disponible en función del volumen de excretas que se estima que se puede recolectar y de la calidad de las mismas. Esto depende del tipo de animal y el método de recolección utilizado en la explotación. Posteriormente, se determina el porcentaje adecuado de agua a añadir, para favorecer el proceso de fermentación metanogénica y su tránsito por el sistema de biodigestión. Los cálculos y el proceso se encuentran desarrollados en el Anexo 4 del presente TFG.

De este modo se obtiene un volumen final del biodigestor de **3.632,64 m³**.

9.2.6 Dimensionamiento del biodigestor

Las dimensiones del biodigestor tipo laguna se determinan a partir del volumen final obtenido, considerándolo una pirámide trunca invertida. Por geometría básica, según la ilustración 17:

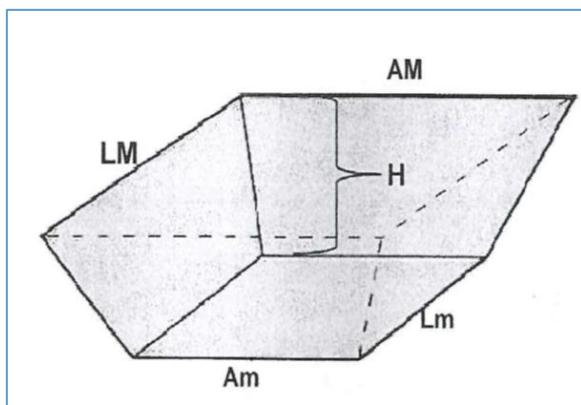


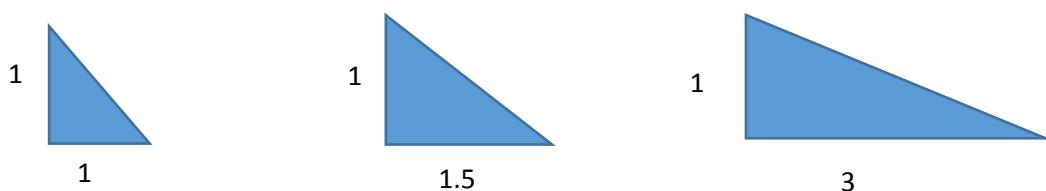
Ilustración 17: Geometría Básica del Biodigestor
Fuente: Formulario de Registro y Condiciones, Anexo 4 (SAGARPA)

$$V_{biodigestor} = \frac{H}{3} \cdot (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \cdot A_2}) = 3632,11 \text{ m}^3$$

Siendo A_1 y A_2 las secciones del biodigestor correspondientes al fondo y a la superficie de la laguna. Se obtienen respectivamente como:

$$\begin{cases} A_1 = A_m \cdot L_m \\ A_2 = A_M \cdot L_M \end{cases}$$

SAGARPA recomienda que los taludes de las paredes del biodigestor se localicen en el rango de 1/3 y 1/1 para la correcta colocación de la membrana. Se ha seleccionado una relación de **1/1,5**; considerando que valores menores comprometerían la inestabilidad de la laguna y mayores aumentarían considerablemente sus dimensiones.



Asimismo, la laguna necesita tener una profundidad mínima para que se produzca adecuadamente la digestión anaerobia. La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación exige que sea al menos 3,5 metros. En este caso, se ha calculado la laguna con 4m.

De este modo, se obtienen las dimensiones finales. Dichas dimensiones aparecen expresadas en la Tabla 3:

DIMENSIONES DEL BIODIGESTOR	
Ancho inferior	10 m
Largo inferior	51 m
Ancho superior	22 m
Largo superior	63 m
Profundidad	4 m
Volumen final del biodigestor	3650 m ³

Tabla 3: Dimensiones y volumen finales del biodigestor

Tras el dimensionamiento, se ha modificado el volumen final del biodigestor de acuerdo a las medidas otorgadas para la laguna aerobia. La apariencia final del biodigestor se asemejaría al de la ilustración 18:

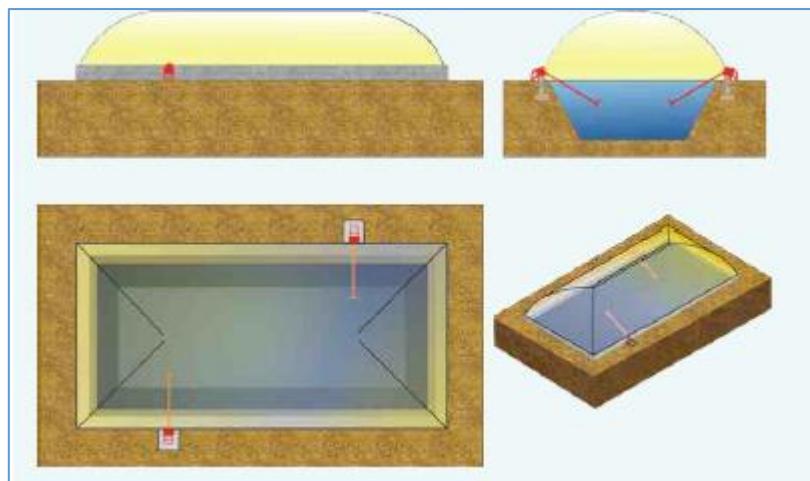


Ilustración 18: Diseño Conceptual del Biodigestor
Fuente: Aqualimpia

9.2.7 Características de la geomembrana

La geomembrana empleada para otorgar hermeticidad al revestimiento de las paredes del biodigestor debe ser de polietileno de alta densidad (HDPE) (Ilustración 19) y cumplir en todo caso con las especificaciones del FIRCO especificadas en el anexo 1 del presente TFG.



Ilustración 19: Detalle Geomembrana HDPE

Deberá cumplir, como mínimo, con las siguientes propiedades reflejadas en la tabla 4 (Fideocomiso de Riesgo Compartido, 2013):

PROPIEDADES MÍNIMAS EN LA SELECCIÓN DE LA GEOMEMBRANA		
PROPIEDADES	UNIDAD	VALOR NOMINAL
Densidad	Kg/m ³	940
Resistencia al Desgaste	N	210
Resistencia al Límite Elástico	N/mm	25
Estiramiento al Límite Elástico	%	13
Resistencia a la Rotura	N/mm	43
Estiramiento a la Rotura	%	700

Tabla 4: Propiedades Mínimas de la Geomembrana HDPE

Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por SAGARPA

En lo que respecta al espesor tanto de la base del biodigestor como de las paredes, debe ser de al menos 1,5 mm, para evitar rupturas producidas por aumentos de presión debidas a la acumulación de biogás. Asimismo, se deberá garantizar su vida útil por al menos 10 años, siendo recomendable 20 años.

9.2.8 Puesta en marcha del biodigestor

Una vez determinadas las dimensiones de la laguna anaerobia y seleccionada la geomembrana, debe procederse a la puesta en funcionamiento de la misma mediante la colocación de la geomembrana en las paredes, llenado de material biológico y cerramiento de la cubierta del biodigestor. Dicho proceso pretende ejemplificarse a continuación en las ilustraciones:



Ilustración 20: Excavación del Biodigestor
Fuente: Aqualimpia

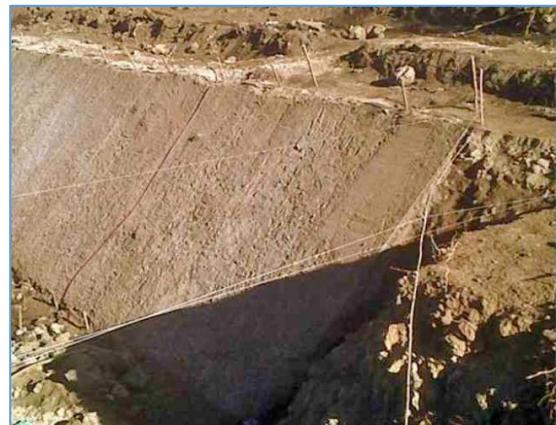


Ilustración 21: Estabilización de Taludes
Fuente: Aqualimpia



Ilustración 22: Colocación de Geotextil para el Reforzamiento y Protección de la Geomembrana
Fuente: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación



Ilustración 23: Revestimiento del Biogestor con Membrana de Polietileno de Alta Densidad HDPE
Fuente: Fideicomiso de Riesgo Compartido de México



Ilustración 24: Llenado de la Laguna Anaerobia con las Excretas Animales Previamente Mezcladas
Fuente: Aqualimpia



Ilustración 25: Instalación de la Cubierta del Biodigestor tras el Llenado de la Laguna
Fuente: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación



Ilustración 26: Biodigestor en Funcionamiento
Fuente: Aqualimpia

9.3. Pila de mezclado

Con el fin de controlar la relación agua/excretas que se ha considerado en el apartado 9.2.4, es esencial la construcción de una pila de mezclado que concentre el influente proveniente de las excretas de la unidad productiva.

La pila de mezclado debe tener la capacidad de almacenar la cantidad de mezcla producida diariamente por la explotación, que en este caso son 70,4 m³ diarios. Asimismo, permite sedimentar materiales pesados (palos, piedras, etc.) y materiales que se encuentren flotando, como pajas y forrajes.

Mediante la geometría básica de la ilustración 27 y considerando la fosa cuadrada con la misma profundidad que el biodigestor, 4 m, sus dimensiones serán:

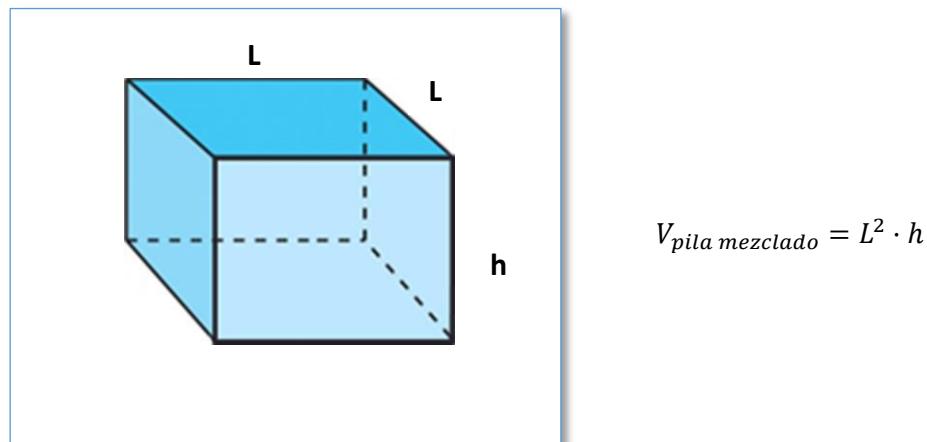


Ilustración 27: Geometría básica de la pila de mezclado

De este modo, se obtienen las dimensiones y volumen final de la tabla 5:

DIMENSIONES DE LA PILA DE MEZCLADO	
Ancho	4,2 m
Largo	4,2 m
Profundidad	4 m
Volumen final de la pila	70,56 m ³

Tabla 5: Dimensiones y Volumen Finales de la Pila de Mezclado

Dicho depósito deberá localizarse a una altura superior al biodigestor, para que pueda alimentarlo por gravedad.

9.4. Laguna del efluente

Una vez que la fermentación metanogénica se ha realizado y se ha producido el biogás, los líquidos resultantes del proceso (efluentes) deben ser captados por una laguna a cielo abierto. Estos líquidos podrán ser utilizados como fertilizante dado su alto nivel de nutrientes o someterse a un tratamiento adicional que les confiera mejores propiedades.

En cuanto al dimensionamiento, se debe dotar a la laguna con, al menos, una capacidad igual al volumen de la mezcla del biodigestor. Por geometría básica, según la Ilustración 28:

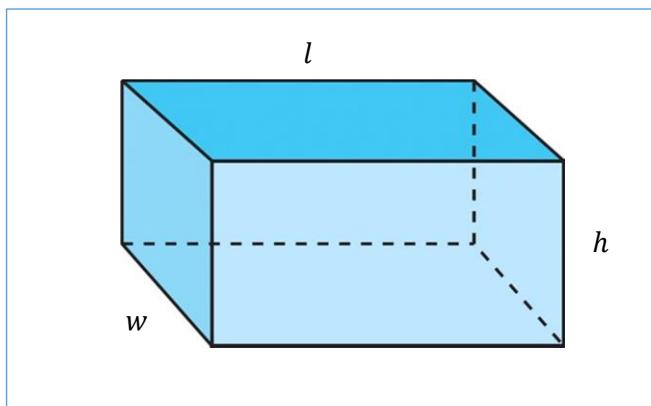


Ilustración 28: Geometría Básica de la Laguna de Efluente

$$V_{laguna\ efluente} = l \cdot w \cdot h$$

Sin embargo, suele sobredimensionarse de modo que se permita almacenar el abono por más tiempo. En este caso, se ha considerado un almacenamiento de **cinco días**; de modo que el volumen de la laguna y sus dimensiones serán las representadas en la tabla:

$$V_{laguna} = 70,4 \frac{m^3}{día} \cdot 5 \text{ días} = 352 m^3$$

DIMENSIONES DE LA LAGUNA DE EFLUENTE	
Ancho	9 m
Largo	10 m
Profundidad	4 m
Volumen final de la pila	360 m ³

Tabla 6: Dimensiones y volumen Final de la Laguna de Efluente

Si los lodos residuales almacenados son aprovechados, deberá hacerse de acuerdo a la metodología de la *NOM-004-SEMARNAT-2002* y deberá acogerse a los análisis y metodologías de muestreo que dicha normativa recomiende.

Asimismo, si se pretende su aplicación para el mejoramiento de suelos y fines agrícolas, se aplicará lo establecido en la *Ley Federal de Sanidad Vegetal*.

9.5. Selección del grupo motogenerador

Dado el potencial energético que se ha estimado que presenta la instalación, se ha estudiado la posibilidad de poner un motor de generación eléctrica y la capacidad de producción del mismo. Se ha dimensionado de acuerdo al potencial de biogás producido por la explotación.

El grupo generador que se ha considerado es de **30 kW** de la marca Aqualimpia, gama **AQGLgenset** y su modelo es el **AGL30**. Consta de un revestimiento en forma de gabinete (ilustración 29) de modo que se le dote de mayor protección a los agentes atmosféricos y pueda ser emplazado en ambientes externos.



Ilustración 29: Grupo Generador AQLgenset con Gabinete
Fuente: Aqualimpia

A continuación se presenta la tabla 7 con algunas de las características del grupo generador y del motor a biogás. Las características de los otros componentes se muestran en la ficha técnica del grupo generador adjunta en el anexo 5 del presente TFG.

CARACTERÍSTICAS GRUPO GENERADOR AQLgenset	
ESPECIFICACIONES GENERALES	
Frecuencia	60 Hz
Tensión nominal	480 V
Factor de potencia	0,8
MOTOR	
Marca	Isuzu
Modelo	4JB1T
Potencia	30 kW
Arranque	Eléctrico
Tipo de refrigeración	Aceite
Regulador de velocidad	Sí
Filtros de mejora de biogás	Sí
Regulador de presión	Fiorentini
RPM	1.800
Diámetro de carrera	93x102 mm
Relación de compresión	10:1

Tabla 7: Características del Grupo Generador AQLgenset30
Fuente: Aqualimpia

El grupo generador deberá satisfacer las condiciones estipuladas en el “Artículo 445-Generadores” y el “Artículo 705-Fuentes de Producción de Energía Eléctrica Conectada” de la “Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005, Instalaciones Eléctricas”, mencionada en el capítulo 4 del presente TFG.

10. Estimación del potencial energético de la instalación

10.1. Producción estimada de biogás

Existen diversas formas de determinar la producción de biogás a partir de la carga diaria de excretas en el biodigestor.

10.1.1 Metodología general

La determinación recomendada por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático, en su documento “*2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*” es la más precisa y se muestra a continuación:

$$Y_v = \left[-\frac{B_o \cdot V_S}{R} \right] \left[1 - \left[\frac{K}{RM - 1 + K} \right] \right]$$

Donde:

Y_v : Producción diaria de metano por volumen de influente [l/l]

V_S : Concentración de Sólidos Volátiles Totales (SVT) en g/l de influente por día

B_o : Último rendimiento del metano, en l/g de SVT en %

R: Tiempo de retención en días

M: Velocidad máxima de crecimiento microbiano [t^{-1}]

K: Parámetro cinético relacionado al consumo de sustrato (adimensional)

No obstante, dada su complejidad y que viene determinada por parámetros específicos de las poblaciones microbianas que participan en el proceso, se considera poco viable técnicamente en muchas ocasiones, por lo que con frecuencia se llevan a cabo estimaciones aproximadas.

10.1.2 Metodología basada en el Carbono Orgánico Utilizable

Permite determinar el Volumen de Producción de Biogás máximo (VBM) mediante un análisis de laboratorio de una muestra orgánica de la materia que se pretende someter al tratamiento anaerobio. Este análisis permitirá obtener la concentración de Carbono Orgánico Utilizable (COU). Debido a la necesidad de que dicho análisis se ejecute en un laboratorio y por ende a la poca accesibilidad del método, con frecuencia suele recurrirse a otras metodologías menos sofisticadas. No obstante, el proceso se muestra a continuación.

En primer lugar, debe obtenerse el Carbono Orgánico utilizable presente en el biogás, relacionando el volumen de influente y COU, según se muestra:

$$COI = COU \cdot VI$$

Siendo:

COI: Carbono Orgánico Utilizable capaz de convertirse en biogás, presente en el influente [kg]

COU: Carbono Orgánico Utilizable [mg/l]

VI: Volumen de Influente [m^3]

De este modo, se estima el Volumen de Producción de Biogás Máximo de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$VBM = \frac{COI}{\rho_{bio}}$$

Siendo:

VBM: Volumen Máximo de Biogás [m^3]

ρ_{bio} : Densidad del biogás [kg/m^3]

10.1.3 Estimación según Dieter Deublein y Angelika Steinhauser

Al margen de metodologías como las anteriores, existen en la bibliografía un gran número de autores que han realizado tablas de equivalencias que relacionan el volumen de excretas y la producción de biogás en función de la materia prima de partida, tanto animal como vegetal. Dichas estimaciones, si bien no son tan exactas, son más accesibles y permiten obtener un resultado aproximado de la producción de biogás obtenida mediante el proceso de digestión.

En este caso, se ha seguido la línea de las estimaciones realizadas para el volumen de excretas del apartado 9.2.2 de este TFG y se ha consultado nuevamente el libro “*Biogas from Waste and Renewable Resources*”, que proporciona la siguiente relación:

		UAE	Producción de gas [m ³ /UAE/día]
Bovinos	Vacas, vacunos de engorda	1	0.56 – 1.5
	Vacas de producción lechera	1.2	0.56 – 1.5
	Toro de reproducción	0.7	0.56 – 1.5
	Vacunos jóvenes < 2 años	0.6	0.56 – 1.5
	Ternero de crianza < 1 año	0.2	0.56 – 1.5
	Ternero de engorda	0.3	0.56 – 1.5
Porcinos	Porcino de engorda	0.12	0.6 – 1.25
	Porcina	0.34	0.6 – 1.25
	Porcino jóvenes (<12kg)	0.01	0.6 – 1.25
	Porcino jóvenes (12 – 20 kg)	0.02	0.6 – 1.25
	Porcino jóvenes (20 – 45 kg)	0.06	0.6 – 1.25
	Porcino jóvenes (45 – 60 kg)	0.16	0.6 – 1.25
Ovinos	Ovejas < 1 año	0.005	-
	Ovejas > 1 año	0.1	-
Equinos	Caballos < 3 años	0.7	-
	Caballos enanos	0.7	-
	Caballos > 3 años	1.1	-
Aves de criadero	Pollo de engorda <1200 g	0.0023	3.5 - 4
	Gallina < 1200 g	0.0023	3.5 - 4
	Pollo < 800 g	0.0016	3.5 - 4
	Gallina < 800 g	0.0016	3.5 - 4

Tabla 8: Potencial de Producción de Biogás por Animal
Fuente: *Biogas from Waste and Renewable Resources*

Según se muestra en la tabla 8, las excretas de ganado bovino son capaces de producir entre 0,56 y 1,5 m³ de biogás, en función de las características fisicoquímicas del influente. En lo que sigue, se ha considerado 1,03 m³ por cabeza y día.

Por lo tanto, aplicando las consideraciones indicadas y los datos reflejados en la tabla 8 se obtiene el volumen anual de biogás disponible en la colonia:

$$V_{biogás} = 1,03 \frac{m^3}{UAE \text{ día}} \cdot 400 \text{ UAE} \cdot 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} = \mathbf{150.380 \text{ m}^3 \text{ anuales de biogás}}$$

10.2. Producción energética

El biogás producido por los sistemas de biodigestión puede ser utilizado para abastecer en la medida de lo posible las necesidades energéticas de las explotaciones agropecuarias; mediante la adaptación de motores que funcionen con dicho biogás generado así como para calentar el agua u otros fluidos presentes en los procesos industriales de las instalaciones.

No obstante, la calidad del biogás y, consecuentemente, su equivalencia energética dependerá de diversos factores; entre los que destaca el sustrato al que se le ha aplicado la fermentación metanogénica y las condiciones en las que ésta se haya producido. Este hecho propicia, en mayor o menor medida, la aparición de metano (CH_4) en el biogás resultante y con ello su mejor o peor capacidad calorífica, ya que el poder calorífico del CO_2 es nulo (Naskeo, 2015).

Dado que no se conocen las características del biogás producto del proceso objeto de estudio, se han realizado ciertas estimaciones basadas en las propiedades medias del biogás producido por biodigestores de deshechos agropecuarios. Dichas estimaciones se recogen en las tablas 9 y 10:

COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS	
CH_4 % Vol.	60 – 75 %
CO_2 % Vol.	19 – 33 %
N_2 % Vol.	1 – 0 %
O_2 % Vol.	< 0,5 %
H_2O % Vol.	6 % (a 40°C)
H_2S	3.000 – 10.000 mg/m ³
NH_3	50 – 100 mg/m ³

Tabla 9: Componentes del Biogás de Origen Agropecuario
Fuente: Naskeo

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL BIOGÁS	
PCS	7,5 kWh/m ³
PCI	6,8 kWh/m ³
Densidad	0,85 kg/m ³

Tabla 10: Características Físicas del Biogás de Origen Agropecuario
Fuente: Naskeo

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, es posible estimar la energía de la que se podría disponer a partir del biogás mediante la siguiente fórmula:

$$Energía_{biogás}^* \left(\frac{kWh}{día} \right) = V_{biogás} \left(\frac{m^3}{día} \right) \cdot PCI \left(\frac{kWh}{m^3} \right)$$

Siendo:

$$V_{biogás} = 150.380 \frac{m^3}{año} = 412 \frac{m^3}{día}$$

Suponiendo que el motor tiene un rendimiento de conversión del 25% se obtiene:

$$Energía_{biogás} \left(\frac{kWh}{día} \right) = 412 \frac{m^3}{día} \cdot 6,8 \frac{kWh}{m^3} \cdot 25\% = \mathbf{700,4} \frac{kWh}{día}$$

10.3. Posibilidad de interconexión a la red y concepto de Medición Neta

Según el *Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012* y la *Ley de Aprovechamiento de Energías Renovables y Financiamiento de la Transición Energética*, es posible instalar tanto en viviendas como en negocios fuentes de energía renovable o cogeneración mediante la realización de un contrato de interconexión con la Comisión Federal de Electricidad de México, en lo que sigue CFE.

10.3.1. Beneficiarios del contrato de interconexión

En función de la potencia instalada se consideran generadores (pequeña o mediana escala) o permisionarios (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía - CONUUE, 2012). La tabla 11 resume sus diferencias:

GENERADORES	
PEQUEÑA ESCALA	
Capacidad	Entre 10 y 30 kW
Nivel de tensión	Baja tensión (menor a 1kV)
Requerimientos	Contrato de interconexión con CFE
MEDIANA ESCALA	
Capacidad	Entre 30 y 500 kW
Nivel de tensión	Media Tensión (mayor a 1kV y menor a 69 kV)
Requerimientos	Contrato de interconexión con CFE
PERMISIONARIOS	
Capacidad	Superiores a 500 kW
Nivel de tensión	Alta Tensión (mayor a 69 kV)
Requerimientos	Contrato de interconexión Convenio de instalaciones y cesión Convenio de servicios de transmisión

Tabla 11: Características Básicas de Generadores y Permisionarios
Fuente: Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía

Las características y capacidades de generación de los sistemas de biodigestión de los que se pretende obtener aprovechamiento energético sitúan a las explotaciones ganaderas como Generadores. En función de sus dimensiones, deberán cumplir los requerimientos de pequeña o mediana escala. Dichas especificaciones vienen reflejadas en los anexos 6 y 7.

Según lo anteriormente expuesto, la explotación analizada debería acogerse a las condiciones de CFE para **generadores de pequeña escala**.

10.3.2. Concepto de Medición Neta

CFE propone desde el año 2007 en el *Contrato de Interconexión para Fuentes de Energía Renovable*, y al que deben ajustarse los Generadores, un esquema de interconexión denominado **Medición neta** (o net metering).

El funcionamiento de dicho esquema está representado en la ilustración 30:

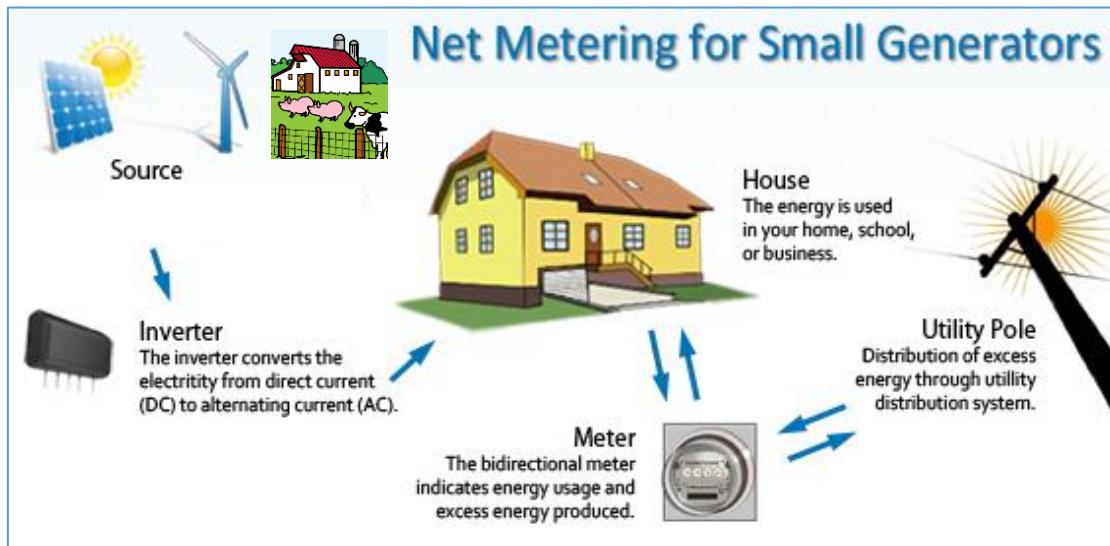


Ilustración 30: Esquema de Funcionamiento Net Metering

Fuente: Michigan Public Service Commission -MPSC

Este esquema permitiría verter los excedentes energéticos no consumidos en las explotaciones ganaderas en las que se optara por la instalación de sistemas de biodigestión. De este modo, si se generase más energía que la demandada por su centro de consumo, sería introducida al flujo de la red eléctrica y sería posteriormente compensada dentro de un período máximo de 12 meses.

Para que la compensación de energía se produzca de manera adecuada, se hace uso de **medidores bidireccionales**, capaces de registrar la cantidad de energía eléctrica producida por el Generador y la energía suministrada por el Suministrador, en su caso.

11. Costes asociados a la implantación de sistemas de biodigestión

11.1. Costos generales

Según Hilbert, los costos asociados en el aprovechamiento energético de biogás, están relacionados con la operación, públicos, de la materia prima, del empleo del efluente, y de la utilización del biogás, según se muestran en la tabla 12:

TIPO DE COSTO	CONCEPTO DE COSTO
Asociados a la operación	Diseño e instalación Materiales Mantenimiento Mano de obra
Públicos	Unidades demostrativas Instalaciones de bajo riesgo comparativo Medidas de fomento Asistencia técnica
De materia prima	Mano de obra Equipo de transporte Almacenamiento Transporte hasta el lugar del uso
Del empleo del efluente	Mano de obra Equipo de transporte Almacenamiento Transporte hasta el lugar del uso
De utilización del biogás	Almacenamiento Distribución Adaptación de equipos Purificación

Tabla 12: Costos Asociados a la Producción de Biogás

Fuente: Hilbert, 2003

11.2. Costo del sistema de biodigestión laguna anaerobia implementado en el caso de estudio

Con objeto de identificar las partidas involucradas en la implementación del sistema de biodigestión y realizar una estimación económica de dicho sistema, se ha procurado determinar el coste de las partidas que permitirían la implementación de la laguna cubierta fruto de la instalación agropecuaria de diseño.

Para ello, se ha utilizado información de los proveedores, como es el caso de Aqualimpia y del grupo ICE. Otros de los componentes de la instalación se han determinado del programa Arquímedes y consultores en costos, como Hernández en su obra “*Costos de Producción en México*”.

De este modo, se ha identificado un monto total de \$2.948.407,89 pesos mexicanos (157.668,87 euros); de los cuales la explotación agropecuaria debería abonar \$1.773.407,89 pesos mexicanos (94.834,65 euros). El resto de la cuantía se obtendría del monto de apoyo FIRCO para el desarrollo de agronegocios, mencionado en el apartado 5 del presente TFG.

Así pues, la tabla 13 refleja un resumen de los costes y la tabla 14 permite identificar las partidas del presupuesto y el coste de las mismas con más detalle.

CONCEPTOS	Importe (MXN)	Monto FIRCO	Explotación ganadera
Construcción y equipamiento del biodigestor de 3.650 m³ con cerco perimetral	\$2.598.407,89	-\$1.000.000,00	\$1.598.407,89
Adquisición del motogenerador de 30kW con gabinete e interconexión	\$350.000,00	-\$175.000,00	\$175.000,00
TOTAL (MXN)	\$2.948.407,89 (157.668,87€)	-\$1.175.000,00 (-62.834,22€)	\$1.773.407,89 (94.834,65€)

Tabla 13: Resumen del Presupuesto

Desglose del presupuesto por partidas

			Medición	Unidad	Coste unitario (MXN)	Importe (MXN)
1	TRABAJOS PREVIOS					
1.1	Mano de obra					
1.1.1	Desbroce y limpieza superficial del terreno por medios mecánicos		1.600	m3	\$3,93	\$6.288,00
1.1.2	Explanación, refino y nivelación del terrenos por medios mecánicos		1.600	m3	\$108,78	\$174.048,00
1.1.3	Transporte de tierras al vertedero		1.600	m3	\$3,01	\$4.816,00
SUBTOTAL PARTIDA 1					(MXN)	\$185.152,00
					(9.901,18€)	
2	CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE BIODIGESTIÓN					
2.1	Mano de obra					
2.1.1	Excavación de la laguna anaerobia					
2.1.2	Compactado del fondo y de los terraplenes del digestor					
2.1.3	Instalación de tuberías					
2.1.4	Construcción del cárcamo de salida de efluentes y adecuación del registro municipal					
2.1.5	Impermeabilización de la laguna y testeo					
2.1.6	Instalación de la tubería de extracción de lodos					
2.1.7	Llenado del biodigestor					
2.1.8	Colocación de la cubierta con anclajes					
2.1.9	Instalación de filtros de ácido sulfídrico y humedad					
2.1.10	Instalación del equipo de medición de biogás					

2.2 Materiales

- 2.2.1 Geomembrana lisa de polietileno de alta densidad de 1,5 mm
- 2.2.2 Tuberías de entrada y salida de influentes de PVC hidráulico
- 2.2.3 Tubería de extracción de lodos de 4" de PVC hidráulico
- 2.2.4 Tubería de cobre tipo ACR para conducción de biogás
- 2.2.5 Válvula de alivio tipo bola para liberación de biogás
- 2.2.6 Bridas de PVC
- 2.2.7 Geotextil para protección de geomembrana en suelo rugoso
- 2.2.8 Sistema de agitación
- 2.2.9 Sistema de bombeado para extracción de lodos
- 2.2.10 Accesorios

SUBTOTAL PARTIDA 2	3.633	m3	\$615,31	\$2.235.421,23
				(119.541,24€)

3 CONSTRUCCIÓN DE FOSA DE MEZCLADO**3.1 Mano de obra**

- 3.1.1 Excavación de la fosa en terreno compacto, por medios mecánicos, con extracción de tierra a los bordes 70,6 m3 \$108,78 \$7.679,87
- 3.1.2 Transporte de tierras al vertedero, a una distancia menor de 10 km con camión basculante 70,6 m3 \$3,01 \$212,51
- 3.1.3 Relleno de la estructura con hormigón 13,0 m3 \$114,50 \$1.488,50

3.2 Materiales

- 3.2.1 Hormigón fc=250 kg/cm² BB 13,0 m3 \$2.901,73 \$37.722,49

SUBTOTAL PARTIDA 3				(MXN)	\$47.103,36
					(2.518,90€)

4 CONSTRUCCIÓN DE LAGUNA DE EFLUENTE**4.1 Mano de obra**

- 4.1.1 Excavación de la fosa en terreno compacto, por medios mecánicos, con extracción de tierra a los bordes 360 m3 \$108,78 \$39.160,80
- 4.1.2 Transporte de tierras al vertedero, a una distancia menor de 10 km con camión basculante 360 m3 \$3,01 \$1.083,60
- 4.1.3 Relleno de la estructura con hormigón 30 m3 \$114,50 \$3.435,00

4.2 Materiales

4.2.1	Hormigón fc=250 kg/cm2 BB	30	m3	\$2.901,73	\$87.051,90
SUBTOTAL PARTIDA 4				(MXN)	\$130.731,30
					(6.990,98€)
5 MOTOGENERADOR AQUALIMPIA AQL30 DE 30 KW CON GABINETE					
5.1 Materiales					
5.1.1	Motor marca Isuzu modelo 4JB1T				
5.1.2	Alternador marca Leroy Somer modelo LSA 42.3 VS1				
5.1.3	Generador				
5.1.4	Filtros de retención de ácido sulfúrico y humedad				
5.1.5	Interconexión				
SUBTOTAL PARTIDA 5		1	u.	\$350.000,00	\$350.000,00
					(18.716,57€)
TOTAL BIODIGESTOR					
				(MXN)	\$2.598.407,89
					(138.952,30€)
TOTAL MOTOGENERADOR					
				(MXN)	\$350.000,00
					(18.716,78€)

Tabla 14: Desglose del Presupuesto por Partidas

12. Conclusiones

El estudio realizado ha permitido destacar que existe potencial suficiente en la ganadería y en las explotaciones agropecuarias de México, como determinan la gran cantidad de explotaciones de cerdos y vacas y su crecimiento continuado en la actualidad y a lo largo del tiempo.

Sin embargo, el número de biodigestores instalados en dichas explotaciones es reducido, en torno a 721 sistemas; hecho que viene justificado por el grado de tecnificación de las granjas. Sin embargo, aquellas que sí tienen la tecnología necesaria constan de un nivel de producción de cabezas de ganado adecuado para hacer factible la implementación de los sistemas de digestión anaerobia.

Igualmente, se espera que mejore la penetración de dichos sistemas conforme las explotaciones agropecuarias vayan introduciendo las nuevas tecnologías en el manejo del ganado y las excretas; lo que conllevará una mejor recolección y la introducción de los sistemas de biodigestión.

Asimismo, el 94% de las explotaciones agropecuarias mexicanas que han incorporado biodigestores en sus procesos han implementado tecnologías del grupo de las lagunas anaerobias, si bien también se han encontrado algún biodigestor modular o de tipo bolsa, aunque en una proporción muy baja.

De este modo, se considera como más favorable la utilización de lagunas anaerobias; hecho que se alienta a través de las ayudas del Gobierno de México a través del Fideicomiso de Riesgo Compartido, que pretende mejorar el grado de penetración de estas tecnologías en los agronegocios mediante la concesión de ayudas y montos de apoyo del 50% de la inversión proyectada en sistemas de biogás, así como en sistemas de generación.

Además, se ha confirmado que existe un gran número de regulaciones que normalizan el funcionamiento de estos sistemas de biodigestión, e incluso de una extensa variedad de proveedores locales.

En cuanto al sistema de biodigestión, se han definido las características que permiten el diseño de los elementos principales del más favorable considerado, la laguna anaerobia, y algunos de ellos, los más relevantes, se han dimensionado.

Entre estos componentes del sistema, cabe destacar el biodigestor o la laguna propiamente dicha, cuyas dimensiones y volumen se han obtenido a partir de las características estimadas de las excretas del caso, así como la localización de la explotación y climatología, entre otros. Dichas estimaciones han permitido obtener un volumen de 3.650 metros cúbicos.

Asimismo, se ha diseñado la fosa de mezclado necesaria para acondicionar las excretas de la explotación a la entrada del biodigestor de modo que se otorgue unas proporciones de agua y carga biológica adecuadas, obteniéndose un volumen de 70,56 metros cúbicos.

Del mismo modo, se ha dimensionado la laguna de efluente en función del número de días que se requiera disponer de almacenamiento para el material biodegradado, considerando 5 días se estimó un volumen de 360 metros cúbicos.

En función de la producción de biogás de la instalación, que se estima de 150.380 metros cúbicos al año, con un potencial energético de 700,4 kWh al día, se ha seleccionado un grupo motogenerador de 30 kW que permita la obtención de energía eléctrica y/o la interconexión a la red mediante una tarifa de generación a pequeña escala de la Comisión Federal de la Electricidad de México.

Para finalizar, y con objeto de realizar una estimación económica de dicho sistema, se ha procurado identificar las partidas involucradas en la implementación de la laguna anaerobia así como el coste orientativo de las mismas, mediante la colaboración de los proveedores previamente mencionados. Esto nos ha permitido obtener una estimación de coste total de \$1.773.407,89 pesos mexicanos (94.834,65€) para el sistema de biodigestión y el grupo generador, teniendo en consideración un monto de apoyo de FIRCO de \$1.175.000 pesos mexicanos (62.834,22€).

Bibliografía

- Biogemex S.A.* (Junio de 2015). Obtenido de <http://www.biogemex.net>
- Bioworks S.A.* (Junio de 2015). Obtenido de <http://www.bioworks.com.mx>
- Comercializadora Peninsular de Sistemas Sanitarios Ecológicos S.A.* (Julio de 2015). Obtenido de <http://www.compensae.com.mx>
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía - CONUUE. (2012). *Guía Práctica de Trámites y Permisos para Proyectos de Cogeneración en México*. México, D.F.
- Concentrados Bovilac S.P.R de R.L de C.V.* (Mayo de 2015). Obtenido de <http://www.concentradosbovilac.com>
- Consorcio Ingeniería Ambiental Mexicana (CIAM)*. (Abril de 2015). Obtenido de <http://www.ciam.mx>
- Dieter Deublein, A. S. (2008). *Biogas from Waste and Renewable Resources*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México*. (Julio de 2015). Obtenido de <http://www.inafed.gob.mx>
- Environmental Fabrics, Inc.* (Junio de 2015). Obtenido de <http://www.efdemexico.com>
- Environmental Solutions Mexico*. (Junio de 2015). Obtenido de <http://www.grupo-esm.com>
- Eurodepósitos Hidráulicos S.A.* (Junio de 2015). Obtenido de <http://www.eurodepositos.mx>
- Fideocomiso de Riesgo Compartido - FIRCO. (2015). *Proyectos de Energía Renovable y Eficiencia Energética*. Obtenido de Proyectos de Energía Renovable y Eficiencia Energética: www.proyectosdeenergiarenovable.com
- Fideocomiso de Riesgo Compartido. (2013). *Diseño, Dimensionamiento y Construcción de Sistemas de Biodigestión*.
- Fideocomiso de Riesgo Compartido; Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2013). *Especificaciones Técnicas para Biodigestores Pequeños Tipo Laguna*.
- GEO Proyectos y Diseños Ambientales S.A.* (Junio de 2015). Obtenido de <http://www.geosistemas.net>
- Geomembranas Plásticas S.A.* (Mayo de 2015). Obtenido de <http://www.geoplas.com.mx>
- Groenergy S.A.* (Junio de 2015). Obtenido de <http://www.groenergy.com>
- Grupo Belman Servicios Integrales S.A.* (Mayo de 2015). Obtenido de <http://www.grupobelman.com.mx>
- Hernández, J. (Septiembre de 2015). *CDC Consultores en Costos*. Obtenido de Costos de producción en México: <http://www.costosdeproduccion.com>

Hibert, J. (2003). *Manual para la producción de biogás*. Buenos Aires: Instituto de Ingeniería Rural, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

ICR Ambiental S.A. (Mayo de 2015). Obtenido de www.icrambiental.com

Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México. (2015). Obtenido de Sistemas de Cuenta Nacionales: www.inegi.org.mx

Kent & Sorensen S.A. (Mayo de 2015). Obtenido de
<http://www.creativovalles.com/clientes/kentsorensen/>

LEDA Sustentabilidad S.A. (Mayo de 2015). Obtenido de <http://www.leda.com>

Martí Herrero, J. (2008). *Biodigestores: Guía de diseño y manual de instalación*. Bolivia: Programa de Desarrollo Agropecuario (PROAGRO).

Michigan Public Service Commission - MPSC. (s.f.). *LARA Public Service Commision*. Obtenido de Department of Licensing and Regulatory Affairs: www.michigan.gov/mpsc

Mopesa Motores Power, S.A. (Julio de 2015). Obtenido de <http://www.madisa.com>

MSP Environment Systems & Projects S.L. (Junio de 2015). Obtenido de
<http://www.mspesp.com>

Municipio de Namiquipa. (Agosto de 2015). *Ganadería - Presidencia Municipal de Namiquipa*. Obtenido de
http://www.namiquipa.gob.mx/Contenido/plantilla5.asp?cve_canal=15305&Portal=namiquipa

Naskeo, S. F. (Septiembre de 2015). *Biogas Renewable Energy*. Obtenido de Biogas Composition: <http://www.biogas-renewable-energy.info>

Naturagrotx S.L. (Abril de 2015). Obtenido de <http://www.naturagrotx.netii.net>

Ochoa Martínez, E., Sánchez Duarte, J. I., Figueroa Viramontes, U., & Núñez Hernández, G. (2011). *Caracterización de Excretas y Buenas Prácticas de Manejo para el Reciclado de Nutrimentos en Explotaciones Intensivas*. Matamoros, Coahuila, México: SAGARPA.

Padilla, E. G. (2012). Mantiene ganadería crecimiento constante durante 10 años. *Dirección General de Comunicación Social*. . México DF: SAGARPA.

Plastic Liners S.A. (Agosto de 2015). Obtenido de <http://www.plasticliners.webs.com>

Rotoplas S.A. (Agosto de 2015). Obtenido de <http://www.rotoplas.com>

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación - SAGARPA. (2012). *Programa Sectorial de Desarrollo Agropecuario y Pesquero* .

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2010). *Especificaciones Técnicas para el Diseño y Construcción de Biodigestores en México*.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2012). *Programa Sectorial de Desarrollo Agropecuario y Pesquero 2013-2018*.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2013).

Diagnóstico General de la Situación Actual de los Sistemas de Biodigestión en México.

México DF.

Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera - SIAP. (Mayo de 2015). Obtenido de

www.siap.gob.mx

Sistema Biobolsa. (Julio de 2015). Obtenido de <http://www.sistemabiobolsa.com>

Soluciones Ambientales Integrales S.A. (Julio de 2015). Obtenido de <http://www.geosai.com>

ANEXO 1: CARACTERÍSTICAS MÍNIMAS DE LOS SISTEMAS DE BIODIGESTIÓN TIPO LAGUNA ANAEROBIA

El Fideicomiso de Riesgo Compartido de México establece unas especificaciones mínimas de la mayoría de componentes empleados en la construcción de lagunas anaerobias. Dichas características deben ir bien definidas en la ficha descriptiva del proyecto, cuyo modelo de SAGAGARPA se localiza en el anexo 2 del presente TFG.

A) Biodigestores

Altura del Biodigestor.

La profundidad del espejo del agua a la base del biodigestor, no será menor de 3 m. Lo anterior con objeto de que el proceso anaeróbico del material orgánico para la generación de biogás, se lleve a cabo de manera eficiente.

Geomembrana.

Para cubrir la base y la parte superior del biodigestor, se utilizará una **geomembrana de polietileno de alta densidad (Liner HDPE)** que cuente con características físicas que le permitan soportar la presión máxima que alcanzará el biogás dentro del biodigestor, que resista la acción de degradación de los Rayos UV para asegurar una mayor vida útil, y cuyo calibre no debe ser menor a 60 mils (1.5 mm).

En los casos en que se pretenda utilizar una geomembrana de menor calibre, deberá presentarse una justificación que indique las razones técnicas de su utilización, en función de los requerimientos de presión y de permeabilidad de la geomembrana.

Es indispensable que la unión de las diferentes capas o lienzos de la geomembrana de polietileno de alta densidad, se realice mediante equipo especializado de **termofusión**, en virtud de que los daños a la geomembrana más comunes son los que se generan en el proceso inicial de su instalación, recomendándose se lleve a cabo durante este proceso la **detección de fugas** de manera paralela a su instalación.

Capacidad del Biodigestor

Se deberá tener especial cuidado con el diseño que proponga el proveedor. En este sentido el proveedor, con información del productor, deberá establecer un escenario de generación de excretas considerando el tipo de sistema productivo de la granja y/o establo; por ejemplo, en el caso de las granjas de cerdos, deberá conocerse el tipo de granja y el ciclo productivo específico de la misma.

También el proveedor deberá presentar la capacidad del biodigestor en función de:

- Disposición de las excretas en la unidad productiva.
- Cantidad del número de animales (en base a su ciclo productivo).
- Producción de excretas por animal.
- Desarrollo de la Piara, y en su caso el desarrollo del hato de ganado bovino productor de leche.

Medidor de flujo del biogás.

El sistema deberá tener instalado **un sistema automatizado de medición de flujo del biogás** que será enviado al quemador o al motogenerador, con objeto de poder conocer la eficiencia del sistema sobre todo en el caso de generación de energía eléctrica.

Analizador de Biogás

Se recomienda que el sistema cuente con un analizador de la composición del biogás para conocer los porcentajes de composición de metano, bióxido de carbono y otros gases, con objeto de conocer la concentración de metano en el biogás que puede ser aprovechado para la generación de energía eléctrica y/o la contabilización de la reducción de emisiones para la venta de bonos de carbono.

Quemador de biogás

Para el caso de las unidades productivas que pretendan incorporarse a proyectos MDL, se hace necesario instalar un quemador de biogás. El quemador deberá contar con un sistema que garantice el quemado eficiente del biogás, por lo que será construido en acero inoxidable, disponer con una cámara de combustión cerrada que evite la entrada de aire circundante, para asegurar el quemado eficiente del biogás. Además contará con boquillas de alta eficiencia y detectores de flama que aseguren que en caso de extinción de la flama se corte el suministro de biogás y se evite así, la posibilidad de explosión.

En caso de generación de energía eléctrica, se recomienda instalar el quemador de excedentes, para que en caso de variación de producción de biogás y/o la variación de la demanda de energía eléctrica, el metano sea destruido y no se emita a la atmósfera.

Sistema de agitación

El biodigestor deberá tener un sistema de agitación que permita homogeneizar la materia orgánica y mantener condiciones de temperatura de tal manera que se facilite el proceso descomposición de la materia orgánica optimizando las condiciones para la generación de metano dentro del biodigestor.

Características Fisicoquímicas de las excretas

El productor deberá solicitar a las empresas proveedoras, un análisis de las características fisicoquímicas de las excretas, con fines de conocer la potencialidad de producción de biogás. (Por ejemplo pH, Demanda Química Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), contenido de sólidos volátiles y totales, Relación Carbono-Nitrógeno, presencia de antibióticos, contenido de fibra, etc...)

Capacidad de Producción de Biogás

En base a la cantidad de excretas y sus propiedades fisicoquímicas, el proveedor deberá presentar dentro de su propuesta la producción estimada de biogás por unidad de tiempo y cantidad en m³ a generar dentro de la unidad productiva.

Garantías del Proveedor de Biodigestores

El productor deberá conocer previamente las condiciones del contrato a celebrar con el proveedor, en donde se especifique las garantías que ofrece la empresa con las que se acompañan los sistemas (por ejemplo, garantía física del equipo, garantía de funcionamiento, mantenimiento, etc.); así como otras aspectos que la empresa establece

con sus clientes (por ejemplo, especificaciones técnicas de cada uno de los componentes, condiciones de mantenimiento, tiempos de entrega e instructivos).

Medidas de Seguridad en Biodigestores

Dado que el biogás es un gas altamente tóxico e inflamable, esto último por su gran contenido de metano, se requiere instalar un cerco de seguridad perimetral (por ejemplo de malla ciclónica, reja o paredes), a fin de no permitir el acceso a personas ajenas a las instalaciones del biodigestor, y con ello evitar el riesgo de accidentes. Asimismo es necesario poner anuncios visibles que indiquen las siguientes leyendas “PELIGRO: GAS ALTAMENTE INFLAMABLE” y “SE PROHIBE FUMAR”.

Adicionalmente, se deberá contar con elementos que garanticen la seguridad a los operadores del sistema. Dentro estos elementos, se recomienda como mínimo considerar los siguientes:

- Colocar válvulas de presión en el biodigestor y las tuberías de conducción del biogás, con objeto de evitar altas presiones que pondrían en riesgo la seguridad del sistema y por consiguiente de las personas circundantes.
- Elementos de seguridad (sensores de presión, detectores de flama, etc.) que permitan cortar el suministro de biogás al motogenerador y/o quemador en caso de una emergencia
- Construir la infraestructura del proyecto (el biodigestor, la planta de generación de energía eléctrica y el quemador del metano) a una distancia considerable de los sitios en donde labora cotidianamente el personal de la unidad productiva, con objeto de evitar riesgos innecesarios dentro de su operación.

A) Motogeneradores

Características del Motogenerador

El productor deberá conocer previamente por parte del proveedor, las principales características del equipo de motogeneración, entre los cuales destacan:

- Tipo de motor (características generales, potencia -de entrada y de salida-, cantidad de consumo de biogás (m³), requerimientos de mantenimiento, resistencia al ácido sulfídrico, etc.).
- Tipo de generador (características generales, energía demandada – Kwh - y potencia de salida, tensión de generación, generación de energía eléctrica por hora – Kwh -).
- Tiempo de vida útil.
- Cantidad de biogás consumido (m³) por Kwh producido.

Filtro de Retención de Ácido Sulfídrico

En virtud de que el biogás contiene ácido sulfídrico (H₂S), y que éste tiene un potencial altamente corrosivo, que afecta las partes metálicas del sistema de biodigestión, se hace necesario instalar un filtro para la retención del H₂S, previo a la salida del biogás para los usos específicos que se requieran. De manera específica y dado que el ácido sulfídrico puede ocasionar graves daños a los motogeneradores para la generación de energía eléctrica, el filtro debe instalarse entre el medidor de flujo de biogás y la línea de alimentación en donde se ubique el motogenerador.

Medidas de Seguridad del Motogenerador

El motogenerador y las instalaciones eléctricas para su funcionamiento y operación deberán ubicarse en una caseta de seguridad que limite el acceso a personas ajena. Dicha caseta deberá tener una salida al exterior de los gases productos de la combustión mediante una chimenea. Así mismo, deberá colocarse un anuncio que indique la siguiente leyenda “PELIGRO: RIESGO DE DESCARGAS ELÉCTRICAS”.

Garantías del Proveedor de Motogeneradores

El productor deberá conocer previamente las condiciones del contrato a celebrar con el proveedor, en donde se especifique las garantías que ofrece la empresa con las que se acompañan los sistemas (por ejemplo, garantía física del equipo, garantía de funcionamiento, mantenimiento, etc.); así como otras aspectos que la empresa establece con sus clientes (por ejemplo, condiciones de mantenimiento, tiempos de entrega e instructivos).

ANEXO 2: FORMULARIO DE REGISTRO DE LOS SISTEMAS DE BIODIGESTIÓN Y DE AUTOGENERACIÓN A TRAVÉS DE BIOGÁS

ANEXO 3B

FICHA DESCRIPTIVA DEL PROYECTO

SISTEMAS DE BIODIGESTIÓN Y DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA A TRAVÉS DE BIOGÁS

1.- NOMBRE DEL PROYECTO OBJETO DE LA INVERSIÓN ("Contrucción de Biogestor" o "Adquisición de Motogenerador y/o Turbina")

2.- RAZÓN SOCIAL DE LA EMPRESA

3.- DOMICILIO FISCAL DE LA RAZÓN SOCIAL

3.1 Calle	3.2 No. Exterior	3.3 No. Interior	3.4 Colonia
3.5 Localidad	3.6 Municipio	3.7 Estado	
3.8 Teléfono (Con clave lada)	3.9 Correo Eléctronico	3.10 RFC Empresa	

4.- DOMICILIO FÍSICO DEL PROYECTO

4.1.- Ubicación de la Unidad Productiva		
4.2 Localidad	4.3 Municipio	4.4 Estado
4.5 Nombre de la Unidad	4.6 Representante Legal	Apellido Paterno Apellido Materno Nombre(s)

4.7.- Organización Ganadera o Asociación a la que pertenece la unidad productiva

4.8.- Coordenadas Geográficas de la Unidad Productiva	Latitud <input type="text"/> Longitud <input type="text"/> Elevación <input type="text"/> ° T promedio Anual <input type="text"/> M.S.N.M °C
---	---

5.- REFERENCIAS ADICIONALES DE LA UNIDAD PRODUCTIVA

5.1.- Fecha de la Solicitud Recibida de manera oficial por la Gerencia Estatal		<input type="text"/> dd <input type="text"/> mm <input type="text"/> aa		
5.2.- Acta Constitutiva y Modificaciones				
Fecha Protocolización Acta	dd	mm		
dd	mm	aa		
5.3.- Socios Activos	Hombres <input type="text"/>	Mujeres <input type="text"/>	Morales <input type="text"/>	Total <input type="text"/> 0
5.4.- El Agronegocio cuenta con socios pertenecientes a alguna etnia indígena?				
No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/>	¿ Cuántos ? <input type="text"/>	Etnia Perteneciente <input type="text"/>	

5.5.- Tamaño de la Unidad Productiva en función del número de empleos

Número de empleados permanentes del agronegocio:	Hombres <input type="text"/>	Mujeres <input type="text"/>	Total <input type="text"/> 0
Clasificación Tamaño Unidad Productiva con base en INEGI (Llenado Automático)			
Micro Empresa <input type="checkbox"/>	Pequeña Empresa <input type="checkbox"/>	Mediana <input type="checkbox"/>	Grande <input type="checkbox"/>

6.- OBJETIVO DEL PROYECTO

7.- METAS Y/O BENEFICIOS DEL PROYECTO (Cuantificables)

Meta 1
Meta 2
Meta 3

8.- ASPECTOS TÉCNICOS DEL PROYECTO

8.1.- Tecnología a apoyar	<input type="checkbox"/> Biodigestor <input type="checkbox"/> Motogenerador o Turbina	8.2.- Tipo de Explotación	<input type="checkbox"/> Granja Porcina (Pase a Punto 8.3) <input type="checkbox"/> Establo Lechero (Pase a punto 8.4) <input type="checkbox"/> Establecimiento TIF (Pase a punto 8.6) <input type="checkbox"/> Otro <input type="text"/> (Pase a punto 8.7)
			Especificificar

8.3.- Granjas Porcinas

8.3.1.- Tipo de Granja	Ciclo Completo Engorda <input type="checkbox"/>	Lechonera Destetes <input type="checkbox"/>	Pie de Cría Otro <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="text"/> Especificificar
------------------------	--	--	--	--

8.3.2.- Existencia promedio de animales al año con la que es dimensionado el biodigestor.

Etapa	Tipo de Cerdo	Población Porcina (Cabezas)	% Etapa
Reproducción	Hembras Lactantes	0	#DIV/0!
	Hembras Gestantes	0	#DIV/0!
	Hembras Secas	0	#DIV/0!
	No. De Vientres	0	
	Sementales	0	#DIV/0!
	Lechones	0	#DIV/0!
	Subtotal	0	
Cría	Destetes	0	#DIV/0!
	Subtotal	0	
Finalización	Crecimiento	0	#DIV/0!
	Finalización	0	#DIV/0!
	Subtotal	0	
	TOTAL POBLACIÓN PORCINA	0	#DIV/0!

8.3.3.- Cantidad de Agua Utilizada (Con la que es dimensionado el Biodigestor)

Etapa	Tipo de Cerdo	Población Porcina (Cabezas)	Uso Aua Residual (l/animal-día)	Producción Agua Residual (l/día)
Reproducción	Hembras Lactantes	0	0	0
	Hembras Gestantes	0	0	0
	Hembras Secas	0	0	0
	No. De Vientres	0		
	Sementales	0	0	0
	Lechones	0	0	0
	Subtotal	0		
Cría	Destetes	0	0	0
	Subtotal	0		
Finalización	Crecimiento	0	0	0
	Finalización	0	0	0
	Subtotal	0		
	TOTAL AGUA RESIDUAL	0		0

FT-2

8.4.- Establos Lecheros

8.4.1.- Existencia promedio de animales al año con la que es dimensionado el biodigestor

Etapa	Población Animal (Cabezas)	% Población
Vacas en Producción	1,000	100.00%
Vascas Secas	0	0.00%
Vaquillas	0	0.00%
Becerros	0	0.00%
Becerritas	0	0.00%
Sementales	0	0.00%
Toretas	0	0.00%
Otro (Especificar)	0	0.00%
TOTAL POBLACIÓN BOVINA	1,000	100.00%

8.4.2.- Cantidad de Agua Utilizada (Con la que es dimensionada el Biodigestor)

Etapa	Población Animal (Cabezas)	Uso Agua Residual (l/animal-día)	Producción Agua Residual (l/día)
Vacas en Producción	0	0	0
Vascas Secas	0	0	0
Vaquillas	0	0	0
Becerros	0	0	0
Becerritas	0	0	0
Sementales	0	0	0
Toretas	0	0	0
Otro (Especificar)	0	0	0
TOTAL AGUA RESIDUAL	0	0	0

8.5.- Generación y manejo de Excretas en la unidad productiva (Llenar todos los puntos)

Generación de Excretas Ton/día Ton/mes Ton/año

Porcentaje de Excretas que pretenden inorporarse al Biodigestor %

Generación de Excretas Ton/día Ton/mes Ton/año

Observaciones

Técnica o equipo utilizado para el manejo de las excretas

Técnica
A. Barrido o Paleado Manual
B. Barrido con Agua a Presión
C. Acarreo Acuático por Escurreamiento
D. Acarreo Acuático por Gravedad
E.- Acarreo Hidráulico, por Bombeo
F.- Acarreo Mecánico por raspado
Otro (Especificar): _____

Equipo
A. Equipo de bombeo y mangueras para barrer con agua a presión
B. Sifones, tanques basculantes, tanques contrapesos, barrido acuático
C. Bombas Hidráulicas para acarreo de semisólidos
D. Sistema de Acarreo mecánico para el raspado de sólidos
Otro (Especificar): _____

Describir el sistema de manejo de excretas que se tenía antes y cuál será después de la implementación del Proyecto

FT-3

8.6.- Establecimientos TIF

8.6.1.- Especie Pecuaria Sacrificada

<input type="checkbox"/>	Bovinos
<input type="checkbox"/>	Porcinos
<input type="checkbox"/>	Otro
(Especificar)	

8.6.2.- Tipo de Establecimiento

<input type="checkbox"/>	Rastro
<input type="checkbox"/>	Obrador
<input type="checkbox"/>	Procesador

8.6.3.- Sacrificio

0 Cabezas/turno

8.6.4.- Turnos

0 turnos/día

8.6.5.- Sacrificio

0 Cabeza/día

8.6.6.- Días de operación

días/mes

8.6.7.- Días de operación

días/año

8.6.8.- Residuos a tratar

<input type="checkbox"/>	Sangre
<input type="checkbox"/>	Visceras
<input type="checkbox"/>	Excretas
<input type="checkbox"/>	Otro
(Especificar)	

8.6.9.- Cantidad de residuos generados que serán ingresados al Biodigestor

<input type="text"/> 0 m ³ /día
<input type="text"/> 0 m ³ /mes
<input type="text"/> 0 m ³ /año

8.6.10.- Describir el sistema de tratamiento de residuos antes y cual será despues de la implementación del Proyecto

8.7.- Otras Unidades Productivas

8.7.1.- Principal Actividad Unidad Productiva

8.7.2.- Tipo Residuos Orgánicos generados

8.7.3.- Días de operación

días/mes

8.7.4- Meses de Operación

Mes/año

8.7.5.- Días de operación

días/año

8.7.6.- Cantidad de residuos generados que serán ingresados al Biodigestor

<input type="text"/> 0 m ³ /día
<input type="text"/> 0 m ³ /mes
<input type="text"/> 0 m ³ /año

8.7.7.- Descripción Detallada de los procesos donde se generan los residuos orgánicos

8.7.8.- Describir el sistema de tratamiento de residuos antes y cual será despues de la implementación del Proyecto

8.8 Características Técnicas del Biodigestor

(Esta información será llenada para ambos casos (Construcción de Biodigestor o Adquisición de Motogenerador))

8.8.1.- Tipo de Biodigestor

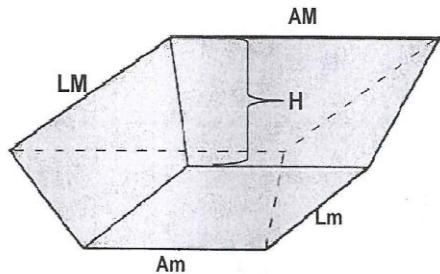
<input type="checkbox"/>	Laguna
<input type="checkbox"/>	Modular
No. Módulos	<input type="text"/>

Reactor

<input type="checkbox"/>	Otro
Especificar	

FT-4
Q

8.8.2.- En el caso de Biodigestores Tipo Laguna y/o Modular



establecer el volumen del Biodigestor con base en el diagrama y cuadro siguiente.

Documento a Entregar 1: Junto a la presente ficha técnica deberán adjuntarse los planos del biodigestor, así como la memoria de cálculo para determinar en función de la cantidad de residuos, el volumen de operación del sistema.

a instalar o instalados, conforme al siguiente cuadro

Dimensión	Unidad	B1	B2	B3
Largo Superior (LM)	m			
Ancho Superior (AM)	m			
Largo Inferior (Lm)	m			
Ancho Inferior (Am)	m			
Profundidad Total (H)	m			
Profundidad de Operación	m			
Tiempo de Retención	días			
Volumen Total	m ³			
Volumen de Operación	m ³			

Pendiente de los Táldos

:

Para el caso de que el biodigestor tenga otra figura geométrica:

Geometría	<input type="text"/>
Dimensiones	<input type="text"/>
Volumen Total	<input type="text"/> m ³
Volumen Operación	<input type="text"/> m ³

8.8.3.- Detallar el proceso constructivo del biodigestor planteado por el proveedor

8.8.4.- Material de la Geomembrana de la base y de la que cubrirá al biodigestor

Polietileno de Alta Densidad (HDPE)
Policloruro de Vinilo (PVC)
Polipropileno Flexible



Polietileno de Baja Densidad (LDPE)
Polietileno de Muy Baja Densidad
Otro (Especificar)



En el caso de considerar un tipo de biodigestor diferente, indique el material con el que será construido

8.8.5.- Indique el Calibre de la Geomembrana que cubre el Biodigestor

40 mils (Equivalente a 1 mm)
 60 mils (Equivalente a 1.5 mm)
 80 mils (Equivalente a 2 mm)

8.8.6.- Como será anclada la geomembrana al Biodigestor

Anclaje con concreto
 Anclaje directo a corona
 Anclaje con tierra

Documento a Entregar 2: Cotización del Proyecto: Deberá contar con todos los componentes necesarios que garanticen la eficiente operación del equipo y que cumplan con las especificaciones técnicas emitidas por SEMARNAT en 2010.

8.9.- Producción del Biogás

8.9.1.- Producción esperada de biogás

m³/día m³/mes m³/año

8.9.2.- Características del Quemador

Flujo de biogás m³/hr Horas de operación al día hrs/día

10.- IMPACTOS DEL PROYECTO

10.1.- Indicadores e Impactos Económicos

10.1.1.- Consideraciones para la obtención de flujos con los cuales se obtuvieron los indicadores económicos

<input type="checkbox"/>	En una segunda etapa, se considera la adquisición de un motogenerador para la producción de energía eléctrica
<input type="checkbox"/>	Desplazamiento de Energía Eléctrica por el Motogenerador
<input type="checkbox"/>	Se considera ingresos por la comercialización de reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero
<input type="checkbox"/>	Se considera ingresos por la venta y ahorro de biofertilizantes
<input type="checkbox"/>	Se obtienen ahorros por la reducción en el pago de derechos en la descarga de aguas residuales
Otro	Especificar <input type="text"/>

10.1.2.- Impactos Económicos por la incorporación del Proyecto (En función de lo indicado en el punto 10.1.1)

Ahorro por la Generación de Energía Eléctrica	\$0.00	\$/año
Comercialización de Reducción de Emisiones	\$0.00	\$/año
Venta y Ahorro de Biofertilizantes	\$0.00	\$/año
Reducción en el pago de Derechos	\$0.00	\$/año
Otro (Especificar)	\$0.00	\$/año
Total	\$0.00	\$/año

10.1.3.- Indicadores Económicos del Proyecto

Datos de Entrada

Inversión Total del Proyecto	\$0.00	Pesos
Costos Operación Biodigestor	\$0.00	\$/Año
Costos Operación Motogenerador	\$0.00	\$/Año
Costos Mantenimiento Biodigestor	\$0.00	\$/año
Costos Mantenimiento Motogenerador	\$0.00	\$/año
Impactos Económicos del Proyecto	\$0.00	\$/año
Vida útil del Proyecto	0	años
Horizonte de Evaluación del Proyecto	0	años

Indicadores del Proyecto

Periodo de Recuperación de la Inversión		Años
Valor Presente Neto (VPN)		\$
Tasa Interna de Retorno		%
Relación Beneficio Costo (R B/C)		

Documento a Entregar 4: En anexo a la ficha, se deberá entregar los flujos generados por los ahorros e inversiones (Incluir costos de mantenimiento y operación). Es importante recalcar que esta análisis solo estará en función de la tecnología a incorporar sin considerar los flujos financieros del agronegocio.

10.2.- Impactos Energéticos y Ambientales

Consumo de Energía Eléctrica de la Unidad Productiva	0	kWh/año
Desplazamiento de Energía Eléctrica en la Unidad	0	kWh/año
% de Cobertura en la Unidad Productiva	#DIV/0!	
Línea Base Eléctrica del Proyecto		Ton CO2e
Reducción de Emisiones por Desplazamiento Energía		Ton CO2e
Línea Base por población animal		Ton CO2e
Reducción de Emisiones por Quema de Biogás		Ton CO2e
Línea Base Total	0	Ton CO2e
Reducción de Emisiones Totales	0	Ton CO2e

10.2.1.- Impactos Ambientales por el Proyecto	
Reducción de Vectores Transmisores de Enfermedades	
Disminución contaminación Aguas Residuales	
Disminución en Consumo de Energía Eléctrica	
Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero	
Aprovechamiento Subproductos sistema de Biodigestión	
Otro	Especificar <input type="text"/>

10.2.2.- Dictamen Ambiental de la Unidad Productiva	
Documento a Entregar 5: Dictamen Ambiental con el que cuenta la unidad productiva	
Descarga Aguas Residuales	
Gestión de Residuos	
Dictamen de Uso de Suelo	
Otro	<input type="text"/>

10.3.- Impactos Sociales

FT-7

10.3.1.- Generación de Empleos

Directos Permanentes	Mujeres	<input type="text"/>	Hombres	<input type="text"/>	Total	<input type="text"/> 0
Temporales	Mujeres	<input type="text"/>	Hombres	<input type="text"/>	Total	<input type="text"/> 0

10.3.2.- Indique el Impacto Social del Proyecto

Nombre y Firma del Representante Legal del Agronegocio

ANEXO 3: DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO

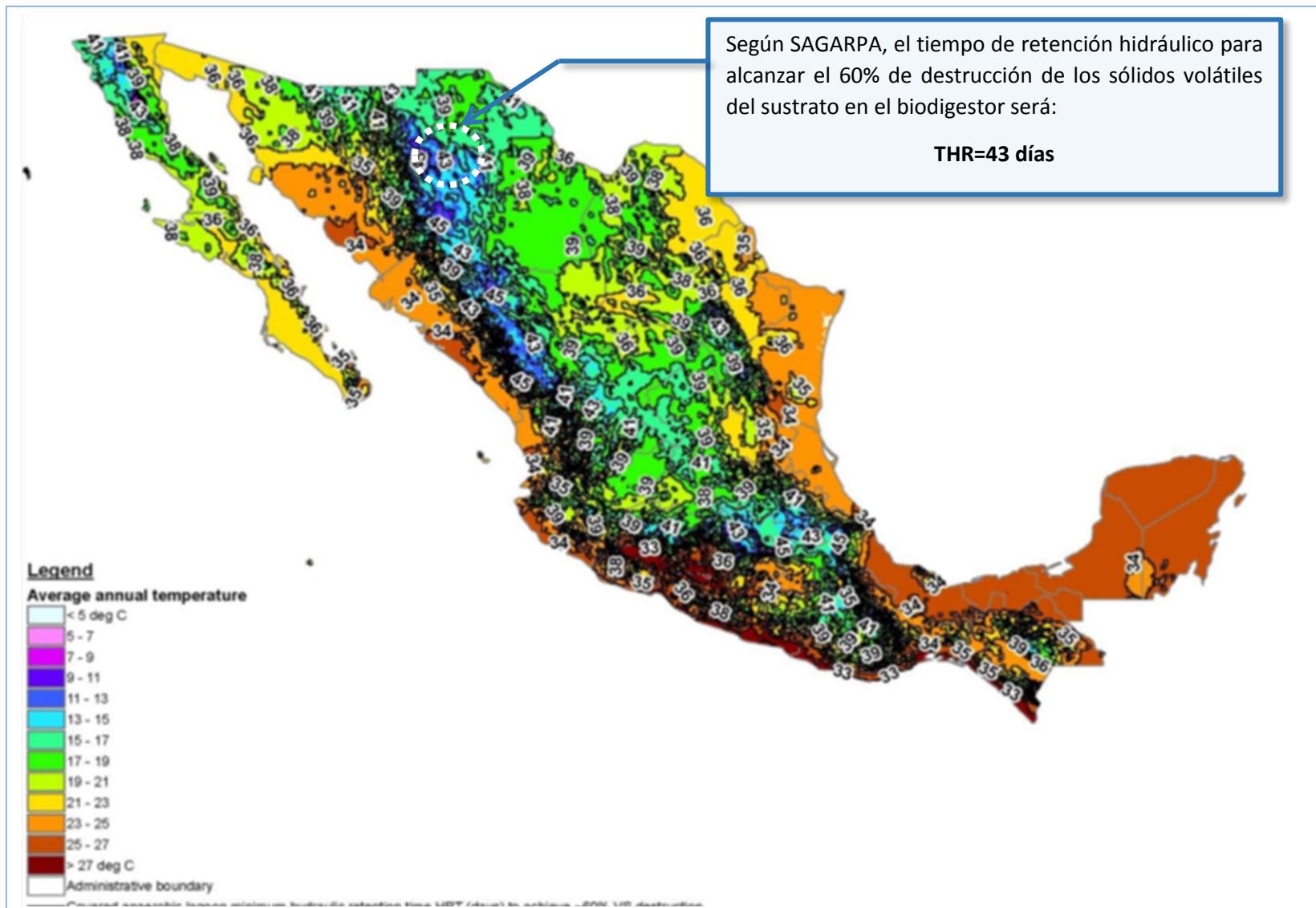


Ilustración 31: Temperaturas Medias Anuales y el Tiempo de Retención Hidráulico Estimado para Alcanzar la Degradación del 60%

Fuente: SAGARPA

ANEXO 4: MÉTODO PARA LA ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DEL BIODIGESTOR

Nº de vacas: 400 cabezas

Producción de estiércol: $0,055 \frac{\text{m}^3}{\text{animal día}}$

Volumen de estiércol total:

$$V_{\text{excretas}} = 0,055 \frac{\text{m}^3}{\text{animal día}} \cdot 400 \text{ cabezas} = 22 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$V_{\text{recolectado}} = 80\% \cdot 22 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} = 17,6 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Flujo volumétrico de influente:

Disolución: Proporción 1:3 de excretas-agua

De modo que el volumen del material a biodegradar será:

$$Q_l = Q_{\text{excretas}} + Q_{\text{agua}}$$

Siendo:

Q_l : Carga de materia líquida del biodigestor $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{día}}\right]$

Q_{excretas} : Volumen de estiércol diario $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{día}}\right]$

Q_{agua} : Volumen adicional de agua $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{día}}\right]$

Donde:

$$Q_{\text{excretas}} = 17,6 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$Q_{\text{agua}} = 17,6 \frac{\text{m}^3 \text{ excretas}}{\text{día}} \cdot 3 \frac{\text{agua}}{\text{excretas}} = 52,8 \frac{\text{m}^3 \text{ agua}}{\text{día}}$$

De este modo:

$$Q_l = \frac{17,6 \text{ m}^3 \text{ excretas}}{\text{día}} + \frac{52,8 \text{ m}^3 \text{ agua}}{\text{día}} = 70,4 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Volumen de materia líquida del biodigestor:

El volumen líquido que debe albergar el biodigestor (Hibert, 2003) puede expresarse como:

$$V_L = Q_l \cdot T_r$$

Siendo:

Q_l : Carga de materia líquida del biodigestor $\left[\frac{m^3}{día}\right]$

T_r : Tiempo de retención hidráulico [días]

En este caso, el volumen líquido:

$$V_l = 70,4 \frac{m^3}{día} \cdot 43 \text{ días} = 3.027,2 m^3$$

Volumen del biodigestor:

Como se ha mencionado con anterioridad, debe ser igual al volumen del material a degradar multiplicado por el tiempo de digestión necesario y un volumen adicional para el almacenamiento de gas. SAGARPA recomienda el uso de un volumen de seguridad $C_s = 20\%$.

$$V_T = (1 + C_s) \cdot V_l$$

Siendo:

V_T : Volumen total del biodigestor [m^3]

C_s : Coeficiente de seguridad

V_l : Volumen de materia líquida del biodigestor [m^3]

De modo que, finalmente:

$$V_T = (1 + 0,2) \cdot 4.231,2 m^3 = \mathbf{3.632,64 m^3}$$

ANEXO 5: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL GRUPO GENERADOR



Generadores con gabinete

Los generadores con gabinete ofrecen una mayor protección contra los agentes atmosféricos, y son aptos para ser instalados en ambientes externos.





Especificaciones técnicas

Las siguientes especificaciones técnicas son comunes a todos los generadores AQLgenset:

Especificaciones generales

- Frecuencia: 50 Hz o 60 Hz
- Tensión nominal: 480 V
- Factor de potencia: COSΦ 0,8

Motor

- Arranque: eléctrico
- Refrigeración: por agua
- Refrigerador de aceite: en todos los modelos excepto AQL16
- Mezclador: Venturi
- Sistema de encendido eléctrico
- Regulador de velocidad opcional
- Filtro de biogás
- Regulador de presión (opcional): Fiorentini (Italia)

Alternador: MARCA STAMFORD O MARATHON

- Fases: 3 fases, 4 hilos
- Formato de conexión: estándar SAE
- Clase de aislamiento: H

Generador: MARCA CUMMINS

- Modulo de control: DeepSea DSE7320, con LCD
- Gabinete insonorizado: opcional
- Nivel de protección: IP23

ESPECIFICACIONES TECNICAS GENERADORES DE 10 – 33 kW

	Standby(kVA)	10	16	25	30	33
Model	AQL10	AQL16	AQL25	AQL30	AQL33	AQL33
standby power	kVA/kW	10/8.0	16/13.0	25/20	30/24	33/26
prime power	kVA/kW	9/7.0	15/12.0	22/18	28/22	30/24
frequency	Hz	60	60	60	60	60
rated voltage	V	480	480	480	480	480
brand						
Model motor	—	M-F10A	M-4Y	M-isuzu 4JB1	M-4Y	M-isuzu 4JB1T
displacement	L	1.051	2.237	2.771	2.237	2.237
speed	RPM	3,600	1,800	3,600	1,800	3,600
starting method	—	electric start				
cooling method	—	water cooled				
brand alternator	—	Stamford	Leroy Somer	Stamford	Leroy Somer	Stamford
model	—	PI 042 D	LSA 40 VS2	LSA 40 M6	PI 042 G	LSA 42.3 VS1
phase	—	3 phases, 4 wires				
controller type	—	DS DSE7320	DS DSE7320	DP DSE7320	DS DSE7320	DS DSE7320
display	—	LCD	LCD	LCD	LCD	LCD
fuel	—	biogas	biogas	biogas	biogas	biogas
gas inlet pressure	kPa	1-5.5kPa	1-5.5kPa	1-5.5kPa	1-5.5kPa	1-5.5kPa
dimension (open type)	mm*mm*mm	—	1400*710*920	1,500*600*980	1400*710*920	1,500*600*980
net weight (open type)	kg	—	480	600	480	600
biogas consumption	m ³ /kW/h	0,65	0,65	0,64	0,62	0,60

Instalación y puesta en marcha

AquaLimpia Engineering ofrece también la instalación, puesta en marcha y capacitación en la operación de los generadores en cualquier país.



ANEXO 6: REQUISITOS TÉCNICOS PARA LA INTERCONEXIÓN DE FUENTES DISTRIBUIDAS DE GENERACIÓN EN PEQUEÑA ESCALA.

Requisitos técnicos para la interconexión de fuentes distribuidas de generación en pequeña escala.

1. ALCANCE

Este documento establece los requisitos y especificaciones técnicas para la interconexión entre una fuente de energía distribuida en pequeña escala y el sistema eléctrico nacional.

2. DEFINICIONES

Generación Distribuida (GD)

Equipos e instalaciones de generación eléctrica conectadas al sistema eléctrico nacional por medio de un punto de interconexión.

Sistema Eléctrico

Equipos e instalaciones que entregan energía eléctrica a una carga.

Sistema Eléctrico Nacional (SEN)

Sistema eléctrico disponible en toda la república y que entrega energía eléctrica a las redes eléctricas locales.

Sistema Eléctrico Local (SEL)

Sistema eléctrico contenido enteramente dentro de uno o varios recintos y que no pertenece al Sistema Eléctrico Nacional.

Fuente de Energía Distribuida (FED)

Fuente de energía eléctrica que no está directamente conectada a los grandes sistemas de transmisión. Las fuentes incluyen generadores y tecnologías de almacenamiento de energía

Fuente de Energía Distribuida en Pequeña Escala.

Es una fuente de energía distribuida que es interconectada al sistema eléctrico nacional con tensiones menores a 1 kV y en potencias menores o iguales a 30 kW.

Interconexión

El resultado del proceso de conectar una fuente de energía distribuida al Sistema Eléctrico Nacional.

Isla

Condición en la cual una porción del sistema eléctrico nacional es energizado únicamente por uno o más sistemas eléctricos locales a través de los puntos de

interconexión mientras que esta porción del sistema eléctrico nacional está eléctricamente separado del resto del SEN.

Isla intencional

Una condición de operación en isla planeada

Isla no intencional

Condición de operación en isla no planeada.

Punto de interconexión (PI)

Punto donde un sistema eléctrico local es conectado al Sistema Eléctrico Nacional.

Punto de Conexión de una Fuente de Energía Distribuida

Punto en el que una fuente de energía distribuida (FED) es eléctricamente conectada a un sistema eléctrico ya sea local o nacional.

CFE

Comisión Federal de Electricidad

3. REQUISITOS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA LA INTERCONEXION

Los requisitos establecidos en el presente documento deben cumplirse en el punto de interconexión aunque los dispositivos usados para cumplirlos estén localizados en otro lugar. Los requisitos aplican tanto para la interconexión ya sea de una sola Fuente de Energía Distribuida o bien para varias, contenidas en un solo Sistema Eléctrico Local.

3.1. Requisitos Generales

3.1.1. Regulación de Tensión

La FED no deberá regular la tensión en el punto de interconexión. Así mismo no debe causar que la tensión de suministro del SEN salga de lo requerido por la CFE.

3.1.2. Sincronia

Para la interconexión de la FED con el SEN, se requerirá contar con los dispositivos necesarios para sincronizar ambos sistemas.

Para los casos de esquemas de cogeneración, la FED entrará en paralelo con el SEN sin causar fluctuación de tensión mayor a +/-5% de los niveles de tensión del SEN en el punto de interconexión y deberá cumplir con los requerimientos de disturbios que establezca CFE.

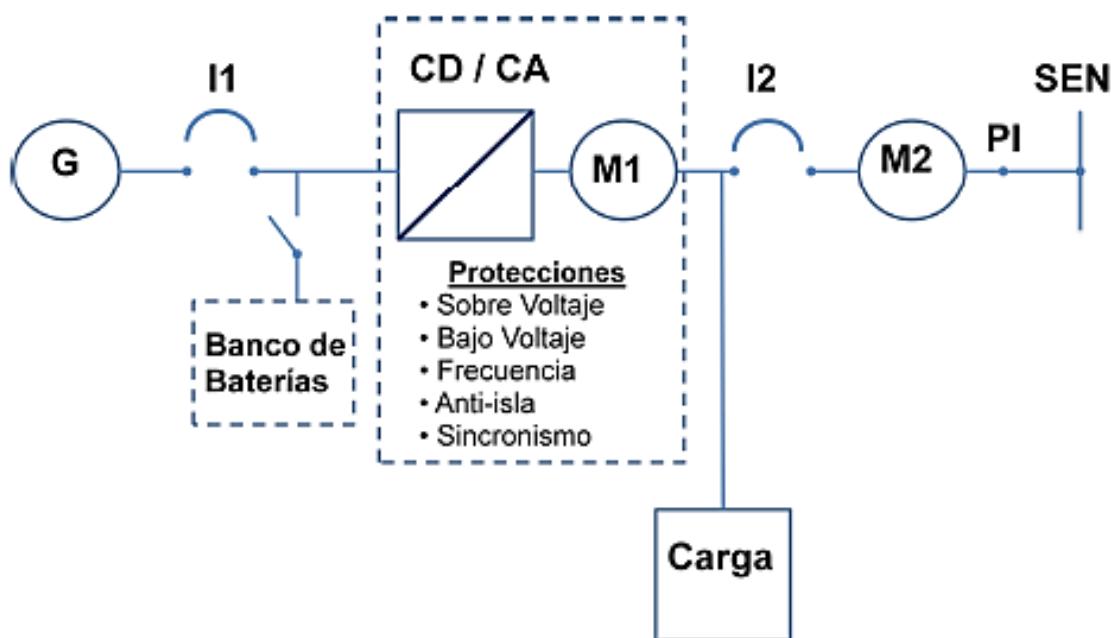
3.1.3. Energización del Sistema Eléctrico Nacional

La FED no debe energizar el SEN cuando el SEN esté desenergizado.

3.2. Condiciones Anormales de Operación

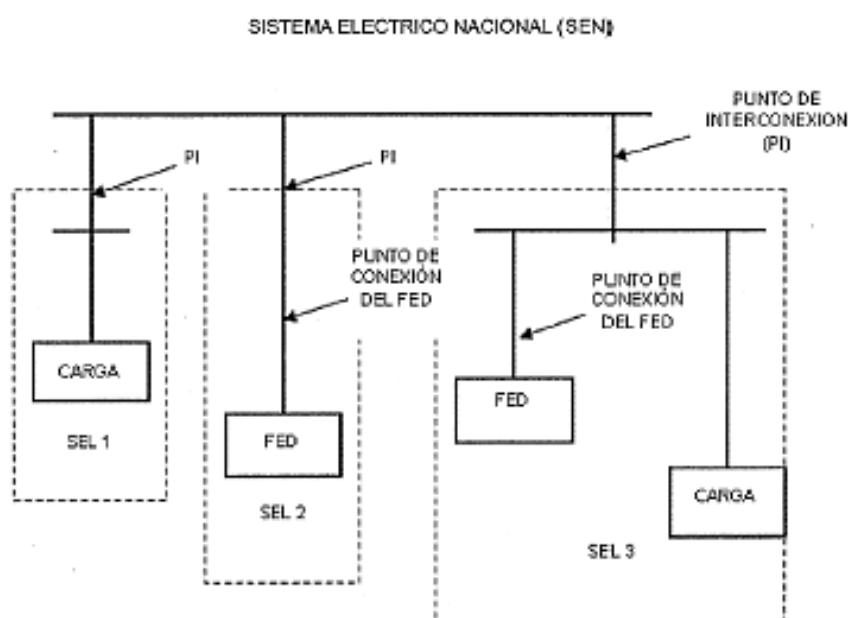
El FED deberá contar con los dispositivos de protección adecuados para desconectarse del SEN en caso de fallas en el propio SEN al cual se encuentra conectado, como se muestra en la figura No.1.

Figura No.1



El uso del banco de baterías es opcional. El convertidor CD/CA es opcional de acuerdo al equipo usado para generar.

Figura No. 2



3.2.1 Voltaje

La protección en el PI deberá detectar el valor rms o la frecuencia fundamental del voltaje de alimentación del suministrador de cada fase a neutro. Los tiempos totales de desconexión dependiendo del nivel de voltaje se indican en la Tabla No. 1. Los dispositivos de voltaje podrán ser fijos o ajustables en campo.

Tabla 1. Respuesta a tensiones anormales en el PI.

Rango de tensión (% de la tensión base)	Tiempo de liberación ⁽¹⁾ (s)
$V < 50$	0.16
$50 \leq V < 88$	2.00
$110 < V < 120$	1.00
$V \geq 120$	0.16

1 FED ≤ 30 kW, tiempo máximo de operación

El voltaje deberá ser detectado en el PI o punto de conexión del FED de acuerdo a la figura No. 2.

La capacidad del fusible o interruptor termomagnético I1 debe ser seleccionado en función de la capacidad del generador, y el I2 debe ser seleccionado en función de la carga del servicio.

3.2.2. Frecuencia

Cuando la frecuencia del sistema se encuentre en los rangos dados en la Tabla No.2 la protección en el PI deberá operar con los tiempos totales indicados en la misma. Los dispositivos de frecuencia podrán ser fijos o ajustables en campo. Los ajustes de baja frecuencia deberán coordinados con los dispositivos del SEN.

Tabla 2. Respuesta a frecuencias anormales en el PI.

Tamaño de la planta (KW)	Rango de frecuencia (Hz)	Tiempo de liberación ⁽¹⁾ (s)
≤ 30	> 60.5	0.16
	< 59.5	0.16

1 FED ≤ 30 KW, tiempo máximo de operación

3.2.3. Re-Conexión al PI

Después de un disturbio, el FED no deberá reconectarse hasta que el voltaje en el PI esté dentro de los límites pre-establecidos por la CFE y la frecuencia esté entre 59.3 Hz y 60.5 Hz.

Para los casos en que el FED cuente con equipo de reconexión automática deberá ser ajustado de tal manera que la re-conexión se de 5 minutos después de que el voltaje y la frecuencia se hayan restablecido dentro de los límites indicados anteriormente.

3.3. Operación en Isla

3.3.1. Operación en Isla No Intencional

Para una operación en isla no-intencional en la que la FED alimenta una parte del SEN en el PI, la FED deberá detectar esta condición y desconectarse del SEN en un tiempo no mayor a medio segundo.

3.3.2 Otros

Debido a la magnitud de la capacidad de generación, este tipo de proyectos no requiere de dispositivos especiales de protección en el SEN

El generador debe asegurarse que sus instalaciones cuenten con dispositivos de control y protección, diseñados para prevenir la formación de una isla eléctrica involuntaria al ocurrir cualquier disturbio eléctrico. No se aceptará el uso de fusibles para proveer esta función.

El medidor M1 que se indica en la figura 1 tiene la función de registrar la generación total en kWh de la FED y deberá ser suministrado por el generador o integrado como parte del FED. El medidor M2 es el medidor de facturación, ambos medidores se describen en el documento "Características de los equipos de medición para generación en pequeña escala" ..

El generador será responsable de operar, mantener y reparar sus instalaciones a fin de que éstas cumplan en todo momento con los requisitos de seguridad y confiabilidad de la operación en paralelo con el sistema..

ANEXO 7: REQUISITOS TÉCNICOS PARA LA INTERCONEXIÓN DE FUENTES DISTRIBUIDAS DE GENERACIÓN EN MEDIANA ESCALA

ANEXO AL CONTRATO DE INTERCONEXIÓN PARA FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE Y COGENERACION EN MEDIANA ESCALA QUE CELEBRAN COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD Y EL GENERADOR

ANEXO E-RDT REQUISITOS TECNICOS PARA LA INTERCONEXION

1. Alcance

Este documento establece los requisitos y especificaciones técnicas para la interconexión entre una fuente de energía distribuida y el sistema eléctrico nacional.

Los requisitos deben ser cumplidos en el punto de interconexión (PI), aunque los dispositivos usados para cumplir estos requerimientos estén instalados en otro lugar.

2. Definiciones.

Generación distribuida. GD

Equipos e instalaciones de generación eléctrica conectadas al sistema eléctrico nacional por medio de un punto de interconexión.

Sistema Eléctrico

Equipos e instalaciones que entregan energía eléctrica a una carga.

Sistema Eléctrico Nacional (SEN)

Sistema eléctrico disponible en toda la república y que entrega energía eléctrica a las redes eléctricas locales

Sistema Eléctrico Local (SEL)

Sistema eléctrico contenido enteramente dentro de uno o varios recintos y que no pertenece a el sistema eléctrico nacional.

Fuente de Energía Distribuida (FED)

Fuente de energía eléctrica que no está directamente conectada a los grandes sistemas de transmisión. Las fuentes incluyen generadores y tecnologías de almacenamiento de energía.

Interconexión

El resultado del proceso de conectar una fuente de energía distribuida al sistema eléctrico nacional.

Isla

Condición en la cual una porción del sistema eléctrico nacional es energizado únicamente por uno o mas sistemas eléctricos locales a través de los puntos de interconexión mientras que esta porción del sistema eléctrico nacional está eléctricamente separado del resto del SEN.

Isla Intencional

Una condición de operación en isla planeada

Isla No Intencional

Condición de operación en isla no planeada.

Punto de Interconexión (PI)

ANEXO AL CONTRATO DE INTERCONEXIÓN PARA FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE Y COGENERACIÓN EN MEDIANA ESCALA QUE CELEBRAN COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD Y EL GENERADOR

ANEXO E-RDT
REQUISITOS TECNICOS PARA LA INTERCONEXION

Punto donde un sistema eléctrico local es conectado al sistema eléctrico nacional.

Punto de Conexión de una Fuente de Energía Distribuída.

Punto en el que una fuente de energía distribuída (FED) es eléctricamente conectada a un sistema eléctrico ya sea local o nacional.

CFE

Comisión Federal de Electricidad

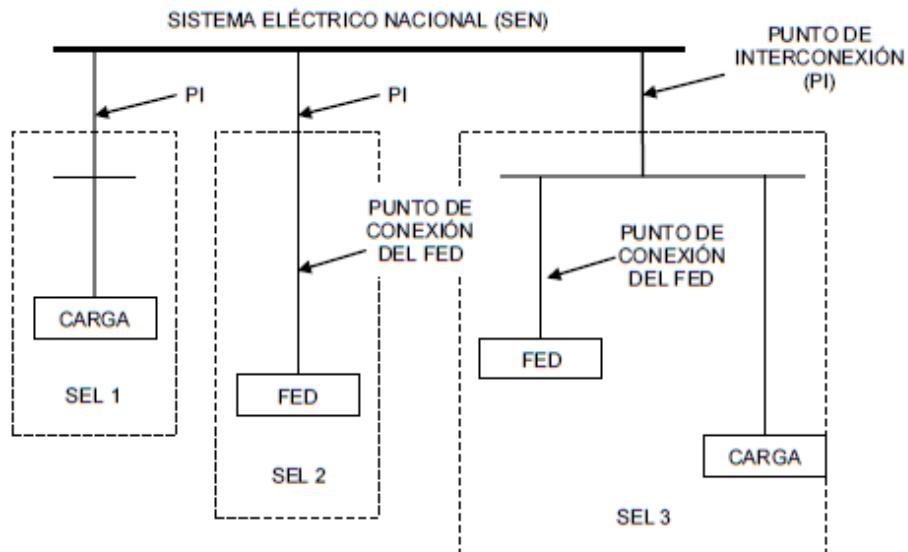


Figura No. 1.- Interconexiones

3. Requerimientos y Especificaciones Técnicas para la Interconexión

Los requerimientos deben ser cumplidos en el punto de interconexión aunque los dispositivos usados para cumplir estos requerimientos estén localizados en otro lugar distinto al punto de interconexión. Los requerimientos aplican tanto para la interconexión ya sea de una sola FED o bien para varias FED contenidas en un solo SEL.

**ANEXO AL CONTRATO DE INTERCONEXIÓN PARA FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE Y
COGENERACION EN MEDIANA ESCALA QUE CELEBRAN COMISIÓN FEDERAL DE
ELECTRICIDAD Y EL GENERADOR**

**ANEXO E-RDT
REQUISITOS TECNICOS PARA LA INTERCONEXION**

3.1. Requerimiento Generales

3.1.1. Regulación de Tensión

La FED no deberá regular la tensión en el punto de interconexión. La FED no deberá causar que la tensión de suministro del SEN salga de lo requerido por la CFE

3.1.2. Sincronía

La FED entrará en paralelo con el SEN sin causar fluctuación de tensión mayor a +/- 5 % de los niveles de tensión del SEN en el punto de interconexión y deberá cumplir con los requerimientos de disturbios que establezca CFE.

3.1.3. Energización del Sistema Electrico Nacional

La FED no debe energizar el SEN cuando el SEN esté desenergizado.

3.1.4. Dispositivo de Desconexión

Se deberá contar con un dispositivo de desconexión accesible, con dispositivos de bloqueo.

3.2. Condiciones Anormales de Operación

El FED deberá contar con los dispositivos de protección adecuados para desconectarse del SEN en caso de fallas en el propio SEN al cual se encuentra conectado, como se muestra en la Figura No. 2.

3.2.1. Voltaje

La protección en el PI deberá detectar el valor rms o a frecuencia fundamental de cada voltaje de fase a fase, excepto cuando el transformador para la conexión entre el SEL y el SEN sea Estrella-Estrella aterrizado, o monofásico, en donde se deberá detectar el voltaje de fase a neutro. Los tiempos totales de desconexión dependiendo del nivel de voltaje se indican en la Tabla No. 1. Los dispositivos de voltaje podrán ser fijos o ajustables en campo para FEDs menores o iguales a 30 kW de capacidad total, y ajustables en campo para FEDs mayores a 30 kW de capacidad total.

El voltaje deberá ser detectado ya sea en el PI o en el punto de conexión del FED.

ANEXO AL CONTRATO DE INTERCONEXIÓN PARA FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE Y COGENERACIÓN EN MEDIANA ESCALA QUE CELEBRAN COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD Y EL GENERADOR

**ANEXO E-RDT
REQUISITOS TECNICOS PARA LA INTERCONEXION**

Tabla No. 1.- Respuesta del Sistema de Interconexión con Voltajes Anormales

Rango de Voltaje (% del Voltaje Nominal)	Tiempo de Operación (s) ¹
$V < 50$	0.16
$50 \leq V \leq 88$	2.00
$110 < V < 120$	1.00
$V \geq 120$	0.16

¹FED ≤ 30 kW, tiempo máximo de operación
FED > 30 kW, tiempo recomendado.

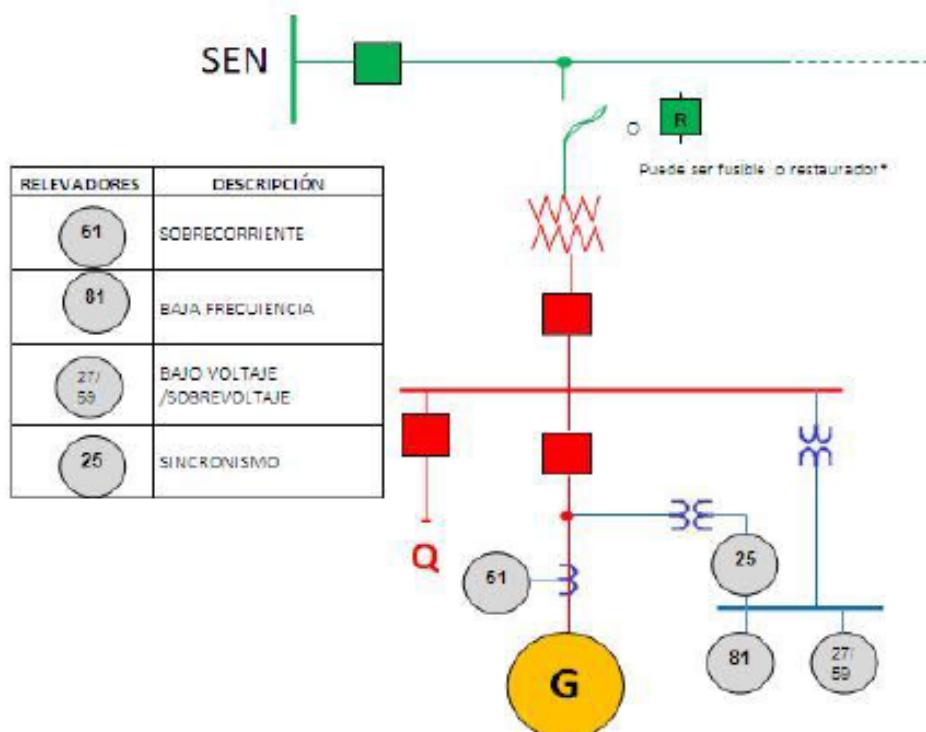


Figura No. 2 Diagrama básico de interconexión

NOTA: Cuando el proyecto se localiza en una derivación de la línea troncal, la capacidad de los equipos de protección intermedios al punto de interconexión, deben seleccionarse con base a un estudio de coordinación de protecciones

La capacidad del fusible o restaurador ubicado en el punto de interconexión debe seleccionarse en función de la carga del servicio. Se recomienda utilizar fusibles de operación rápida tipo "K".

ANEXO AL CONTRATO DE INTERCONEXIÓN PARA FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE Y COGENERACIÓN EN MEDIANA ESCALA QUE CELEBRAN COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD Y EL GENERADOR

**ANEXO E-RDT
REQUISITOS TECNICOS PARA LA INTERCONEXION**

Figura No. 2.- Diagrama Básico de Interconexión

3.2.2. Frecuencia

Cuando la frecuencia del sistema se encuentre en los rangos dados en la Tabla No. 2 la protección en el PI deberá operar con los tiempos totales indicados en la misma. Los dispositivos de frecuencia podrán ser fijos o ajustables en campo para FEDs menores o iguales a 30 kW de capacidad total, y ajustables en campo para FEDs mayores a 30 kW de capacidad total.

Los ajustes de baja frecuencia deberán ser coordinados con los dispositivos del SEN.

Tabla No. 2.- Respuesta del Sistema de Interconexión con Frecuencias Anormales

Capacidad del FED	Rango de Frecuencia (Hz)	Tiempo de Operación (s) ¹
≤ 30 kW	> 60.5	0.16
	< 59.3	0.16
> 30 kW	> 60.5	0.16
	< 59.8 - 57.9 (Ajustable)	0.16 – 300 (Ajustable)
	< 57.0	0.16

¹FED ≤ 30 kW, tiempo máximo de operación
FED > 30 kW, tiempo recomendado

3.2.3. Re-Conexión al SEN

Después de un disturbio, el FED no deberá reconectarse hasta que el voltaje en el SEN este dentro de los límites pre-establecidos por la CFE y la frecuencia este entre 59.3 Hz y 60.5 Hz.

El sistema de interconexión del FED deberá incluir un retardo de tiempo ajustable (o fijo a 5 min.) para retardar la re-conexión hasta 5 min, después de que el voltaje y la frecuencia se hayan restablecido dentro de los límites indicados anteriormente.

ANEXO AL CONTRATO DE INTERCONEXIÓN PARA FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE Y
COGENERACION EN MEDIANA ESCALA QUE CELEBRAN COMISIÓN FEDERAL DE
ELECTRICIDAD Y EL GENERADOR

ANEXO E-RDT
REQUISITOS TECNICOS PARA LA INTERCONEXION

3.3. Operación en Isla

3.3.1. Operación en Isla No Intencional

Para una operación en isla no-intencional en la que la FED alimenta una parte del SEN en el PI, la FED deberá detectar esta condición y desconectarse del SEN en un tiempo no mayor a medio segundo.

3.4. Otros

Debido a la magnitud de la capacidad de generación, este tipo de proyectos no requiere de dispositivos especiales de protección en el SEN.

El generador debe asegurarse que sus instalaciones cuenten con dispositivos de control y protección, diseñados para prevenir la formación de una isla eléctrica involuntaria al ocurrir cualquier disturbio eléctrico. No se aceptará el uso de fusibles para proveer esta función.

El generador será responsable de operar, mantener y reparar sus instalaciones a fin de que éstas cumplan en todo momento con los requisitos de seguridad y confiabilidad de la operación en paralelo con el sistema.