	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4




DEPARTAMENTO DE REGULACIÓN DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS

SISTEMA DE BOMBEO EFICIENTE CON VARIADORES DE FRECUENCIA

MEMORIA

ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL DE
ZARAGOZA

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

IDENTIFICACIÓN GENERAL

CURSO 09/10

Profesor del Proyecto: D. Juan Luis Villa Gazulla

Correo electrónico: jvilla@unizar.es

Despacho: C4-3-7. Edificio Torres Quevedo

Departamento: *Ingeniería Eléctrica*

Autor:

Daniel Pascua González

Titulación: Ingeniero Técnico Industrial por la Universidad de Zaragoza

Especialidad: Electrónica

DNI: 70864979-R

Dirección: C/ Paseo de Alcañiz 70

Localidad: Calanda (Teruel)


Teléfono: 626646873

Correo electrónico: daniel-pascua@hotmail.com

Fecha y Firma

Daniel Pascua González

Zaragoza, a 12 de Mayo de 2010

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

ÍNDICE

1.- OBJETO

2.- JUSTIFICACIÓN DE LAS ACTUACIONES

3.- ELEMENTOS CONDICIONANTES DEL DISEÑO

4.- INGENIERÍA DE DISEÑO

4.1- BALSAS DE REGULACIÓN

4.2- ESTACIÓN DE BOMBEO

4.3.- REDES DE RIEGO

5.- ESTUDIO AGRONÓMICO

5.1.- INTRODUCCIÓN

5.2.-ESTUDIO DE NECESIDADES HÍDRICAS

5.2.1.- CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

5.2.2- CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA

5.2.3.- CÁLCULO DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS NETAS

5.2.4.- CÁLCULO DE LAS NECESIDADES BRUTAS DE AGUA


5.2.5.- NECESIDADES BRUTAS DE LOS CULTIVOS

5.2.6.- NECESIDADES BRUTAS TOTALES DE LA ALTERNATIVA

5.3.- CONCLUSIÓN DE LAS NECESIDADES

6.- PARÁMETROS DEL RIEGO Y DOTACIONES

6.1.- INTRODUCCIÓN

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

6.2.- CAUDAL FICTICIO CONTINUO

6.3.- GARANTÍA DE SUMINISTRO

6.4.- FRECUENCIA DE RIEGO

6.5.- DURACIÓN DE LA JORNADA DIARIA DE RIEGO

6.6.- DURACIÓN DEL RIEGO EN PARCELA. CAUDAL INSTALACIÓN

6.7.- CAUDAL DE DISEÑO

7.- BALSAS DE REGULACIÓN

7.1.- INTRODUCCIÓN

7.2.- NECESIDADES DE REGULACIÓN

7.3.- LOCALIZACIÓN Y TOPOGRAFÍA

7.4.- CÁLCULO DE ESTABILIDAD DE LOS TALUDES

7.5.- CÁLCULO DEL ANCHO DE CORONACIÓN DE LA BALSA

7.6.- RESGUARDO NECESARIO


7.7.- TOMA DE FONDO DE LA TUBERÍA

7.8.- IMPERMEABILIZACIÓN, GEOTEXTILES Y DRENAJES

7.9.- OTROS ELEMENTOS

7.9.1.- VALLADO PERIMETRAL

7.9.2.- ELEMENTOS DE SEGURIDAD

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

8.- CÁLCULOS DE LA RED DE RIEGO A PRESIÓN

8.1.- DESCRIPCIÓN DE LA RED

8.2.- REDES DE RIEGO

8.3.- MATERIALES

8.4.- DIMENSIONADO DE LA RED

8.4.1.-CRITERIOS HIDRÁULICOS PARA EL DIMENSIONADO DE LA RED DE TUBERIAS

8.4.2.- CÁLCULO DE LOS CAUDALES DE LAS REDES

8.5.- VENTOSAS Y PURGADORES

8.5.1.- UBICACIÓN DE VENTOSAS

8.5.2.-DIMENSIONADO DE LAS VENTOSAS

8.6.- DESAGÜES

8.7.- BY-PASSES

8.8.- SECCIONAMIENTO DE LA RED

8.9.- ELEMENTOS DE LA TOMA DE RIEGO


9.- ESTACIÓN DE BOMBEO, EQUIPOS HIDRÁULICOS, FILTRADOS Y PROTECCIONES

9.1.- INTRODUCCIÓN

9.2.- DIMENSIONADO GEOMÉTRICO. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS

9.3.- CURVA DE DEMANDA DE LA INSTALACIÓN

9.4.- FRACCIONAMIENTO DEL BOMBEO. EQUIPOS DE BOMBEO

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

9.4.1.- BOMBAS

9.4.2.- POTENCIA UNITARIA. CURVA DE LA BOMBA

9.4.3.- CURVA CARACTERÍSTICA DE LOS GRUPOS DE BOMBEO

9.4.4.- COMPOSICIÓN GENERAL DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

9.5.- FUNCIONAMIENTO DE LAS BOMBAS EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO

9.6.- CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS DEL RENDIMIENTO DE LA INSTALACIÓN

9.7.- PROTECCIÓN CONTRA EL GOLPE DE ARIETE

9.7.1.- CONSECUENCIAS

9.7.2.- PROTECCIONES

9.8.- SISTEMA DE FILTRADO

9.8.1.- INTRODUCCIÓN

9.8.2.- DESCRIPCIÓN

9.8.3.- FUNCIONAMIENTO


10.- ESTUDIO DE BAJA TENSIÓN

10.1.- OBJETO DEL ESTUDIO

10.2.- GENERALIDADES

10.3.- NORMATIVA APLICABLE

10.4.- CLASIFICACIÓN DEL LOCAL A EFECTOS DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

10.5.- SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y POTENCIA A CONTRATAR

10.6.- CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA

10.6.1.- CAMINOS DE CABLES. CANALIZACIONES

10.6.2.- ACOMETIDA DE BAJA TENSIÓN. (ACOMETIDA A CGBT)

10.6.3.- CUADRO GENERAL DE DISTRIBUCIÓN DE BAJA TENSIÓN


10.6.4.- BORNAS DE SALIDA

10.6.5.- ACOMETIDAS A MOTORES Y EQUIPOS

10.6.6.- ALUMBRADO

10.6.7.- ALUMBRADO DE EMERGENCIA

10.6.8.- SISTEMA DE CONTROL

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4


1.- OBJETO

El presente proyecto se enfoca en la modernización del sistema de regadío de una Comunidad de Regantes. La última modernización data de mediados del siglo pasado y la transformación realizada fue de riego por gravedad (inundación), ya que por aquel entonces, no se había desarrollado suficientemente la tecnología del riego a presión.

La red de acequias está formada por unas acequias generales de hormigón y las acequias secundarias del tipo prefabricado (canaletas). Dada la época en que se construyeron dichas acequias, se puede considerar que ya ha culminado la vida útil de estas redes.

Los volúmenes totales de riego utilizados en la Comunidad de Regantes ascienden a 4.5 Hm^3 , lo que supone un volumen medio de consumo de agua de $4832 \text{ m}^3/\text{Ha}\cdot\text{año}$.


El objetivo del proyecto es la instalación de infraestructuras que permitan el cambio de sistema de riego. Se trata de sustituir la distribución del agua en turnos a través de acequias por un reparto a la demanda mediante redes a presión constante sobre una superficie de 1000 hectáreas aproximadamente.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

2.- JUSTIFICACIÓN DE LAS ACTUACIONES


La finalidad principal del Proyecto es la instalación de un sistema de distribución dependiendo de la demanda, entregando el agua en tomas de riego colocadas en las parcelas, a partir de la cual cada agricultor podrá instalar riego por aspersión, bien con cobertura total enterrada, con pivote o riego localizado. En cualquier caso, las consecuencias inmediatas serán:

- Disminución del volumen total aplicado por unidad de superficie.
- Disminución de la lámina aplicada por cada riego, especialmente importante en los riegos de nascencia. En riegos por gravedad es difícil aplicar menos de 100 mm, mientras que con aspersión pueden darse riegos de 4 mm, suficientes para provocar la germinación de la semilla.
- Disminución de las pérdidas de fertilizantes por lixiviación
- La contaminación de acuíferos y ríos se reducirá notablemente debido al control de los lixiviados.
- Podrá realizarse el control automático del agua aplicada basado en las demandas reales de riego.
- Incremento en 3,5 veces la extensión de la superficie regable

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

3.- ELEMENTOS CONDICIONANTES DEL DISEÑO

- Existirán dos balsas reguladoras, una pequeña de 5.000 m³ de capacidad y otra de 222.000 m³ de capacidad.
- Existirán dos redes de riego: una de bombeo que regará las zonas más elevadas y otra de presión natural que regará las zonas más bajas. La red de bombeo tomará aguas del embalse de mayor capacidad, mientras que la red de presión natural tomará agua de la balsa pequeña.
- Se asegurarán 40 m.c.a en todos los hidrantes de la modernización.
- El trazado de las redes seguirá, en la medida de lo posible, el trazado de acequias que se han quedado obsoletas y por zonas por donde el porcentaje de roca en la excavación de las zanjas sea mínimo.
- El diseño de la red de riego será a la demanda a presión constante.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

4.- INGENIERÍA DE DISEÑO

4.1- BALSAS DE REGULACIÓN

Se construirán dos balsas de regulación, una de 5.000 m³ y otra de 222.000 m³. Este volumen de agua almacenada ofrece una capacidad de regulación del sistema de tres días en el periodo de máximo consumo. Ambas balsas están impermeabilizadas mediante lámina de polietileno de alta densidad de 1.5 mm de espesor.

La coronación de ambas balsas se cerrará por su parte exterior mediante un vallado de 2 m de altura de valla de simple torsión con postes galvanizados. De esta manera se evitara accidentes y el merodeo de animales.

4.2- ESTACIÓN DE BOMBEO

A pie de la balsa grande se prevé la instalación de una estación de bombeo para dar riego a 700 ha de superficie de presión forzada.

Esta estación estará constituida por 5 bombas de 200 l/s cada una y una de 90 l/s para poder responder de una forma más efectiva a los posibles estados de demanda de la red. Además, se contempla la utilización de un filtro eléctrico en carga automático autolimpiable.


A la estación de bombeo también entra la tubería de presión natural, que tiene conexión con la tubería de salida de la balsa grande para poder regar desde esta balsa la zona de presión natural. Para esta red también se coloca un filtro del tipo mencionado anteriormente.

La estación de bombeo se proyecta de manera que su funcionamiento sea automático controlado a través del autómata. El arranque y parada podrá también ser controlado de manera manual. Las bombas de 200 l/s constan de motores de 110 Kw y la bomba de 90 l/s de un motor de 45 Kw

De las bombas de 110 Kw, dos de ellas estarán equipadas con variador de velocidad, de manera que permitirá que se ajuste el caudal de bombeo a la demanda de la red sin comprometer el rendimiento global de las electrobombas.

Una de las bombas de 110 Kw, es de reserva, si bien, si la demanda lo requiere, podrán funcionar las 5 electrobombas de dicha potencia, ya que la instalación eléctrica se dimensionará contemplando este supuesto. Por tanto, la potencia a contratar será de 600 Kw.

El arranque de las bombas se producirá en función de la presión (presión en el colector de impulsión controlada por un presostato con salida analógica 4-20 mA cuya señal se facilitará al autómata) constante seleccionada y requerida en el sistema y


	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

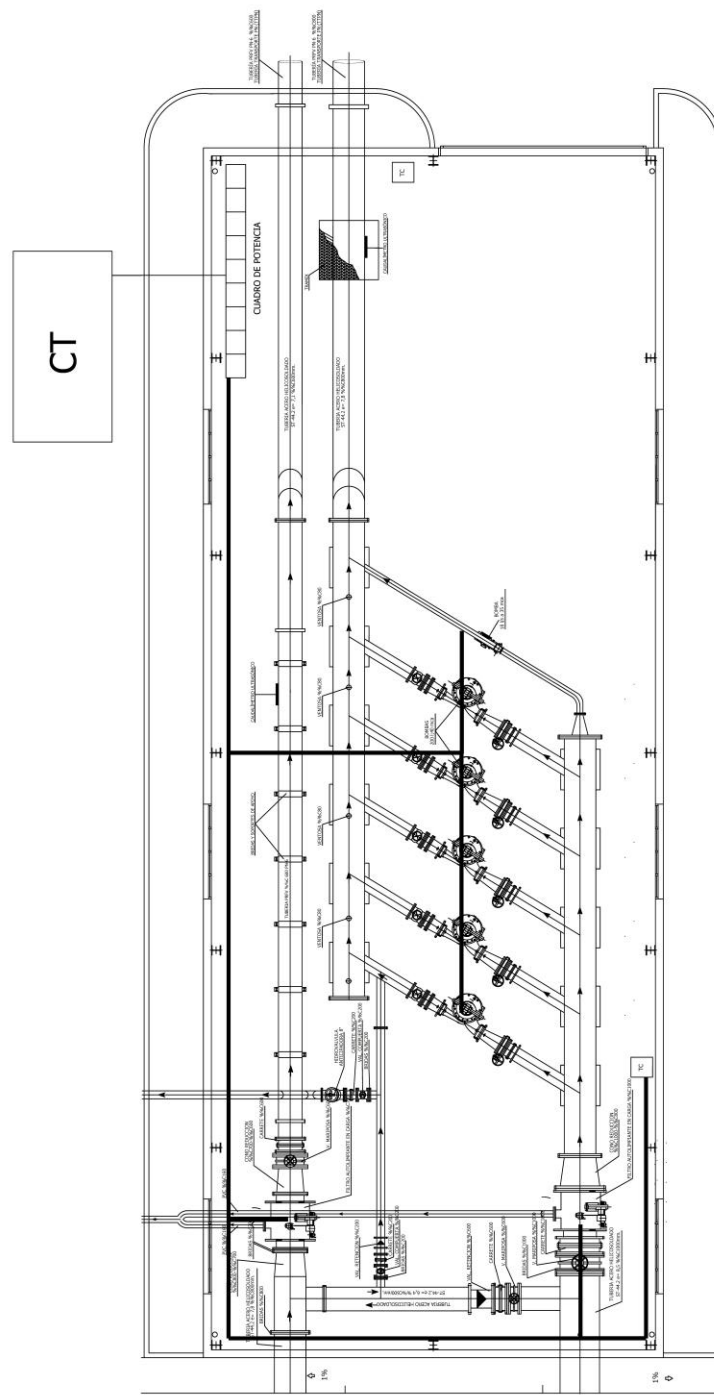
después en función de los caudales demandados (obtenidos por el caudalímetro electromagnético situado en el colector de impulsión).


Se prevén dos caudalímetros ultrasónicos, uno a la salida de la tubería de presión natural, y otro a la salida del bombeo, que darán consiga de alarma si los caudales en la impulsión o de diseño de la red de presión natural superan el caudal de diseño de la red, lo que indica que se ha producido una rotura en la red a presión.

Se instalarán dos válvulas de mariposa motorizada para el corte automático de la tubería de aspiración del bombeo y de la tubería de presiona natural en caso de alarma.

Esta es la imagen de la instalación de bombeo:

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4




	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

4.3.- REDES DE RIEGO

Se prevé una instalación de 27 Km. lineales de redes de tuberías, para las cuales se han considerando unas velocidades de circulación de agua máxima de 2 m/s y 0.5 m/s mínima.

Las tensiones soportadas por los tubos varían a corto y largo plazo como consecuencia de las reducción del modulo de deformación con el paso del tiempo, por lo que las tuberías deberán dimensionarse en función del tiempo de funcionamiento que se haya estimado.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

5.- ESTUDIO AGRONÓMICO

5.1- INTRODUCCIÓN

En este apartado se pretende realizar un estudio agronómico completo de la alternativa de cultivos considerada en la transformación planteada, centrándonos fundamentalmente en dos aspectos.

En primer lugar, se calcularán las necesidades hídricas de la alternativa de cultivos planteada, indicando para ello las necesidades mensuales en m³/Ha, volumen anual consumido y caudal ficticio continuo expresado en l/sg y Ha.

5.2- ESTUDIO DE NECESIDADES HÍDRICAS

La superficie total a transformar en regadío mediante las actuaciones planteadas en el presente documento es de 1043 Ha.

La alternativa de cultivo a la cual va enfocada es:

Maíz: 45 %

Alfalfa: 55%

Para la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos incluidos en la alternativa de cultivos estudiada se ha seguido el procedimiento de cálculo recomendado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación en su publicación “Las necesidades de agua de los cultivos”.


Según este procedimiento, el proceso a seguir para el cálculo de las necesidades de agua de riego en los cultivos será el siguiente:

1.- Cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_o); considerada como el consumo de agua de una superficie de extensa de hierba, uniforme, de 8 a 15 cm. de altura, en crecimiento activo, sombreando la totalidad de suelo y bien provista de agua.

2.- Cálculo de la evapotranspiración de los cultivos (ETC); considerada como las necesidades hídricas brutas de los cultivos para su desarrollo óptimo, representando la cantidad de agua que debe existir en la zona radial del cultivo para satisfacer su demanda evaporativa.

3.- Cálculo de las necesidades hídricas netas de los cultivos (NH_n); consideradas como la cantidad de agua que se ha de suministrar a la zona radial del cultivo mediante riego. Para ello, se deduce a las ETC la cantidad de agua aportada por la precipitación efectiva (PE)

$$NH_n = ETC - PE$$

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

4.- Cálculo de las necesidades brutas de agua de riego en los cultivos (NRb): consideradas como la cantidad de agua que el sistema de riego ha de proporcionar en parcela para que, una vez deducidas las pérdidas debidas a la propia eficiencia del riego, la cantidad de agua que se almacene en dicha zona radical sea igual a las NHn del cultivo

5.2.1- CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

La comarcalización de cada una de las provincias tiene su razón en la uniformidad en sus características naturales, económicas y sociales y climáticas. Es por eso que, para realizar un estudio de necesidades hídricas, se considerarán los datos meteorológicos registrados en una estación meteorológica, que se ajustarán mejor a la realidad de la zona.

Los datos a registrar serán:

- Precipitación total mensual medida en mm.
- Media mensual de la temperatura media diaria del aire en ° C.
- Media mensual de la evapotranspiración diaria de una hierba en mm/día.

Tomaremos como datos arbitrarios los recogidos en una población con un clima continental con una temperatura media anual de 14.3 ° C., siendo Diciembre el mes más frío con 4.5 ° C. de temperatura media y Julio y Agosto los más calurosos con 24.5 ° C.

La precipitación media anual es de 525 mm. Siendo Mayo el mes más lluvioso con 56,1 mm. de precipitación media, y Julio el más seco con 28.2 mm.


La ETo media anual es de 1303 mm, siendo Enero y Diciembre los meses en que es menor con 18.3 y 12.2 mm., respectivamente. Julio es el que mayor con 231.8 mm.

La estimación de dicha evapotranspiración se ha realizado según el método de FAO-UNEP Blaney-Criddle que consiste:

$$ETo = p (0,46 Tm + 8)$$

donde:

- ETo = evapotranspiración de referencia (en mm/día) (promedio en un periodo de 1 mes)
- Tm = temperatura media diaria (°C)
- p = % diario de horas de luz del mes, con respecto al total anual.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

5.2.2.-CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA

Hasta ahora hemos comentado únicamente las necesidades de agua, sin embargo, puede haber aportes de agua diferentes de los aportes hídricos del propio riego.

Se consideran nulos los posibles aportes por parte del rocío y de las capas freáticas altas. Sólo se contabilizarán como aportes positivos, las lluvias y, dentro de ellas, se considerará únicamente la porción de lluvia considerada como precipitación efectiva.

Así, desde un punto de vista agronómico, se considera como precipitación efectiva a la porción de lluvia que satisface parte de las necesidades de consumo de agua del cultivo.

Esta precipitación efectiva depende de factores como:

- Intensidad de la precipitación.
- Contenido de humedad del suelo antes de la lluvia.
- Tasa de infiltración del suelo
- Capacidad de retención de agua en la zona radicular del cultivo
- Evapotranspiración del cultivo.

5.2.3.- CÁLCULO DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS NETAS

Las necesidades hídricas se calculan, una vez determinado el valor de la precipitación efectiva, como la diferencia entre la evapotranspiración del cultivo y la precipitación efectiva.


En el proceso de cálculo seguido se han considerado las condiciones locales de cada cultivo, reflejándose este hecho en la obtención de estas necesidades netas.

5.2.4.- CÁLCULO DE LAS NECESIDADES BRUTAS DE AGUA

Para la estimación de las necesidades brutas de agua de riego es necesario conocer la eficiencia actual y futura en la aplicación de riego (relación entre el agua aplicada y la realmente útil para las plantas).

En la eficiencia de aplicación del riego influyen varios factores como:

- Calidad de los materiales.
- Diseño de la instalación
- Manejo del riego (frecuencia y tiempo de los riegos)
- Mantenimiento de las instalaciones

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

Las necesidades reales o necesidades brutas de riego se obtendrán restando a la evapotranspiración del cultivo las lluvias efectivas y dividiéndolo por el coeficiente de eficiencia del riego.

5.2.5.- NECESIDADES BRUTAS DE LOS CULTIVOS

En este apartado procederemos a la estimación de las necesidades brutas de agua de riego para cada uno de los cultivos que entran a formar parte de la alternativa de cultivos estudiada.

Posteriormente, una vez conocidas esas necesidades brutas de agua de riego para cada uno de los cultivos, se procederá a la estimación de las necesidades brutas de agua de riego para el conjunto de la alternativa de cultivos estudiada (maíz y alfalfa), considerando para ello la superficie total estimada para cada uno de los cultivos.


Considerando la estación meteorológica anteriormente comentada, obtenemos la siguiente información para el cultivo del maíz

MAÍZ

MES	ET _c (mm)	PE (mm)	NH _n (mm)	NH _b (mm)
MAYO	58	43	16	21
JUNIO	116	41	75	100
JULIO	202	25	177	236
AGOSTO	183	31	153	204
SEPTIEMBRE	105	33	72	96
OCTUBRE	6	6	1	1
ESTACIONAL	670	179	494	658

Con lo que determinamos:

MESES	Necesidad real (mm/mes)	Necesidad real (m ³ / Ha y mes)
MAYO	21	210
JUNIO	100	1000
JULIO	236	2360
AGOSTO	204	2040
SEPTIEMBRE	96	960
OCTUBRE	1	10
TOTAL		6.580

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

El consumo que demanda el cultivo del maíz es de 6.580 m³/Ha y año.


ALFALFA:

MES	ETc (mm)	PE (mm)	NH _n (mm)	NH _b (mm)
MARZO	54	25	29	39
ABRIL	72	40	32	43
MAYO	98	48	50	67
JUNIO	135	43	92	123
JULIO	165	23	142	189
AGOSTO	146	28	118	157
SEPTIEMBRE	96	32	64	85
OCTUBRE	57	40	17	23
ESTACIONAL	895	351	544	726

Con lo que determinamos:

MESES	Necesidad real (mm/mes)	Necesidad real (m ³ / Ha y mes)
MARZO	39	390
ABRIL	43	430
MAYO	67	670
JUNIO	123	1230
JULIO	189	1890
AGOSTO	157	1570
SEPTIEMBRE	85	850
OCTUBRE	23	230
TOTAL		7.260

El consumo que demanda el cultivo de la alfalfa es de 7.260 m³/Ha y año.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

5.2.6.- NECESIDADES BRUTAS TOTALES DE LA ALTERNATIVA

Para el cálculo de las necesidades brutas de agua de riego totales de la alternativa de cultivos estudiada, se tendrá en cuenta la superficie total destinada a cada uno de los tipos de cultivo que la componen y la demanda hídrica estimada para cada uno de ellos.

Teniendo en cuenta que el 45 % de la superficie se emplea en la plantación del maíz y el 55 % restante en el cultivo de alfalfa:

	SUPERFICIE (ha)	m³/ha y año	m³/año
MAIZ	469	6.580	3.086.020
ALFALFA	573	7.260	4.159.980
TOTAL	1043		7.253.022

5.3.- CONCLUSIÓN DE LAS NECESIDADES

A partir de todos los datos recopilados en este estudio agronómico determinamos:

- La dotación para el mes más desfavorable (Julio) es de 0,8 l/s y Ha.

$$Necesidades (mm/mes) = 55 \% \text{ de } 198 + 45 \% \text{ de } 236 = 210,2 \text{ mm/mes} = 2102 \text{ m}^3/\text{mes}$$

$$Caudal Ficticio Continuo (l/s * Ha) = 2102 * \frac{1000}{24 * 30 * 3600} = 0,8 \text{ l/s} * Ha$$

- Suponiendo que son 1043 hectáreas regables, el caudal ficticio continuo es de 834,4 l/s en el mes más desfavorable.


$$Caudal Ficticio Continuo (l/s) = 0,8 * 1043 = 834,4 \text{ l/s}$$

- El volumen de agua propuesto por hectárea, para satisfacer las necesidades de los cultivos es de 6.954 m³/año y Ha.

$$Volumen (m^3/año) = \sum Necesidades (m^3/mes) = 6.954 \text{ m}^3$$

- El volumen total anual propuesto para el riego de la superficie determinada es de 7.253.022 m³.

$$Volumen total de riego al año = \sum Necesidades (m^3/mes) * 1043 = 7.253.022 \text{ m}^3$$

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

6.- PARÁMETROS DEL RIEGO Y DOTACIONES

6.1.- INTRODUCCIÓN

Se establecerá un sistema de riego a la demanda con reducción de caudales utilizando el modelo de R. Clement. La red de distribución que se prevé servirá para que el usuario pueda organizar el riego en parcela libremente, dentro de unas limitaciones, garantizando una alta calidad de funcionamiento a nivel de toma.

Se adoptará el criterio de unir varias parcelas de un mismo propietario y de distintos propietarios con el fin de regar desde un mismo hidrante.

Se considera como caudal mínimo por toma de 18 l/s, caudal suficiente para el riego de módulos de una hectárea. Se establecerá rangos de superficies que regarán con el mismo caudal escanoldas de 3 en 3 hectáreas.

6.2.- CAUDAL FICTICIO CONTINUO


Las necesidades de agua de riego han sido estimadas en el punto anterior. De acuerdo con los resultados obtenidos en el mismo para la alternativa de cultivos prevista en la modernización y el ambiente climático de la zona, las necesidades máximas de riego en el mes de de máxima demanda es del orden de 70 m³/Ha y día.

Este valor de máxima demanda hídrica en el mes de máximas necesidades, correspondiente al mes de julio, equivale a 0,8 l/s y Ha, por lo que se establecerá un valor máximo de caudal ficticio contiguo (qfc) de 0,8.

6.3.- GARANTÍA DE SUMINISTRO

La garantía de suministro que aplicaremos será de:

Nº Hidrantes	Garantía de Suministro
1-5	100 %
6-20	99 %
21-50	95 %
> 50	90 %

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

6.4.-FRECUENCIA DE RIEGO

Para el mes de máximas necesidades se adopta una frecuencia de riego de 3 días. Durante el resto de la campaña el intervalo entre riegos de adoptará a las necesidades hídricas.

6.5.-DURACIÓN DE LA JORNADA DIARIA DE RIEGO

Puesto que la existencia de la Balsa de regulación que permite disponer de agua de riego regulada durante todo el día, la disponibilidad de agua de riego será de 24 horas al día, para la red de presión natural. Para la red de bombeo, se considera una jornada de riego que será ajustada según la tarificación eléctrica.

$Q_{fc} : 0,8 \text{ l/s x ha.}$

$\eta = 82 \% \text{ (para riego 20 h / 24h) en bombeo.}$

$\eta = 100 \% \text{ a presión natural.}$


6.6.- DURACIÓN DEL RIEGO EN PARCELA. CAUDAL INSTALACIÓN

Para la estimación de la duración del riego por aspersión tomaremos como necesidades hídricas las del cultivo en el que se prevé la implantación de este sistema de riego y que cuenta una mayor demanda diaria.

Se consideran las siguientes premisas para el cálculo del caudal instantáneo para el riego por aspersión.

- Caudal del aspersor: $1800/h = 0,50 \text{ l/s.}$
- Nº de aspersores por Ha = 34.
- Volumen aportado $61,2 \text{ m}^3/\text{Ha}$ y hora ó 17 l/s.

Tal y como se comentó anteriormente, el cultivo en el que se implantaría este sistema de riego por aspersión y que contaría con unas mayores necesidades de agua de riego sería el maíz con $2360 \text{ m}^3/\text{Ha}$ en el mes de Julio, es decir $76,7 \text{ m}^3/\text{Ha}$ y día.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4


6.7.-CAUDAL DE DISEÑO

Los caudales de diseño de los distintos tramos de las redes se han calculado de acuerdo con la fórmula de Clement para redes de riego a la demanda cuya fórmula es la siguiente:

$$Q = \sum R_i * p_i * d_i + U(P_q) * \sqrt{(\sum R_i * p_i * q_i * d_i^2)}$$

donde:

- Ri = Nº de tomas con una probabilidad de funcionamiento pi.
- pi = Probabilidad de funcionamiento de una toma.
- di = Caudal de la toma en l/s.
- U (Pq) = Función de la calidad de funcionamiento de la red. Se consideran las calidades de funcionamiento del apartado 3.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

7.- BALSAS DE REGULACIÓN

7.1.- INTRODUCCIÓN

La necesidad de almacenar agua en el momento que se encuentra disponible para poderla usar a medida que ésta sea demandada, hace imprescindible la construcción de depósitos donde retenerla. En el ámbito rural, las infraestructuras destinadas a este fin deben presentar un coste reducido, acudiéndose en la mayoría de las ocasiones a la construcción de balsas de materiales sueltos. Aunque el fin último de una balsa es almacenar agua, los usos que en agricultura se le pueden dar son diversos: depósito de regulación para riego de cultivos, abrevadero para el ganado, suministro de agua a una agroindustria, o almacenar productos de deshecho, como por ejemplo el alpechín generado en las almazaras.

En este apartado se describen y calculan todos los elementos que componen las balsas de regulación. La necesidad de dos balsas de regulación se plantea como solución más adecuada para ganar cota en la red de presión natural. La balsa pequeña, de cota más alta abastecerá a la red de presión natural y la balsa grande dará servicio a la red de bombeo, existiendo una conexión inferior entre ambas balsas en la estación de bombeo. Además justificaremos su ubicación y volumen de regulación.

7.2.- NECESIDADES DE REGULACIÓN


El agua se toma de un canal próximo mediante una toma de nueva construcción. Se plantea una capacidad de regulación de unos tres días de agua en el periodo de máximo consumo, que permitirá adecuar perfectamente las peticiones de agua a las demandas de la red de riego. Considerando el máximo consumo correspondiente al caudal ficticio continuo calculado, las necesidades de agua diarias en la época de mayor consumo para toda la red serán:

$$1.043 \text{ ha} \times 0,8 \text{ l/s} \times \text{ha} \times 86.400 \text{ s/día} \times 1 \text{ m}^3/1.000 \text{ l} \times 3 \text{ días} = 216.276,48 \text{ m}^3 \text{ totales}$$

Éste sería el volumen teórico necesario de regulación para almacenar agua para unos tres días de funcionamiento del sistema en época de máximo consumo. No obstante el volumen del vaso de la balsa es un poco mayor para conseguir que la excavación de tierras se compense con el desmonte casi en su totalidad.

7.3.- LOCALIZACIÓN Y TOPOGRAFÍA

La partida movimiento de tierras en un proyecto de esta naturaleza que suele representar un gran porcentaje del coste total, por lo que es muy importante hacer un diseño óptimo para que este coste se minimice. Esto requiere llevar a cabo una serie de hipótesis con diferentes ubicaciones y geometrías de las balsas, y por tanto repetir los

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

cálculos que esto conlleva, con lo que esta operación se hace complicada, haciendo difícil llegar a la solución económicamente óptima.

El problema que se plantea en el diseño de obras que impliquen movimiento de tierras es lo laborioso que resulta el cálculo del volumen del material a desplazar. La metodología general usada para el cálculo de la tierra a mover consta de las siguientes fases:

- 1.- En primer lugar hay que recopilar todos los datos que describan la morfología del terreno donde se va a asentar (cartografía a una escala adecuada), de la propia balsa (geometría del perímetro y pendiente de las paredes internas), y definir las pendientes de los taludes de desmonte y terraplén que se originarán.
- 2.- Después de decidir la ubicación de la balsa, habrá que representar la morfología que presentará la zona una vez construida
- 3.- Por último, se calcularán los volúmenes de tierra a mover en las zonas de desmonte y terraplén. Esto se realiza acudiendo a una serie de perfiles de la obra, paralelos entre sí. En función de la superficie de desmonte y terraplén que cada pareja de perfiles consecutivos presente, y la distancia existente entre ellos, se podrá estimar el volumen de tierra a mover.
- 4.- Si la relación entre el volumen de desmonte y terraplén no es la óptima, habrá que reubicar la balsa y empezar el proceso.


7.4.- CÁLCULO DE LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES

El modelo de comportamiento de los taludes de estas obras hidráulicas, en cuanto a equilibrio límite se refiere, está basado en el estudio del equilibrio de la masa del propio talud suponiéndose inestable.

Para ello se necesitan establecer, como mínimo, los siguientes supuestos:

- Se define la superficie supuestamente inestable.
- Se definen las fuerzas exteriores actuantes.
- Se calcula las presiones del agua actuante en la supuesta superficie de rotura.
- Se hace un estudio de las condiciones hidrogeológicas.

Con estas condiciones, se establece el equilibrio límite entre las fuerzas que inducen al deslizamiento y las resistentes, determinándose de esta forma la fuerza resultante por resistencia a esfuerzo cortante “T” que debe movilizarse a lo largo de la superficie potencialmente inestable en el momento en que se inicia el movimiento. Por ello, el coeficiente de seguridad de la supuesta superficie de rotura lo podemos definir como la relación entre la fuerza resultante de la máxima resistencia a cizalladura “R” disponible realmente a lo largo de dicha superficie y la que es necesario movilizar para el equilibrio estricto:

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

$$F = \frac{R}{T}$$

Siendo **F** el coeficiente de seguridad del talud.

De acuerdo con la ley que respecta para la construcción de balsas de esta capacidad (Instrucción de Grandes Presas), el coeficiente de seguridad deberá ser mayor de 1,3 en el talud aguas arriba y mayor de 1,4 en el de aguas abajo, dando como resultado unos taludes, tanto interiores como exteriores, de 2,5 horizontal / 1 vertical para ambas balsas




7.5.- CÁLCULO DEL ANCHO DE CORONACIÓN DE LA BALSA

El ancho de coronación mínimo de la balsa grande se establece por la fórmula:

$$C \geq \frac{H}{5} + 3$$

donde:

- **H** es la altura del dique medido en metros.
- **C** es el ancho de coronación medido en metros.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

7.6.- RESGUARDO NECESARIO

Es el relativo al Nivel Máximo Normal (NMN) o máximo nivel que puede alcanzar el agua de la balsa en un régimen normal de explotación. Este resguardo deberá ser igual o superior a la sobre-elevación correspondiente al caudal de cálculo del aliviadero (r_1) más la sobre-elevación correspondiente al oleaje máximo (r_2).

$$RN(m) = r_1 + 1.5r_2$$

7.7.- TOMA DE FONDO DE LA TUBERÍA

Se prevé una tubería desde el fondo del embalse hasta la estación de bombeo de acero helicosoldado de espesor 10 mm. El cálculo de la tubería se realiza mediante la fórmula de Hazen-Williams para conseguir una velocidad de circulación próxima a 1,5 m/s.

Por lo tanto:

$$V = 0,8494 * C * \left(\frac{D_i}{4}\right)^{0,63} * S^{0,54}$$


donde:

- V = Velocidad media del agua en el tubo en [m/s].
- C = Coeficiente que depende de la rugosidad del tubo.
- D_i = Diámetro interior en [m].
- S = [[Pendiente-Pérdida de carga por unidad de longitud del conducto] [m/m].

Estimaremos una tubería que sale de la balsa por la solera de diámetro 1000 mm. Además se diseña un colador que evitará que elementos gruesos que existan en la balsa pasen a la red de riego. Este colador tendrá orificios de 5 mm y se dejara una banda de 30 cm. entre la solera de la balsa y los agujeros del rayo colador, para disponer de un volumen de almacenamiento de sólidos en el interior de la balsa.

7.8.- IMPERMEABILIZACIÓN, GEOTEXILES Y DRENAJES

Se prevé impermeabilizar el vaso de ambas balsas de regulación. La impermeabilización se realizará mediante lámina de polietileno de alta densidad (PEAD) de 2 mm de espesor. Se elige este material frente al PVC, por que su duración es mayor que la de éste último, y no se opta por una lámina de EPDM, ya que aunque las características técnicas son similares el coste de este último es superior.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

La lámina irá protegida mediante un geotextil situada entre ésta y el material de soporte que forma el talud de la balsa.

Se prevén anclajes de la lámina tanto en la parte superior como en la parte inferior de los taludes de la balsa. En la parte inferior se sujetará mediante bordillos prefabricados, que al no ser una unión rígida permite a la lámina cierto movimiento debido a las dilataciones del material, a la vez que ejerce una carga suficiente para que la lámina no se vuele estando la balsa vacía.

Se dispondrá de una red de drenaje con el fin de asegurar un correcto funcionamiento de la lámina plástica de impermeabilización. Se dispondrán de tuberías de PVC de 140 mm. de diámetro que se conducirán hasta la arqueta de registro que situaremos junto a la estación de bombeo.

7.9.- OTROS ELEMENTOS

7.9.1.- VALLADO PERIMETRAL


Se dispondrá de un vallado perimetral por la parte exterior de la coronación de las balsas de regulación. Este vallado estará formado por malla de simple torsión con postes de acero galvanizado con una altura de 3,5 m. Esto servirá para que no pueda entrar ningún tipo de animal al recinto de las balsas.



7.9.2.-ELEMENTOS DE SEGURIDAD

Se proyectan varios elementos de seguridad en la balsa:

- Presostato a la salida de las balsas dentro de la estación de bombeo para detectar la altura de agua en la balsa.
- 2 flotadores por balsa.
- Sistema de detección de fugas en la arqueta de drenaje.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

8.- CÁLCULOS DE LA RED DE RIEGO A PRESIÓN

8.1.-DESCRIPCIÓN DE LA RED

Para la elaboración de este proyecto, se ha considerado garantizar el riego con una presión mínima de 4 atmósferas (4,05 bares = 41.33 m.c.a.) Para el abastecimiento de las 1000 hectáreas que queremos regar, será necesaria la utilización de dos redes, una de presión natural y otra de presión forzada.

8.2.-REDES DE RIEGO

Para el riego de presión natural se prevé una red de tuberías ramificadas, que partiendo de la balsa pequeña que estará siempre llena, abastecerá por presión natural a todos los hidrantes de la red que geográficamente lo permitan.

Para garantizar la presión mínima en cada uno de los hidrantes, será necesario delimitar geográficamente la zona con su desnivel geométrico con respecto a la cota de la balsa de regulación. La presión en dicha zona deberá ser superior a la suma de la presión mínima establecida en su hidrante más las pérdidas de carga producidas en el propio hidrante y en la conducción.


La red de presión forzada servirá para el abastecimiento del resto de zonas o parcelas situadas a una altitud superior a la mínima delimitada por la presión natural.

8.3.- MATERIALES

Ambas redes se proyectan en tubería cilíndrica de PFRV (Poliéster reforzado con fibra de vidrio) y de PVC (Policloruro de Vinilo). Esta elección tiene su razón de ser en las circunstancias de presión bajo las que van a trabajar las tuberías, el rendimiento de las mismas y el aspecto económico.

La elección de las tuberías en función del diámetro s la siguiente:

- PVC: hasta diámetros 500 mm. inclusive.
- PRFV: para diámetros mayores de 500.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4



PRFV



PVC

8.4.- DIMENSIONADO DE LA RED

8.4.1.- CRITERIOS HIDRÁULICOS PARA EL DIMENSIONADO DE LA RED DE TUBERIAS

Se considerarán los siguientes criterios de diseño:

- Tipo de líquido: Agua limpia.
- Caudales: Hasta 831 l/s para el mes más desfavorable.
- Velocidades: Se considerará que las velocidades de circulación del agua dentro de las tuberías están comprendidas entre 0,5 y 2 m/s.
- Pérdidas de carga: Se calculan por la fórmula de Darcy-Weisbach

$$H_f = f * \frac{L}{D} * \frac{U^2}{2 * g}$$

donde:


- H_f = Pérdida de carga en m.c.a.
- F = Factor de fricción (adimensional).
- L = Longitud del tramo en m.
- D = Diámetro interior de la tubería en m.
- U = Velocidad del fluido en la tubería en m/s.
- g = Aceleración de la gravedad (9,8) m/s².

El factor de fricción se calcula por la fórmula de White Colebrook, de expresión:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \text{Log} * \left(\frac{2,51}{\text{Re} * \sqrt{f}} + \frac{Ka}{3,71 * D} \right)$$

donde:

- Re = Nº de Reynolds
- Ka = Coeficiente de rugosidad absoluta del material.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

Las pérdidas de carga singulares se calculan por el método de la longitud equivalente, considerando un 5% más de la longitud de tuberías.

$$Le = \frac{K * D}{f}$$

donde:

- K = Es una constante que depende del tipo de singularidad y de la velocidad media en el interior de la tubería.
- D = Diámetro medido en mm.
- F = Factor de fricción (adimensional)

8.4.2.- CÁLCULO DE LOS CAUDALES DE LAS REDES

El caudal de la red se calcula de acuerdo con la fórmula de Clement para redes de riego a la demanda cuya fórmula es:

$$Q = \sum R_i * p_i * d_i + U(P_q) * \sqrt{(\sum R_i * p_i * q_i * d_i^2)}$$

donde:

- Ri = Nº de tomas con una probabilidad de funcionamiento pi.
- pi = Probabilidad de funcionamiento de una toma.
- di = Caudal de la toma en l/s.
- U(Pq) Función de la calidad de funcionamiento de la red que toma los siguientes valores.

Nº de Tomas	Calidad de funcionamiento	U
6 a 20	99 %	2,324
20 a 50	95 %	1,645
> 50	90 %	1,28


Se aplica el método de Clement a las líneas con más de cuatro hidrantes aguas abajo. Al resto de líneas se les asigna el caudal acumulado.

8.5.- VENTOSAS Y PURGADORES

8.5.1.- UBICACIÓN DE VENTOSAS

Se consideran los siguientes criterios para la colocación de ventosas en la red de tuberías:

- Puntos Altos: Situación ligeramente aguas abajo del punto alto
- Puntos altos en los sifones: dos ventosas.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

- Cambios bruscos de perfil longitudinal que no sean puntos altos: ligeramente aguas debajo de cambio de pendiente.
 - Reducción de pendientes en tramos ascendentes.
 - Incremento de pendiente en tramos descendentes
 - Variación de pendiente en tramos uniformes.
- Cambios bruscos por reducción de secciones: Ligeramente aguas abajo del cambio de sección.
- Limitado a tramos con pendientes uniformes a menos de 1 Km.
- Junto a válvulas de seccionamiento.
- Junto a válvulas reductoras de presión
- Puntos donde la tubería salga por encima del terreno.

8.5.2.-DIMENSIONADO DE LAS VENTOSAS

Las ventosas que se pretende colocar son ventosas trifuncionales que tienen como función proteger las tuberías en operaciones críticas. Las situaciones más desfavorables de funcionamiento que se pueden producir son durante las operaciones de llenados de las tuberías, donde es necesario poder evacuar el aire de las tuberías, a medida que el fluido va llenando la tubería, sin atrapar bolsas de aire. Durante las operaciones de vaciado, ya sea de forma intencionada o bien cuando sea por accidente en caso de rotura, se debe permitir la entrada de aire en la conducción, para evitar la situación de depresión interna.

El parámetro que define la ventosa a instalar es el diámetro de su orificio principal. Éste se elige en función de la cantidad de aire que debe entrar por él, ya que se considera que este criterio es más restrictivo que el del llenado de la tubería. Para determinar el diámetro de la ventosa es necesario precisar por un lado la pendiente más severa adyacente al punto donde se sitúa la ventosa, y por otro lado el caudal máximo a circular tanto en operaciones de llenado como de vaciado.


El aspecto a tener en cuenta para dimensionar en situaciones de llenado es que la cantidad de aire a evacuar es igual al caudal que circula en la conducción.

En operaciones de vaciado o rotura accidental, el caudal de aire a introducir es equivalente al caudal de vaciado o el caudal generado por gravedad en un descenso. La cantidad de aire a introducir en una línea descendente se determina por la expresión:

$$Q[m^3/\text{min}] = 0,133576 * \sqrt{S * \left(\frac{D}{25,4}\right)^5}$$

donde:

- Q = Caudal de aire a evacuar en m³ por minuto.
- S = Pendiente en cm/cm.
- D = Diámetro de la tubería en mm.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4



8.6.-DESAGÜES


Se proyecta la instalación de válvulas de vaciado (desagüe) al final de todas las ramificaciones en los puntos más bajos de la tubería.

Esto permite el aprovechamiento de los recursos hídricos, ya que finalmente el agua sobrante terminará en el canal del cual previamente se obtuvo. Además resultará muy útil a la hora de futuras reparaciones.



8.7.-BY-PASSES

El by-pass es una técnica de resguardo, que para que la conducción del sistema no se interrumpa, se facilita un conducto alternativo por el que, para el caso del regadío, fluya el agua.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

Su colocación se llevará a cabo en aquellas válvulas en las que, por seguridad, no sea admisible un fallo en esa válvula.



8.8.-SECCIONAMIENTO DE LA RED

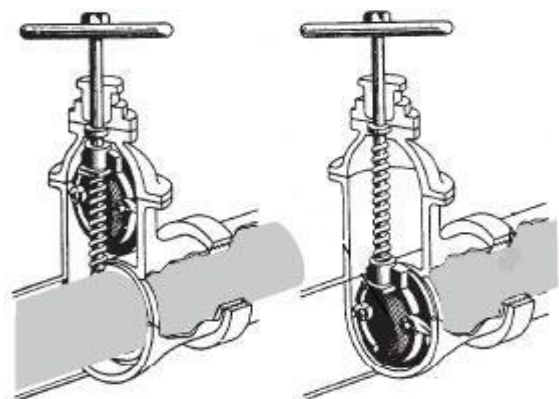
Se realizará seccionamiento en la red de riego con el propósito de facilitar el posterior manejo de la red, y evitar que averías puntuales condicionen el manejo de toda la red de riego. Se establece el siguiente criterio para realizar los seccionamiento en la red de riego:

- Todas las tuberías que sean ramificaciones de la tubería principal que sale directa de la estación de bombeo.
- Resto de tuberías que consten de 10 hidrantes o más aguas abajo.


Para el seccionamiento de las tuberías de mayor diámetro se utilizarán válvulas de mariposa con bridas y para diámetros menores válvulas de compuerta con bridas.



Válvulas Mariposa



Válvulas Compuerta


	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

8.9.- ELEMENTOS DE LA TOMA DE RIEGO

Cada agrupación de parcelas, dispondrá de un hidrante de riego de 4", 6" ó 8". El diámetro del hidrante se instalará en función de la superficie a regar. Los elementos que forman la toma de riego son:

- Calderería de unión a la tubería.
- Cuello de cisne a 90º en calderería de acero
- Ventosa/purgador de 1" a la entrada del hidrante, en el cuello de cisne.
- Válvula de compuerta
- Filtro de mallas con malla de 2 mm.



	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

9.- ESTACIÓN DE BOMBEO, EQUIPOS HIDRÁULICOS, FILTRADOS Y PROTECCIONES

9.1.- INTRODUCCIÓN

Las estaciones de bombeo son estructuras destinadas a elevar un fluido, en nuestro caso agua, desde un nivel energético inicial a un nivel energético mayor. Su uso está muy extendido en varios campos de la ingeniería pero nos centraremos en los sistemas de regadío.

Generalmente las estaciones de bombeo constan de las siguientes partes:

- Elementos de filtrado (filtros, rejas...)
- Línea de succión.
- Las bombas propiamente dichas.
- Línea de impulsión.
- Servicios auxiliares:
 - Dispositivos de protección contra el golpe de ariete.
 - Línea de alimentación de energía eléctrica o instalación para almacenamiento de combustible.
 - Sistema de monitoreo y telecomunicaciones.

En el presente proyecto es necesaria una estación de bombeo para abastecer a la zona de riego que por insuficiencia de cota no se puede regar mediante presión natural. En total, proponemos una superficie de riego mediante bombeo de 700 hectáreas.


Se plantea que la instalación funcione unas 138 horas a la semana sobre las 168 posibles; es decir, que funcione 18 horas al día los días laborables y 24 al día los fines de semana, de tal forma que el mayor tiempo se bombee en horas valle del precio del kilovatio. Todo esto calculado para el periodo de máximo consumo, es decir, con un caudal ficticio continuo de 0,8 l/s x ha.

9.2.- DIMENSIONADO GEOMÉTRICO. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS

Se plantean los elementos que a continuación se detallan y se encuentran dibujados en el plano “Estación de Bombeo”.

Desde la balsa grande se proyecta un tubería de salida hasta la estación de bombeo en acero helicosoldado de diámetro 1000 mm. En la entrada de la estación de bombeo colocaremos una válvula de mariposa con bridas motorizadas que seccionará la salida de agua de la balsa grande.

Ya en la estación de bombeo existirá una conexión de esta tubería con la tubería de presión natural en acero helicosoldado diámetro 600 que permitirá el riego de la red

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

de presión natural desde la balsa grande y viceversa. Esta tubería de conexión está seccionada por una válvula de mariposa y cuenta con una válvula de retención que permitirá el riego desde la balsa grande a la tubería de presión natural cuando en la balsa pequeña no haya agua, o no se suministre agua desde el canal que se tome.

La tubería de presión natural se traza desde la cámara de carga de la arqueta de toma-alivio hasta la estación de bombeo, donde se conecta como se ha explicado, con la tubería de la salida de la balsa grande. Aguas abajo de esta conexión hay un filtro en carga de diámetro 700. La tubería de presión natural se secciona mediante una válvula de mariposa motorizada de 600 mm aguas abajo del filtro. Diez diámetros aguas abajo colocaremos un caudalímetro ultrasónico que medirá el caudal de la red de presión natural. Sobre esta tubería se incluye una ventosa trifuncional para permitir la entrada de aire en el caso de cierre de la válvula motorizada.

Aguas abajo de la conexión con la tubería de presión natural, en la tubería de salida del embalse grande, se instala un filtro en carga de diámetro 1000, un carrete de desmontaje diámetro 1000 y un cono de reducción 1000-800 que se une al colector general de aspiración de las bombas dimensionado en acero helicosoldado diámetro 800 mm.

De este colector salen los equipos de bombeo, colocados a 45 grados respecto del colector de aspiración, y separadas entre sí por dos metros de distancia.


El colector de impulsión se diseña en un diámetro único de 800 mm, en acero helicosoldado de espesor 7,4 mm, para una velocidad de circulación del agua aproximada de 1,8 m/s. Sobre el colector de impulsión se colocarán 4 ventosas de diámetro 80 que permitirán la entrada de aire en caso de depresión en la tubería. Aguas abajo de este colector se coloca un caudalímetro ultrasónico que medirá el caudal de la red de bombeo.

9.3.- CURVA DE DEMANDA DE LA INSTALACIÓN

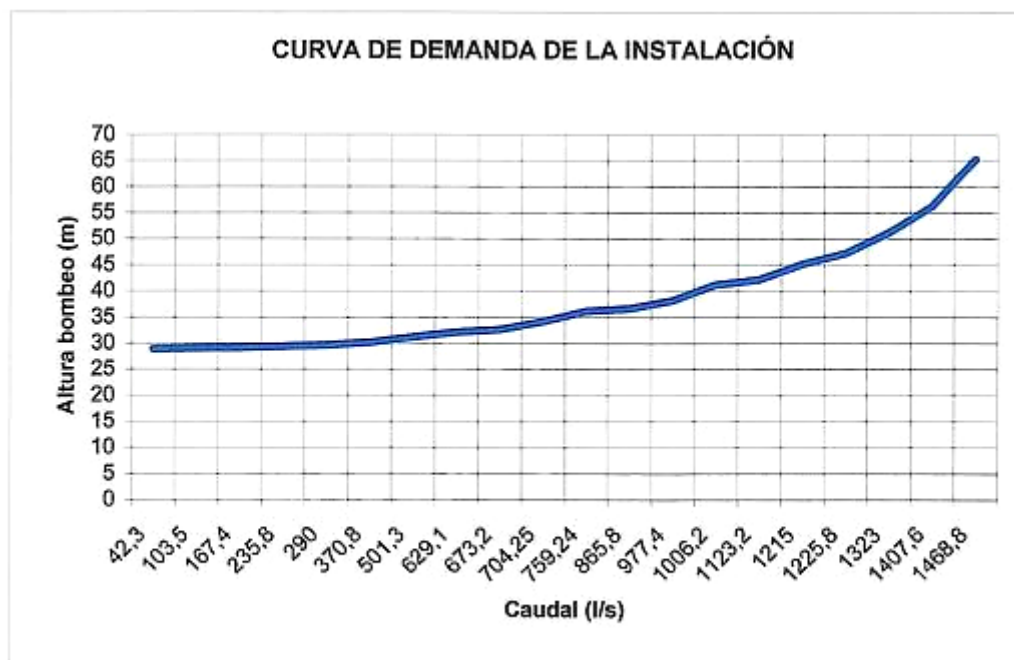
Como punto de partida para la correcta elección de las bombas que suministran agua a la instalación se estudia el comportamiento hidráulico de la red de bombeo en sus distintos puntos de funcionamiento.

Para el cálculo de las alturas manométricas de impulsión se considerará siempre que la cota en la cabecera es la altitud máxima para la cual el embalse se encuentra totalmente lleno.

Para esta situación, el caudal máximo a considerar para el diseño de los equipos de bombeo es el obtenido en la cabecera de la red mediante la segunda fórmula de Clement que es de 877 l/s. Por lo tanto, el rango de caudales de funcionamiento de la instalación estará comprendido entre 0 y 877 l/s aproximadamente.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

La altura manométrica necesaria varía en función del caudal demandado por la instalación, siendo la altura máxima requerida para el caudal de funcionamiento máximo de 40 m.c.a.




9.4.- FRACCIONAMIENTO DEL BOMBEO. EQUIPOS DE BOMBEO

Como hemos dicho, el caudal punta de bombeo aproximado en cabecera será igual al caudal de Clement (877 l/s). Éste es el caudal máximo a suministrar, debiéndose garantizar el rango completo desde un caudal casi nulo al máximo. Además, se debe asegurar que el suministro se realice siempre bajo unos rendimientos de los equipos adecuados.

Por ello, se estima conveniente realizar un fraccionamiento del caudal de bombeo de manera que se dispondrán 4 bombas iguales, cuyo caudal unitario es de 200 l/s. Además, se dispone de una quinta bomba, que en principio es de reserva, pero que puede funcionar simultáneamente con las anteriores. Al incorporar una bomba más, se puede llegar a disponer de una caudal de 1000 l/s.

Contaremos además con una bomba de bajo caudal, de manera que en la época que no se riega o de bajos consumos, se puedan atender demandas menores en la red. Suministrara un caudal de 90 l/s y se parará cuando se inicie el funcionamiento de las bombas mayores.

Se considera dotar a dos bombas de variador de velocidad, que serán capaces de suministrar todo el rango de caudales a un rendimiento adecuado.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

9.4.1.-BOMBAS

Las bombas que se proyectan son bombas centrífugas horizontales de doble aspiración con motor eléctrico en posición vertical de 110 KW con una velocidad nominal de 1480 r.p.m. (400/III/50 Hz IP 55)

9.4.2.-POTENCIA UNITARIA. CURVA DE LA BOMBA

Dadas las necesidades anteriormente comentadas, la potencia necesaria en el eje de las bombas grandes deberá ser:

$$Pe = \frac{\gamma * Q_B * H_E}{\eta}$$

donde:

- Peso específico del líquido: $\gamma = 9800 \text{ N/m}^3$
- Caudal de bombeo unitario: $Q_B = 200 \text{ l/s}$
- Altura manométrica de la impulsión: $H_E = 40 \text{ m.c.a.}$
- Rendimiento de la electrobomba: $\eta = 85 \%$

De igual modo calculamos para la bomba de bajo caudal donde:


- Peso específico del líquido: $\gamma = 9800 \text{ N/m}^3$
- Caudal de bombeo unitario: $Q_B = 90 \text{ l/s}$
- Altura manométrica de la impulsión: $H_E = 40 \text{ m.c.a.}$
- Rendimiento de la electrobomba: $\eta = 85 \%$

El cálculo de las potencias en los ejes da como resultado 91 Kw para las bombas grandes y de 41,5 Kw aproximadamente para la bomba pequeña. La selección final es de 110 KW y de 45 Kw respectivamente.

9.4.3.-CURVA CARACTERÍSTICA DE LOS GRUPOS DE BOMBEO

La curva característica de los grupos representa la altura de la carga (H) en m.c.a. que es capaz de suministrar el sistema los grupos motor-bomba para que circule un caudal (Q) por la red de tuberías.

Para el caso que nos ocupa de una configuración de estación de bombeo con grupos en paralelo, esta curva se obtiene como la suma de cada una de las curvas caudal-presión que proporciona cada uno de los grupos que configuran la estación. Gráficamente se suman los caudales correspondientes a cada altura.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

Los requerimientos de funcionamiento que se le exige a la estación de bombeo requieren la instalación de variadores de velocidad (frecuencia) para poder accionar las bombas a diferentes velocidades de forma que la combinación de caudal-presión que suministren sea lo más versátil posible para atender a diferentes caudales de bombeo. Se incorporan pues dos variadores de velocidad por modificación de frecuencia, con los que se considera razonable el intervalo de caudales regulado con un rendimiento aceptable.

Por tanto, la curva característica de la estación en conjunto será la suma de las bombas que en cada momento estén en funcionamiento y que pueden encontrarse en una de las dos situaciones siguientes:


- Funcionando a velocidad de régimen nominal (n_0), que para los motores elegidos de 4 polos está establecida en 1480 r.p.m, en cuyo caso la curva característica será la suministrada por el fabricante, situación a la que denominaremos como Bombas de Velocidad Fija (BF).
- Funcionando a velocidad inferior a la de régimen nominal (n), en cuyo caso la curva característica podrá obtenerse por semejanza de bombas , según las ecuaciones siguientes:

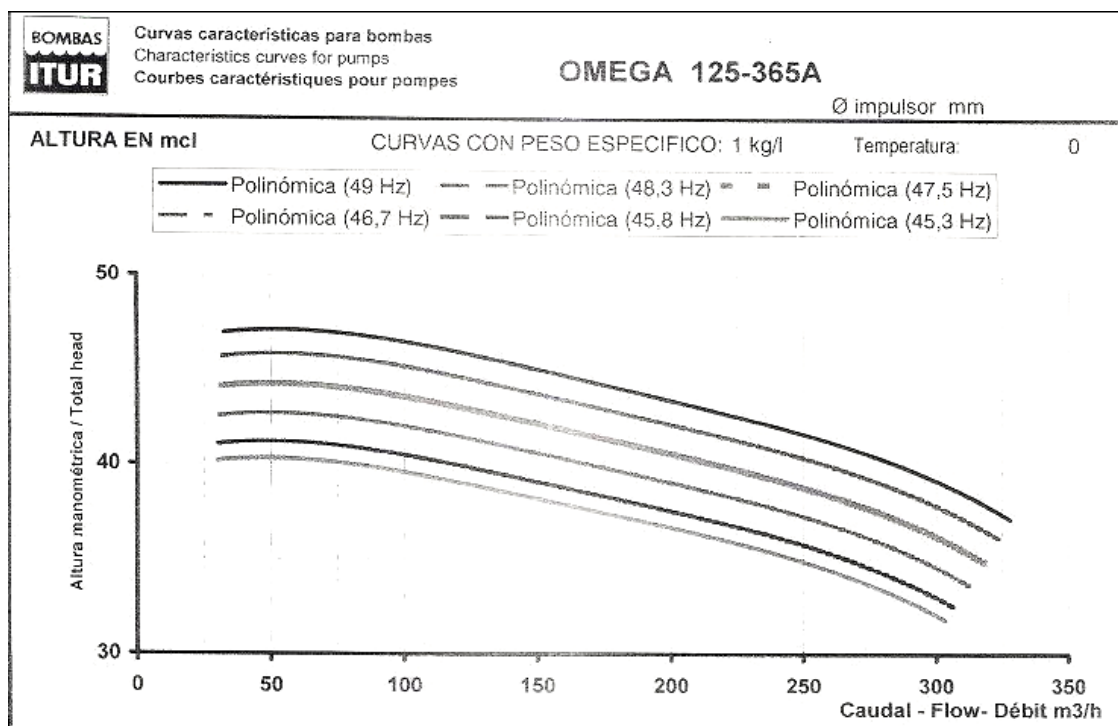
$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{n}{n_0} ; \frac{H}{H_0} = \left(\frac{n}{n_0} \right)^2 ; \frac{P}{P_0} = \left(\frac{n}{n_0} \right)^3$$

A esta situación la denominaremos funcionamiento como Bombas de Velocidad Variable (BV)

Para obtener la velocidad mínima a la que se puede poner a funcionar la bomba es necesario que el caudal que resulte aportado por la misma sea superior al caudal mínimo continuo que garantiza el fabricante y, por otro lado, que la curva que representa la bomba corte la curva resistente del sistema pues de lo contrario no aportaría caudal al sistema. De esta forma cada una de las bombas que dispondrán de variación de velocidad podrán suministrar un caudal variable de forma continua entre el suministrado a velocidad mínima hasta el suministrado a la velocidad de régimen nominal de 1480 r.p.m.

En el gráfico que se adjunta a continuación se representan la curva característica de la bomba pequeña para todo el rango de frecuencias para las cuales el rendimiento es aceptable.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4




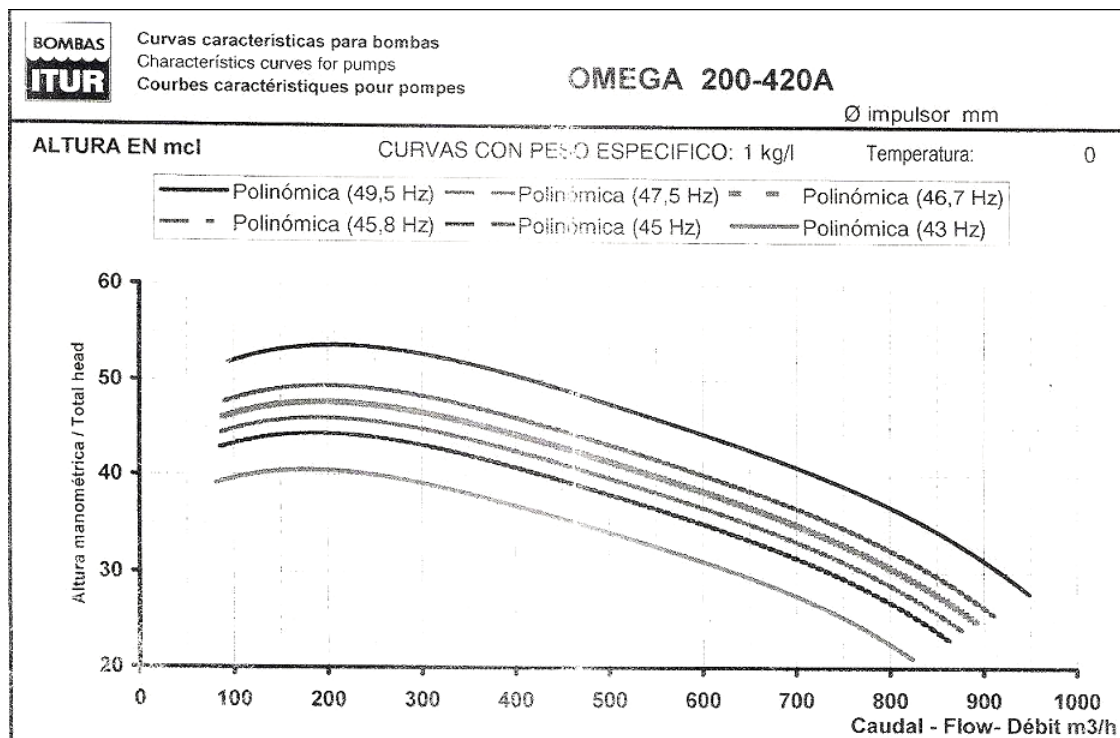
A continuación se indica la tabla de caudales y velocidades a 35 m.c.a (3.5 bar).

Velocidad (Hz)	42	43	44	45.3	45.8	46.7	47.5
Caudal Teórico(m³/h)	150	200	235	250	275	300	320

Las frecuencias límite de trabajo de la bomba pequeña a 3.5 bar es de 42 Hz por debajo y 47,5 por arriba. Fuera de esos rangos nos salimos de las curvas del fabricante.

De igual modo se adjunta la curva característica de las Bombas de 110 Kw

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4




A continuación se indica la tabla de caudales y velocidades a 35 m.c.a (3.5 bar). Por debajo de 41 Hz pierden rendimiento.

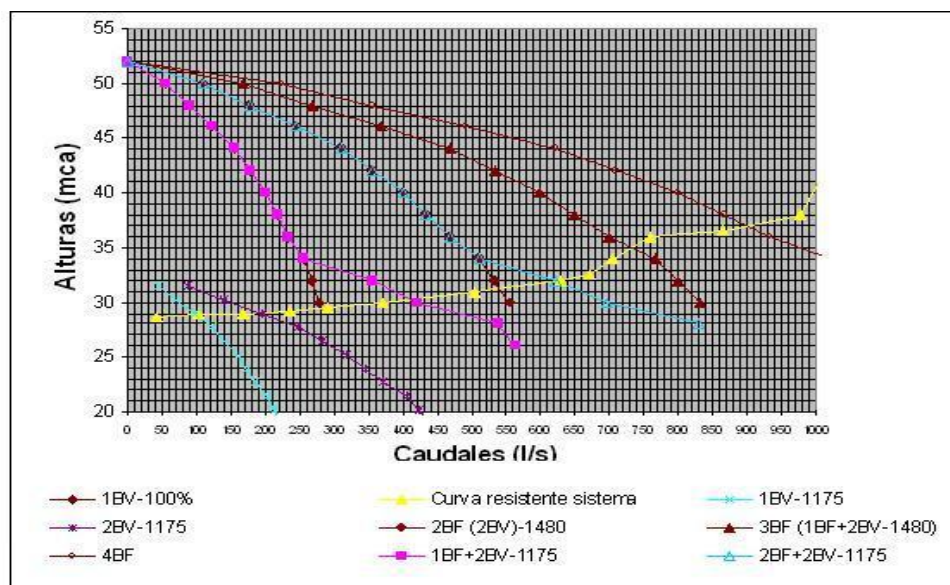
Velocidad (Hz)	42	43	45	45.8	46.7	47.5	49.5
Caudal Teórico(m³/h)	350	500	620	660	720	760	850

Las frecuencias límite de trabajo de la bomba pequeña a 3.5 bar es de 42 Hz por debajo y 49,5 por arriba. Fuera de esos rangos nos salimos de las curvas del fabricante.

9.4.4.- COMPOSICIÓN GENERAL DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

En el siguiente gráfico que se adjunta a continuación se muestran todas las posibilidades que presenta la instalación hasta un caudal igual al de diseño (870 l/s), es decir, las combinaciones de 2 bombas de velocidad fija (BF) y las combinaciones posibles de las otras dos funcionando con los dos variadores de velocidad proyectados (bombas de velocidad variable, BV). La intersección de cada una de las dos curvas proporciona el caudal y la altura que suministra la instalación, para cada supuesto de funcionamiento.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4



En esta gráfica, las bombas de velocidad variable se dibujan a n mínima para ver su recorrido hasta n nominal (donde las curvas son iguales a las de velocidad fija). Se trabaja con la suma de las n curvas de las bombas sobre la curva real del sistema.

El sistema es capaz de regular adecuadamente todo el rango de caudales que puede demandar la red de riego desde 90 l/s hasta 870 l/s.


9.5.- FUNCIONAMIENTO DE LAS BOMBAS EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO

El programa, en control automático, asignará el orden de encendido de las bombas, en función de si están operativas y en número de horas de funcionamiento.

Por debajo de 150 m³/h y la tubería presurizada a 3.5 bar, paramos la bomba horizontal hasta que la presión baje con el objeto de no estar encendiendo y apagando la bomba pequeña, ya que no interesa hacerla trabajar por debajo de 42 Hz.

Asignando como valor de presión constante 3,5 bares, a continuación representamos el cuadro de trabajo de las bombas en función del caudal demandado.

	FRECUENCIA	42	43	44	45.3	45.8	46.7	47.5	42	43	45	45.8	46.7	47.5	49.5
45 Kw	Variador	150	200	235	250	275	300	320							
110Kw	Variador								350	500	620	660	720	760	850
110Kw	Arrancador														
110Kw	Arrancador														
110Kw	Arrancador														
110Kw	Variador a 100%														
	CAUDAL TEORICO	150	200	235	250	275	300	320	350	500	620	660	720	760	850


	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

	FRECUENCIA	42	43	44	45.3	45.8	46.7	47.5	42	43	45	45.8	46.7	47.5	49.5
45 Kw	Variador	150	200	235	250	275	300	320							
110Kw	Variador								350	500	620	660	720	760	850
110Kw	Arrancador	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850
110Kw	Arrancador														
110Kw	Arrancador														
110Kw	Variador a 100%														
	CAUDAL TEORICO	1000	1050	1085	1100	1125	1150	1170	1200	1350	1470	1510	1570	1610	1700

	FRECUENCIA	42	43	44	45.3	45.8	46.7	47.5	42	43	45	45.8	46.7	47.5	49.5
45 Kw	Variador	150	200	235	250	275	300	320							
110Kw	Variador								350	500	620	660	720	760	850
110Kw	Arrancador	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850
110Kw	Arrancador	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850
110Kw	Arrancador														
110Kw	Variador a 100%														
	CAUDAL TEORICO	1850	1900	1935	1950	1975	2000	2020	2050	2200	2320	2360	2420	2460	2550

	FRECUENCIA	42	43	44	45.3	45.8	46.7	47.5	42	43	45	45.8	46.7	47.5	49.5
45 Kw	Variador	150	200	235	250	275	300	320							
110Kw	Variador								350	500	620	660	720	760	850
110Kw	Arrancador	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850
110Kw	Arrancador	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850
110Kw	Arrancador	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850
110Kw	Variador a 100%														
	CAUDAL TEORICO	2700	2750	2785	2800	2825	2850	2870	2900	3050	3170	3210	3270	3310	3400

	FRECUENCIA	42	43	44	45.3	45.8	46.7	47.5	42	43	45	45.8	46.7	47.5	49.5
45 Kw	Variador	150	200	235	250	275	300	320							
110Kw	Variador								350	500	620	660	720	760	850
110Kw	Arrancador	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850
110Kw	Arrancador	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850
110Kw	Arrancador	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850
110Kw	Variador a 100%	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850
	CAUDAL TEORICO	3550	3600	3635	3650	3675	3700	3720	3750	3900	4020	4060	4120	4160	4250

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

Cuando se encuentre todo el bombeo en marcha, (dependiendo de las bombas que se encuentre activas) y no se alcanza a la presión de consigna en un cierto tiempo, se dispara la alarma de posible rotura de la instalación, parándose todas las bombas, indicando la alarma, y no se reinicia el proceso automático, hasta que el operario no “resetee” la alarma.

Puede suceder que haya pocas bombas operativas para la demanda existente y salte la alarma ya que no podrá llegar el bombeo a la presión de consigna (3.5 bar) ya que la demanda de caudal supera a la que pueden suministrar las bombas operativas. La alarma de rotura cierra sus correspondientes válvulas de alimentación del sistema de riego tanto en el sistema de presión como en el de natural.

9.6.- CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS DEL RENDIMIENTO DE LA INSTALACIÓN

El sistema adoptado para el Bombeo de agua consta de un ciclo de activación y desactivación de bombas con el fin de mantener la presión constante y aumentar el caudal bombeado.

En este apartado vamos a hacer un estudio entre tres supuestas formas de controlar la instalación para un caudal medio de 2000 m³ durante una jornada de regadío de 10 horas. De este modo podremos justificar que la opción escogida es la más adecuada y eficiente energéticamente.

1ª Situación, división de igual caudal para todas las bombas.


$$\text{Caudal por Bomba} = \frac{Q}{n^{\circ} \text{ Bombas}}; \frac{2000}{6} = 333,3 \text{ m}^3 \text{ por cada Bomba}$$

Puesto que para la Bomba Pequeña ese caudal se sale fuera de las curvas del fabricante, la Bomba Pequeña la situaremos a su máximo caudal (320 m³) y el resto de caudal se distribuye por igual al resto de Bombas Grandes.

$$\text{Caudal para las Bombas Grandes} = \frac{2000 - 320}{5} = 336 \text{ m}^3 \text{ por cada Bomba}$$

Observando las curvas de las Bombas determinamos:

- Bomba Pequeña:
 - P útil = 35 Kw
 - η = 85 %

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

$$P_{eléctrica} = \frac{P_{útil}}{\eta} = 41,17 \text{ Kw}$$

- Bombas Grandes:
 - P útil = 40 Kw
 - $\eta = 75 \%$

$$P_{eléctrica} = \frac{P_{útil}}{\eta} = 53,3 \text{ Kw}$$

Al contar con todas las bombas activadas y teniendo en cuenta el supuesto de 10 horas de jornada de trabajo obtenemos:

$$P_{eléctrica \text{ total}} = 41,17 \text{ Kw} + 5 * 53,3 \text{ Kw} = 307,8 \text{ Kw}$$

$$P_{consumida} = 307,8 \text{ Kw} * 10 \text{ horas} = 3078 \text{ Kw/jornada.}$$

2ª Situación, llevar las bombas al límite (100%)

Ya sabemos que para el caso de la bomba pequeña tiene un valor límite de 320 m³ de caudal. Sabiendo que el valor límite de las bombas grandes es de 950 m³, determinamos:

$$Caudal \text{ de la Bomba pequeña} = 320 \text{ m}^3$$

El resto del caudal lo repartiremos entre una bomba con un caudal máximo de 950 y otra con un caudal de 730

$$Caudal \text{ de la Bomba 1} = 950 \text{ m}^3$$

$$Caudal \text{ de la Bomba 2} = 730 \text{ m}^3$$


Observando las curvas de las Bombas determinamos:

- Bomba Pequeña:
 - P útil = 35 Kw
 - $\eta = 85 \%$

$$P_{eléctrica} = \frac{P_{útil}}{\eta} = 41,17 \text{ Kw}$$

- Bomba 1:
 - P útil = 100 Kw
 - $\eta = 70 \%$

$$P_{eléctrica} = \frac{P_{útil}}{\eta} = 142,8 \text{ Kw}$$

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

- Bomba 2:
 - $P_{\text{útil}} = 85 \text{ Kw}$
 - $\eta = 85 \%$

$$P_{\text{eléctrica}} = \frac{P_{\text{útil}}}{\eta} = 100 \text{ Kw}$$

Teniendo en cuenta el supuesto de 10 horas de jornada de trabajo obtenemos:

$$P_{\text{eléctrica total}} = 41,17 \text{ Kw} + 142,8 \text{ Kw} + 100 \text{ Kw} = 283,97 \text{ Kw}$$

$$P_{\text{consumida}} = 283,97 \text{ Kw} * 10 \text{ horas} = 2839,7 \text{ Kw/jornada}$$

3ª Situación, sistema de escalones

Basándonos en el sistema de escalones propuesto nos encontramos con la siguiente situación:

$$Caudal \text{ de la Bomba pequeña} = 300 \text{ m}^3$$

$$Caudal \text{ de la Bomba 1} = 850 \text{ m}^3$$

$$Caudal \text{ de la Bomba 2} = 850 \text{ m}^3$$

Observando las curvas de las Bombas determinamos:

- Bomba Pequeña:
 - $P_{\text{útil}} = 32 \text{ Kw}$
 - $\eta = 85 \%$

$$P_{\text{eléctrica}} = \frac{P_{\text{útil}}}{\eta} = 37,64 \text{ Kw}$$


- Bomba 1:
 - $P_{\text{útil}} = 90 \text{ Kw}$
 - $\eta = 82 \%$

$$P_{\text{eléctrica}} = \frac{P_{\text{útil}}}{\eta} = 109,75 \text{ Kw}$$

- Bomba 2:
 - $P_{\text{útil}} = 90 \text{ Kw}$
 - $\eta = 82 \%$

$$P_{\text{eléctrica}} = \frac{P_{\text{útil}}}{\eta} = 109,75 \text{ Kw}$$

Teniendo en cuenta el supuesto de 10 horas de jornada de trabajo obtenemos:

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

$$P_{\text{eléctrica total}} = 37,64 \text{ Kw} + 2 \cdot 109,75 = 257,15 \text{ Kw}$$

$$P_{\text{consumida}} = 257,15 \text{ Kw} \cdot 10 \text{ horas} = 2571,5 \text{ Kw/jornada.}$$

Por tanto es obvio que la solución más eficiente y económica es el sistema escalonado. Sabiendo que la tarificación eléctrica es de 11,54 céntimos de euro por Kilovatio y suponiendo una media de 10 horas a la jornada durante los 7 días de la semana, de las 4 semanas del mes y los 7 meses de temporada obtenemos:

OPCIÓN ADOPTADA	POTENCIA CONSUMIDA	COSTE ENERGÉTICO DIARIO	COSTE ENERGÉTICO TEMPORADA
Reparto Igualitario	3078 Kw	338,58 €	66.361,68 €
Bombas Trabajando a Caudal Máximo	2839,7 Kw	312,37 €	61.223,93 €
Sistema de Escalones	2571,5Kw	282,86 €	55.440,56 €


Resulta obvio que el costo de la instalación es un aspecto a tener en cuenta. Debemos indicar que, puesto que anteriormente se regaba solo con apertura de tajadera (regadío a manta) pudiéndose regar 300 hectáreas, mediante el sistema de bombeo la superficie total abastecida es de 1043 hectáreas produciendo un incremento de toneladas de producto y por tanto un importante incremento de ingresos.

Si tenemos en cuenta los siguientes datos:

PRODUCTO	RENDIMIENTO DE LA TIERRA	SUPERFICIE DE RIEGO A MANTA	PRECIO	INGRESOS GENERADOS
MAIZ	12 Tm/Hectárea	135 Hectáreas	0,15 € / Kg	243.000 €
ALFALFA	15 Tm/Hectárea	165 Hectáreas	0,14 € / Kg	346.500 €
			TOTAL	589.500 €

PRODUCTO	RENDIMIENTO DE LA TIERRA	SUPERFICIE DE RIEGO A BOMBEO	PRECIO	INGRESOS GENERADOS
MAIZ	12 Tm/Hectárea	469 Hectáreas	0,15 € / Kg	844.200 €
ALFALFA	15 Tm/Hectárea	573 Hectáreas	0,14 € / Kg	1.203.300 €
			TOTAL	2.047.500 €

Como podemos observar el echo de utilizar un sistema de bombeo, nos hace afrontar una serie de gastos, pero en cambio, el área de regadío se ve incrementada **3,5** veces su superficie y por tanto los ingresos en la misma proporción.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

9.7.- PROTECCIÓN CONTRA EL GOLPE DE ARIETE

El golpe de ariete o pulso de Joukowski es el término utilizado para denominar el choque producido en una conducción por una súbita disminución en la velocidad del fluido.

El cierre en una válvula en la tubería provoca el corte en la circulación del fluido (reducción de la velocidad de circulación a cero) generándose una onda de presión que aumentará la tensión de trabajo esperada en las paredes de la tubería, pudiendo llegar en casos extremos a su rotura.

El golpe de ariete se origina debido a que el fluido es ligeramente elástico en estado líquido. En consecuencia, cuando se cierra bruscamente una válvula instalada en el extremo de una tubería de cierta longitud, las partículas de fluido que se han detenido son empujadas por las que vienen inmediatamente detrás y que siguen aún en movimiento. Esto origina una sobrepresión que se desplaza por la tubería a una velocidad algo menor que la velocidad del sonido en el fluido. Esta sobrepresión tiene dos efectos: comprime ligeramente el fluido, reduciendo su volumen, y dilata ligeramente la tubería. Cuando todo el fluido que circulaba en la tubería se ha detenido, cesa el impulso que la comprimía y, por tanto, ésta tiende a expandirse. Por otro lado, la tubería que se había ensanchado ligeramente tiende a retomar su dimensión normal. Conjuntamente, estos efectos provocan otra onda de presión en el sentido contrario. El fluido se desplaza en dirección contraria pero, al estar la válvula cerrada, se produce una depresión con respecto a la presión normal de la tubería. Al reducirse la presión, el fluido puede pasar a estado gaseoso formando una burbuja mientras que la tubería se contrae. Al alcanzar el otro extremo de la tubería, si la onda no se ve disipada, por ejemplo, en un depósito a presión atmosférica, se reflejará siendo mitigada progresivamente por la propia resistencia a la compresión del fluido y a la dilatación de la tubería.


Siempre que el tiempo de cierre de la válvula sea inferior al tiempo de prolongación de ondas de choque (desde la válvula hasta la embocadura de la tubería y vuelta de nuevo hasta la válvula) se manifestará este fenómeno.

El pulso de Joukowski expresado por unidad de peso de fluido, se calcula como:

$$C * \frac{V_0}{g}$$

donde:

- C = Es la velocidad de la onda (velocidad relativa respecto al fluido) de sobrepresión o depresión.
- V_0 = Es la velocidad media del fluido, en régimen.
- $g = 9.81 m / s^2$ es la aceleración de la gravedad.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

Para tuberías deformables como es nuestro caso (tubo de acero) la expresión matemática que proponemos es la siguiente:

$$c = \sqrt{\frac{E_B}{\rho[1 + (E_B / E)(d / e)]}}$$

donde:

- c = velocidad de la onda de presión (m/s)
- E_B = módulo de elasticidad volumétrico del fluido (Pa)
- E = módulo de Young del material de la tubería (Pa)
- ρ = densidad del fluido (kg/m³)
- d = diámetro exterior de la tubería (mm)
- e = espesor de la pared de la tubería (mm)

9.7.1.- CONSECUENCIAS


Este fenómeno es muy peligroso, ya que la sobrepresión generada puede llegar a entre 60 y 100 veces la presión normal de la tubería, ocasionando roturas en los accesorios instalados en los extremos (grifos, válvulas, etc).

La fuerza del golpe de ariete es directamente proporcional a la longitud del conducto, ya que las ondas de sobrepresión se cargarán de más energía, e inversamente proporcional al tiempo durante el cual se cierra la llave: cuanto menos dura el cierre, más fuerte será el golpe.

El golpe de ariete estropea el sistema de abastecimiento de fluido, a veces hace reventar tuberías de hierro colado, ensancha las de plomo, arranca codos instalados, etc,

En la imagen podemos ver los efectos de dicho fenómeno:



	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

9.7.2.- PROTECCIONES


Para evitar este efecto, existen diversos sistemas:

- Para evitar los golpes de ariete causados por el cierre de válvulas, hay que estrangular gradualmente la corriente de fluido, es decir, cortándola con lentitud utilizando para ello, por ejemplo, válvulas de asiento. Cuanto más larga es la tubería, tanto más deberá durar el cierre.



- Sin embargo, cuando la interrupción del flujo se debe a causas incontrolables como, por ejemplo, la parada brusca de una bomba eléctrica, se utilizan tanques neumáticos con cámara de aire comprimido, torres piezométricas o válvulas de muelle que puedan absorber la onda de presión, mediante un dispositivo elástico.



	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

Otro método que ya hemos considerado en otro apartado es la colocación de ventosas de aireación, preferiblemente trifuncionales.

La primera función será introducir aire cuando en la tubería se extraiga el fluido, evitando así que se generen vacíos

La segunda función será la extracción de grandes bolsas de aire que se generen, para evitar que una columna de aire empujada por el fluido acabe reventando codos o, como es más habitual, las crestas de las redes donde acostumbran a acumularse las bolsas de aire.

La tercera función es la extracción de pequeñas bolsas de aire, debido a que el sistema de las mismas ventosas por lado tiene un sistema que permite la extracción de grandes cantidades y otra vía para las pequeñas bolsas que se puedan alojar en la misma ventosa.

9.8.- SISTEMA DE FILTRADO

9.8.1.- INTRODUCCIÓN


Para el filtrado del agua y con el fin de evitar que pudieran llegar piedras u otro tipo de residuos que pudieran dañar la instalación o los motores, utilizaremos filtros de malla eléctricos autolimpiables.

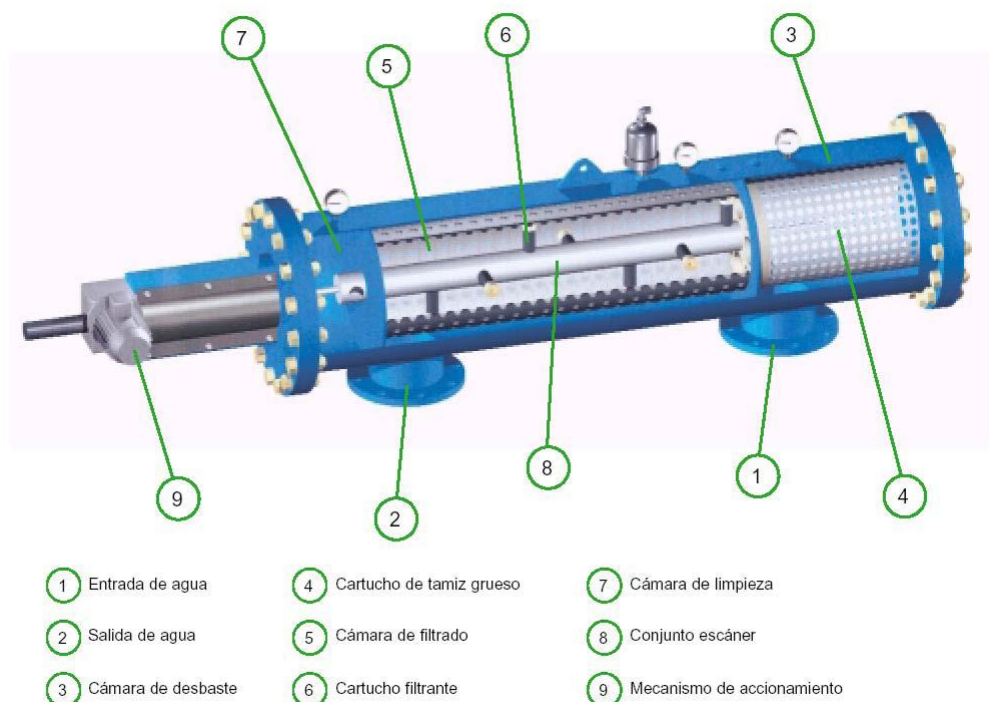
Se considera como una buena definición de filtración: el proceso de eliminar partículas sólidas de un líquido o de un gas, mediante su paso a través de un medio poroso.

En nuestro caso el líquido generalmente será agua, y el medio filtrante será una malla metálica de acero inoxidable. Por otro lado, el filtro ideal es aquel que es capaz de retener el mayor número de partículas y que nunca llega a saturarse; aunque en realidad será aquél que sea capaz de evitar la dicha saturación mediante su auto limpieza cada vez que lo necesite.

9.8.2.- DESCRIPCIÓN

El filtro consta de una carcasa exterior en la cual se alojan tres cámaras diferenciadas. Una primera cámara de desbaste que coincide con la boca de entrada del agua al filtro; y en la que se sitúa una malla gruesa que se utiliza como prefiltro.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4




La circulación del agua se produce desde fuera hacia el interior del filtro. Una vez en el interior del filtro, el agua entra en la 2ª cámara, que llamaremos de filtrado. Es en esta cámara donde se aloja el elemento filtrante: MALLA DE FILTRACIÓN.

En este caso el agua circula desde el interior del cuerpo del filtro hacia fuera, quedando los sólidos en suspensión (suciedad) retenida en el elemento filtrante, es decir en la malla. Esta cámara coincide con la boca de salida del agua filtrada hacia la aplicación deseada: agua potable, agua de proceso, agua de refrigeración, etc.

La suciedad retenida va formando una superficie sobre la malla, que generará una pérdida de carga determinada. La limpieza del filtro se apoya en una tercera cámara, la cámara de LIMPIEZA, cuya salida está conectada a la VÁLVULA DE DRENAJE que permite la evacuación del agua de lavado cuando se genera el proceso de AUTOLIMPIEZA.

Por último como elemento vital de esta tecnología encontramos el ESCÁNER DE SUCCIÓN. Este escáner ocupa la posición exacta que ocuparía el eje central de un cilindro, y se encuentra conectado hidráulicamente a la cámara de limpieza. A su vez, y en la zona que el mismo ocupa en la cámara de filtración se disponen perpendicularmente las BOQUILLAS DE SUCCIÓN, llegando con las cerdas de Nylon a pocas micras de la malla. La situación de estas boquillas en el escáner de succión está estudiada para entrar en contacto con toda la superficie interior de la malla, gracias al movimiento en espiral que el motor eléctrico le proporciona al escáner: al combinar un desplazamiento longitudinal y de rotación.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

9.8.3.- FUNCIONAMIENTO

El agua entra en el filtro a través de la cámara de desbaste, produciéndose en ella la retención de cualquier partícula gruesa, a modo de “cazapiedras”.


A continuación, ya en el interior del filtro, el agua atraviesa la MALLA FINA desde dentro hacia fuera, produciéndose el fenómeno de FILTRACIÓN MECÁNICA EN SUPERFICIE. Se obtiene entonces el agua de alta calidad, según el grado de filtración elegido para la malla de filtración



Como ya se ha comentado anteriormente, la suciedad queda retenida y acumulada en la superficie interior de la malla fina provocando una paulatina pérdida de carga entre la entrada y la salida del filtro. Un presostato diferencial situará la secuencia de lavado cuando se alcance un incremento de presión igual a 0,3 bar. (3 m.c.a).

Existen otras posibilidades para efectuar el lavado del filtro que son: lavados por tiempo, combinación de tiempo y presión, y la opción de lavado continuo. Cuando el presostato diferencial indica 0,3 bar, la válvula de drenaje recibe la orden de abrir; generando una diferencia de presión entre el exterior (presión atmosférica) y el interior del filtro (presión de trabajo) por lo que se produce una corriente de agua a gran velocidad, que atraviesa la malla y se conduce al exterior a través del orificio interior de las boquillas. Además en ese preciso instante también se envía la orden al motor de entrar en funcionamiento. El resultado de estas acciones conjuntas son: el efecto de succión por parte de las boquillas sobre la suciedad de la malla, y el movimiento en espiral del scanner de succión en el interior del filtro.

Durante el proceso de auto limpieza, que dura 25 segundos, el agua continúa siendo filtrada y fluyendo hacia el sistema o aplicación. Este hecho provocado por el diseño de estos filtros, nos permite que el consumo de agua para el lavado sea MÍNIMO y que el régimen de trabajo sea CONTINUO.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

10.- ESTUDIO DE BAJA TENSIÓN

10.1.- OBJETO DEL ESTUDIO

El objeto del presente estudio es la descripción y justificación técnica de las instalaciones eléctricas en Baja Tensión para el suministro, montaje, y pruebas y puesta en marcha de la instalación eléctrica de fuerza, alumbrado y servicios, mando y control y toma de tierra correspondiente de la Estación de Bombeo.

10.2.- GENERALIDADES

La instalación eléctrica de Baja Tensión proyectada tendrá como principal finalidad la alimentación, según las condiciones recogidas en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, de los distintos consumidores eléctricos situados en la estación de Bombeo y en sus inmediaciones.


El origen de la instalación eléctrica de Baja Tensión se encontrará en las bornas de baja tensión del transformador. Dicho transformador se alojará en un edificio prefabricado situado al lado del edificio de la Estación de Bombeo y servirá para la alimentación, en exclusiva, de los consumidores eléctricos dependientes de la Estación de Bombeo.

De dicho punto partirá la acometida general por una canalización subterránea hasta el Cuadro General de distribución en Baja Tensión, situado en el interior del edificio donde se aloja toda la instalación de bombeo. Dicha acometida será lo más corta posible para minimizar las pérdidas. Estas dependerán de la distancia del punto de ubicación del edificio prefabricado, que alojará la mayor parte de elementos de maniobra y protección de la instalación eléctrica de media tensión.

El Cuadro General de Distribución de Baja Tensión será el punto de donde partirán todas las líneas a consumidores eléctricos de la Estación de Bombeo y del exterior que dependa de la misma. El Cuadro de Baja Tensión se construirá en armario metálico de dimensiones apropiadas para alojar toda la paramenta de protección y de manera que garantice un grado de protección IP 55 según normas EN-60529 y UNE 20234.

Desde el Cuadro General de Baja Tensión partirán las canalizaciones que inicialmente serán del tipo de bandeja metálica de acero inoxidable con tapa de protección. La bandeja estará ranurada en su fondo en toda su longitud. Dichas ranuras deberán estar realizadas de forma que no puedan dañar el aislamiento de los conductores una vez que sean tendidos en el interior de las mismas. Los soportes de dichas canalizaciones podrán ser de acero inoxidable o acero galvanizado en caliente por inversión de forma que queden protegidos contra la oxidación.

El tipo de conductor a utilizar será el siguiente:

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

- Conductor de cobre aislado con PVC y cubierta exterior de polietileno reticulado, del tipo RV-K 0,6/1 Kv, con una tensión de filamento de 1000 voltios para la acometida de BT.
- Conductor de cobre aislado con PVC, apantallado y cubierta exterior de polietileno reticulado, del tipo VOV-K 0,6/Kv, con una tensión de aislamiento de 1000 voltios para el resto de salidas.

Dichos conductores conectarán las protecciones magnetotérmicas alojadas en el CGBT con los distintos consumidores finales de la instalación.


La Tensión de suministro de baja tensión será trifásica a 400 voltios entre fases, en corriente alterna (50 hercios), y de 230 voltios entre fase y neutro. Dichos valores de tensión deberán de ser garantizados con la instalación en carga.

La instalación eléctrica estará unida a tierra por medio de un sistema de distribución Toma de Tierra (TT), según Instrucción Técnica MIE BT 008 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión. Se conectará el neutro del transformador a una toma de tierra independiente y las masas metálicas de la instalación se conectarán a otra toma de tierra separada.

Se deberá garantizar un valor de la resistencia de puesta a tierra, en todos los casos, inferior a 10 ohms. Las tomas de tierra se realizarán con electrodos tipo pica de acero cobreado de dos metros de longitud y diecinueve milímetros de diámetro, según norma de recomendación UNESA. El conductor que unirá dichos electrodos será un conductor desnudo de cobre de 50 mm² de sección formando dichos elementos de toma de tierra propiamente dicha, según instrucción técnica MIE-BT 039 del REBT. La línea principal de tierra también se realizará con conductor de cobre desnudo de 50 mm² de sección. Dicha línea se conectará en el Cuadro General de Baja Tensión a la pletina de puesta a tierra. Los diferentes circuitos que salgan de dicho cuadro conectarán el cable de tierra a la misma pletina.

La instalación eléctrica estará diseñada para ser operada de una forma manual por medio de un operador cualificado e instruido en la configuración particular de la instalación de una forma automática, por medio de un autómata que vigilará las variables del sistema y estará programado para accionar los distintos elementos dependiendo de las situaciones que se planteen de demanda y consumo de caudal de agua.

La situación normal de funcionamiento será la segunda, esto es, la instalación será supervisada y controlada por el autómata que estará alojado en el cuadro General de Baja Tensión.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

10.3.- NORMATIVA APLICABLE

En la elaboración de este proyecto se tendrá en cuenta todas las disposiciones vigentes que pudieran afectar a este tipo de actividad, en concreto las siguientes:

- Reglamento de Electrotécnico de Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias.
- Reglamento de Verificaciones Eléctricas y regularidad en el suministro de energía eléctrica.
- Normas particulares de la Compañía Suministradora.
- Normas de Seguridad y la legislación referente a maquinaria.
- Normas DIN y UNE
- Normas VDE ó ANSI para equipos y materiales de procedencia extranjera.
- Cualquier otra ley, norma o reglamento señalado al efecto de por las autoridades competentes.

10.4.- CLASIFICACIÓN DEL LOCAL A EFECTOS DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Las instalaciones se realizarán el interior y en el exterior del edificio de la Estación de Bombeo aunque la mayor parte de la instalación eléctrica será en el interior del edificio.


Dadas las características del local y la actividad a la que se destina, según lo dispuesto en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión e Instrucciones Complementarias, esta clasificado como Local Húmedo.

Por tanto, habrá de seguirse la Reglamentación vigente y en particular la instrucción ITC-BT-30 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión

10.5.- SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y POTENCIA A CONTRATAR

El transformador a instalar deberá ser de la tensión primera de 15.000 voltios. La regulación de la tensión será de +/- 5-15 %. Las pérdidas del transformador deberán cumplir la recomendación UNESA 5201 en vigor para el cual recomienda una conexión Dy11.

La potencia instalada vendrá dada por la suma de las potencias nominales de los diferentes motores o receptores. Para calcular la potencia a contratar se aplicará un

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

coeficiente de simultaneidad de utilización que, según el régimen previsto de funcionamiento de la instalación minorará la potencia instalada.

ITEM	MOTOR O RECEPTOR	POTENCIA INSTALADA (KW)
1	Bomba Pequeña	15
2	Bomba 1	110
3	Bomba 2	110
4	Bomba 3	110
5	Bomba 4	110
6	Bomba 5	110
7	Línea de Toma Corrientes	8,2
8	Válvula 1	2
9	Filtro 1	1
10	Válvula 2	2
11	Filtro 2	1
12	Equipos de Reactiva	175
13	Otros	10


La suma total para contratar es de 590 KW aproximadamente, por lo que se recomienda, inicialmente, una contratación de una potencia de 600 kilovatios. Dicho valor deberá considerarse como previo y deberá ser contrastado en el proceso de puesta en marcha de la instalación, en el que se determinará la definitiva potencia a contratar.

10.6.- CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Se redacta este punto con el objeto de definir el estudio de la instalación eléctrica necesaria para dotar de energía los diferentes servicios precisos, como son:

- POTENCIA
- ALUMBRADO
- ALUMBRADO DE EMERGENCIA
- SISTEMA DE CONTROL

Para la realización del presente estudio se han tenido en cuenta las Instrucciones Técnicas MI-BT contenidas en el vigente Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión y sus Instrucciones Complementarias, según Real Decreto 848/2002, así como las Recomendaciones Técnicas sobre instalaciones eléctricas de la Compañía Suministradora de Energía.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

10.6.1.- CAMINOS DE CABLES. CANALIZACIONES

Se realizarán los caminos de cables necesarios para tender los cables de potencia y alumbrado y poder llevar suministro eléctrico a los diferentes receptores, utilizando el tipo de canalización más adecuado en función de la zona en dónde vaya colocada.

ACOMETIDA AL CGBT.

La acometida al Cuadro General de Baja Tensión será subterránea y procederá de las bornas de Baja Tensión del transformador de potencia. Dicho transformador, como ya se ha comentado, estará alojado en un edificio prefabricado anexo al edificio de la Estación de Bombeo. La longitud de dicha línea no superará, en ningún caso, los quince metros para minimizar las pérdidas.

En la parte inferior, y embebidos en un lecho de arena, se instalarán tubos de PVC rígido con grado de protección siete según norma UNE 20234 que unirá el edificio del Centro de Transformación con el Edificio de la Estación de Bombeo.

SALIDAS DESDE EL CGBT O BANDEJAS PRINCIPALES

Se instalarán salidas de bandejas metálicas del tipo ranurada de acero inoxidable, de dimensiones adecuadas al número de cables que circulen por su interior. Se dotará de tapa de protección en todo el recorrido de la misma para evitar las caídas directas de agua sobre el interior.


La altura de las bandejas será superior a 60 milímetros. Discurrirán preferentemente por las paredes del edificio y todas las curvas, cambios de nivel, quebrantos, etc. Se realizarán con piezas especiales, del mismo tipo que la bandeja, fabricadas por el mismo fabricante de bandejas. En todo momento las curvas deberán de ser de un radio de curvatura tal que no perjudiquen al conductor.

Los soportes de las bandejas serán del mismo material y fabricante que las bandejas y se acomodarán a la estructura y espacio libre dejado por los distintos elementos mecánicos existentes en el interior de la estación de bombeo como serán: bombas, tuberías, válvulas motorizadas, colectores, etc.

SALIDAS DESDE LAS BANDEJAS PRINCIPALES

Las derivaciones de las diferentes canalizaciones desde las bandejas principales se realizarán con bandejas del mismo tipo de igual o inferior sección o con tubería de PVC. Dichos tubos de PVC serán rígidos o flexibles. En el caso de ser flexibles serán del tipo metálico con capa exterior de PVC del tipo corrugado. Se utilizarán para acceder a las cajas de bornas de los distintos motores o aparatos de alumbrado.

En todo su recorrido estarán cerrados e incorporarán accesorios (racores) para las salidas y entradas de bandejas y cajas de tomas respectivamente. Dichos accesorios

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

garantizaran la continuidad de las canalizaciones de forma que no se dañen los conductores que circulen por su interior. En el caso de necesitar realizar derivaciones se instalarán cajas de derivación de PVC de dimensiones necesarias para alojar las bornas de derivación en su interior. Las entradas y salidas de las mimas se realizarán con racores apropiados al tamaño del tubo. Se mantendrá la estanqueidad en todo su trazado. Todas las abrazaderas o elementos de fijación de los tubos serán de material que no se pueda oxidar.

Los tubos de PVC, ya sean rígidos ó flexibles, serán de diámetro adecuado al número de cables que circulen por su interior en cada tramo del recorrido.

En general las bandejas serán instaladas en posición horizontal (tapa hacia arriba), excepto en donde sea imposible por el trazado que deba proseguir. Serán de material autoextinguible, no propagador de la llama ni propagador de incendio según norma UNE 21123. La interdistancia de soportes no será superior a un metro. Los soportes garantizarán la carga de los conductores a alojar con un coeficiente de seguridad de dos, por las futuras necesidades que pudieran aparecer en la instalación.

Las bandejas, si son metálicas, serán puestas a tierra en diferentes puntos con cables desnudos de cobre.

Todas las bandejas serán convenientemente señalizadas e identificadas.

10.6.2.- ACOMETIDA DE BAJA TENSIÓN. (ACOMETIDA A CGBT)

La red de suministro será proporcionada en su red de distribución por la compañía suministradora que tendrá un valor de 15.000 voltios.


Puesto que la tensión nominal de la instalación será de 400 voltios, se calcula a continuación la sección de acometida de baja tensión desde el Centro de Transformación hasta el Cuadro General de Baja Tensión. Dicha acometida se conectará al interruptor general y deberá de poder conducir, en las condiciones reglamentadas por el REBT, la intensidad calculada a continuación.

La intensidad en un sistema trifásico de 400 V está dada por la expresión:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos \varphi}$$

donde:

- P= POTENCIA TOTAL en vatios 600.000
- V = TENSIÓN en voltios 400
- Cos φ = FACTOR DE POTENCIA CONSIDERADO 0,85

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

- I = INTENSIDAD en amperios 1.0020,06

Según Instrucción Técnica MIE BT 007 del REBT, el conductor de cobre en instalación enterrada de polietileno reticulado de 1x240 mm² de sección nominal, admite una intensidad de corriente máxima de 550 A.

Se aplica un coeficiente de reducción por agrupación de cables de 0,75 según Instrucción Técnica MIE BT 007.

Por lo tanto, el número de cables por fase necesario será:

$$\frac{1.020,06}{550 * 0,75} = 2,47 \text{ cables por fase}$$

Por lo tanto la acometida se realizará a base de conductores unipolares de aislamiento exterior de polietileno reticulado y cubierta interior de PVC, tipo de RV-k 0,6/1 Kv con 3 conductores por fase de 240 mm² de sección nominal, en cobre para cada una de las 3 fases, y 1 conductor para el neutro.

Es decir:

$$\underline{\underline{3x(3x1x240)+(1x1x240) \text{ mm}^2 \text{ Cu}}}$$

El tendido de los conductores se realizará de forma ordenada de manera que no puedan ser dañados. Se realizará una triangulación por ternas, agrupando por conjuntos de conductores de cada una de las fases, esto es R-S-T. Cada conjunto discurrirá por un tubo distinto.


La acometida conectará los bornes de baja tensión del transformador de potencia con el interruptor magnetotérmico general del Cuadro General de Baja Tensión.

La tensión nominal de suministro, en carga, será de 400 voltios, entre fases y 230 voltios entre fase y neutro.

10.6.3.- CUADRO GENERAL DE DISTRIBUCIÓN DE BAJA TENSION (CGBT)

Se construirá un Cuadro General de distribución en Baja Tensión que alojará toda la aparamenta de protección, medida y control de la instalación eléctrica de la Estación de Bombeo.

Este CGBT recibirá la acometida general desde el transformador de potencia descrita anteriormente. Dicha acometida se conectará en el interruptor automático magnetotérmico general.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

El cuadro en su conjunto, embarrado, aparamenta, etc., se diseñará de acuerdo con los valores de la intensidad nominal, tensión e intensidad de cortocircuito.

Estará construido en chapa de acero de 2 mm. de espesor, con los perfiles de refuerzo necesarios. Será de acceso frontal mediante puertas y tendrá una protección mínima IP-55, puesto que es posible la presencia de polvo y humedad por las características de la instalación y el emplazamiento del lugar. Los módulos serán de dos metros de altura con un zócalo de 200 milímetros con una profundidad de 800 mm.

La construcción estará prevista para montaje contra la pared. Para ello, todos los aparatos y accesorios serán accesibles y desmontables desde el frente.

Cada aparato llevará una etiqueta con su sigla fijada por un método que garantice su duración sin desprenderse.

Las puertas irán conectadas a masa por medio de latiguillos flexibles de 16 mm² de sección mínima. Cada módulo dispondrá de una manivela de cierre.

Los elementos de protección protegerán en todo momento el circuito que precedan frente a:


- Sobreintensidades o sobrecargas.
- Cortocircuitos
- Corrientes diferenciales ocasionadas por contactos directos o indirectos.

para lo cual:

- El interruptor estará calibrado para una intensidad inferior a la máxima admisible del conductor que protege, respondiendo frente a las sobrecargas transitorias mediante una adecuada curva de actuación intensidad-tiempo.
- Con respecto a la protección frente a cortocircuitos, su capacidad de corte estará de acuerdo con la intensidad de cortocircuito que pueda presentarse en el punto de la instalación donde se encuentren ubicados (según Instrucción Técnica MIBT 020).
- Llevará marcadas su intensidad y tensión nominal, el símbolo de la naturaleza de corriente en que hayan de emplearse, y el símbolo que indique las características de desconexión, de acuerdo con la norma que le corresponda, o en su defecto, irán acompañados de las curvas de desconexión (según instrucción Técnica MIBT 020).
- Los dispositivos de protección tipo interruptor serán de corte omnipolar, y la vida útil será de al menos 100.000 maniobras.

Las características técnicas serán:

- Tensión nominal de aislamiento: 660 V
- Frecuencia: 50-60 Hz.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

- Intensidad nominal embarrado general: 1.000 A.
- Intensidad de corta duración: 25 KA, 1 seg.
- Grado de Protección: IP-55.
- Temperatura media normalizada: -5 ° C / + 35 ° C

INTERRUPTOR AUTOMÁTICO GENERAL

El interruptor general será fijo, de mando manual y de bastidor abierto tipo Masterpact. Será tetrapolar y de 1600 amperios de calibre nominal. Incorporará un relé electrónico que garantice el disparo del interruptor en caso de defecto. Cumplirá con las normas CEI 947-2 y CEI 157-1. Incorporará la función amperímetro que permitirá visualizar el consumo por cada una de las fases del sistema. Garantizará un poder de corte de 42 Kiloamperios durante un segundo según normas. Dispondrá pulsadores de cierre y apertura, visualizador del estado de los muelles, manivela de carga de muelles manual, contador de maniobras, bobina de disparo, contactos auxiliares y visualizador del estado del interruptor.

El relé electrónico será de tipo magnetotérmico y tendrá la capacidad de despejar las siguientes fallas:

- Sobrecargas con temporización fija y regulable.
- Cortocircuitos instantáneos y regulables.
- Protección contra defecto a tierra.

EMBARRADO GENERAL

El embarrado estará formado por barras de cobre electrolítico de alta pureza, superior al 99 %. La sección de las barras de fases serán de 80 x 10 mm² y el neutro dispondrá de una barra de 80 x 5 mm². Las barras estarán enfundadas en funda termorretráctil de diferentes colores para ser identificadas de forma inequívoca.


La disposición de las barras será la siguiente con la referencia desde el frente del armario:

- Embarrado en plano horizontal: Neutro delante y a continuación R-S-T
- Embarrado en plano Vertical: Neutro a la izquierda y de izq. a dcha. R-S-T

EQUIPO DE MEDIDA

Se instalará un equipo de medida tipo analizador de redes con las entradas de corriente aisladas.

Dispondrá de la medida y cálculo de las principales magnitudes eléctricas como: Tensión de Fase, Tensión de Línea, Intensidad, Potencia Activa, Potencia Reactiva, Factor de Potencia, Frecuencia, etc. Además dispondrá de tarjeta de comunicaciones para ofrecerle el valor al autómatas.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

Las señales de tensión se protegerán con interruptor automático magnetotérmico o bases portafusibles. Las señales de corriente procederán de transformadores de intensidad que registrarán el consumo total del Cuadro General de Baja Tensión.

La alimentación del analizador de redes se protegerá con un interruptor automático magnetotérmico.

SALIDA A MOTOR CON VARIADOR DE POTENCIA 15 KW

Dispondrá de los siguientes elementos de protección: Interruptor automático magnético de 3 x 40 A con regulación y bobina de disparo, protección diferencial con ajuste de sensibilidad y tiempo formada por relé diferencial y transformador toroidal. El relé diferencial actuará sobre la bobina de disparo del interruptor automático.

El variador de velocidad, que será capaz de regular las maniobras de arranque, paro y funcionamiento en carga del motor, posibilitará la regulación del flujo de caudal a bombear por la instalación. El variador tendrá protección térmica integrada e incorporará inductancias de línea de protección y filtros de protección.

En modo manual, el arranque y paro del motor se realizará por medio de dos pulsadores (marcha y paro) y un selector de modo (manual y automático) Colocaremos también un piloto de fallo térmico en el frontal del armario.

SALIDA A MOTOR CON ARRANCADOR ESTÁTICO DE POTENCIA 110 KW


Dispondrá de los siguientes elementos de protección: interruptor automático magnetotérmico de 3x400 A con regulación y contactos auxiliares, protección diferencial con ajuste en sensibilidad y tiempo formada por relé diferencial y transformador toroidal. El relé diferencial actuará sobre la bobina de disparo del interruptor automático.

El arrancador estático será de capaz de regular las maniobras de arranque y paro del motor. Esto posibilitará la realización de dichas maniobras de una forma progresiva y así poder evitar el golpe de ariete sobre la tubería de impulsión. Llevará incorporado protección térmica integrada y se le incorporarán las inductancias de línea de protección pertinentes.

En modo manual, el arranque y paro del motor se realizará por medio de 2 pulsadores (marcha y paro) y un selector de modo (manual y automático). Existirá también un piloto de fallo térmico en el frontal del armario.

SALIDAS DE ALUMBRADO

Dispondrá de los siguientes elementos de protección: Interruptor automático magnetotérmico de calibre apropiado con contactos auxiliares con poder de corte según norma UNE-EN 60947,2 y protección diferencial fija formada por interruptor

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

diferencial que cumplirá con las normas UNE-EN 61008. El interruptor diferencial actuará sobre la alimentación de la línea directamente.

TRANSFORMADOR DE MANIOBRA

Se instalará un transformador de maniobra para suministrar tensión de mando a los distintos elementos del Cuadro General de Baja Tensión. Su transformación será de 400/230 voltios, con alimentación a dos fases. Estará protegido por ambos lados con protecciones magnetotérmicas apropiadas al consumo posible.

10.6.4.- BORNAS DE SALIDA

Todas las líneas de salida partirán desde bornas situadas en la parte inferior del Cuadro General de Baja Tensión de la sección correspondiente al conductor. Todos los borneros estarán identificados, así como los cables que se conectan a los mismos con fundas portaetiquetas.

10.6.5.- ACOMETIDAS A MOTORES Y EQUIPOS


Las acometidas serán a base de conductores unipolares o multipolares, de aislamiento exterior de polietileno reticulado y cubierta interior de PVC, tipo RV-k 0,6/1 KV de cuerda conductora de cobre. La acometida general, acometida a cuadro de rejilla y equipo de energía reactiva, serán las líneas principales.

El resto de las acometidas se realizarán con conductores VOV-K 0,6/ 1 Kv fabricado según norma UNE 21022/IEC 228 con aislamiento de PVC, pantalla de trenza de cobre estañado y con la cubierta exterior de mezcla de PVC acrílico de alta flexibilidad. Dicho conductor estará especialmente diseñado para evitar posibles interferencias en los cables de señal adyacentes. Deberá cumplir la normativa europea de compatibilidad electromagnética.

El tendido de los conductores se realizará de forma ordenada de manera que los cables no puedan ser dañados. Se distribuirán en las bandejas portacables en un máximo de dos capas. Se fijarán a las mismas con bridas de material plástico para que queden solidarias a las mismas. Los conductores se conectarán por medio de terminales de conexión del mismo material conductor.

El acceso a la caja de bornas del motor o equipo se realizará bajo la canalización correspondiente.

Se asegurará que la caída de tensión desde el transformador de potencia hasta el último equipo consumidor de energía no supera el 5 %.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

Se tendrá en cuenta que la intensidad máxima que va a circular por el conductor (intensidad nominal de motor o equipo I_n) es menor que la intensidad máxima que puede circular por él ($I_{m\acute{a}x.}$), es decir: $I_n < I_{m\acute{a}x.}$

10.6.6.- ALUMBRADO

La instalación del alumbrado podemos diferenciarla entre:

- Circuito de alumbrado interior.
- Circuitos de alumbrado exterior.

Los dos circuitos de alumbrado interior serán comandados por sendos interruptores situados en la puerta de la Estación de Bombeo.

Las luminarias a instalar en los circuitos de alumbrado interior serán del tipo luminaria industrial. Los equipos eléctricos de arranque se instalarán en la parte superior de las mismas y estarán preparados y dimensionados para la lámpara a alojar en la luminaria. Las lámparas serán de 250 w de potencia, de descarga de halogenuros metálicos. Dispondrán de un cierre exterior de cristal ajustable al reflector por medio de pestillas de fijación que proporcionará un grado de estanqueidad IP 65 al conjunto reflector más cristal.


El reflector será de aluminio anodinado de gran pureza con el haz de luz proporcionado del tipo extensivo. La alimentación de las unidades será a la tensión de 220-230 voltios.

La luminaria estará equipada con un elemento de sustentación que permita su instalación del techo del local, sujetado por cadena o sirga.

La situación de cada aparato de alumbrado viene reflejada en planos, pudiéndose variar su posición durante el montaje para un mejor aprovechamiento de la iluminación prevista o para evitar posibles interferencias con otros equipos o elementos.

El circuito de alumbrado exterior estará comandado por un interruptor astronómico. Estos interruptores permiten el control de la iluminación con una programación muy sencilla e instalación mínima, simplemente introduciendo la longitud y la latitud del emplazamiento geográfico de la aplicación y la fecha en la que nos encontremos, el interruptor astronómico calcula automáticamente las horas de puesta y salida del sol, siendo estas las horas en las que el dispositivo encenderá y apagará la iluminación respectivamente.

El trazado del circuito será interior bajo canalización de PVC con salida al exterior en los puntos de instalación de las luminarias. El circuito accederá a la luminaria a través del brazo metálico que la sustenta a la pared. Las luminarias estarán formadas por carcasa de poliéster con fibra de vidrio, reflector de aluminio de alta pureza y cierre de policarbonato. Se les garantizará un grado de protección IP 65.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

Estarán preparadas para ser sustentadas por un brazo metálico de forma lateral a la pared exterior del edificio.

10.6.7.- ALUMBRADO DE EMERGENCIA

En el perímetro interior del edificio de la estación de Bombeo se instalará un circuito de alumbrado de emergencia y señalización. Este tipo de alumbrado pretenderá proporcionar un nivel máximo de iluminación suficiente en caso de fallo del alumbrado normal.

Estas luminarias dispondrán de un sistema de carga de pequeñas baterías que garantizará una autonomía de una hora en caso de fallo de red exterior. Incorporarán unas pequeñas lámparas incandescentes de señalización que indicaran su posición permanentemente encendidas. En caso de fallo de alimentación exterior la luminaria continuará internamente y pasará a autoalimentarse de sus propias baterías. Esta lámpara garantizará el nivel lumínico recomendado por la Instrucción Técnica correspondiente por el REBT, proporcionando un valor no inferior a 583 lúmenes.

Dispondrán de una envolvente que les proporcionará un grado de estanqueidad IP-65.

El circuito discurrirá desde el Cuadro General de Baja Tensión bajo canalización independiente de PVC con las correspondientes cajas de derivación por las paredes del edificio.


10.6.8.- SISTEMA DE CONTROL

El sistema eléctrico de la Estación de Bombeo podrá funcionar de dos modos distintos:

- Modo manual, según la acción del operador, supervisada por el autómatas.
- Modo automático.

El operador tendrá la capacidad de controlar la instalación eléctrica a través de los selectores de posición de maniobra de los distintos motores. En dicho modo de operación, el autómatas funcionará en modo de supervisión y tendrá la capacidad de mostrar alarmas del sistema si los parámetros a controlar se encuentran fuera de rango. Tendrá también la capacidad de proporcionar órdenes de arranque y paro de motores si dichos valores registrados pudieran ser peligrosos para la instalación.

Por tanto, se diseñará el sistema para que, en cualquier modo de operación, el autómatas supervise el sistema electro-mecánico y su funcionamiento.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

En modo automático, el sistema eléctrico de la Estación de bombeo estará controlado por un autómata programable que se encargará de realizar las tareas de mando, control y supervisión de la estación. Dispondrá de una pantalla táctil para la gestión de la información, situada en la puerta de uno de los módulos del armario.

El arranque de las bombas se producirá en función de la presión constante seleccionada y requerida en el sistema (presión en el colector de impulsión controlada por un presostato con salida analógica 4-20 mA cuya señal se facilitará al autómata) y en función de los caudales demandados (obtenidos por el caudalímetro electromagnético situado en el colector de impulsión). Las bombas arrancarán sucesivamente de forma independiente hasta alcanzar un caudal máximo consignado para cada una de ellas en función del orden que se les establezca.

Tras el arranque de una bomba equipada con arrancador progresivo, se esperará a que éste esté concluido antes de proceder al arranque de la siguiente.

La parada de las bombas se ejecutará de forma gradual, conforme la presión demandada decrezca y el caudal requerido aumente con respecto a los valores consignados. Para ello se establecerá un lazo de control PID con las constantes de tiempo adecuadas.

Los procesos de arranque y paro de las bombas serán en carga y el funcionamiento de las mismas será rotativo. Las que dispongan de variador de velocidad para la regulación del caudal de impulsión estarán siempre “disponibles” para proporcionar dicha regulación.


AUTÓMATA PROGRAMABLE

El autómata elegido pertenece a la marca Schneider debido a la fiabilidad, robustez y familiarización con instalaciones de bombeo de este tipo.

De toda la gama ofrecida por dicha marca, el modelo elegido es el Modicon Premium que nos permite, dado el número de variables y entradas/salidas a controlar, una mayor rapidez en la ejecución de instrucciones. Además, es el propio fabricante el que nos propone, dada las características de la instalación, la utilización del dicho autómata como solución más eficiente.

El autómata estará compuesto por el procesador, la fuente de alimentación y las tarjetas de entradas y salidas tanto digitales como analógicas para comunicarse con los variadores y arrancadores, así como poder controlar la presión y las posibles alarmas.

Dentro de la gama Premium, el procesador elegido es el TSXP57204M con las siguientes características:

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4




Número de entradas/salidas	Ton	1024
	Analógicas	80
Regulación Integrada		Si
Vías de funciones específicas	Contaje, posicionamiento, pesaje,...	24
Bus	Cableado As-Interface	4
	Máquina CANopen	1
	CAMPO INTERBUS, Profi bus DP	1
Redes	Ethernet ModBus Flipway	1
Capacidad de Memoria	Integrada	160/192 Kb datos/prog.
	Ampliación PCMCIA	768 Kb prog.
Tiempo de Ejecución para una instrucción	Booleana	0,19 μ s
	En palabra o aritmética	0,25 μ s

El número de módulos de entradas y salidas a incluir en el rack dependerá del número de entradas y salidas que se prevé que tenga. Además se le dejará alguna tarjeta libre para futuras modificaciones o ampliaciones.

PANTALLA INTERFACE


La pantalla elegida para esta instalación, que es acorde a la misma y a las necesidades que presenta, es una Magelis táctil de la marca Telmeconique modelo XBTGT 5230 cuyas características se especifican a continuación.

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4



Visualización	Tamaño de la Pantalla	10,4 “
	Tipo (color)	STN
	Numero de Colores	4096
Funciones	Representación de las variables	Alfanumerica, botón, piloto.etc
	Curvas	Si, con histórico
	Históricos de alarmas	Sí, incorporado
Comunicación	Protocolos transferibles	Uni-Te Modbus Modbus TCP/IP
	Bus y Redes	Ethernet IEEE 802.3 10/100 RJ-45
Protocolo de Terceros		Mitsubishi, Omron, Rockwell Automación Siemens
Dimensiones (mm)		313 x 56 x 239
Compatibilidad con Autómatas		Twido Nano Tsx Micro Premium Quantum M340
Ranura “Compact Flash”		Si
Puertos USB		2
Entrada Vídeo		No
Ethernet Integrado TCP/IP		Si
Tensión de Alimentación		24 Vcc

El diagrama del funcionamiento global es el siguiente:

	Título del Proyecto	Sistema de bombeo eficiente con variadores de frecuencia	Fecha Aprobación	4/5/10
	Título del Documento	Memoria	Nº Edición	4

