



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

**TRABAJO FIN DE MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

# **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

AUTOR: MIGUEL LLOPIS MORALES

TUTORA: ELENA GÓMEZ SELLÉS

COTUTOR: JOSÉ FRANCISCO PONS AUSINA

**Curso Académico: 2017-18**

## Agradecimientos

En primer lugar, dar las gracias a mi directora de este trabajo: D<sup>a</sup> Elena Gómez Sellés, y a mi co-director D. José Francisco Pons Ausina, los cuales me han ayudado a la materialización de este trabajo, proporcionándome además la oportunidad de aprender muchísimo de toda la parte académica que aparece en este.

En segundo lugar, a todo el departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia, en especial al Grupo de Investigación del Instituto Tecnológico del Agua para la Gestión Sostenible del Agua Urbana por permitirme utilizar todas las instalaciones y por toda su ayuda, consejos y amabilidad que me han proporcionado todos sin excepción a lo largo de este tiempo.

También agradecer a D. Salvador Añó Villalba del Departamento de Ingeniería Eléctrica, ya que sin su ayuda en la primera parte del proyecto no podría haber comprendido e implementado la definición fotovoltaica con éxito.

También agradecer por todo el cariño y paciencia que han mostrado a las personas más importantes de mi vida en estos dos últimos años:

- A toda mi familia. Vivir lejos de vosotros, me ha ensañado a valorar lo que tengo y entender lo mucho que os quiero. GRACIAS
- A mis compañeras de piso durante el difícil primer año en una ciudad nueva y sin conocer a nadie: Tania y Helena. Sin vosotras no sé qué hubiese sido de mí. GRACIAS
- A mis compañeros de clase y amigos: Pepe, Rodrigo, Migue, Víctor y Paola con los que he compartido mil vivencias que jamás creería que viviría ya. GRACIAS.
- A mis compañeros de piso el segundo año: Pepe y Rodrigo. Vivir con vosotros ha sido una experiencia incalculable e irrepetible. GRACIAS.

## RESUMEN

En el presente documento se describen los criterios de dimensionado y cálculo para el diseño de una instalación fotovoltaica para bombeo de 55kW para el riego de la huerta de Alicante de Mutxamel.

El proyecto contempla el dimensionado de los principales equipos de la instalación para su correcto funcionamiento. Estos equipos son los módulos fotovoltaicos, el inversor, las bombas y los elementos para la protección hidráulica de la instalación.

A partir de los requerimientos de la instalación y las condiciones climáticas de la zona se han calculado tanto las características como el número y disposición de los paneles fotovoltaicos. Los 629 paneles de 315 Wp instalados atribuyen al proyecto una potencia pico de 214 kWp. Para convertir la corriente continua generada en alterna, de acuerdo a la potencia pico, y a los cálculos de acoplamiento entre módulos fotovoltaicos e inversor, se decide instalar un inversor de 200 kW, siguiendo las recomendaciones del software PVsyst. Todo esto proporciona una producción de energía anual de 294,0 MWh.

En el capítulo correspondiente al funcionamiento en régimen permanente de la instalación se han estimado las velocidades de giro de las bombas, previamente seleccionadas, con el programa informático Epanet con el objetivo de que la energía producida por las placas solares coincida con la consumida por el grupo de bombeo cada mes.

Para proteger la instalación frente a posibles transitorios hidráulicos, se ha usado el programa Allievi donde se propone la instalación de un calderín a la salida de la estación de bombeo. De esta manera se evita que la instalación trabaje con presiones negativas en el interior de la tubería dentro de la zona de cavitación ante una parada repentina de la estación de bombeo.

**Palabras clave:** fotovoltaica, módulos fotovoltaicos, inversor, PVsyst, Epanet, Allievi, equipos de protección, bombeo solar, consumo energético, producción fotovoltaica, ahorro energético.

## RESUM

En el present document es descriuen els criteris de dimensionament i càlcul per al disseny d'una instal·lació fotovoltaica per al bombeig de 55kW per al reg de l'horta d'Alacant de Mutxamel.

El projecte contempla el dimensionament dels principals equips de la instal·lació per al seu correcte funcionament. Aquests equips són els mòduls fotovoltaics, l'inversor, les bombes i els elements per a la protecció hidràulica de la instal·lació.

A partir dels requeriments de la instal·lació i les condicions climàtiques de la zona s'han calculat tant les característiques com el nombre i disposició dels panells fotovoltaics. Els 629 panells de 315 Wp instal·lats atribueixen al projecte una potència pic de 214 kWp. Per a convertir el corrent continu generat en alterna, d'acord a la potència pic, i als càlculs d'acoblament entre mòduls fotovoltaics i inversor, es decideix instal·lar un inversor de 200 kW, seguint les recomanacions del software PVsyst. Tot açò proporciona una producció d'energia anual de 294,0 MWh.

En el capítol corresponent al funcionament en règim permanent de la instal·lació s'han estimat les velocitats de gir de les bombes, prèviament seleccionades, amb el programa informàtic Epanet amb l'objectiu que l'energia produïda per les plaques solars coincidisca amb la consumida pel grup de bombeig cada mes.

Per a protegir la instal·lació front a possibles transitoris hidràulics, s'ha usat el programa Allievi on es proposa la instal·lació d'un calderín a l'eixida de l'estació de bombeig. D'aquesta manera s'evita que la instal·lació treballes amb pressions negatives a l'interior de la canonada dins de la zona de cavitació davant una parada sobtada de l'estació de bombeig.

**Paraules clau:** fotovoltaica, mòduls fotovoltaics, inversor, PVsyst, Epanet, Allievi, equips de protecció, bombeig solar, consum energètic, producció fotovoltaica, estalvi energètic.

## ABSTRACT

This document provides the sizing criteria and calculations to build a pumping photovoltaic installation of 55kW in order to irrigate Alicante's orchard in Mutxamel.

The project contemplates the sizing of the main equipment of the installation for his correct functioning. This equipments are the photovoltaics modules, the inverter, the pumps and the equipment required for the hydraulic protections of the installation.

From the requirements of the installation and the weather conditions of the place, both the characteristic and the number and the layout of the photovoltaics modules have been calculated. The 629 modules of 315 Wp installed allow the project to reach a power of 214 kWp. The direct current needs to be converted into alternating current, having into account the power and the calculations of the linkage between the inverter's and module's parameters, the inverter's nominal power has to be 200kW, following the recomendations of the PVsyst's software. Therefore, the energy produced by the installation annually reaches an amount of 294 MWh.

In the chapter concerning the functioning in permanent regime of the installation, the turning speed of the pumps has been estimated. This pumps have been previously selected, with the software Epanet, in order to match the energy produced by the photovoltaic modules with the energy consumed by the pumps each month.

To protect the installation against hydraulic's transient, a software called Allievi has been used, in order to solve this the setting-up of one air vessel outlet of the pump is proposed. This way, the installation is prevented from working with negative pressure along the main pipe even below the cavitation line if the pumps stop working suddenly.

**Keywords:** photovoltaic, photovoltaic modules, inverter, PVsyst, Epanet, Allievi, protection equipment, solar pumping, energy consumption, photovoltaic production, energy saving

**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW  
PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

---

## ÍNDICE

Agradecimientos .....	I
RESUMEN .....	II
RESUM .....	III
ABSTRACT .....	IV
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....	2
1.1. MOTIVACIÓN .....	2
1.2. INTRODUCCIÓN A LA EFICIENCIA EN EL REGADÍO .....	2
1.3. OBJETIVOS DEL HORIZONTE 2020 .....	3
1.4. MEDIDAS DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS EQUIPOS DE BOMBEO PROMOVIDAS POR EL IDAE .....	7
1.4.1. Instalar equipos de control electrónico como arrancadores estáticos .....	8
1.4.2. Simulación del proceso de puesta en marcha de los grupos de bombeo en función de la demanda real .....	8
1.4.3. Mantenimiento de los equipos .....	9
1.5. BENEFICIOS DEL BOMBEO SOLAR .....	10
1.6. CASO DE ESTUDIO. HUERTA MUTXAMEL .....	10
1.6.1. Datos de partida .....	13
1.6.1.1. Sistemas de medición del uso de agua .....	13
1.6.1.2. Superficie regada del Sindicato de Riego de la Huerta de Alicante .....	14
1.6.2. Necesidades de bombeo .....	14
1.6.3. Selección del grupo de bombeo comercial .....	14
1.6.4. Electricidad consumida por el grupo de bombeo .....	17
1.7. OBJETIVO .....	17
CAPÍTULO 2. DIMENSIONAMIENTO INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA .....	19
2.1. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA .....	19
2.1.1. Situación mundial de la energía solar fotovoltaica .....	19
2.1.2. Evolución de la energía solar fotovoltaica .....	20
2.1.3. Clasificación de instalaciones fotovoltaicas .....	22
2.2. CASO PRÁCTICO: ESCENARIO INICIAL .....	23
2.3. OBTENCIÓN DE IRRADIANCIA SOLAR .....	24
2.4. DIMENSIONAMIENTO DE LAS PLACAS SOLARES A 64° DE INCLINACIÓN .....	27
2.4.1. Selección del equipo del campo solar a 64° .....	27
2.4.2. Pérdidas a considerar a 64° .....	29
2.4.3. Resultado obtenido del PVsyst a 64° .....	31

**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW  
PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

---

2.5.	DIMENSIONAMIENTO DE LAS PLACAS SOLARES CON OTRA INCLINACIÓN .....	33
2.5.1.	Selección del equipo solar a 20° .....	34
2.5.2.	Pérdidas a considerar a 20° .....	35
2.5.3.	Resultado obtenido del PVsyst a 20° .....	37
2.6.	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE AMBAS INCLINACIONES .....	39
2.7.	CONCLUSIONES Y SELECCIÓN DE LA INCLINACIÓN .....	39
CAPÍTULO 3. PERMAMENTE HIDRÁULICO.....		42
3.1.	PERFIL Y CONSIDERACIONES INICIALES.....	43
3.2.	INTRODUCCIÓN AL PROGRAMA EPANET .....	44
3.2.1.	¿Qué se puede hacer con Epanet?.....	44
3.2.2.	¿Qué no se puede hacer con Epanet?.....	45
3.2.3.	Motor de cálculo .....	45
3.2.3.1.	Modelos estáticos .....	45
3.2.3.2.	Modelos cuasi-estáticos .....	46
3.2.3.3.	Modelos dinámicos .....	46
3.3.	DEFINICIÓN DEL MODELO EN EPANET .....	46
3.4.	AJUSTE DE LA VELOCIDAD DEL GRUPO DE BOMBEO .....	47
3.5.	CONCLUSIONES .....	51
CAPÍTULO 4. ESTUDIO DEL TRANSITORIO HIDRÁULICO.....		53
4.1.	INTRODUCCIÓN .....	53
4.2.	CONSECUENCIAS NEGATIVAS DEL TRANSITORIO HIDRÁULICO .....	54
4.2.1.	Presiones excesivas .....	54
4.2.2.	Presiones inferiores a la presión atmosférica .....	54
4.2.3.	Presiones inferiores a la tensión de vapor .....	55
4.3.	FASES DE EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS .....	56
4.4.	DESCRIPCIÓN DE LAS POSIBLES PROTECCIONES.....	56
4.4.1.	Brindarle más resistencia mecánica .....	57
4.4.2.	Aumentar el tiempo de maniobra.....	57
4.4.3.	Diseño de dispositivos de protección.....	57
4.4.3.1.	Dispositivos de protección de acción directa.....	57
4.4.3.2.	Dispositivos de protección de acción indirecta.....	58
4.4.3.2.1.	Calderines.....	58
4.4.3.2.2.	Chimeneas de equilibrio.....	59
4.4.3.2.3.	Tanques unidireccionales.....	60
4.4.3.2.4.	Ventosas.....	61

**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW  
PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

---

4.4.3.2.5. Válvulas de alivio .....	63
4.5. MODELADO EN ALLIEVI .....	63
4.5.1. Motor de cálculo del programa.....	63
4.5.2. Modelado del caso de estudio en Allievi.....	64
4.5.2.1. Instalación de calderines .....	67
4.5.2.2. Instalación de ventosas .....	70
4.6. SOLUCIÓN SELECCIONADA.....	73
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES .....	75
CAPÍTULO 6. BIBLIOGRAFÍA.....	77
CAPÍTULO 7. PRESUPUESTO .....	79
7.1. CUADRO DE DESCOMPUESTOS .....	80
7.2. RESUMEN PRESUPUESTO .....	90
CAPÍTULO 8. PLANOS .....	92
8.1. ESTACIÓN DE BOMBEO. PLANTA, ALZADO Y SECCIÓN .....	93
8.2. SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y DISPOSICIÓN DE LAS PLACAS SOLARES .....	95

# **CAPÍTULO 1.**

# **INTRODUCCIÓN**

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. MOTIVACIÓN

Hoy día, los crecientes costes energéticos y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, han puesto la eficiencia energética del transporte de agua a presión en un plano de actualidad que jamás tuvo. Un metro cúbico de agua pesa una tonelada, por lo que moverla y presurizarla requiere mucha energía. Y todo esto mientras el cambio climático en nuestro planeta ya es una realidad patente.

### 1.2. INTRODUCCIÓN A LA EFICIENCIA EN EL REGADÍO

Uno de los objetivos de los últimos tiempos en el campo del regadío ha sido identificar estrategias que permitan aumentar la productividad de los cultivos en España, promoviendo la conservación y uso racional del agua e independizándolos del impacto de los inevitables ciclos de sequía. Muestra de este objetivo global es la creación e implantación a lo largo de los últimos quince años de diversos planes, normativas y propuestas, tanto del Gobierno Español como de la Unión Europea, todas ellas dirigidas a la eficiencia en el regadío.

El Plan Nacional de Regadíos se adapta y completa las diferentes directivas de la Unión Europea en sintonía con las nuevas sensibilidades ambientales y sociales.

Es por ello que en marzo de 2006 se propone un conjunto de actuaciones conocido como Plan de Choque de Modernización de Regadíos (2006-2008), que plantea una serie de actuaciones destinadas a la modernización de regadíos y a promover una mejor gestión de los recursos (hídricos y energéticos), todo ello con el objetivo de atenuar y minimizar los impactos de futuras sequías, vistas y analizadas las consecuencias de las sufridas en los años 2004 y 2005.

El Plan Nacional de Regadíos (PNR, 2002-2008) establecía cinco programas de actuación referidos a la modernización de los regadíos (existentes, en ejecución, de interés social y privados) y a programas de apoyo dirigidos a formación de técnicos y regantes, normalización de equipos de riego y estudios sobre eficiencia energética y seguimiento ambiental de obras proyectadas.

El PNR suponía una superficie de actuación de 1,13 millones de hectáreas con un ahorro estimado de 1.375 hm<sup>3</sup> anuales de agua, dada la obsolescencia de las infraestructuras de las redes y sistemas de riego españoles, la infradotación de la superficie regable y la escasez de agua en prácticamente todo el territorio. Para abordarlo, se planificó una financiación de 5.024,58 millones de euros que desembolsarían el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, las comunidades autónomas implicadas y los propios regantes.

Por otro lado, el plan de choque de 2006, creado como consecuencia de las sequías sufridas en los años anteriores, únicamente contemplaban mejoras en los regadíos existentes, pero no el desarrollo de nuevos regadíos. Proponía medidas encaminadas a maximizar el ahorro de agua, con el fin de mitigar las consecuencias de la sequía y dar un impulso hacia la sostenibilidad de los regadíos, a priori el camino a recorrer en los futuros años. Este programa preveía un ahorro de 1.162 hm<sup>3</sup> en una superficie de regadío de 866.898 ha, a través de la modernización de los sistemas de transporte, distribución y aplicación del agua en parcela, y el empleo de recursos hídricos alternativos como el agua desalada y regenerada procedentes de la depuración de aguas residuales urbanas.

## **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

---

Una vez alcanzado el horizonte temporal marcado por el PNR según datos facilitados por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), se ha alcanzado casi el 90% de la superficie total contemplada en la planificación y una inversión superior al 80% del total.

Actuaciones distribuidas por todo el territorio nacional, consistentes principalmente en la sustitución de sistemas de conducción abiertos por redes de tubería a presión, con el fin de minimizar las pérdidas de agua y aumentar su ahorro. Esta modernización de los antiguos regadíos ha provocado una tendencia de expansión del riego localizado, con un incremento de casi el 44% de la superficie regada por goteo entre el 2002 y el 2009, en detrimento, fundamentalmente del riego por gravedad. El riego por gravedad es el más usado en el regadío, y es el más eficiente siempre que la impulsión no supere la cota de la zona donde se tiene que regar. En caso de que sea necesario impulsar una gran cantidad de agua a una zona superior de la necesaria, ese extra de energía que debemos invertir, no se recupera.

Todos estos pasos dados hacia la eficiencia hídrica de los sistemas de regadío han traído consigo una consecuencia negativa, o al menos un peaje que debe tenerse muy en cuenta, el aumento de la energía necesaria asociada a los nuevos sistemas de regadío. Porque, cuando antes no se requería prácticamente energía en el uso de sistemas por gravedad y canales abiertos, ahora con el riego localizado y por goteo, las redes a presión que forman estos sistemas necesitan de mucha más energía para funcionar correctamente.

Se debe entrar pues, en el campo de regadío en un nuevo concepto de eficiencia, que sin olvidar el uso racional del agua, también busque la eficiencia energética de los sistemas una eficiencia que, por otra parte, no se puede desacoplar de la hídrica. La búsqueda de esta eficiencia energética debe estar presente en todas las etapas, desde la planificación y creación de nuevas redes, hasta la explotación de los sistemas existentes, con un enfoque global que permita el ahorro de energía en todo el proceso (ITA & Grupo Aguas de Valencia, 2015).

### **1.3. OBJETIVOS DEL HORIZONTE 2020**

El regadío juega un papel importante desde cualquiera de las tres perspectivas (económica, social y ambiental) de la sostenibilidad. El regadío es un sector relevante, tanto en términos de ocupación (casi 3,5 millones de hectáreas, que suponen aproximadamente el 13% de la superficie agrícola útil y el 7% de la superficie total nacional), como de demanda de agua (en torno al 75% de la demanda correspondiente a los principales usos consuntivos en 2005, aunque con tendencia claramente decreciente debido a las políticas de modernización, tendencia que se refleja en el hecho de que el regadío ha pasado a consumir en España el 68% de los recursos hídricos (MARM, 2006)).

Además, más de un tercio de sus infraestructuras tienen más de 100 años de antigüedad, por lo que su renovación precisa ya de importantes inversiones.

El sector agrario atraviesa profundos procesos de cambio, influenciados por la economía mundial, por el desarrollo normativo de la Política Agraria Común, y por las disposiciones de la Directiva Marco del Agua. Además, la agricultura y en este caso el regadío, deben adaptarse a los efectos del cambio climático.

Se han dado una serie de circunstancias que han propiciado la modernización de las infraestructuras y sistemas de riego, así como la introducción de nuevas tecnologías más eficientes en la gestión del agua de riego. Por un lado, la limitación de recursos y el aumento de la demanda de agua no sólo por parte de agricultura, también de la industria y del uso urbano.

## **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

---

De otra, la recuperación de costes también ha tenido implicaciones, no sólo desde un punto de vista de los pagos por el servicio del agua, sino porque plantea la necesidad de un uso más eficiente.

La política agraria no debe ser ajena a la definición de la nueva estrategia común y de futuro “UE 2020”, que destaca la importancia de fomentar la cohesión económica, social y territorial. En definitiva, la agricultura, se integra en la Estrategia UE 2020 a través del reto de una economía más respetuosa con el medio ambiente, en la que la agricultura gestiona la mayor parte del territorio comunitario y tiene un papel esencial en el uso de los recursos, la conservación de los hábitats naturales, la biodiversidad y la lucha contra el cambio climático.

La Directiva Marco del Agua (2000) y su transposición a la legislación española (Ley de Aguas, 2001), añaden al objetivo tradicional de la regulación del dominio público hidráulico, presente en la legislación, un nuevo marco normativo que incorpora elementos de protección del agua y ecosistemas acuáticos, terrestres y humedales. Se trata, pues, de una norma de marcado carácter ambiental que supedita la gestión y uso del agua al mantenimiento y la mejora del estado de las aguas.

La posición geográfica de España se conjuga con la amenaza del cambio climático para configurar un escenario futuro en el que el régimen de lluvias, ya de por sí escaso e irregular, derivará hacia una mayor escasez e irregularidad. A este hecho se suma que el regadío es el uso del agua más extendido en algunas zonas, especialmente en aquellas situadas al sur y este del país.

Por tanto, no hay que perder de vista que casi el 70% de la demanda de agua se asocia al riego, y por otra parte se concentra en ciertas zonas de la península, especialmente en la costa levantina, que no forma parte de la denominada España húmeda.



*Figura 1. Embalse de la Viñuela (Málaga) en 2017*

También hay un hecho importante a tener en cuenta como es la calidad de las aguas. En España, existe una clara y notable diferencia entre las aguas superficiales y subterráneas. En los últimos años se está haciendo un esfuerzo importante en mejorar la calidad de las aguas superficiales con más estaciones de medición. Sin embargo, la situación es diferente con las aguas subterráneas, debido a que hay que tener en cuenta las consecuencias de la aplicación inadecuada abusiva de los productos fertilizantes, de la infiltración de la ganadería y, en menor

## **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

---

medida de los núcleos urbanos. Siendo estas dos vertientes las principales causas de la contaminación por nitratos que los acuíferos españoles sufren.

Con lo anteriormente expuesto, queda patente que la sostenibilidad del uso del agua en España está ligada de manera fundamental a su uso en agricultura. El aumento del papel de los recursos hídricos alternativos en la agricultura puede dotar de garantía, con agua de calidad, a la agricultura más productiva, aunque la clave se encuentra en la modernización sostenible de los regadíos que persigue la eficiencia y el buen uso de los recursos hídricos. Y todo ello sin olvidar la eficiencia del recurso asociado a esta modernización, la energía (ITA & Grupo Aguas de Valencia, 2015).



*Figura 2. Ejemplos de riego: por gravedad o en superficie, localizado, por aspersión y automatizado*

En el marco de la lucha contra el cambio climático o calentamiento global, España adquirió a través de la firma del Protocolo de Kioto, el compromiso de no aumentar sus emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente en el horizonte de 2012, en más de un 15% respecto a las emisiones de 1990. En el año 2006 ya se superaba ampliamente el umbral de emisiones de CO<sub>2</sub> que se comprometió a alcanzar para el 2012.

A este respecto, el 78% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) proceden del sector del procesamiento de la energía, que agrupa a las industrias del sector energético, seguido del transporte, las industrias manufactureras y de la construcción. La agricultura ocupa el cuarto lugar en emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente, pero el segundo en emisiones de GEI en metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), con mayor poder de calentamiento de la atmósfera que el propio CO<sub>2</sub>. Este sector apenas supone el 11% de las emisiones totales y es además uno de los sectores que menos ha aumentado sus emisiones con respecto al año 1990. De esta forma el sector del regadío no tiene un papel tan relevante en la emisión de GEI, pues más de la mitad de las emisiones globales de GEI se deben a las industrias energéticas y al transporte, pero alberga

## DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL

cierta capacidad para proporcionar recursos que favorezcan la disminución de emisiones, como fuente de materias primas para la elaboración de biocombustibles o como sumideros de CO<sub>2</sub>.

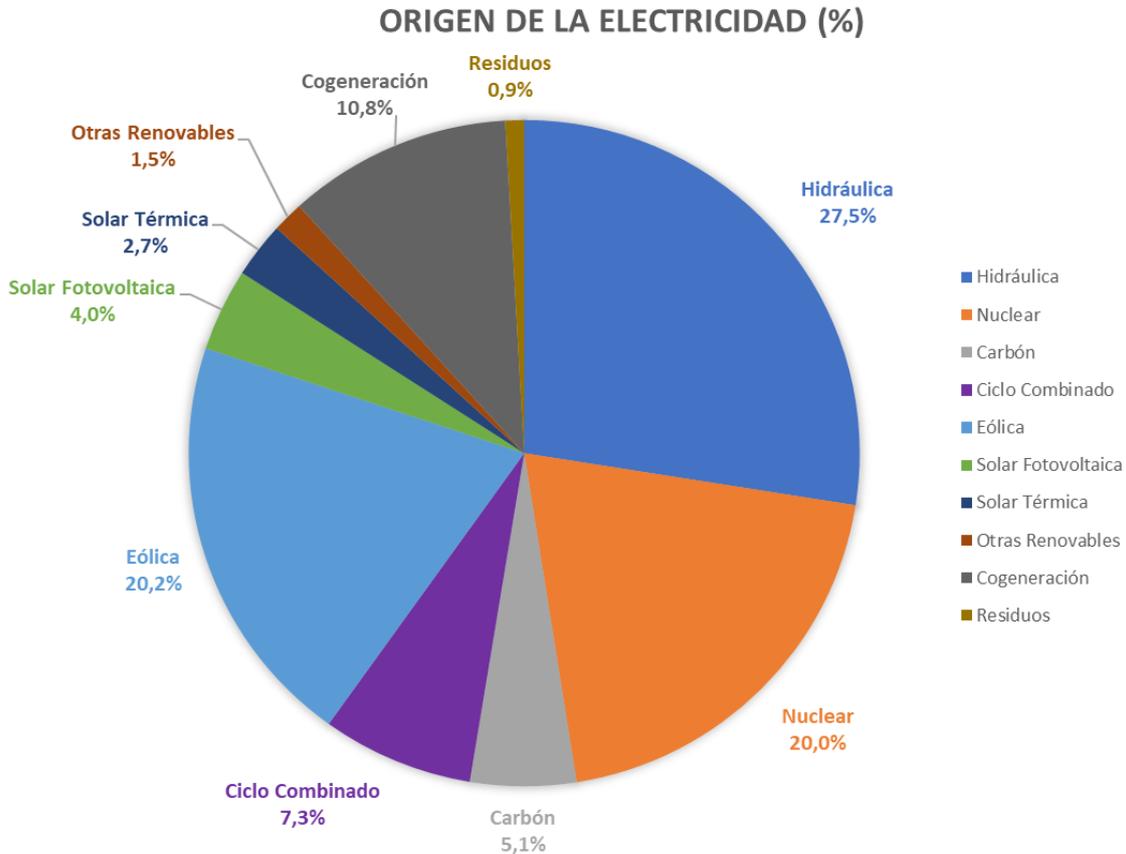


Gráfico 1. Origen de la electricidad de la península (% por tecnologías). Fuente: Observatorio de la Electricidad, WWF España, mayo 2016

Sin embargo, si bien la agricultura no ocupa un puesto prioritario desde el punto de vista de los causantes del cambio climático es, a pesar del grado de desarrollo alcanzado, muy sensible a las condiciones climáticas. De hecho, ya ha quedado patente que el cambio climático tiene influencia en las modificaciones del régimen de lluvia, con la repercusión que esto conlleva tanto en términos de actividad económica como de conservación del medio. Por tanto, no siendo uno de los principales causantes del cambio climático sí es una de las principales víctimas (Monzón, 2016).

La necesidad de garantizar el uso sostenible de los recursos, los principios de seguridad y garantía alimentaria, el equilibrio territorial, la adaptación al cambio climático y la necesidad de conseguir una agricultura cada vez más sostenible hacen imprescindible un nuevo impulso de la modernización de los regadíos. Con este espíritu se formula la Estrategia Nacional para la Modernización Sostenible de los Regadíos Horizonte 2020. Esta comprende un conjunto de actuaciones, establecidas de acuerdo con las comunidades autónomas, dirigidas a asegurar la máxima eficiencia en el uso del recurso del agua y el respeto al medioambiente. Estas actuaciones incluyen la mejora de la red de transporte y distribución, la construcción de estaciones de bombeo y filtrado con sus redes eléctricas asociadas, el aumento de la capacidad de almacenamiento, la incorporación de recursos hídricos alternativos, la automatización, la incorporación de tecnologías de la información y de las comunicaciones y, en fin, actuaciones de mejora de la eficiencia energética y promoción de energías alternativas.

## **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

---

### 1.4. MEDIDAS DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS EQUIPOS DE BOMBEO PROMOVIDAS POR EL IDAE

El Plan de Acción 2008-2012 de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España tiene como objetivo la consecución de un ahorro de casi 83 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep). Esta cifra es equivalente al 52% del total del consumo de energía primaria previsto para el año 2008 y teniendo en cuenta que las importaciones de petróleo en dicho período se estiman en 435 millones de barriles, el objetivo del Plan supondría el 140% de estas importaciones (605 millones de barriles).

El consumo energético del sector de Agricultura y Pesca se debe primordialmente a la maquinaria agrícola y a los sistemas de riego. Aunque representa el 3,5% de los consumos energéticos finales (datos del Plan de Acción 2008-2012), presenta tendencia al crecimiento debido, en gran medida, a la evolución del regadío frente al secano y a la modernización de los sistemas de riego, que requieren mayor consumo de energía que los tradicionales.

El Plan de Acción 2008-2012 considera al sector agrícola como un sector estratégico en el que las medidas de eficiencia energética cobrarán especial importancia en el futuro, no sólo por la reducción de los costes energéticos del sector sino también por ayudar a la sostenibilidad del desarrollo rural.

Teniendo en cuenta el incremento de la superficie destinada al riego (242.000 ha al horizonte 2008), el Plan Nacional de Regadíos estima una demanda de riego al horizonte 2008 de 24.891 hm<sup>3</sup>. Para ese horizonte, la modernización de los sistemas de riego alcanzará el 50%, con el consiguiente incremento en la demanda de energía.

La demanda de energía de la agricultura de regadío en 1995 fue de 1.261 ktep, de las cuales 424 ktep correspondían a labores de regadío y el resto a bombeos. La mitad del consumo energético en regadíos correspondía a energía eléctrica en estaciones de bombeo.

Según datos del IDAE, el 75% de la demanda de energía en instalaciones de riego era cubierta por energía eléctrica en 2001. Con el aumento de la superficie regada y la modernización de regadíos, el consumo de energía eléctrica en la actualidad aumenta.

Gran parte de las comunidades de regantes tienen modernizada su infraestructura de distribución de agua, otras están en vías de modernizarla. El ahorro y eficiencia energética en las comunidades de regantes tendrá una gran repercusión en el consumo energético global del sector agrícola ya que una parte muy importante del consumo energético del regadío es gestionado por ellas (IDAE, 2008).

## **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

---



*Figura 3. Bombeo alimentado por energía eléctrica en la CR de Albaterra, Alicante*

### 1.4.1. Instalar equipos de control electrónico como arrancadores estáticos

En el arranque de los motores que accionan las bombas se producen intensidades muy altas, así como un elevado par de arranque, que puede ser perjudicial para el motor desde el punto de vista mecánico. Para evitar estos inconvenientes se suele limitar la intensidad de arranque mediante el uso de autotransformadores, el arranque estrella-triángulo o la eliminación de resistencia en rotor y estator. Los arrancadores estáticos presentan ventajas frente a los métodos clásicos de arranque.

Los variadores de frecuencia también pueden reducir el pico de intensidad en el arranque, además de permitir ajustar el punto de funcionamiento. Si no es preciso una regulación y la bomba trabaja en régimen fijo, lo más indicado es el uso de arrancadores estáticos.

Una de las ventajas de los arrancadores estáticos es que se obtiene un arranque suave que minimiza los efectos producidos por los golpes y las vibraciones. Mejoran el rendimiento de los motores y son muy útiles en electrobombas al permitir controlar el golpe de ariete.



*Figura 4. Arrancadores electrónicos*

### 1.4.2. Simulación del proceso de puesta en marcha de los grupos de bombeo en función de la demanda real

Mediante una simulación hidráulica de la red de riego se pueden simular diversos escenarios de demanda, a fin de conocer el comportamiento de la red ante diferentes situaciones que se

## **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

---

pueden dar a lo largo de la campaña de riego. De esta forma se puede evaluar el funcionamiento y prever el comportamiento de la red ante posibles cambios en la demanda.

Para la simulación es necesario conocer la distribución de caudales a lo largo de la campaña de riego. Conociendo asimismo los datos referentes a las bombas (curvas características, presión de consigna), se puede estimar la eficiencia en los distintos escenarios.

El conocimiento del rendimiento de los grupos de bombeo en distintas situaciones de demanda sirve para programar adecuadamente los arranques de bombas para que, ante las variaciones en la demanda, se pongan en marcha, paren o cambien de régimen las bombas, de forma que en todo momento la eficiencia sea la más alta posible para un determinado caudal.

### 1.4.3. Mantenimiento de los equipos

Así como el personal de las comunidades de regantes debe conocer perfectamente la red de distribución, también ha de conocer perfectamente el funcionamiento de los grupos de bombeo. Si éstos se han seleccionado correctamente para lograr un bombeo eficiente, y se lleva a cabo un mantenimiento adecuado siguiendo las indicaciones y recomendaciones del fabricante o instalador, se logrará que el bombeo sea eficiente a lo largo de toda la vida de la instalación.

Los técnicos de la comunidad de regantes deben establecer un protocolo de mantenimiento basado en su propia experiencia y en las recomendaciones de mantenimiento recogidas en la documentación técnica de las bombas y motores.

Es recomendable una inspección rutinaria del funcionamiento de las bombas, para comprobar estado de los filtros, lubricantes, etc. Esta vigilancia permitirá detectar ruidos extraños, cambios en el comportamiento de los equipos y cualquier anomalía que se pueda producir.



*Figura 5. Grupo de bombeo con mal mantenimiento*

También se debe realizar una inspección periódica más exhaustiva que incluya la puesta a punto de los grupos motobomba, engrasado, limpieza o sustitución de filtros, comprobación de alineamientos, tolerancias, líneas eléctricas, etc. En estas inspecciones se debe incluir la de las baterías de condensadores para mejora del factor de potencia. Por último, cada 5 años, se debe desmontar la bomba por completo.

Es aconsejable la instalación de elementos de control, como sensores de presión, válvulas anti-rotura, presostatos, etc., que envíen alarmas en caso de una anomalía, para la rápida detección de averías y su reparación (IDAE, 2008).

## **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

---

Todas estas ideas recomendadas por el IDAE serán las primeras opciones para el ahorro y eficiencia energética de las instalaciones en funcionamiento. El caso práctico que nos ocupa estas directrices se tendrán en cuenta para el futuro funcionamiento de la instalación.

### **1.5. BENEFICIOS DEL BOMBEO SOLAR**

En los últimos años el coste de la energía eléctrica está suponiendo que los márgenes de beneficio económico de las huertas se vean reducidos cada vez más. A todo esto, hay que sumar un tema puramente medioambiental como es el de gastar recursos energéticos sin hacer usos de otros sistemas que sean más beneficiosos para el medio ambiente. En este contexto es cuando ha surgido la idea de implantar bombeos solares para las huertas.

El avance de la tecnología, acompañado de la disminución del precio de los paneles fotovoltaicos, así como su mejora de la fiabilidad y rendimiento hacen que esta solución empiece a ser considerada como una alternativa muy interesante para el uso de esta tecnología en los campos de regadío.

Según el SIAR (Servicio Integral de Asesoramiento al Regante de Castilla-La Mancha), en los datos operativos de cultivo, el gasto energético puede corresponder del orden de un 40% del total, por tanto si se quiere aumentar la competitividad y disminuir la incertidumbre de los costes de este sector, implementar una mayor independencia energética es una solución de futuro.

El empleo de la energía solar para los bombeos agrícolas es rentable, algunas de las razones se describen a continuación:

- La gran mayoría de productos agrícolas tienen su demanda de energía entre los meses de marzo y octubre, que además coinciden con los meses de mayor radiación solar y por tanto mayor posibilidad de captar energía fotovoltaica.
- Los nuevos variadores de velocidad tienen una gran fiabilidad y amplia posibilidad de programación.
- Los nuevos paneles fotovoltaicos tienen más rendimiento y ocupan menos superficie.
- En los últimos años se han abaratado los paneles fotovoltaicos a cuatro cinco veces menos.

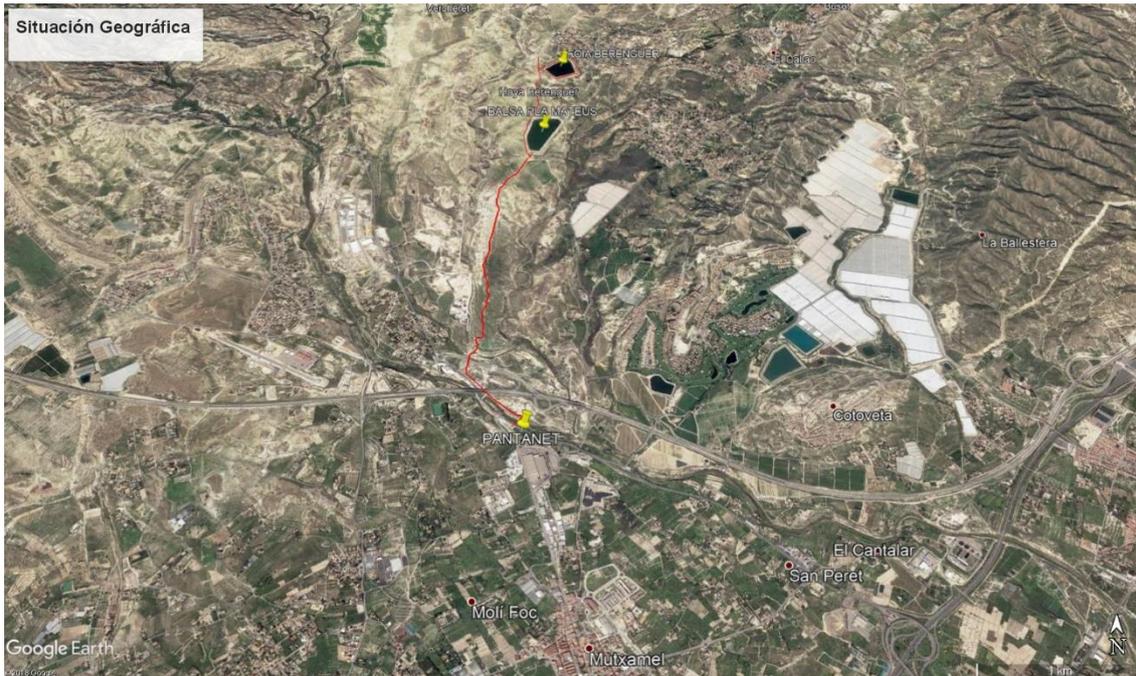
Dentro de este contexto, lo que el sindicato de riego de la huerta de Alicante está promoviendo para su puesta en marcha en la zona de Mutxamel es implantar este sistema en sus huertas como camino para ahorrar costes económicos y medioambientales.

### **1.6. CASO DE ESTUDIO. HUERTA MUTXAMEL**

En este punto, se introducen los datos generales de emplazamiento y consumo del caso de estudio en el que se basa este trabajo. En los capítulos siguientes se realizará de forma detallada el estudio de toda la instalación: la generación eléctrica gracias a placas solares, el sistema funcionando en régimen permanente y el sistema funcionando en régimen transitorio.

En este caso particular, el objetivo será implementar un bombeo solar desde las balsas denominadas “Pantinet”, cercanas a la localidad Alicantina de Mutxamel hasta la balsa de “Foia Berenguer” a través de una tubería ya existente cuyas características se definirán más adelante. La situación geográfica es la que aparece a continuación:

## **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**



*Figura 6. Situación geográfica*

Con este bombeo, el Sindicato de Riego de la Huerta de Alicante pretende obtener ayudas destinadas a la modernización de regadíos, las cuales han sido ofertadas por la Consellería de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural de la Comunitat Valenciana.

Para ello, el Sindicato de Riegos de la Huerta de Alicante (SRHA en adelante), dispone de la concesión de aguas residuales depuradas servidas desde la EDAR Monte Orgegia y desde la EDAR Alacantí Nord.

Estas aguas son almacenadas en la balsa denominada como Pantanet, y cuyo objetivo es elevarla hasta la balsa de Foia Berenguer, de una capacidad mayor y mediante una conducción de tuberías ya existente.

Una vez el agua esté en Foia Berenguer, se puede realizar el riego por gravedad en prácticamente toda la superficie perteneciente al SRHA.

Como se dice anteriormente, la elevación de agua de pozos o balsas para riegos de cultivos es una de las aplicaciones más rentables y novedosas de la energía solar fotovoltaica. El empleo de un tipo de bombas sumergibles específicas para aplicaciones con energía fotovoltaica, funcionan con corriente continua, la cual es generada directamente de los módulos fotovoltaicos, posibilita una instalación independiente de la red eléctrica con escasas necesidades de mantenimiento.

Los paneles fotovoltaicos producirán una energía eléctrica con una tensión de 12 o 24 voltios en corriente continua. Esta electricidad será consumida por las bombas previo paso por el inversor y transformador para pasarlo a corriente alterna.

Dado que la energía producida por las placas solares depende directamente de la climatología, existe una falta de uniformidad de generación de energía eléctrica que se podrá suplir de tres maneras diferentes:

- Instalación de batería de acumulación. Parece ser la solución más evidente técnicamente si se quiere aislar el sistema de la red eléctrica, pero el gran problema es

## DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL

el coste económico de estas baterías que harían inviable la instalación en términos económicos.

- Conectar a la red eléctrica las bombas. Esta opción es la más fácil, ya que cuando no se pueda satisfacer la electricidad demandada por las bombas, se desconectaría de la electricidad producida por los paneles solares y se consumiría de la red general. El problema sería que se tendrían que pagar los términos fijos de la factura de la luz.
- Instalar varios grupos electrógenos. De esta manera sólo encenderíamos los grupos electrógenos en caso de necesitar electricidad de manera puntual. Es una opción que requiere bastante mantenimiento.

Por tanto, se va a proceder a la construcción de un foso para la instalación de bombeo junto a la balsa Pantanet los paneles solares se instalarán en las parcelas adyacentes. Y desde aquí, se elevarán mediante la conducción existente hasta la balsa con mayor cota y capacidad que es “Foia Berenguer”.

La siguiente tabla muestra las características de las instalaciones existentes involucradas en la elevación del agua depurada. Estos datos han sido facilitados por el SRHA.

Infraestructura	Características
Balsa el Pantanet	Capacidad 30.000 m <sup>3</sup> , cota 90 msnm
Balsa Foia Berenguer	Capacidad 500.000 m <sup>3</sup> , cota 185 msnm
Tubería elevación	3.600 m PEAD DN315 PN16 + 1.647M PVC DN315 PN10/8

Tabla 1. Características instalaciones existentes SRHA

A continuación, imágenes que muestran su situación de forma más detallada:

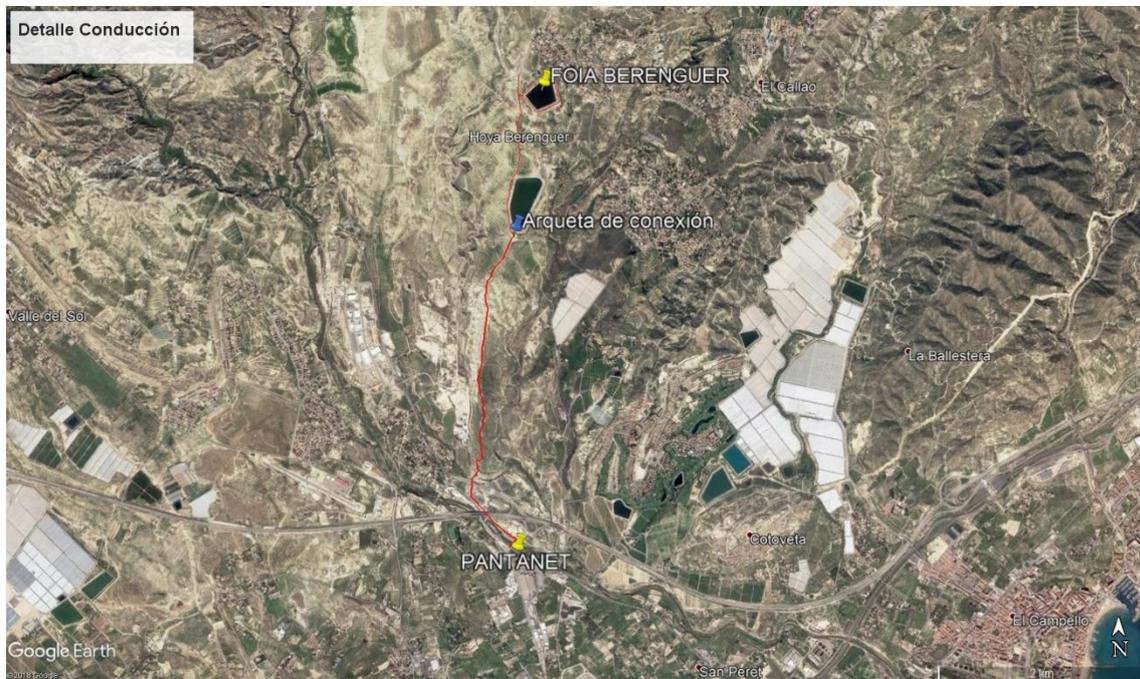


Figura 7. Conducción de impulsión entre las balsas

## DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL



Figura 8. Detalle PANTANET

En la Figura 7 se aprecia la situación de las dos balsas implicadas en el proyecto y la conducción existente que las une. La primera conducción que sale de Pantanet hasta la arqueta de conexión mostrada, corresponde a la conducción de PEAD y desde la arqueta hasta Foia Berenguer es la conducción de PVC.

En la Figura 8, se muestra en detalle la balsa de Pantanet, sombreado en amarillo el área reservada para la instalación de placas solares junto a la caseta de bombeo.

### 1.6.1. Datos de partida

#### 1.6.1.1. Sistemas de medición del uso de agua

La gestión de la demanda del agua implica el ahorro y la correcta reutilización y reparto de la misma y es por ello que se hace imprescindible conocer la cantidad de recursos que se destina a cada uso o demanda.

Es por esto que se hace fundamental conocer el volumen de agua en los puntos de inyección al sistema y compararlo con el volumen de demanda satisfecha final. Esta comparación permitirá conocer el estado de toda la infraestructura, y con ello una mejor gestión de los recursos. Este hecho implica de manera directa una aportación al desarrollo sostenible.

La zona del levante español es históricamente conocida por su escasez de agua durante todo el año. Es por ello que la medición del agua en las instalaciones debe de tener un peso importante. A esto se le suma que se están utilizando unas tuberías que no son nuevas y que su vida útil es más corta. Con todo esto se incluirán caudalímetros y contadores en la conducción de impulsión a la salida de Pantanet y a la entrada de la balsa de Foia Berenguer. Con estos datos se podrán realizar auditorías hídricas del sistema de bombeo y desarrollar una gestión más eficiente de la infraestructura.

Los contadores que se van a utilizar son los que aparecen en la Tabla 2:

**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW  
PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

Contador	Ubicación	Finalidad
<b>Caudalímetro electromagnético DN300</b>	Foso bombeo balsa Pantanet	Medición del caudal de bombeo desde Pantanet hasta Foia Berenguer
<b>Contador tipo Woltman DN300</b>	Arqueta entrada a balsa Foia Berenguer	Medición del volumen de agua que ingresa en la balsa

*Tabla 2. Sistemas de medición*

*1.6.1.2. Superficie regada del Sindicato de Riego de la Huerta de Alicante*

La superficie de riego perteneciente al SRHA se encuentra ubicada en una comarca deficitaria de recurso hídricos como se ha comentado anteriormente y corresponde con uno 3.300 ha de derecho de riego.

1.6.2. Necesidades de bombeo

Las demandas de la zona de riego a abastecer desde el embalse de Foia de Berenguer mediante el bombeo fotovoltaico son:

- Superficie de cultivo: 60 ha
- Necesidades totales anuales: 570.000 m<sup>3</sup>.

Ahora el objetivo será determinar el punto de funcionamiento de la bomba para poder estimar la cantidad de electricidad que demanda y con ello poder dimensionar el sistema fotovoltaico.

Se opta por la colocación de dos bombas sumergidas de idénticas características, que actuarán en paralelo, para facilitar el mantenimiento y la maniobra de las mismas.

Como se ha comentado, el caudal será bombeado desde la balsa de Pantanet hasta la balsa de Foia de Berenguer mediante la conducción existente que presenta las siguientes características:

Material	Timbraje (atm)	DN (mm)	e (mm)	Di (mm)	L (m)	% L
<b>PEAD</b>	16	315	28,6	257,8	3.600	69%
<b>PVC</b>	10	315	15	285	1.647	31%

*Tabla 3. Características tuberías de impulsión*

Para este cálculo se va a considerar que el caudal bombeado es el caudal medio que se podría bombear con ocho horas de puesta en funcionamiento de la instalación. Consecuentemente, a cada bomba le corresponde la mitad de dicho caudal al estar en paralelo en la caseta de bombeo.

Para hacerlo, seguimos la guía técnica que nos propone el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) que nos proporcionará una estimación bastante aproximada de la energía consumida por el grupo de bombeo.

1.6.3. Selección del grupo de bombeo comercial

Para saber la cantidad de electricidad que se va a suministrar al grupo de bombeo, se tiene que seleccionar una bomba comercial que sea capaz de impulsar el caudal necesario requerido así como vencer la altura necesaria.

Al igual que se comentaba en líneas anteriores, se instalarán dos bombas funcionando en paralelo. Como datos facilitados por la SRHA el volumen y caudal medio que se tiene que satisfacer es:

**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW  
PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

	V (m <sup>3</sup> )	Hg (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (m <sup>3</sup> /h)	H(r) (m)
<b>V medio mensual</b>	570.000	95	0,027	97,6	100,2

*Tabla 4. Datos para el cálculo del punto de funcionamiento de la instalación*

Por tanto, la bomba comercial que se va a seleccionar es la correspondiente a una capaz de suplir el caudal y la altura reflejadas en la Tabla 4.

Con todo ello seleccionamos la bomba comercial *CAPRARI* con las siguientes características técnicas:

<b>BOMBA</b>	<b>CAPRARI</b>
<b>MODELO</b>	P8P135/5/27/5C
<b>Tipo</b>	Bomba centrífuga de eje vertical
<b>Caudal requerido</b>	30 l/s
<b>Altura de impulsión</b>	100m
<b>Caudal mínimo/máximo</b>	15,47/50 l/s
<b>Rendimiento del grupo</b>	73,8 %
<b>Potencia nominal</b>	45 kW
<b>Tensión nominal</b>	400 V
<b>Corriente nominal</b>	77,6 A

*Tabla 5. Ficha técnica de la bomba seleccionada*

Esta bomba tiene las siguientes curvas:

<b>Q (l/s)</b>	<b>H (mca)</b>	<b>Rendimiento (%)</b>	<b>Potencia (kW)</b>
16	125	60	31
20	120	68	35
25	115	75	38
30	107	78	41
35	98	79	42
40	87,5	80	43
45	75	79	42
50	62,5	73	41

*Tabla 6. Curvas características de la bomba seleccionada*

Las curvas asociadas a la Tabla 6, corresponden a la bomba sumergible, que como se ha comentado anteriormente es la que mejor rendimiento presenta, y al que según la configuración de la estación de bombeo, más fácil resulta el montaje sin presentar problemas de cavitación.

Siendo la representación gráfica de estos puntos de funcionamiento la que sigue:

**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW  
PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

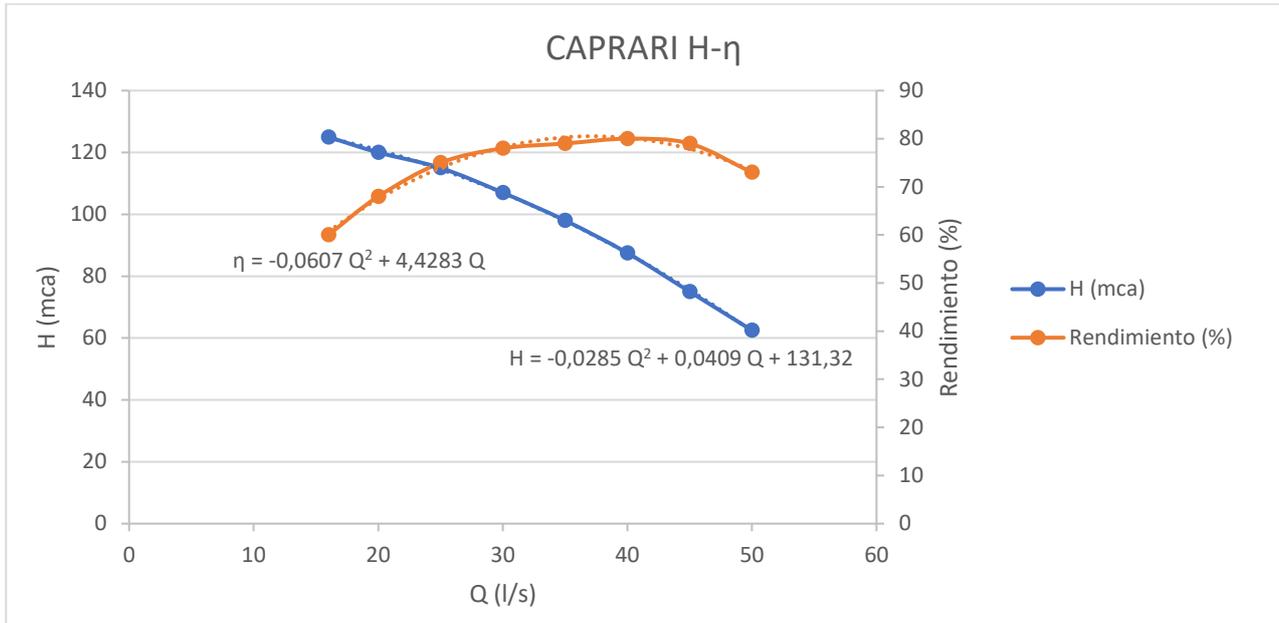


Gráfico 2. Curva Altura vs Rendimiento

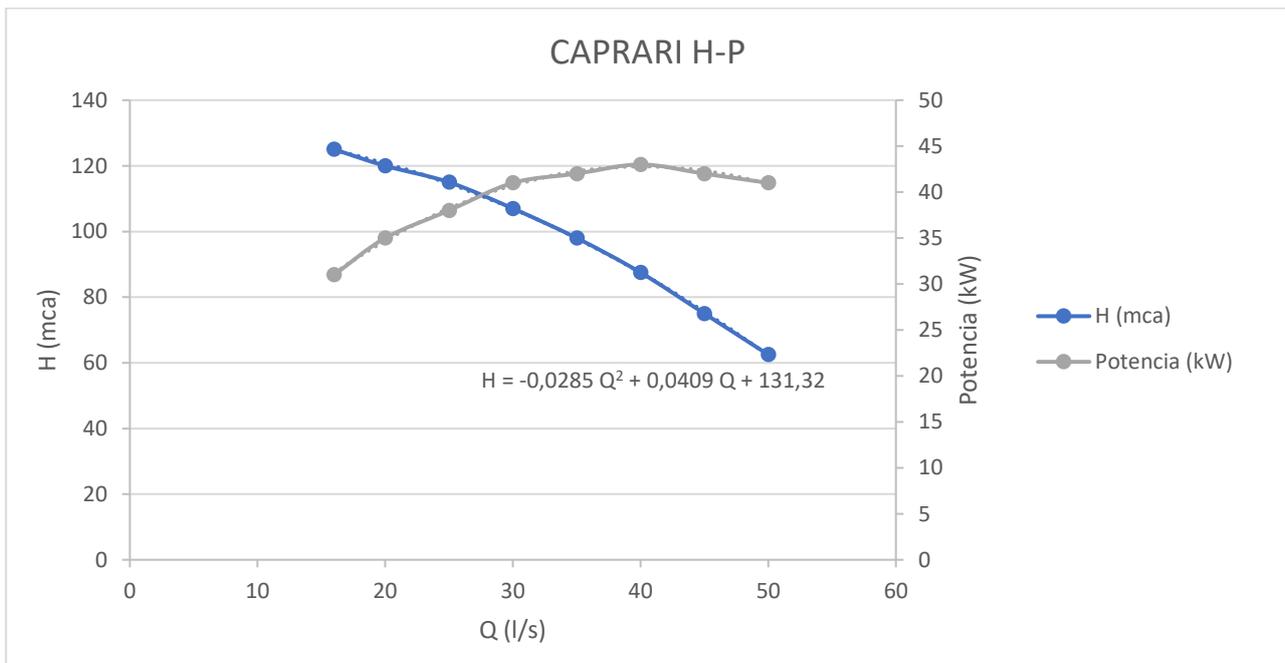


Gráfico 3. Curva Altura vs Potencia

En muchas estaciones de bombeo se suele definir el número de bombas que se van a usar más una de reserva. En el caso práctico que nos ocupa, no se escoge esta configuración por un mero hecho económico impuesto por la SRHA. Por tanto, cuando alguna de las dos bombas precise de mantenimiento, el modo de proceder será parar dicha bomba, y mantener conectada la otra. Este hecho no afecta de forma primordial al correcto funcionamiento de la instalación puesto que ambas bombas están en paralelo, solamente durante ese tiempo de mantenimiento el grupo de bombeo impulsará menos caudal. Pero al impulsar a embalse, ese defecto de agua que no se ha impulsado por mantenimiento de una de las bombas se suplirá con el agua que ya tenemos almacenada en el embalse al final de la línea de conducción.

## **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

---

### 1.6.4. Electricidad consumida por el grupo de bombeo

Una vez seleccionada la bomba comercial, se puede usar el punto de funcionamiento en el que se va a trabajar para poder obtener el consumo del grupo de bombeo, y con ello, poder dimensionar nuestra zona de placas solares.

Dado que la curva que define el gasto de potencia eléctrica que tiene la bomba es conocida y el caudal de servicio aproximado de la instalación también, se puede calcular de forma numérica el valor del consumo eléctrico con su línea de tendencia:

$$P (kW) = -0,0285 \cdot Q^2 + 0,0409 \cdot Q + 131,32$$

$$P (kW) = -0,0285 \cdot 30^2 + 0,0409 \cdot 30 + 131,32 = 40,742 kW$$

Este valor se estimará a lo largo del año. Como durante todo el año no se recibe la misma cantidad de radiación solar, esta diferencia se ajustará con la velocidad de la bomba.

$$P \text{ al año } (kW) = 40,742 \cdot 365 \cdot 8 = 118.966,64 kW$$

$$\boxed{Potencia\ necesaria\ al\ año = 118.966,64\ kW}$$

### 1.7. OBJETIVO

Por tanto, una vez calculado el consumo eléctrico previsto por la estación de bombeo, el siguiente paso será dimensionar todo el parque fotovoltaico tomando como punto de partida este dato de consumo eléctrico.

Para poder dimensionar todo el conjunto de la instalación, primero se tiene que definir todo el sistema de generación fotovoltaico acorde con el consumo previsto de la estación de bombeo. Por tanto, lo fundamental será ajustar la generación de energía eléctrica que podemos producir en cada mes del año con este consumo de la estación de bombeo.

Una vez que se ha ajustado dicha generación y por tanto la estación de bombeo puede operar según las condiciones de operación definidas, el siguiente paso será comprobar el buen funcionamiento en régimen permanente de la instalación. Para ello se creará un modelo mediante el programa informático "Epanet". En este software se definirá todo el perfil de la instalación, incluyendo la instalación de válvulas y demás elementos de regulación de la instalación. Con los resultados del software, se ajustará la velocidad variable (y por consiguiente su consumo energético de las bombas) con la producción eléctrica de las placas solares.

Para finalizar el análisis, se hace necesario poder proteger la instalación frente a los transitorios hidráulicos. Para ello, se utiliza el programa "Allievi" en el cual se definirá la geometría y los elementos que ya se han calculado en el régimen permanente. Este programa permite la simulación de la puesta en marcha y parada de la instalación y saber las consecuencias que tiene para ésta el acontecimiento de estos sucesos. Y una vez simulado, proteger la instalación frente a estas situaciones. Hay diferentes alternativas para poder proteger nuestra instalación, desde el uso de calderines, hasta válvulas sostenedoras de presión. Todo ello se estudiará en los capítulos del presente trabajo.

Por tanto, el estudio de todas estas disciplinas posibilita el entero y correcto funcionamiento de la instalación en todos los casos posibles, desde la generación eléctrica necesaria para la estación de bombeo hasta la protección de todo el sistema ante una parada repentina de las bombas.

# **CAPÍTULO 2.**

# **DIMENSIONAMIENTO**

# **INSTALACIÓN**

# **FOTOVOLTAICA**

## **CAPÍTULO 2. DIMENSIONAMIENTO INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA**

### **2.1. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA**

#### **2.1.1. Situación mundial de la energía solar fotovoltaica**

La energía solar fotovoltaica ha experimentado un crecimiento exponencial en el siglo XXI, aunque en los últimos años su desarrollo se ha visto ralentizado, ligado a la situación de crisis económica global. Sin embargo, el interés por alcanzar los objetivos asociados a la generación “limpia” de energía han impulsado notablemente su expansión.

Debido a la creciente demanda de energías renovables, la energía fotovoltaica ha pasado de usarse tradicionalmente desde finales de los años 1970 para alimentar aparatos autónomos y abastecer edificios aislados de la red a tener un objetivo de mayor alcance: la producción de electricidad a gran escala a través de las redes de distribución, mediante inyección a red desde grandes parques fotovoltaicos o instalaciones menores instaladas sobre cubiertas de edificios. Asimismo, las pequeñas instalaciones diseñadas para autoconsumo también han experimentado un gran desarrollo.

La rápida reducción de costes y la competitividad de la industria fotovoltaica internacional ha permitido un crecimiento consistente del sector fotovoltaico a nivel mundial. Los 75 GW de potencia instalados en 2016 frente a los 55 GW instalados en 2015 demuestran este crecimiento.

Este ritmo de crecimiento ha permitido acumular una potencia instalada a finales de 2016 de unos 305 GW. A los países europeos y norteamericanos que han propiciado este incremento desde los inicios de la fotovoltaica, se han añadido las contribuciones de diversos países asiáticos, principalmente China, EEUU y Japón.

A este crecimiento han contribuido los 75 GW fotovoltaicos instalados en 2016 a nivel mundial. Los principales países que han añadido potencia a este sector han sido en el año 2016 China y Japón, con 34,5 GW y 8,6 GW respectivamente, en el caso de EEUU contribuyeron con un 14,7GW instalados (UNEP, 2018).

Según los escenarios de SolarPower Europe, 2017 es el año de la recuperación del mercado de solar fotovoltaica en Europa, comenzándose un nuevo ciclo de crecimiento. Según sus cálculos, el mercado europeo crecerá 8,8 GW en 2017, debido principalmente al desarrollo del autoconsumo, las subastas, los objetivos europeos de energía renovable y la regulación futura europea. Si el escenario alto se cumpliera, Europa podría doblar su capacidad solar fotovoltaica en 2021 comparado con 2016, con un total de 202,9 GW.

En los próximos años se prevé una continuidad de la apuesta mundial por la energía fotovoltaica. Un gran número de mercados emergentes de todo el mundo, como países de África, Asia o Australia, han empezado y van a seguir contribuyendo al crecimiento global.

## DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL

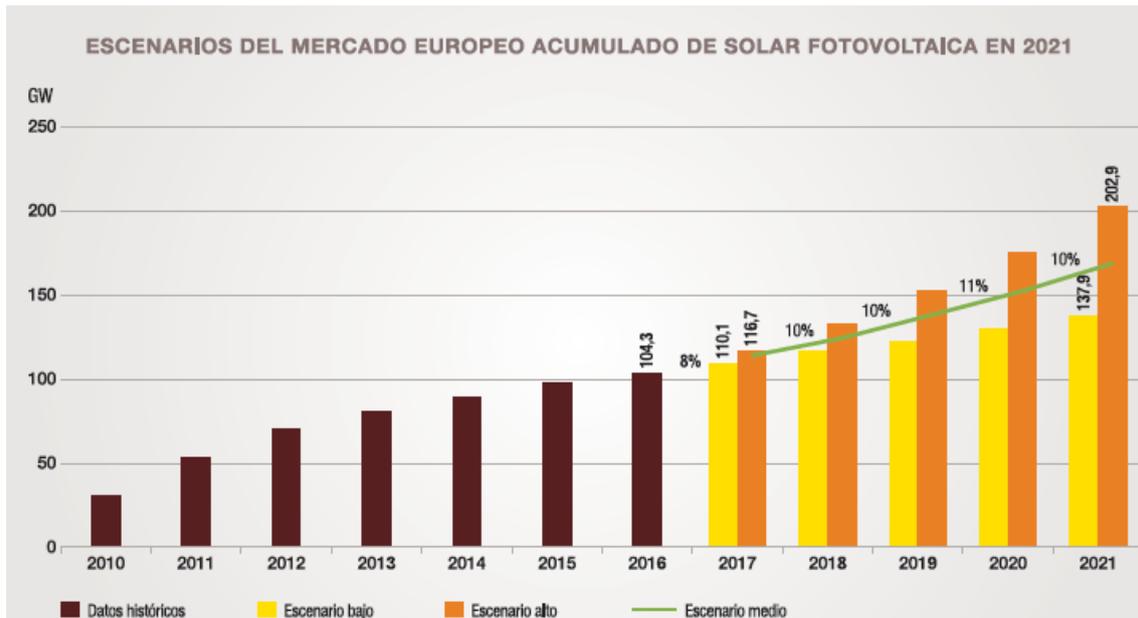


Gráfico 4. Acumulado de energía solar fotovoltaica en el mercado europeo. Fuente: Solar Power Europe, 2017.

### 2.1.2. Evolución de la energía solar fotovoltaica

Se procede a describir cómo se ha desarrollado el contexto de la energía solar fotovoltaica en España, pues es el país donde se va a ubicar la instalación. España se puede considerar uno de los países mejor situados para la energía fotovoltaica en Europa, pues la irradiación anual que recibe queda por encima de la media del continente. Sin embargo, su desarrollo se ha visto influenciado por los constantes cambios en las normativas nacionales que regulan su mercado, siendo favorables en algunas ocasiones, donde su desarrollo ha sido proporcional a esos beneficios reportados, y menos favorables en otras ocasiones, por ejemplo en la actualidad, cuando el crecimiento es prácticamente despreciable frente al potencial real disponible.

La primera normativa referente a fotovoltaica en España fue el Real Decreto 1663/2000 que estableció condiciones técnicas y administrativas referentes a esta tecnología, constituyendo el inicio del proceso de desarrollo posterior.

El marco regulador que impulsó enormemente el desarrollo de la energía fotovoltaica en España fue el RD 436/2004 y el RD 661/2007, que establecía la regulación de la producción de energía en régimen especial. Hasta entonces el progreso del mercado fotovoltaico había sido muy limitado, pero desde entonces, con el establecimiento de la prima por inyección a red de 0,40 €/kWh, bajo ciertas condiciones de instalación, se inició el “boom” de la fotovoltaica en España. Con esto se establecían las condiciones necesarias para atraer la inversión extranjera y así fue, la tarifa garantizada, una regla de actualización y una cierta garantía a largo plazo propiciaron el enorme desarrollo.

Este RD establecía un límite de 371 MW para actualizar el marco normativo, límite que se alcanzó en unos meses, de forma que en septiembre de 2007 se aprobó un año de validez para el RD 661/2007, así que las instalaciones conectadas antes de esa fecha se beneficiarían de la tarifa propuesta. Con esto, el ritmo de crecimiento de la potencia instalada se disparó alcanzando límites incontrolables. El ritmo de crecimiento era de unos 500 MW/mes, alcanzando los 3000 MW instalados en septiembre de 2008.

## DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL

En septiembre de 2008, ante la necesidad de frenar este desarrollo intensivo, se publicó el RD 1578/2008, para establecer un marco de crecimiento más sostenible. Se redujeron las primas para la generación fotovoltaica, situándose en unos 0,32 €/kWh. Además, y con un mayor impacto, se limitó la potencia que se podía instalar.

Este decreto afectó terriblemente al desarrollo de la energía fotovoltaica, pero fue el RD 14/2010 el que terminó por culminar con la caída del sector fotovoltaico en España, pues se eliminaban las primas y la tarifas existentes hasta el momento. A partir de ese momento España desapareció del mapa europeo de desarrollo de la tecnología fotovoltaica. Esto todavía se agravó más con el borrador del RD sobre autoconsumo de septiembre de 2013, el conocido como impuesto al sol, que no sólo mantiene el llamado peaje de respaldo, que obliga al autoconsumidor a pagar un canon por cada kWh que produzca su instalación (que se suma al impuesto que paga por la potencia contratada en su factura), sino que introduce nuevas tasas específicas para regular el uso de baterías. Este borrador consiguió paralizar las iniciativas tanto individuales como asociativas de inversión, contribuyendo notablemente al ya existente decrecimiento de la tecnología.



Ilustración 1. Sistema eléctrico español avance 2017. Fuente: REE, 2017

Las estadísticas expuestas por UNEF (Unión Española Fotovoltaica), muestran que en España se ha duplicado la potencia instalada en el último año frente al anterior, 49 MW instalados en 2015 frente a los 22 MW de 2014. Las instalaciones de autoconsumo e instalaciones desconectadas de la red son las que conforman esta potencia, aunque su desarrollo se ha visto paralizado por la publicación del RD de autoconsumo y el famoso “impuesto al sol”. Sin embargo, esta magnitud es irrelevante si se compara con otros países europeos y queda muy por detrás de los MW de potencia que se instalaron durante el “boom” fotovoltaico.

Según señala Jorge Barredo, presidente de UNEF: “Estos datos demuestran que España sigue sin apostar por las energías limpias, como la fotovoltaica, y que legislaciones como el Real Decreto de autoconsumo suponen una barrera a la fotovoltaica en nuestro país, tanto por la instauración del Impuesto al Sol, como por los impedimentos técnicos y administrativos que se plantean en él. Además, hay que sumar la injustificable exclusión de la Fotovoltaica de las subastas de energías renovables llevadas a cabo por el Gobierno”.

La normativa actual relativa al sector fotovoltaico, lejos de favorecer el desarrollo de las instalaciones fotovoltaicas no hace más que ralentizarlo, cosa que se ha evidenciado con la publicación del RD 900/2015, de 9 de octubre, que regula las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo. Este RD se ha entendido como una imposición de pago por

## **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

---

el hecho de generar energía. Aunque se planteaba como una norma para fomentar las energías renovables y la producción distribuida ha resultado ser todo lo contrario, dificultando más si cabe el crecimiento de la energía solar fotovoltaica. Los principales aspectos recogidos en la norma que respaldan su poco compromiso con el desarrollo de la fotovoltaica son:

- Sólo en el caso de acogerse a una modalidad concreta de generación se podrá recibir retribución por la energía vertida a la red. Además, para los consumidores del resto de modalidades se podrán establecer límites de generación.
- Se prohíbe la asociación de varios consumidores, por lo que un generador no se podrá conectar a la red interior de varios consumidores.
- Se aplicarán peajes de acceso, costes del sistema y costes de respaldo a la energía autoproducida. En esto consiste el famoso "impuesto al sol", un pago por la función de respaldo que hace el sistema eléctrico para posibilitar el autoconsumo.

En lugar de fomentar el crecimiento, con este RD se incrementan las trabas establecidas a la energía fotovoltaica, imposibilitando el impulso que necesita en España (Roig Lozano, 2016).

### 2.1.3. Clasificación de instalaciones fotovoltaicas

La energía solar fotovoltaica es aquella que se obtiene a través de la transformación directa de la radiación solar en energía eléctrica, gracias al efecto fotovoltaico. Son los módulos fotovoltaicos los que llevan a cabo esta conversión, gracias al comportamiento de sus componentes, semiconductores, en los que se genera una pequeña diferencia de potencial cuando la luz solar excita sus electrones. Para conseguir mayores diferencias de potencial se conectan en serie varios de estos dispositivos.

Fundamentalmente se pueden distinguir los siguientes tipos de instalaciones fotovoltaicas, dependiendo del tipo de aprovechamiento al que se destina la energía eléctrica generada:

- Instalaciones fotovoltaicas completamente aisladas: este tipo de sistemas fotovoltaicos tiene como objetivo satisfacer los consumos eléctricos de un edificio o vivienda aislada, por lo tanto son independientes de la red eléctrica. En la mayoría de los casos, cuentan con sistemas de acumulación mediante baterías, de forma que cuando existan períodos de indisponibilidad de la energía solar por horario nocturno o fenómenos meteorológicos, los excedentes almacenados en los bancos de baterías puedan satisfacer las necesidades de la instalación de consumo. Además, en estos casos la instalación solar suministra el consumo de la instalación por completo.
- Instalaciones fotovoltaicas con apoyo de la red u otro sistema de generación complementaria: sistemas de generación fotovoltaica que suministran electricidad a los consumidores apoyándose en instalaciones de generación adicionales, como pueden ser aerogeneradores, grupos electrógenos, calderas de combustión.... Como no se puede dar un abastecimiento simultáneo entre la instalación fotovoltaica y el resto de sistemas de generación, se le proporciona prioridad de uso a la energía solar (que normalmente lleva asociada una instalación de almacenamiento mediante baterías) frente al resto de métodos de producción eléctrica.
- Instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red: estas instalaciones requieren la asignación de un punto de acceso y conexión a la red distribuidora de la empresa que corresponda según la ubicación de la instalación. No existen, en este caso, sistemas de acumulación colocados entre la instalación fotovoltaica y la conexión a la red eléctrica. Se pueden distinguir dos modalidades de instalaciones conectadas a la red:

## **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

- Instalaciones conectadas directamente a la red: el objetivo de las instalaciones fotovoltaicas incluidas en este apartado es verter toda la energía eléctrica producida a la red para recibir la retribución correspondiente según el precio del kWh asignado en el mercado eléctrico. Estos sistemas se adaptan mediante reguladores a las necesidades exigidas por la red eléctrica y en ningún caso producen la energía consumida por la propia instalación o un edificio aislado.
- Instalaciones interconectadas con la red eléctrica mediante una red interior de consumo: instalaciones solares de generación eléctrica cuyo objetivo es abastecer la totalidad o parte de la energía consumida por la instalación donde se conectan. Aunque se destinan en parte a autoconsumo, estas instalaciones tienen la posibilidad de verter los excedentes a la red de distribución donde se conectan para recibir con ello la retribución correspondiente. De esta forma, cuando se dan las condiciones adecuadas para la producción mediante la instalación fotovoltaica y el sistema de consumo lo requiere, se cubre la demanda, en la medida de lo posible, con energía solar, vertiéndose los excedentes de energía, si los hubiera, a la red de distribución, y recibiendo por ello un beneficio adicional (Roig Lozano, 2015).

### 2.2. CASO PRÁCTICO: ESCENARIO INICIAL

En este apartado se definirá la instalación fotovoltaica necesaria para cumplir con los requerimientos de energía necesaria para el correcto funcionamiento del grupo de bombeo. Para ello primero se definirá el terreno en el cual se podrán instalar las placas, seguido de su orientación para convertir la máxima potencia energética por unidad de área de la placa solar (irradiancia) en energía eléctrica. Luego se escogerán las placas y el inversor que más se ajusten a nuestras demandas, se elegirá la disposición de las placas en el terreno y finalmente se ajustará la demanda de electricidad con la producción de las mismas.

La zona habilitada para esta instalación es la que aparece en la Figura 9:

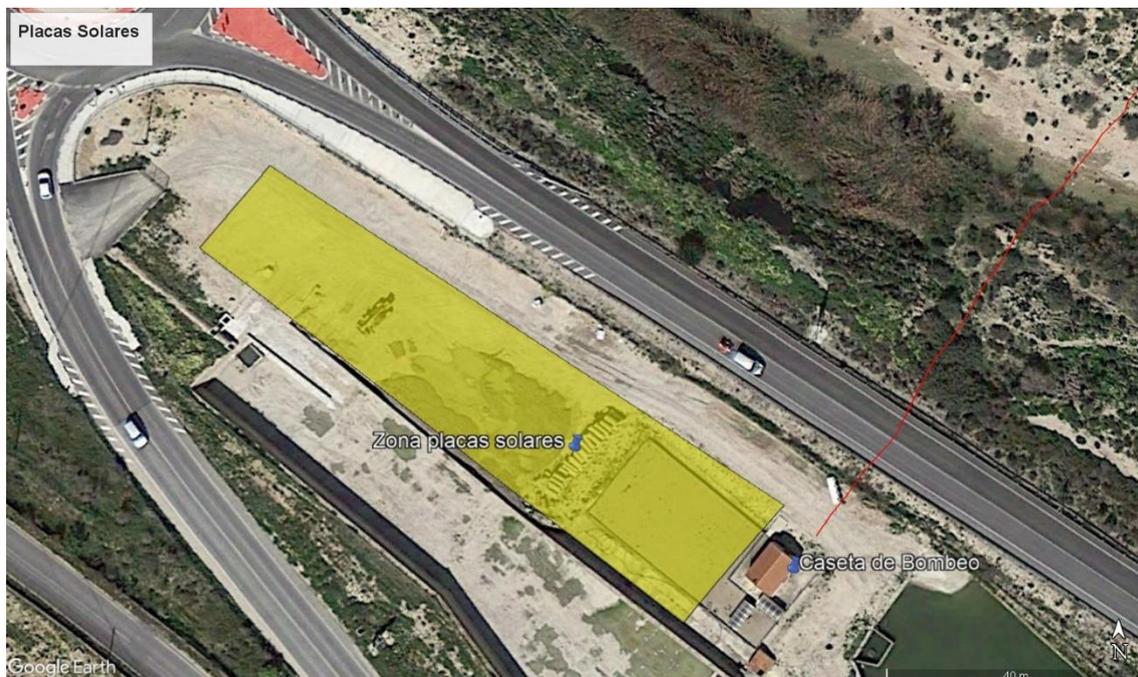


Figura 9. Ubicación para la estructura de las placas solares

## **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

---

Donde el área sombrada en amarillo abarca un total de unos 1.900 m<sup>2</sup>. Esta superficie será la máxima para colocar las placas solares junto con todo el cableado y sistemas eléctricos necesarios para llevar la energía eléctrica generada hasta la caseta de bombeo.

La orientación de las placas solares será primordial para el máximo aprovechamiento de la energía solar. Es por ello que se selecciona una orientación sur de todas las placas solares.

### **2.3. OBTENCIÓN DE IRRADIANCIA SOLAR**

Para saber la cantidad de luz solar que obtenemos en los diferentes meses del año, utilizamos la plataforma europea de PVGIS, Photovoltaic Geographical Information System. Esta plataforma es el desarrollo durante más de 10 años en el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea. El enfoque de PVGIS es la investigación en evaluación de recursos solares, estudios de rendimiento fotovoltaico y la diseminación de conocimientos y datos de la radiación solar y el rendimiento fotovoltaico.

En esta plataforma se obtendrán los datos de radiación solar para cada mes y con diferentes ángulos de inclinación de los supuestos paneles solares para saber cuál es el máximo de energía solar que llegaría a esos paneles.

Los datos geográficos exactos exigidos son:

- Latitud: 38,43° N
- Longitud: -0,45° W
- Altitud: 93m

Con estos puntos de partida, se obtienen todos los datos para cada mes de la plataforma web sabiendo que esos datos tienen un error asociado del  $\pm 2\%$ . Este error y el método de cálculo viene descrito dentro de la propia ayuda que ofrece la plataforma (Instituto para la energía y el Transporte, Comisión Europea, 2018).

Los datos de irradiancia obtenidos de PVGIS, se agruparán por diferentes meses e inclinaciones. Estos datos se transformarán en Watios pico, Wp, y con ellos se procederá al análisis de los mismos. Obteniéndose la Tabla 7 y la Tabla 8.

**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW  
PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

INCLINACIÓN PANELES	IRRADIANCIA RECIBIDA (Wh/m <sup>2</sup> /día)																	
	15	25	30	35	40	45	55	60	62	63	64	65	66	67	68	70	75	80
ENERO	3.550	4.090	4.320	4.530	4.700	4.840	5.020	5.060	5.070	5.070	5.070	5.070	5.070	5.060	5.050	5.040	4.970	4.870
FEBRERO	4.460	4.950	5.160	5.320	5.460	5.550	5.640	5.620	5.600	5.590	5.580	5.560	5.550	5.530	5.510	5.470	5.340	5.170
MARZO	5.850	6.190	6.310	6.390	6.430	6.420	6.300	6.170	6.110	6.070	6.040	6.000	5.970	5.930	5.880	5.800	5.550	5.270
ABRIL	6.410	6.510	6.500	6.450	6.360	6.230	5.860	5.610	5.510	5.450	5.390	5.330	5.270	5.210	5.150	5.020	4.680	4.310
MAYO	7.220	7.090	6.960	6.790	6.580	6.340	5.740	5.390	5.240	5.160	5.080	5.000	4.920	4.840	4.760	4.600	4.160	3.700
JUNIO	7.830	7.560	7.370	7.130	6.840	6.530	5.780	5.350	5.180	5.090	5.000	4.900	4.810	4.710	4.620	4.430	3.930	3.420
JULIO	7.910	7.690	7.520	7.300	7.040	6.730	6.010	5.590	5.410	5.320	5.230	5.140	5.050	4.950	4.860	4.660	4.170	3.650
AGOSTO	7.310	7.330	7.270	7.170	7.020	6.820	6.300	5.980	5.840	5.770	5.700	5.620	5.550	5.470	5.390	5.230	4.810	4.350
SEPTIEMBRE	6.030	6.300	6.370	6.400	6.400	6.350	6.130	5.960	5.880	5.830	5.790	5.740	5.700	5.650	5.600	5.490	5.210	4.890
OCTUBRE	5.010	5.470	5.650	5.790	5.890	5.960	5.970	5.920	5.890	5.870	5.850	5.830	5.800	5.780	5.750	5.690	5.520	5.310
NOVIEMBRE	3.690	4.200	4.410	4.600	4.760	4.880	5.030	5.050	5.050	5.050	5.050	5.040	5.040	5.030	5.020	5.000	4.920	4.800
DICIEMBRE	3.180	3.700	3.930	4.130	4.310	4.450	4.650	4.700	4.710	4.710	4.720	4.720	4.720	4.720	4.710	4.700	4.660	4.580
TOTAL	68.450	71.080	71.770	72.000	71.790	71.100	68.430	66.400	65.490	64.980	64.500	63.950	63.450	62.880	62.300	61.130	57.920	54.320

Tabla 7. Irradiancia recibida por ángulo y mes en Mutxamel

INCLINACIÓN PANELES	IRRADIANCIA RECIBIDA EN HORAS SOLARES PICO (h/día)																		h/sol día
	15	25	30	35	40	45	55	60	62	63	64	65	66	67	68	70	75	80	
ENERO	3,55	4,09	4,32	4,53	4,70	4,84	5,02	5,06	5,07	5,07	5,07	5,07	5,07	5,06	5,05	5,04	4,97	4,87	9,00
FEBRERO	4,46	4,95	5,16	5,32	5,46	5,55	5,64	5,62	5,60	5,59	5,58	5,56	5,55	5,53	5,51	5,47	5,34	5,17	10,00
MARZO	5,85	6,19	6,31	6,39	6,43	6,42	6,30	6,17	6,11	6,07	6,04	6,00	5,97	5,93	5,88	5,80	5,55	5,27	12,00
ABRIL	6,41	6,51	6,50	6,45	6,36	6,23	5,86	5,61	5,51	5,45	5,39	5,33	5,27	5,21	5,15	5,02	4,68	4,31	12,50
MAYO	7,22	7,09	6,96	6,79	6,58	6,34	5,74	5,39	5,24	5,16	5,08	5,00	4,92	4,84	4,76	4,60	4,16	3,70	13,50
JUNIO	7,83	7,56	7,37	7,13	6,84	6,53	5,78	5,35	5,18	5,09	5,00	4,90	4,81	4,71	4,62	4,43	3,93	3,42	14,00
JULIO	7,91	7,69	7,52	7,30	7,04	6,73	6,01	5,59	5,41	5,32	5,23	5,14	5,05	4,95	4,86	4,66	4,17	3,65	14,00
AGOSTO	7,31	7,33	7,27	7,17	7,02	6,82	6,30	5,98	5,84	5,77	5,70	5,62	5,55	5,47	5,39	5,23	4,81	4,35	13,50
SEPTIEMBRE	6,03	6,30	6,37	6,40	6,40	6,35	6,13	5,96	5,88	5,83	5,79	5,74	5,70	5,65	5,60	5,49	5,21	4,89	12,00
OCTUBRE	5,01	5,47	5,65	5,79	5,89	5,96	5,97	5,92	5,89	5,87	5,85	5,83	5,80	5,78	5,75	5,69	5,52	5,31	11,50
NOVIEMBRE	3,69	4,20	4,41	4,60	4,76	4,88	5,03	5,05	5,05	5,05	5,05	5,04	5,04	5,03	5,02	5,00	4,92	4,80	10,00
DICIEMBRE	3,18	3,70	3,93	4,13	4,31	4,45	4,65	4,70	4,71	4,71	4,72	4,72	4,72	4,72	4,71	4,70	4,66	4,58	9,00

Tabla 8. Horas solares pico

Con estos datos se crea la Tabla 8 con la potencia recibida donde se dividirá la energía que necesito en cada momento con el valor correspondiente capaz de recibir por el sol en Wp (se hace la conversión a horas de sol pico 1000 W/m<sup>2</sup>).

Para obtener la Tabla 9, se divide el valor de energía necesaria al mes entre cada valor de irradiancia obtenido mediante la plataforma PVGIS en horas solares pico. De esta forma, se consigue una unidad de potencia, W, que podremos comparar con las necesidades de bombeo.

## DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL

Una vez hecho este cálculo de toda la Tabla 9, se escogerá aquel valor que presente una mayor potencia en kW según su ángulo de inclinación. De manera que para cada ángulo de inclinación habrá un solo valor de potencia. De entre todos estos valores de potencia, se escogerá aquel que ofrezca un valor más bajo. La inclinación asociada a este valor será el seleccionado para nuestro estudio. Ya que, si este ángulo cumple los requisitos de bombeo, el resto también lo hará. Es importante añadir que al precisar del funcionamiento de la instalación durante todo el año, los meses de invierno serán los que menos irradiancia se podrá aprovechar, por tanto estos serán los meses en los que nos fijaremos, ya que si en estos meses del año cumplen las necesidades energéticas en los meses de verano también.

INCLINACIÓN PANELES	POTENCIA RECIBIDA (kW)																		
	15	25	30	35	40	45	55	60	62	63	64	65	66	67	68	70	75	80	
ENERO	154,719645	134,292112	127,142301	121,248287	116,862711	113,482384	109,413295	108,548368	108,334268	108,334268	108,334268	108,334268	108,334268	108,548368	108,763315	108,979115	110,514032	112,783314	
FEBRERO	123,151287	110,960553	106,444717	103,243372	100,596106	98,964818	97,3855922	97,7321601	98,0812035	98,2566618	98,4327491	98,7868237	98,964818	99,3227377	99,6832558	100,412201	102,856693	106,238828	
MARZO	93,8896991	88,7325912	87,0451252	85,9553583	85,4206438	85,5536978	87,183292	89,0202171	89,8943928	90,4867775	90,9362152	91,5424566	92,002469	92,623059	93,41067	94,6990931	98,964818	104,222911	
ABRIL	85,6871669	84,3709278	84,5007292	85,1557736	86,3608081	88,1628796	93,7294778	97,9063707	99,6832558	100,780686	101,902549	103,04967	104,222911	105,423175	106,651406	109,413295	117,362124	127,437295	
MAYO	76,0740637	77,4689337	78,9159109	80,8917142	83,4733647	86,6332397	95,688979	101,902549	104,819607	106,444717	108,121012	109,850948	111,637142	113,482384	115,389651	119,403204	132,032389	148,447227	
JUNIO	70,1474763	72,6527434	74,5257449	77,0343253	80,3004005	84,1125176	95,0267716	102,664437	106,033734	107,908593	109,850948	112,092804	114,190175	116,614594	118,886307	123,985269	139,759476	160,600801	
JULIO	69,4380202	71,4245435	73,0391941	75,2403753	78,0191392	81,6128885	91,3901397	98,2566618	101,52583	103,243372	105,020027	106,858899	108,763315	110,960553	113,015379	117,865824	131,715765	150,480751	
AGOSTO	75,1374473	74,9324338	75,5508583	76,6045662	78,2414159	80,5358856	87,183292	91,8486187	94,0504691	95,1914627	96,3604807	97,7321601	98,964818	100,412201	101,902549	105,020027	114,190175	126,265457	
SEPTIEMBRE	91,0870215	87,183292	86,2252339	85,8210531	85,8210531	86,4968094	89,6010995	92,1568355	93,41067	94,2117907	94,8626493	95,688979	96,3604807	97,2132283	98,0812035	100,046401	105,423175	112,322033	
OCTUBRE	109,631685	100,412201	97,2132283	94,8626493	93,2520781	92,1568355	92,002469	92,7795168	93,2520781	93,5698023	93,8896991	94,2117907	94,6990931	95,0267716	95,5225634	96,5298312	99,5026702	103,437804	
NOVIEMBRE	148,849523	130,774938	124,54756	119,403204	115,389651	112,552201	109,195773	108,763315	108,763315	108,763315	108,763315	108,979115	108,979115	109,195773	109,413295	109,850948	111,637142	114,428071	
DICIEMBRE	172,721616	148,447227	139,759476	132,991462	127,437295	123,428031	118,119299	116,862711	116,614594	116,614594	116,36753	116,36753	116,36753	116,36753	116,614594	118,886307	123,985269	139,759476	160,600801
<b>Máximo (kW)</b>	<b>172,721616</b>	<b>148,447227</b>	<b>139,759476</b>	<b>132,991462</b>	<b>127,437295</b>	<b>123,428031</b>	<b>118,119299</b>	<b>116,862711</b>	<b>116,614594</b>	<b>116,614594</b>	<b>116,367530</b>	<b>116,367530</b>	<b>116,367530</b>	<b>116,614594</b>	<b>118,886307</b>	<b>123,985269</b>	<b>139,759476</b>	<b>160,600801</b>	

Tabla 9. Selección del ángulo óptimo

<b>Ángulo Óptimo</b>	<b>64°</b>
<b>Potencia de diseño</b>	<b>116,36 kW</b>

Tabla 10. Resultado ángulo óptimo

El método utilizado para la selección del ángulo óptimo es uno de los más usados para este tipo de instalaciones en diferentes proyectos. No se trata de un método estandarizado, pero sí generalizado. Este procedimiento se puede encontrar recogido en el libro *Sistemas Fotovoltaicos. Introducción al Diseño y Dimensionado de Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica* de Alonso Abella, recogido en la bibliografía.

## **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

---

### 2.4. DIMENSIONAMIENTO DE LAS PLACAS SOLARES A 64° DE INCLINACIÓN

#### 2.4.1. Selección del equipo del campo solar a 64°

Con las consideraciones anteriores, el siguiente paso es seleccionar las placas solares adecuadas y obtener el número de paneles solares necesario para satisfacer la demanda eléctrica del grupo de bombeo.

Para ello se va a usar el programa PVsyst que es un software para el estudio, dimensionamiento y análisis de datos de sistemas fotovoltaicos completos. Incluye la posibilidad de seleccionar diferentes placas e inversores comerciales. Así como definir si el sistema está aislado o conectado a la red eléctrica.

Este programa es ampliamente utilizado para proyectos a gran escala de parques fotovoltaicos para suministro eléctrico de poblaciones enteras. También es muy utilizado en instalaciones que se podrían considerar menores como es el caso práctico en estudio.

Con este software, se introducirá la localización y el sistema a dimensionar. El resultado será la óptima colocación de las placas solares que se ha definido.

Lo primero que se hará será cargar la base de datos climática necesaria para el cálculo en Mutxamel e introducir que los paneles solares tendrán una inclinación de 64°.

Lo siguiente que se introducirá serán: los módulos, el inversor y la superficie donde irán colocados los paneles fotovoltaicos.

De la base de datos que ofrece el programa, escogemos un panel fotovoltaico existente a día de hoy en el mercado como es el Canadian Solar. Este panel ofrece una gran potencia nominal con lo que se reduciría el número de placas a instalar y además unas dimensiones que son acordes con nuestra zona de instalación. Las características son las siguientes:

<b>Marca</b>	<b>Canadian Solar Inc.</b>
<b>Modelo</b>	CS6X – 315M
<b>Potencia nominal</b>	315 W
<b>Voltaje</b>	31 V
<b>Tipo</b>	Monofásico

*Tabla 11. Ficha técnica de placas solares*

Una vez seleccionado el módulo fotovoltaico, ahora se escoge el inversor más adecuado. Se busca un inversor que sea capaz de soportar todo el suministro eléctrico que proviene del parque fotovoltaico dimensionado, en otras palabras, que sea capaz de procesar toda la tensión e intensidad que llega a su entrada. El programa PVsyst tiene una base de datos actualizada con varios modelos de inversores comerciales y una vez seleccionado el tipo de placa que quieres usar en la instalación, el software te propone varios modelos que funcionarían con el tipo de placa definido anteriormente. De entre todas las posibilidades, se ha seleccionado un inversor de la marca Aros de 200kW de potencia global. Las características más importantes que presenta son las siguientes:

## **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

---

<b>Marca</b>	<b>Aros</b>
<b>Modelo</b>	Sirio K200 HV
<b>Potencia global</b>	200 kWac
<b>Potencia máx/mín</b>	250/170 kWp
<b>Tensión funcionamiento</b>	450/760 V
<b>Tensión máx entrada</b>	880 V
<b>Frecuencia</b>	50 Hz

*Tabla 12. Ficha técnica Inversor*

Con todo ello, se propone una distribución de placas solares. Para la selección de cuántos módulos en serie deben de instalarse, lo principal que hay que tener en consideración son las limitaciones técnicas del propio inversor en dos aspectos fundamentales. Primero tener presente las temperaturas máximas y mínimas que puede soportar el inversor teniendo en cuenta la tensión en el punto de máxima potencia de las placas y que esos valores sean admitidos en el rango de funcionamiento del inversor. Segundo, que la intensidad de cortocircuito de las placas en serie no ponga en peligro el correcto funcionamiento del inversor. El software PVsyst, una vez que se ha seleccionado placa e inversor, te propone un rango de disposición de los paneles en serie. Para el proyecto que nos ocupa se ha decidido la siguiente configuración:

<b>Módulos en serie</b>	17
<b>Módulos en paralelo</b>	37
<b>Número de módulos</b>	629
<b>Pérdidas por sobrecarga</b>	1,07%

*Tabla 13. Distribución propuesta*

Con todo lo anterior, las condiciones de funcionamiento del sistema serían las que aparecen a continuación:

<b>Tensión en el punto de máxima potencia, Vmpp (60°C)</b>	549V
<b>Tensión en el punto de máxima potencia, Vmpp (20°C)</b>	659V
<b>Tensión circuito abierto, Voc (0°C)</b>	851V
<b>Corriente en el punto de máxima potencia, Impp (STC)</b>	333A
<b>Corriente nominal, Isc (STC)</b>	351A

*Tabla 14. Condiciones de funcionamiento del sistema*

Con ello la potencia nominal generada sería de 214 kWp.

## DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL

Definición de un sistema red, Variante "Nueva variante de simulación3"

### Configuración global sistema

N° de tipos de sub-campos: 1

Esquema Simplificado

### Resumen sistema global

N° de módulos	629	Potencia nominal FV	214 kWp
Superficie módulos	1223 m <sup>2</sup>	Potencia máxima FV	198 kWdc
N° de inversores	1	Potencia nominal CA	200 kWac

---

### Sub-array name and Orientation

Name:

Orient.: **Plano Inclinado Fijo**      Inclinación: **60°**  
Acimut: **0°**

### Ayuda al Dimensionado

No sizing      Entrar Pnom deseada:  kWp

... o superficie disponible(módulos):  m<sup>2</sup>

---

### Selección del módulo FV

Disponible actualmente:

Tensiones de dimensionado: V<sub>mpp</sub> **32.3 V**  
V<sub>oc</sub> (0°C) **50.1 V**

Use Optimizer

---

### Selección del inversor

Disponible actualmente:

N° de inversores:

Tensión Funciona.: **450-760 V**      Pglobal inversor: **200 kWac**  
Tensión máx de entrada: **880 V**

50 Hz  
 60 Hz

---

### Diseño del generador FV

#### N° de módulos y cadenas

Mód. en serie:   entre 14 y 17

N° de cadenas:

Perdida sobrecarga: **0.0 %**      Pérd. sobrecarg:

Relación Pnom: **1.07**

**N° módulos: 629      Superficie: 1223 m<sup>2</sup>**

#### Cond. de funcionamiento

V<sub>mpp</sub> (60°C): 549 V  
V<sub>mpp</sub> (20°C): 659 V  
V<sub>oc</sub> (0°C): 851 V

Irradiancia plano: **1000 W/m<sup>2</sup>**

Impp (STC): 333 A  
Isc (STC): 351 A  
Isc (en STC): 351 A

Máx. en bases       STC

P<sub>máx</sub> en funcionamiento: **192 kW**  
en 1000 W/m<sup>2</sup> y 50°C)

**Potencia nom gener. (STC) 214 kWp**

---

Figura 10. Captura definición del sistema PVsyst con 64°

### 2.4.2. Pérdidas a considerar a 64°

Se introducen una serie de pérdidas en la captación de energía solar. Estas pérdidas se pueden introducir de forma manual si tenemos esa información disponible, en caso contrario el software nos proporciona unas pérdidas acordes con el sistema de producción de energía y el emplazamiento geográfico en el que se encuentre. Para el caso práctico en estudio, se ha decidido utilizar los datos que ofrece el programa, estos datos son los que se muestran a continuación:

## DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL

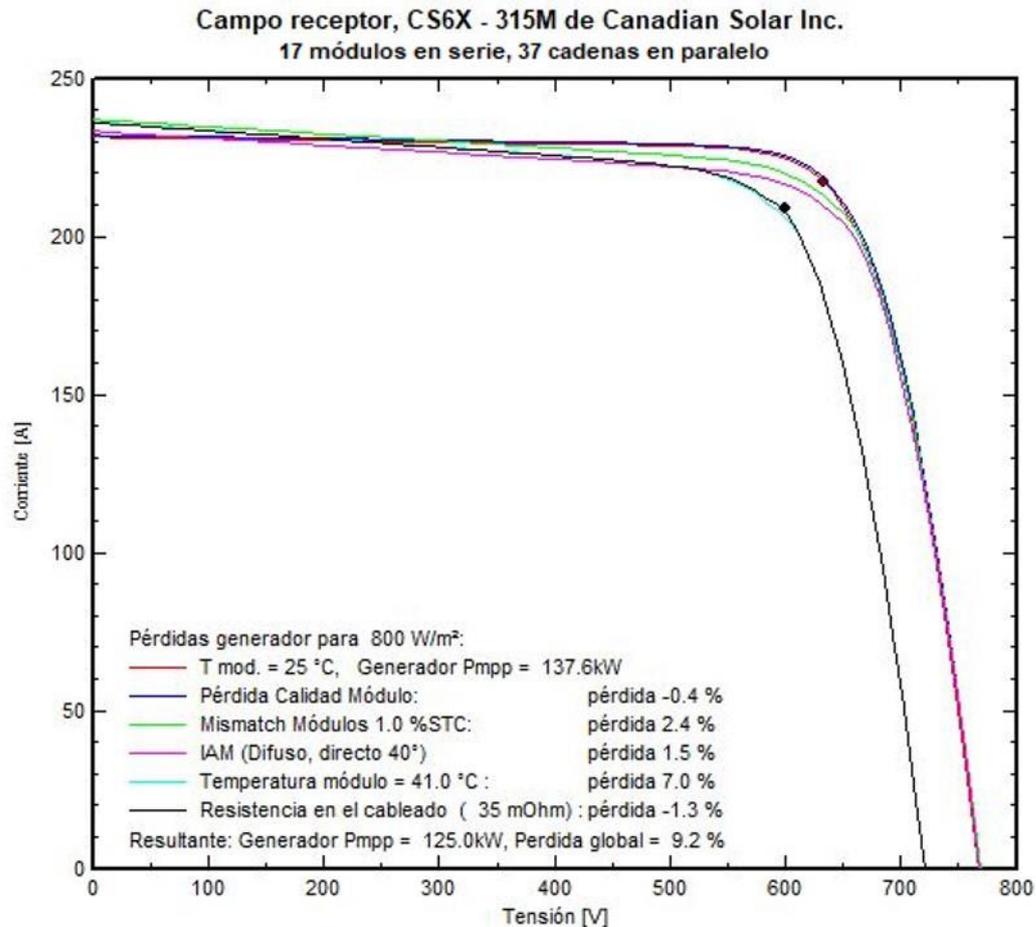


Figura 11. Pérdidas del sistema fotovoltaico

De modo que las pérdidas totales del sistema de producción se corresponden con un total de:

**Pérdidas totales: 9,2% de la producción**

Lo siguiente es definir si existe algún obstáculo que puede producir sombras en la captación solar. Como se puede ver en la Figura 9, no existe ningún elemento a los alrededores del sistema de producción fotovoltaica como para crear sombras. De modo que las únicas sombras que aparecerán en el sistema serán las procedentes de la propia sombra de los generadores.

Lo siguiente a realizar es definir el lugar donde van a ir los paneles fotovoltaicos de forma gráfica. Sabiendo el espacio disponible que tenemos en la realidad, se define de forma gráfica un área de similares dimensiones en el programa informático, y éste automáticamente nos propondrá la mejor solución de disposición de los módulos. Procediendo de esta manera, el resultado obtenido es:

## DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL

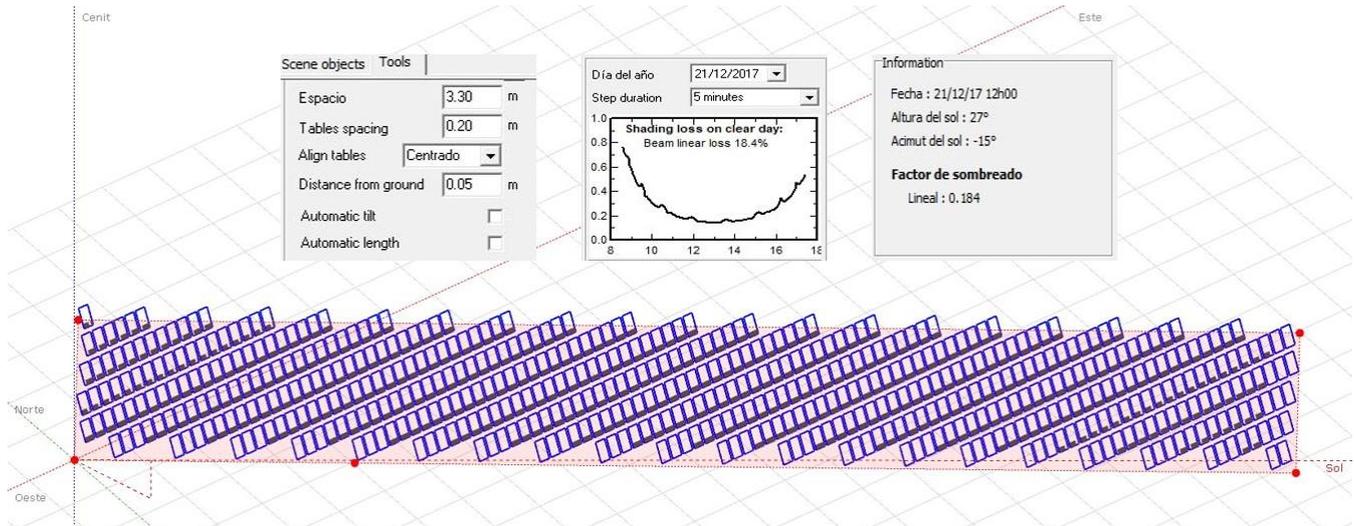


Figura 12. Campo solar a las 12h del 21 de diciembre

La Figura 12 es una captura del programa donde aparece la información de nuestra disposición de placas con la separación entre placas y la distancia entre las mismas (estos datos son editables) y las sombras que se crean para el día 21 de diciembre a las 12:00h. Para ese momento en concreto, hay unas pérdidas por sombras del 18,4%.

De esta manera para cada mes se obtienen las pérdidas por las sombras, bien porque ellas mismas se producen sombras entre sí o bien porque la radiación solar no incide en las placas solares. De esta manera el programa estima el porcentaje de energía solar que no captan las placas solares cada mes, siendo su resumen el que sigue a continuación:

Mes	Porcentaje de pérdidas
<b>ENERO</b>	12,5%
<b>FEBRERO</b>	1,4%
<b>MARZO</b>	0%
<b>ABRIL</b>	5%
<b>MAYO</b>	15%
<b>JUNIO</b>	16%
<b>JULIO</b>	17%
<b>AGOSTO</b>	8%
<b>SEPTIEMBRE</b>	0%
<b>OCTUBRE</b>	1,6%
<b>NOVIEMBRE</b>	12,9%
<b>DICIEMBRE</b>	18,4%

Tabla 15. Porcentaje de pérdidas por mes

### 2.4.3. Resultado obtenido del PVsyst a 64°

Con todo ello, el software ofrece un informe detallado con los resultados. Como resumen se tiene el siguiente diagrama de pérdidas facilitado en el propio informe final generado por el programa PVsyst:

## DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL

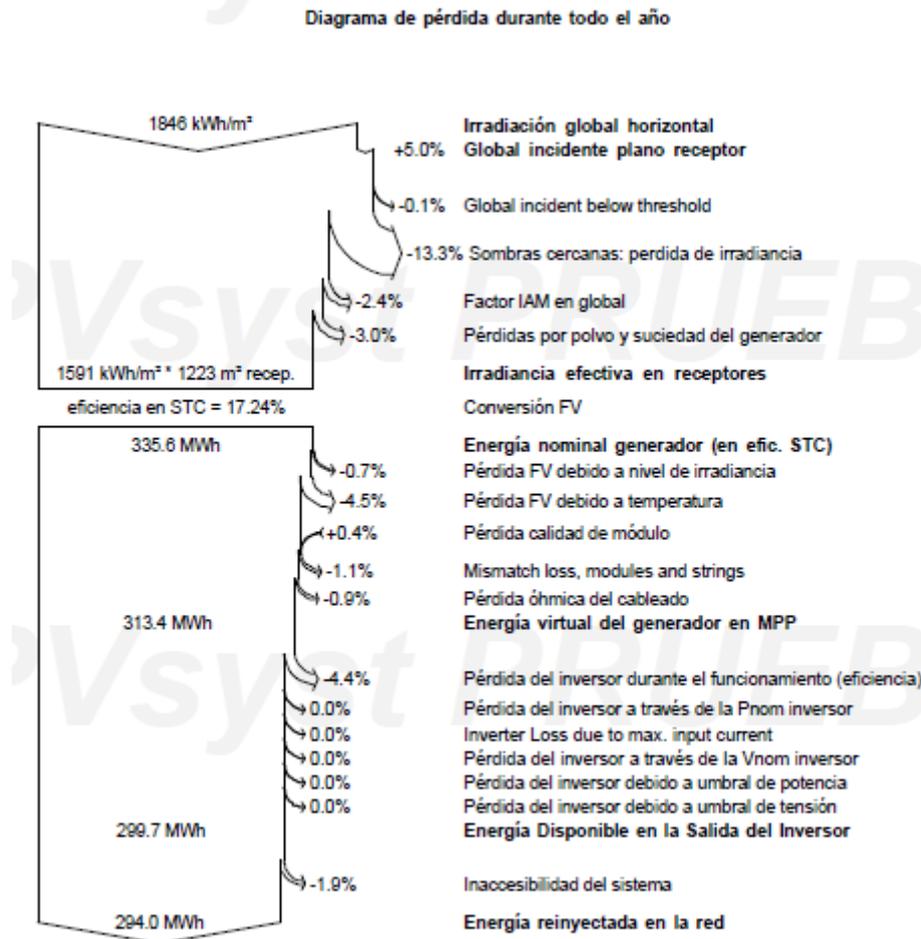


Figura 13. Diagrama de pérdida durante todo el año

En la imagen de la Figura 13 se muestra la irradiación global que se obtiene como máximo en la posición geográfica en estudio y con los paneles solares escogidos. Primero aparece el no aprovechamiento del total de la energía que llega a los paneles solares por diferentes pérdidas como son las pérdidas cercanas o las pérdidas por polvo y suciedad de los generadores fotovoltaicos. Luego se aplica la eficiencia de los paneles según el STC (Standard Test Conditions: 25°C, radiación solar de 1 kW/m<sup>2</sup> y una masa de aire de 1,5 AM). Por último, aplica las pérdidas energéticas que existen en su transporte además de las existentes en los diferentes elementos como es el inversor.

Además, el número de paneles obtenido finalmente es:

$$\boxed{\text{Número de paneles finales} = 629 \text{ paneles}}$$

Los cuales están conectados de la manera que se indicaba anteriormente con 17 módulos conectados en serie y con 37 en paralelo. El resultado de la producción energética de nuestro campo solar es:

## DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL

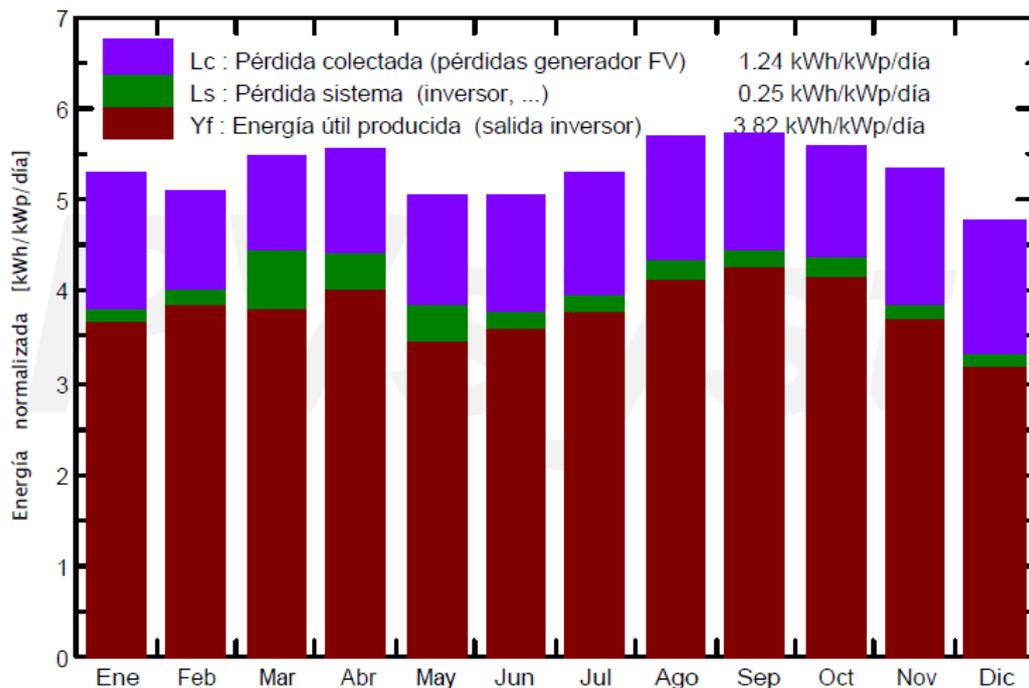


Gráfico 5. Producción normalizada (por kWp instalado)

De este gráfico se extrae una conclusión evidente que es la de que durante todo el año existe una producción bastante constante de la producción de electricidad por parte del sistema fotovoltaico, siendo muy parecida la producción de electricidad en invierno y en verano. Esta consideración tiene como elemento diferenciador principal la inclinación de las placas solares. En el siguiente punto de desarrollo se verán los resultados que se obtienen con una inclinación menos pronunciada, y es de esperar, que la producción de energía sea mucho más estacional.

Una vez calculado el número de paneles necesarios para una inclinación de  $64^\circ$ , se tiene que ajustar la producción solar que hay a la salida del transformador con el consumo de las bombas modificando la variable de giro de las propias bombas para aprovechar al máximo la energía eléctrica producida. Esta parte se detallará en el siguiente capítulo de definición del modelo de Epanet.

### 2.5. DIMENSIONAMIENTO DE LAS PLACAS SOLARES CON OTRA INCLINACIÓN

Normalmente la inclinación óptima para obtener el máximo de energía solar suele ser muy parecida a la latitud terrestre en la que nos encontramos debido a la altura del sol por su paso por la bóveda terrestre, en este caso al estar en una latitud de  $38^\circ$  la inclinación que se propondría sería entorno a  $38^\circ$  de inclinación en las placas solares, de esta manera se tienen picos de producción eléctrica más elevados al recibir de forma más perpendicular la radiación solar durante los meses de verano. Pero esta solución provocaría una gran estacionalidad en la generación de energía eléctrica puesto que en los meses de invierno, cuando el sol no está tan alto en bóveda terrestre, las placas no estarían aprovechando el máximo de energía al no recibir la radiación solar de más perpendicular mientras que en verano sí que se alcanzarían unos picos grandes de producción eléctrica al estar coordinada la inclinación de la placa con la posición del sol la mayoría del tiempo aprovechable de producción eléctrica.

Como en el caso práctico en estudio existe una demanda constante de energía eléctrica, lo que interesa priorizar es la generación más o menos constante de electricidad durante todos los

## **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

meses del año y no provocar grandes picos de generación eléctrica en los meses de verano, es por esta razón por la que el análisis de 38° no se realizará en el presente trabajo.

Con estas aclaraciones, la SRHA solicita un estudio de la generación eléctrica con un ángulo de inclinación de 20° que no es la solución propuesta en el presente trabajo por la misma razón que se describía para el ángulo de inclinación de 38°.

Es por tanto que se repetirá el mismo proceso de análisis con esta nueva inclinación, dando lugar a un nuevo modelo del programa PVsyst. Además, los resultados de este estudio se compararán los obtenidos de 64°.

### 2.5.1. Selección del equipo solar a 20°

Se procede de la misma manera que para el caso de 64°. Se selecciona en primer lugar el equipo que vamos a usar, siendo en esta ocasión:

<b>Marca</b>	<b>Canadian Solar Inc.</b>
<b>Modelo</b>	CS6X – 305M
<b>Potencia nominal</b>	305 W
<b>Voltaje</b>	31 V
<b>Tipo</b>	Monofásico

Tabla 16. Ficha técnica de placas solares

<b>Marca</b>	<b>Aros</b>
<b>Modelo</b>	Sirio K200 HV
<b>Potencia global</b>	200 kWac
<b>Potencia máx/mín</b>	250/170 kWp
<b>Tensión funcionamiento</b>	450/760 V
<b>Tensión máx entrada</b>	880 V
<b>Frecuencia</b>	50 Hz

Tabla 17. Ficha técnica Inversor

Con todo ello, la distribución de placas solares propuesta por el software es la que sigue:

<b>Módulos en serie</b>	17
<b>Módulos en paralelo</b>	32
<b>Número de módulos</b>	544
<b>Pérdidas por sobrecarga</b>	0,86%

Tabla 18. Distribución propuesta. Inclinación de 20°

Las condiciones de funcionamiento del sistema serían las que aparecen a continuación:

<b>Tensión en el punto de máxima potencia, Vmpp (60°C)</b>	524V
<b>Tensión en el punto de máxima potencia, Vmpp (20°C)</b>	643V
<b>Tensión circuito abierto, Voc (0°C)</b>	845V
<b>Corriente en el punto de máxima potencia, Imp (STC)</b>	274A
<b>Corriente nominal, Isc (STC)</b>	289A

Tabla 19. Condiciones de funcionamiento del sistema

## DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL

Con ello la potencia nominal generada sería de 171 kWp.

Figura 14. Captura definición del sistema PVsyst con 20° de inclinación

### 2.5.2. Pérdidas a considerar a 20°

Las pérdidas en la captación de energía solar para esta inclinación son las que se muestran a continuación:

## DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL

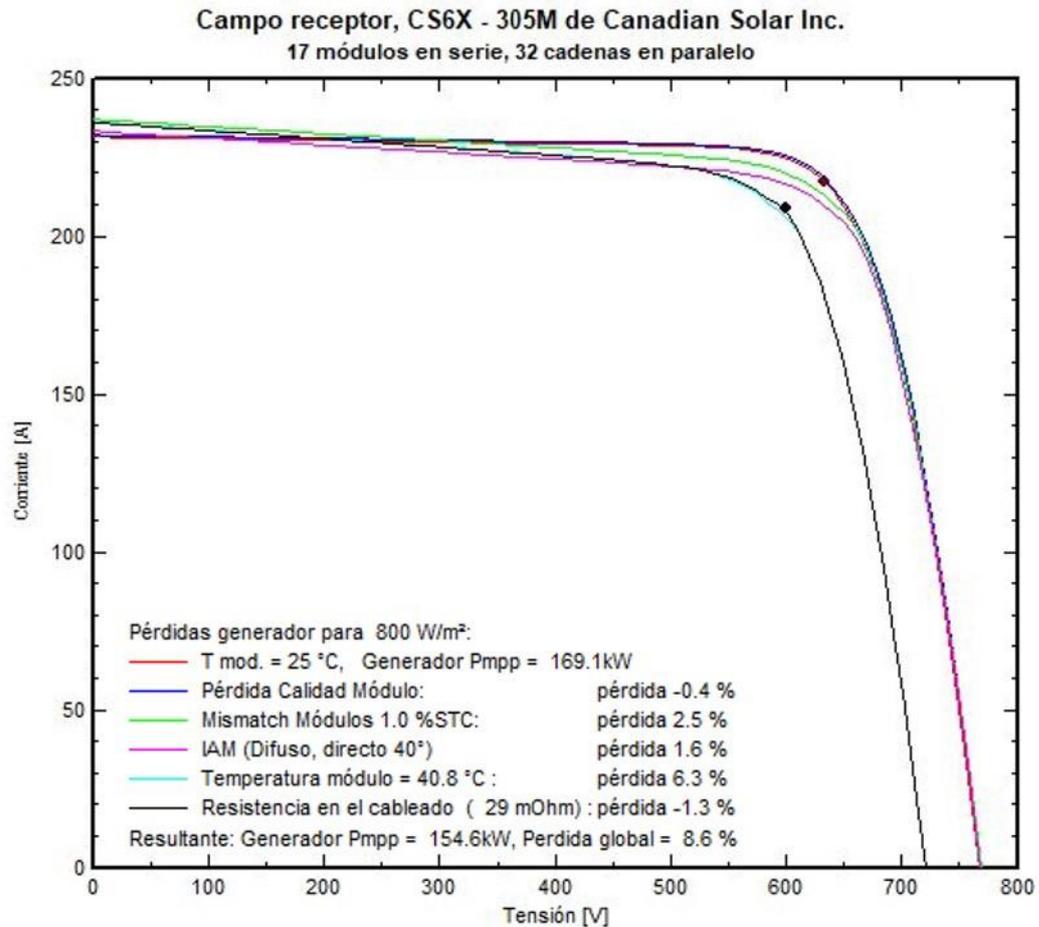


Figura 15. Pérdidas del sistema fotovoltaico con 20° de inclinación

Aquí las pérdidas totales del sistema corresponden con un total de:

*Pérdidas totales: 8,6% de la producción*

De forma gráfica los paneles fotovoltaicos sobre el terreno quedarían así:

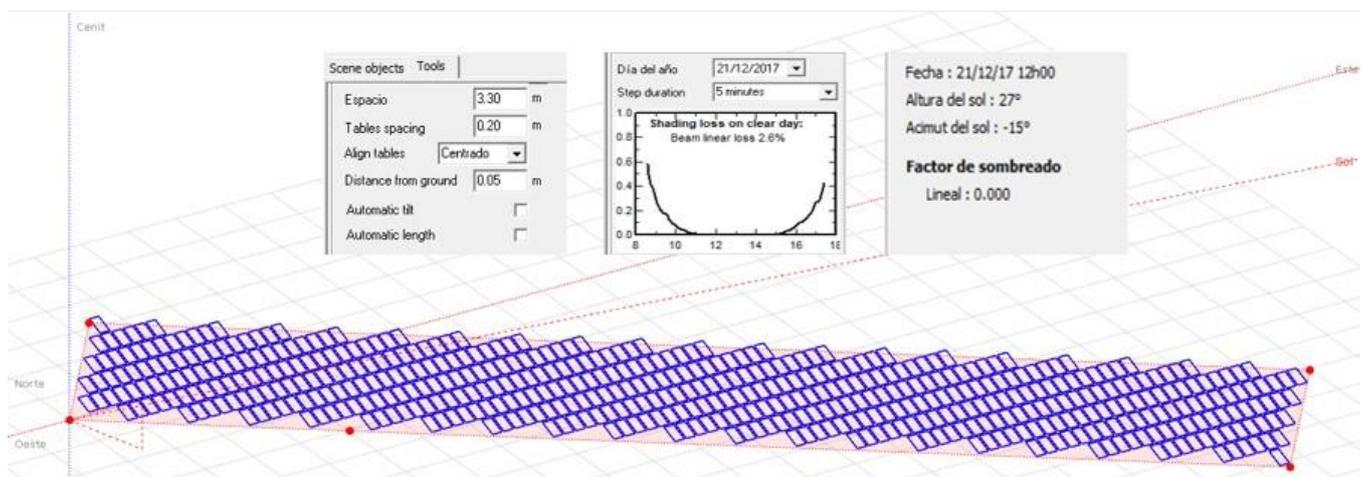


Figura 16. Campo solar a las 12h del 21 de diciembre con 20° de inclinación

## **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

---

Con esta inclinación a simple vista se puede intuir que las sombras provocadas por las propias placas solares van a ser mucho menores que en el caso de 64° de inclinación. De modo que las pérdidas asociadas serían:

<b>Mes</b>	<b>Porcentaje de pérdidas</b>
<b>ENERO</b>	3,2%
<b>FEBRERO</b>	1,3%
<b>MARZO</b>	0%
<b>ABRIL</b>	5,1%
<b>MAYO</b>	3,6%
<b>JUNIO</b>	10,6%
<b>JULIO</b>	8,2%
<b>AGOSTO</b>	5,8%
<b>SEPTIEMBRE</b>	0%
<b>OCTUBRE</b>	0,8%
<b>NOVIEMBRE</b>	1,3%
<b>DICIEMBRE</b>	2,6%

*Tabla 20. Porcentaje de pérdidas por mes con 20° de inclinación*

### 2.5.3. Resultado obtenido del PVsyst a 20°

Al igual que antes, el programa ofrece un informe de los resultados detallando las pérdidas existentes desde la generación de energía eléctrica por parte de las placas fotovoltaicas hasta la llegada de esa electricidad a la estación de bombeo.

**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW  
PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

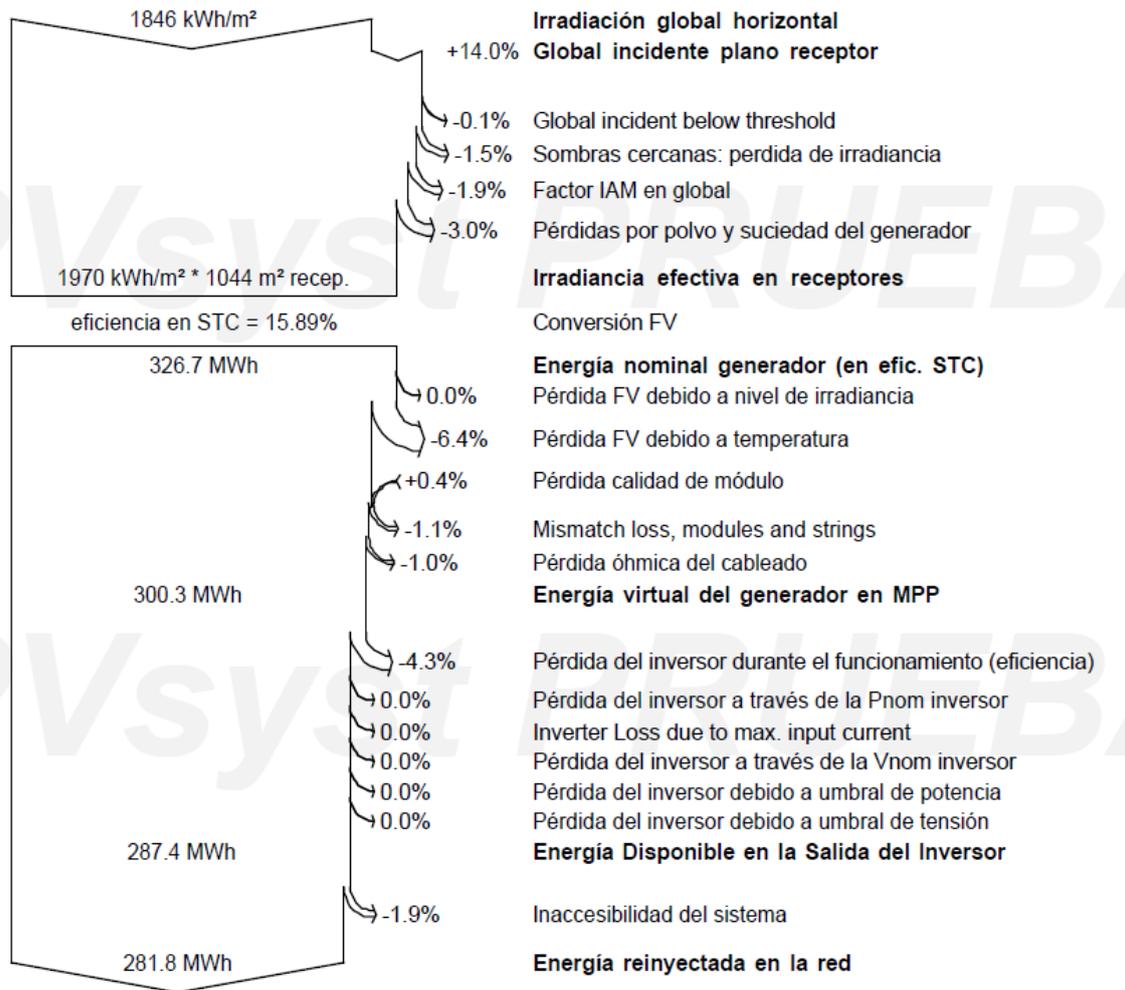


Figura 17. Diagrama de pérdida durante todo el año para 20° de inclinación

**Número de paneles finales = 544 paneles**

Los cuales están conectados de la manera que se proponía anteriormente con 17 módulos conectados en serie y con 32 en paralelo.

En el Gráfico 6 es de gran importancia puesto que muestra la estacionalidad de la generación de energía eléctrica usando un ángulo de 20° de inclinación.

## DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL

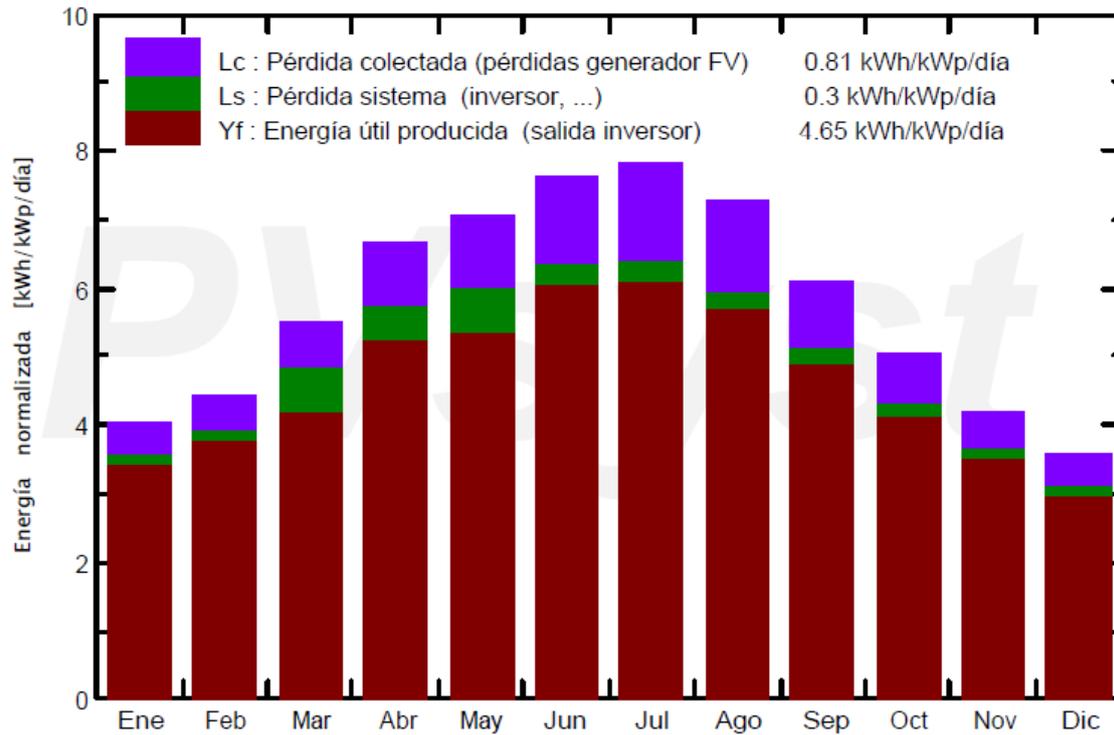


Gráfico 6. Producción normalizada (por kWp instalado) para 20° de inclinación

Como se puede comprobar, esta inclinación presenta una estacionalidad bastante más pronunciada siendo en los meses de verano mayor la energía útil producida a cambio de que en los meses de invierno la producción de electricidad sea bastante menor.

### 2.6. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE AMBAS INCLINACIONES

Comparando la energía total producida en todo el año y los valores máximos y mínimos producidos durante todo el año, se tiene que:

	Inclinación de 20°	Inclinación de 64°
<b>Energía producida</b>	281,8 MWh/año	294 MWh/año
<b>Máxima Energía</b>	33,09 MWh/mes	28,46 MWh/mes
<b>Mínima Energía</b>	16,7 MWh/mes	21,72 MWh/mes

Tabla 21. Comparación entre las dos inclinaciones

De manera que parece evidente que al producir mayor energía al año y tener muy poca estacionalidad, la solución de 64° de inclinación resulta la más favorable para el tipo de instalación en estudio y su modo de funcionamiento. La diferencia entre el máximo y el mínimo en la inclinación de 64° es de 6,74 MWh; en cambio para la inclinación de 20° la variación entre máximo y mínimo es de 16,39 MWh, este dato arroja de manera incuestionable picos de producción eléctrica altos y una gran variación de producción energética entre los meses de invierno y verano.

### 2.7. CONCLUSIONES Y SELECCIÓN DE LA INCLINACIÓN

Analizando los datos aportados por el programa PVsyst, parece que la mejor opción para la instalación solar es aplicar a todas las placas solares una inclinación de 64°, de esta manera se obtendrán los siguientes beneficios:

***DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW  
PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL***

---

- Reducción de la estacionalidad: con esta elección el sistema solar tendrá una producción más constante a lo largo de todo el año.
- Mayor producción eléctrica: se ha obtenido que a pesar de obtener unos máximos inferiores para esta inclinación, en el cómputo anual el sistema produce más energía eléctrica que con una inclinación de 20°.

En el siguiente capítulo se abordará la parte hidráulica de la instalación, por un lado se ajustarán las velocidades de las bombas pertenecientes a la estación de bombeo de manera que el consumo y la producción eléctrica sea lo más parecida posible para un mejor aprovechamiento. Además, se harán diferentes estudios hidráulicos, tanto del permanente como del transitorio hidráulico.

# **CAPÍTULO 3.**

# **PERMANENTE**

# **HIDRÁULICO**

### CAPÍTULO 3. PERMANENTE HIDRÁULICO

En este nuevo capítulo se entra de lleno en la parte hidráulica de la instalación. Esta parte del proyecto es de gran importancia ya que el objetivo final del mismo es llevar agua desde el embalse de Pantanet hasta el embalse de Foia Berenguer.

Los pasos que se seguirán será primero con la ayuda de Google Earth, obtener el perfil del terreno por donde transcurre la tubería de impulsión. Una vez obtenido el perfil, éste se introduce en el modelo de Epanet al igual que la estación de bombeo, la valvulería y los embalses.

Después con los datos obtenidos en el capítulo anterior de generación eléctrica por parte de las placas solares, se ajustará lo máximo posible el giro de las bombas para que su consumo sea lo más parecido posible al generado.

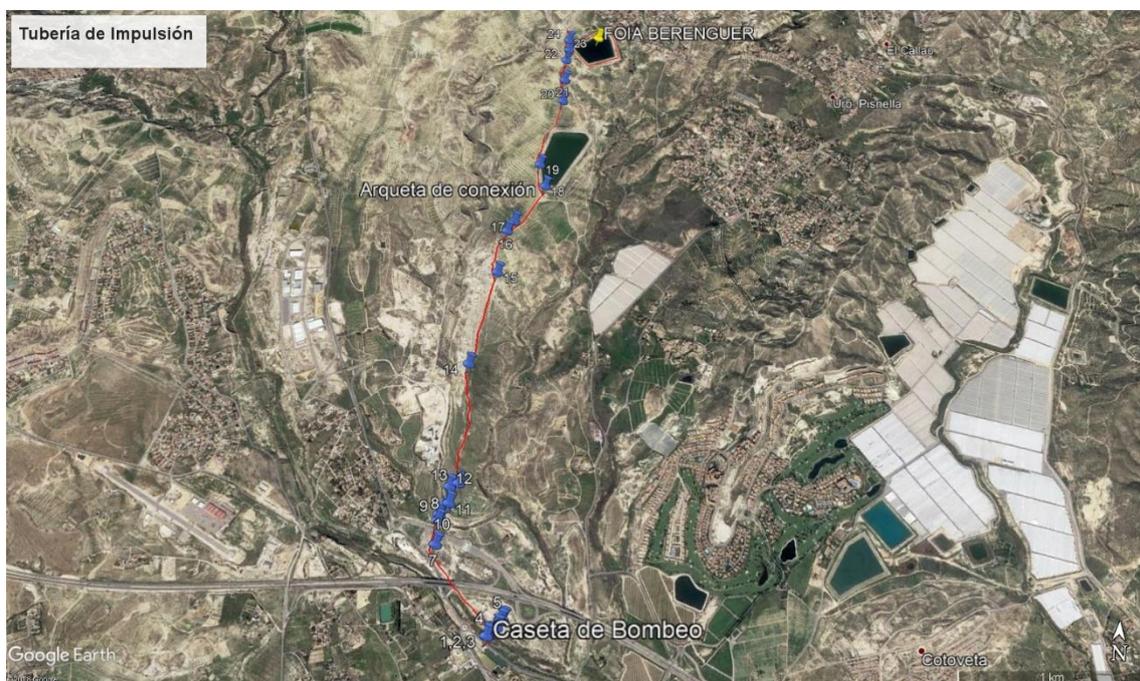


Figura 18. Tubería de Impulsión

# DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALCANTE DE MUTXAMEL

## 3.1. PERFIL Y CONSIDERACIONES INICIALES

El perfil por el que transcurre las tuberías es el que aparece en las siguientes capturas:

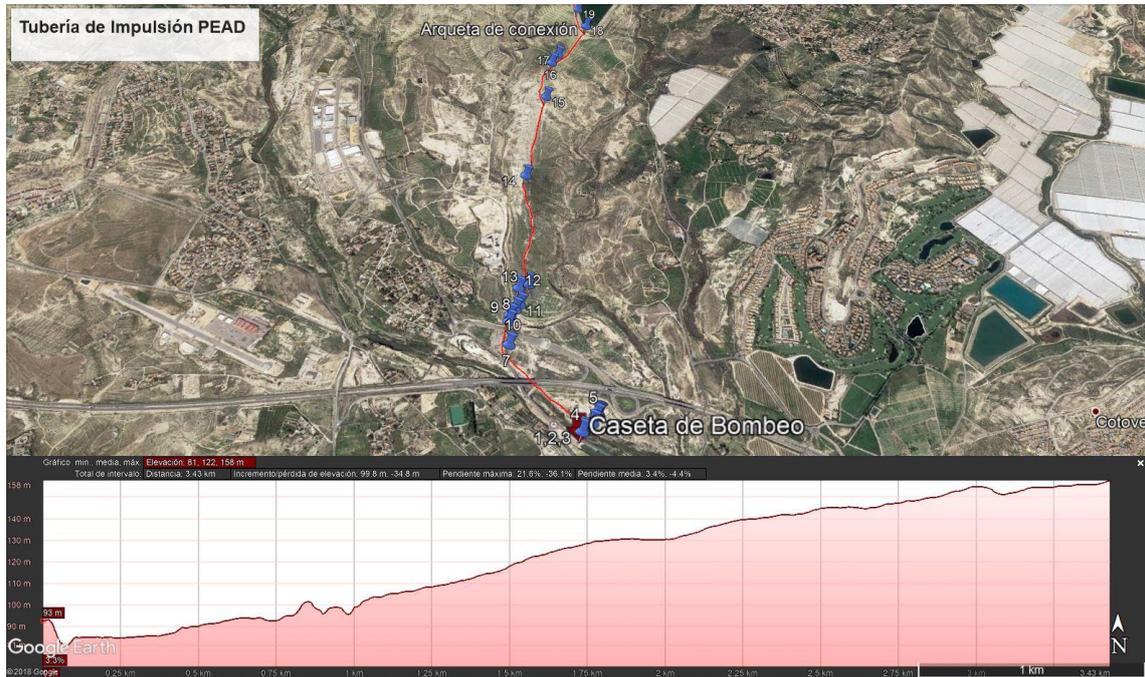


Figura 19. Perfil de impulsión tramo tubería PEAD

En este primer tramo hasta la arqueta de conexión, se puede visualizar que el perfil es claramente ascendente yendo desde los 93 msnm de salida de la caseta de bombeo hasta los 158 msnm que se encuentra la arqueta de conexión y termina el tramo de tubería de PEAD. Este tramo abarca casi los 3.600 m de longitud.

El segundo tramo sería el siguiente:

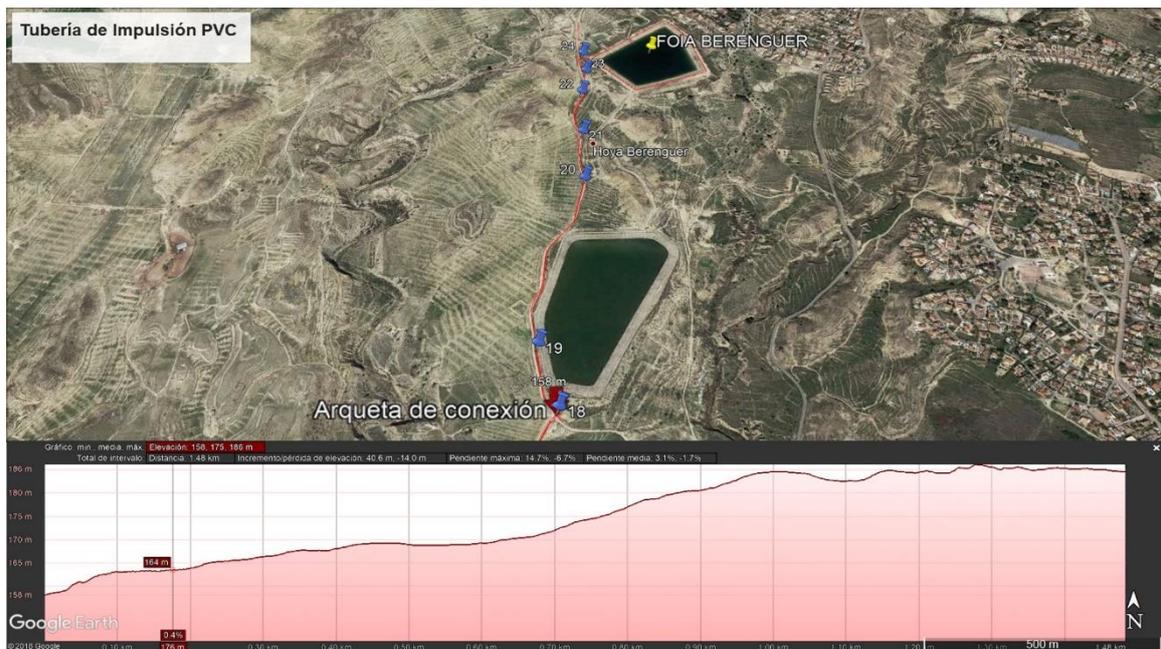


Figura 20. Perfil de impulsión tramo tubería PVC

## **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

---

En este segundo tramo de tubería también hay un perfil ascendente aumentando la elevación desde los 158 msnm hasta los 186 msnm. El tramo de esta tubería corresponde a unos 1.600 m de longitud.

La razón de haber señalado varias veces la tubería en el archivo de Google Earth es porque se pretende que al introducir estos datos en Epanet, los tramos que sean susceptibles de algún tipo de problema como por ejemplo codos pronunciados o máximos o mínimos de elevación estén localizados y puedan ser estudiados de forma detallada.

Para la introducción del modelo en Epanet, es importante recalcar que se va a usar una válvula sostenedora de presión justo a la salida de la tubería de PVC. Esta válvula simulará que el llenado del embalse se hace por arriba, de manera que se evita cualquier tipo de problema de llenado al simular la descarga libre.

De esta manera ya se está en disposición de introducir todos estos parámetros en Epanet.

### **3.2. INTRODUCCIÓN AL PROGRAMA EPANET**

Epanet es un programa de cálculo hidráulico para redes de agua a presión. Su aplicación fundamental se encuentra en el campo de la simulación a lo largo del tiempo del funcionamiento de redes hidráulicas.

Bajo las condiciones de operación que determine el usuario, Epanet resuelve para cada elemento de la red de cada instante de tiempo el valor resultante de:

- Las variables hidráulicas (velocidades, caudales, presiones, etc).
- Las variables de calidad del agua (concentraciones de compuestos).

El usuario introduce las características de cada uno de los elementos de la red: tuberías, depósitos, bombas, etc, así como las pautas de consumo de los usuarios conectados a la red (demanda base y modulación).

Definidas las características anteriores, el programa Epanet permite simular las condiciones de operación de la red, en esencia, los resultados de caudal en cada línea y presión en cada nudo.

#### **3.2.1. ¿Qué se puede hacer con Epanet?**

Epanet nace como una herramienta para facilitar a los abastecimientos el seguimiento y control de la calidad del agua a través de sus redes.

Epanet se ha convertido en el programa de referencia mundial en el análisis de redes hidráulicas. Sus aplicaciones más útiles son:

- Diseño de redes hidráulicas y análisis de funcionamiento.
- Calibración de modelos hidráulicos.
- Análisis de la calidad del agua.
- Simulación de incidencias para toma de decisiones.
- Tareas de gestión de agua dentro del sistema.

Este programa permite adaptarse a cualquier tipo de instalación, ya que pueden definirse los principales elementos hidráulicos existentes en una red de suministro, tales como tuberías, depósitos, bombas, válvulas, etc. También se puede introducir cualquier tipo de material para las conducciones puesto que sólo es necesario conocer las propiedades del mismo.

### 3.2.2. ¿Qué no se puede hacer con Epanet?

Por otro lado, Epanet no permite realizar el cálculo de transitorios hidráulicos, tales como los originados por el arranque o aro de un grupo de bombeo, o los efectos derivados de la manipulación de una válvula.

Tampoco considera inercias ni la elasticidad de algunos materiales, por ejemplo el de conducciones plásticas, y por tanto no tiene en cuenta su capacidad de deformación. El programa no es capaz de resolver las situaciones que generan los cortes de agua.

El programa no es capaz de informarnos si los resultados son físicamente viables o no. El programa solamente resuelve el sistema de ecuaciones y, por tanto, es tarea del usuario interpretar los resultados obtenidos con el programa (Almandoz Redondo, 2005).

### 3.2.3. Motor de cálculo

Epanet tiene en su interior un potente algoritmo de cálculo que permite aproximar la respuesta de una red, fijadas unas características de los elementos que la integran.

La característica básica de los modelos de análisis en hidráulica depende básicamente de la rapidez con que se producen en el tiempo los cambios en las variables más significativas del flujo: presión en los nudos y caudal en las líneas, así como de la modificación de las propiedades del fluido y de las conducciones.

El modelo de simulación hidráulica de Epanet calcula alturas en conexiones y caudales en las líneas para un conjunto fijo de niveles de depósitos, niveles de tanques, y demandas de agua a lo largo de una sucesión de instantes temporales. Desde un instante de tiempo los siguientes niveles de depósitos y demandas en las conexiones son actualizadas de acuerdo con los patrones de tiempo que se le ha asociado mientras que los niveles del tanque son actualizados utilizando los datos solución de caudal.

La solución de altura y caudal en un determinado punto a lo largo del tiempo supone el cálculo simultáneo de la conservación del caudal en cada conexión y la relación de pérdidas que supone su paso a través de las conexiones de todo el sistema.

Éste proceso, conocido como "equilibrado hidráulico de la red", requiere métodos iterativos de resolución de ecuaciones no lineales. Epanet utiliza el "Algoritmo del Gradiente" con este propósito.

El modelo estático constituye la base de Epanet, y es clave en la construcción del modelo cuasi-estático, que también incluye el programa. Este modelo aporta una instantánea del valor de las principales variables hidráulicas de la red.



#### 3.2.3.1. Modelos estáticos

Los modelos estáticos son comúnmente denominados modelos en régimen permanente. En estos modelos se analizan las variables más significativas del sistema sin tener en cuenta su evolución en el tiempo.

## DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL

### 3.2.3.2. Modelos cuasi-estáticos

En estos modelos se desprecia la inercia del fluido, imponiendo en cada instante de cálculo unas determinadas condiciones de contorno. En dicho instante se calculan las variables del sistema aplicando un modelo estático.

Su mayor utilidad es analizar el comportamiento de redes de distribución.

Cuando se desea estudiar las variaciones de presión a lo largo de la red debido a cambios en la demanda o variaciones en los depósitos, se puede considerar que estas variaciones son lo suficientemente pequeñas como para que los cambios de velocidad y presión que inducen en la red sean muy discretas.

La forma de operación que tiene Epanet es fijar unas propiedades de los elementos variables (por ejemplo, la demanda) y el programa calculará la evolución de las variables como si de esquemas superpuestos se tratase. (variación de las presiones, nivel en los depósitos, etc)

### 3.2.3.3. Modelos dinámicos

Los modelos dinámicos simulan estados transitorios analizando las variables más significativas del sistema y su evolución en el tiempo.

Se trata pues de modelos mucho más complejos dado que para cada instante de tiempo es necesario resolver todo un sistema de ecuaciones, cuyo resultado dependerá de las condiciones del instante interior.

Este análisis sobre el programa Epanet, indica que en los estudios de instalaciones de agua, sólo será capaz de analizar instalaciones cuando estén funcionando en régimen permanente, en caso de querer estudiar el régimen transitorio, este programa no sería de utilidad. Es por esta razón por la que se usa Epanet sólo para el cálculo del régimen permanente. Para el estudio del régimen transitorio se usará el programa Allievi, que se presentará en el siguiente capítulo (Almandoz Redondo, 2005).

## 3.3. DEFINICIÓN DEL MODELO EN EPANET

Una vez desgranado el camino que se va a seguir para la introducción de todas las variables en el modelo de Epanet, estamos en disposición de crearlo. Se introducirá 1 embalse, un depósito que se llenará por arriba (simulando un embalse), 2 bombas de velocidad variable, y una válvula sostenedora de presión (para dicho llenado por arriba).

Por todo esto el modelo obtenido es el siguiente:

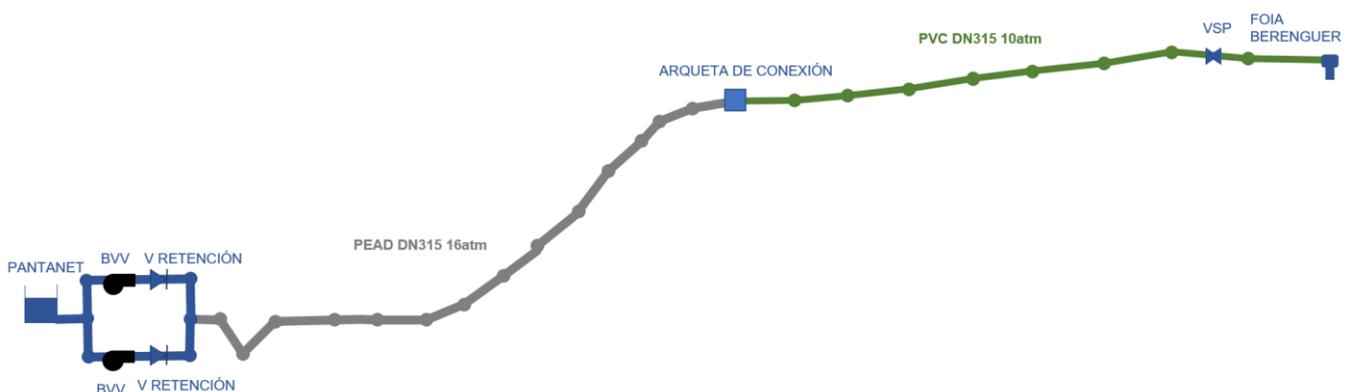


Figura 21. Modelo de Epanet

## **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

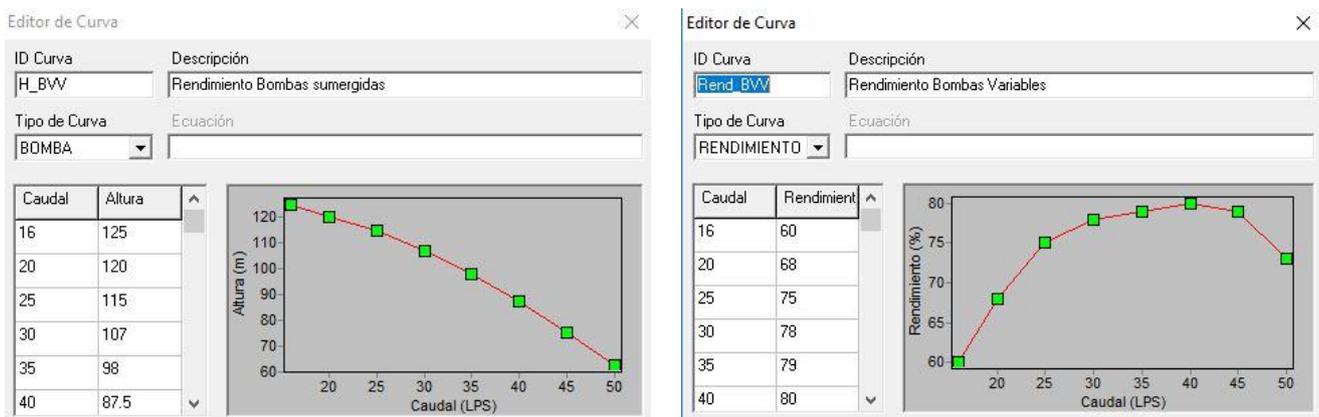
Las tuberías hasta la arqueta de conexión (nudo 18) tienen el tratamiento de tuberías de PEAD y el tramo desde la arqueta hasta Foia Berenguer, tiene el tratamiento de tubería de PVC. Con el diámetro interior estimado en los datos iniciales de 315 mm.

Para tener en cuenta todas las pérdidas localizadas de la tubería de impulsión y la fricción que existe por toda la tubería, se ha decidido mayorar cada tramo un con un 15% en su longitud. De este modo cualquier pérdida existente en la tubería real se suplirá en el modelo con un exceso de longitud.

La entrada a la bomba se hace por parte de un embalse de manera que sólo tenemos que definir la cota a la que se encuentra. En cambio, al final de las tuberías de impulsión se ha optado por un depósito de 500.000 m<sup>3</sup> de capacidad y una altura de 8m, que se corresponde con un D=282,1m:

El nivel inicial del depósito seleccionado es de 5 metros y el nivel máximo de 10m. Al ser llenado por la parte superior del depósito, el cambio de nivel que tendrá el depósito durante el funcionamiento de la instalación no afectará a la curva resistente de la instalación ya que con esta configuración se impulsa el caudal a un punto fijo. Por tanto, los niveles mínimos y máximos, solamente verifica que el depósito se llena y que no se vacía del todo.

Para definir las bombas variables, se han definido las curvas que tenemos como datos del fabricante definiendo las curvas de H-Q y  $\eta$ -Q, quedando de la siguiente manera:



*Figura 22. Curvas características del grupo de bombeo en Epanet*

Una vez realizada toda esta tarea, se simula el modelo para comprobar que los resultados son coherentes. Que existe el buen funcionamiento de las bombas impulsando el caudal dentro de los rangos esperados En este caso sí lo son, ya que, con el funcionamiento normal de ambas bombas, el caudal impulsado es de 59,55 l/s, es decir 29,78 l/s cada bomba y el caudal que habíamos marcado como objetivo era de 30 l/s aproximadamente por tanto estamos en disposición de ajustar la velocidad de las bombas.

### **3.4. AJUSTE DE LA VELOCIDAD DEL GRUPO DE BOMBEO**

El siguiente paso como se comentaba antes es el del ajuste de la velocidad del grupo de bombeo. Para ello se usa el modelo de Epanet creado y se irá simulando cuál es el caudal que llega a Foia Berenguer. El ajuste de esta velocidad será acompasado entre todo el grupo de bombeo.

La forma de proceder será ir probando diferentes valores de velocidad de giro, mirar en el modelo de Epanet cuánto caudal trasiega y con la curva de potencia facilitada por el fabricante saber cuál es la energía necesaria para su correcto funcionamiento.

## **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

---

A esta energía real consumida por las bombas se restará la energía neta que se está generando con las placas solares y por tanto la que llegaría a la estación de bombeo. La energía que llega a la estación de bombeo y la que consumen es difícil de ajustar con exactitud, de modo que se establece un rango de funcionamiento de energía generada menos energía consumida. Esta diferencia deberá estar siempre comprendida entre 0 – 3.000 kWh. De esta manera se asegura que siempre se tenga energía en exceso y así evitar un defecto de energía en el consumo de la estación de bombeo. Por tanto, se aumentará la velocidad de giro de las bombas si tenemos exceso de energía o se reducirá la velocidad en caso contrario. Esta variación de energía será denominada como  $\Delta E^*$  y estará medida en kWh/mes.

Como recordatorio, la potencia nominal del motor se calcula como

$$P_{motor}(W) = \frac{P_{bomba}}{\eta} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{\eta_b \cdot \eta_e} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{\eta_{global}}$$

La Tabla 22 representa solamente una bomba de velocidad variable, la otra que está en paralelo, estará funcionando con las mismas características que ésta.

La forma de crear estas tablas es la que sigue: primero definir las horas que trabaja al mes; después con el modelo de Epanet, imponer un ángulo de giro para la bomba y obtener el caudal impulsado así como su altura de impulsión. Con todo ello, calcular la energía y potencia total consumida para cada mes. El valor de la energía consumida por todo el grupo de bombeo se restará con la energía que llega al grupo de bombeo procedente de las placas solares aplicando todas las sombras y pérdidas definidas en el capítulo 2. De esta manera si no se ajusta esta diferencia de generación-consumo, se recalcula toda la tabla cambiando el ángulo de giro de las bombas hasta conseguir que la diferencia de energía esté dentro de los parámetros definidos anteriormente.

**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW  
PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

Tabla de Evolución - BVV_1													
Datos provenientes del consumo de bombas										Datos de la generación de energía solar			
MESES	Tiempo			Caudal	Giro BVV	Altura	Rend BVV	P. CONS BVV	ENERGÍA	E* TOTAL	E* SIN SOMBRAS PV	Perd sombras	E* CON SOMBRAS
	días	Horas (día)	Horas (mes)	LPS	ALFA	m		kW	kWh/día	kWh/mes	kWh/mes		kWh/mes
ENERO	31,00	9,00	279,00	33,10	1,03	109,50	79,38	41,80	403,06	12.494,85	30.225,26	0,13	26.447,10
FEBRERO	28,00	10,00	280,00	33,10	1,03	109,50	79,38	41,80	447,84	12.539,64	27.561,17	0,01	27.175,31
MARZO	31,00	12,00	372,00	32,01	1,02	108,77	79,01	41,47	518,63	16.077,63	33.828,27	0,00	33.828,27
ABRIL	30,00	12,50	375,00	34,18	1,04	110,20	79,68	42,08	579,58	17.387,42	38.213,46	0,05	36.302,78
MAYO	31,00	13,50	418,50	32,01	1,02	108,77	79,01	41,47	583,46	18.087,34	45.248,64	0,15	38.461,35
JUNIO	30,00	14,00	420,00	32,01	1,02	108,77	79,01	41,47	605,07	18.152,17	46.137,40	0,16	38.755,41
JULIO	31,00	14,00	434,00	30,91	1,01	108,02	78,59	41,09	583,40	18.085,39	45.578,69	0,17	37.830,31
AGOSTO	31,00	13,50	418,50	30,91	1,01	108,02	78,59	41,09	562,56	17.439,48	40.326,86	0,08	37.100,71
SEPTIEMBRE	30,00	12,00	360,00	33,10	1,03	109,50	79,38	41,80	537,41	16.122,39	34.150,55	0,00	34.150,55
OCTUBRE	31,00	11,50	356,50	32,01	1,02	108,77	79,01	41,47	497,02	15.407,73	33.471,68	0,02	32.936,13
NOVIEMBRE	30,00	10,00	300,00	33,10	1,03	109,50	79,38	41,80	447,84	13.435,33	32.628,99	0,13	28.419,85
DICIEMBRE	31,00	9,00	279,00	33,10	1,03	109,50	79,38	41,80	403,06	12.494,85	32.466,54	0,18	26.492,70
										187.724,24	439.837,52		397.900,50

Tabla 22. Consumo de una BVV

Tabla de Evolución - Consumo total															
Datos provenientes del consumo de bombas										Datos de la generación de energía solar					ΔE*
MESES	Tiempo			Caudal	LPS TOT	Caudal necesario	Rend BVV	P. CONS TOTAL	ENERGÍA	E* TOTAL	E* SIN sombras	Perd sombras	E* CON sombras	E* CON TODAS LAS PÉRDIDAS	
	días	Horas (día)	Horas (mes)	LPS TOT	al día	LPS (al día)		kW	kWh/día	kWh/mes	kWh/mes		kWh/mes	kWh/mes	kWh/mes
ENERO	31,00	9,00	279,00	66,19	595,71	432,00	79,38	83,61	806,12	24.989,71	30.225,26	0,13	26.447,10	26.039,82	1.050,11
FEBRERO	28,00	10,00	280,00	66,19	661,90	432,00	79,38	83,61	895,69	25.079,28	27.561,17	0,01	27.175,31	26.756,81	1.677,53
MARZO	31,00	12,00	372,00	64,01	768,12	432,00	79,01	82,95	1.037,27	32.155,27	33.828,27	0,00	33.828,27	33.307,32	1.152,05
ABRIL	30,00	12,50	375,00	68,35	854,38	432,00	79,68	84,17	1.159,16	34.774,83	38.213,46	0,05	36.302,78	35.743,72	968,89
MAYO	31,00	13,50	418,50	64,01	864,14	432,00	79,01	82,95	1.166,93	36.174,68	45.248,64	0,15	38.461,35	37.869,04	1.694,36
JUNIO	30,00	14,00	420,00	64,01	896,14	432,00	79,01	82,95	1.210,14	36.304,34	46.137,40	0,16	38.755,41	38.158,58	1.854,24
JULIO	31,00	14,00	434,00	61,81	865,34	432,00	78,59	82,18	1.166,80	36.170,78	45.578,69	0,17	37.830,31	37.247,73	1.076,95
AGOSTO	31,00	13,50	418,50	61,81	834,44	432,00	78,59	82,18	1.125,13	34.878,97	40.326,86	0,08	37.100,71	36.529,36	1.650,39
SEPTIEMBRE	30,00	12,00	360,00	66,19	794,28	432,00	79,38	83,61	1.074,83	32.244,79	34.150,55	0,00	34.150,55	33.624,64	1.379,85
OCTUBRE	31,00	11,50	356,50	64,01	736,12	432,00	79,01	82,95	994,05	30.815,47	33.471,68	0,02	32.936,13	32.428,91	1.613,45
NOVIEMBRE	30,00	10,00	300,00	66,19	661,90	432,00	79,38	83,61	895,69	26.870,66	32.628,99	0,13	28.419,85	27.982,19	1.111,53
DICIEMBRE	31,00	9,00	279,00	66,19	595,71	432,00	79,38	83,61	806,12	24.989,71	32.466,54	0,18	26.492,70	26.084,71	1.095,00
										375.448,47	439.837,52		397.900,50	391.772,83	

Tabla 23. Consumo del grupo de bombeo

## DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL

De esta manera, una vez definidos los puntos de funcionamiento de nuestra instalación podemos realizar nuestra curva de consigna.

Para crear la curva de consigna tan sólo se ha unido los puntos de funcionamiento que nos ofrecía el modelo de Epanet, una vez que ya se han ajustado los valores de giro de las bombas y se han representado gráficamente todos los puntos de funcionamiento.

Esta curva será la que nos propondremos como objetivo para seguir durante el funcionamiento de nuestra instalación.

Puntos de funcionamiento con diferentes velocidades de la BVV

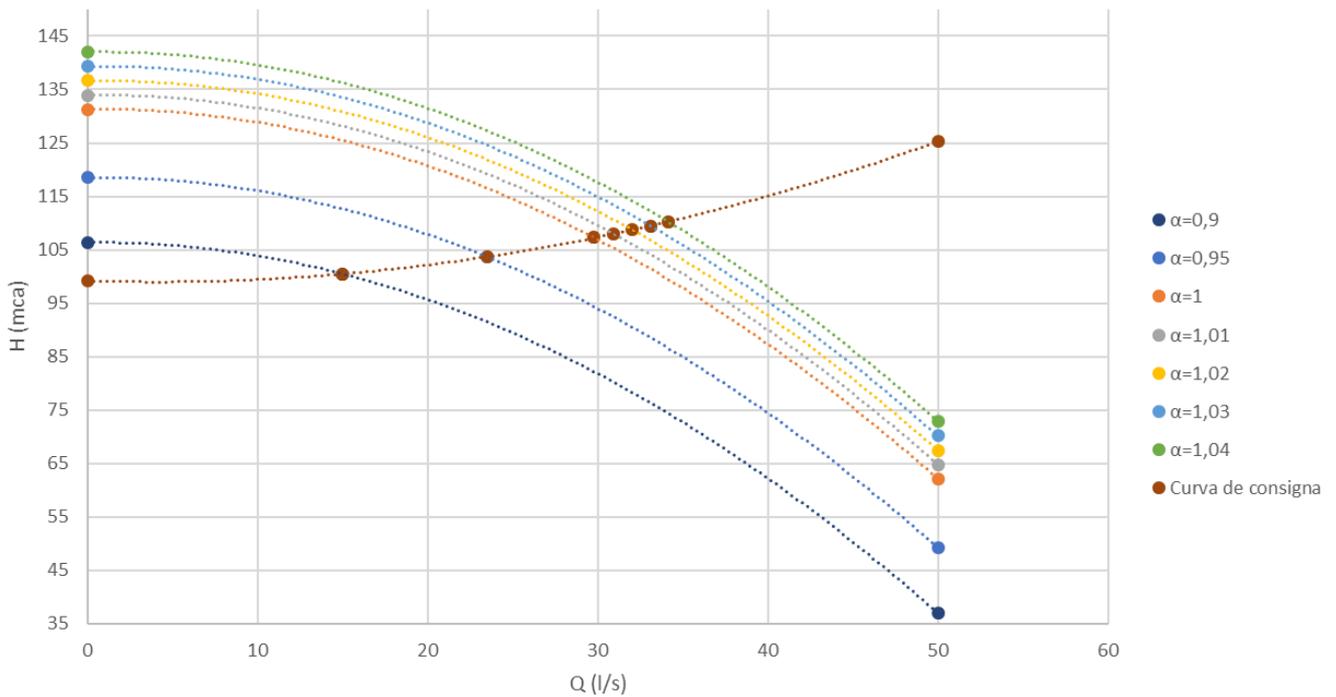


Gráfico 7. Puntos de funcionamiento de 1 BVV

GIRO	Q	H
α=0,9	14,99	100,52
	0	106,37
	50	36,96
α=0,95	23,53	103,65
	0	118,52
	50	49,21
α=1	29,77	107,28
	0	131,32
	50	62,12
α=1,01	30,91	108,02
	0	133,96
	50	64,77
α=1,02	32,01	108,77
	0	136,63
	50	67,46
α=1,03	33,1	109,5
	0	139,32
	50	70,17
α=1,04	34,18	110,2
	0	142,03
	50	72,91

Tabla 24. Datos de los puntos de funcionamiento de la BVV

## ***DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL***

---

De esta manera ya están definidos todos los valores que entran en juego para que el sistema permanente de impulsión de agua por la tubería funcione de manera correcta y sin ningún tipo de problema.

### **3.5. CONCLUSIONES**

En este capítulo, se ha definido el régimen permanente de la instalación y se han establecido los puntos de operación con los que trabajará todo el sistema. Además, se ha ajustado que la energía generada en el capítulo anterior sea muy parecida a la consumida en la estación de bombeo, gracias a la posibilidad de regular la velocidad de giro de las bombas.

Por tanto, el siguiente paso es proteger la instalación. Y para ello tenemos que estudiar el transitorio hidráulico de nuestro sistema. Todo esto lo desarrollaremos en el capítulo siguiente.

# **CAPÍTULO 4.**

# **ESTUDIO DEL**

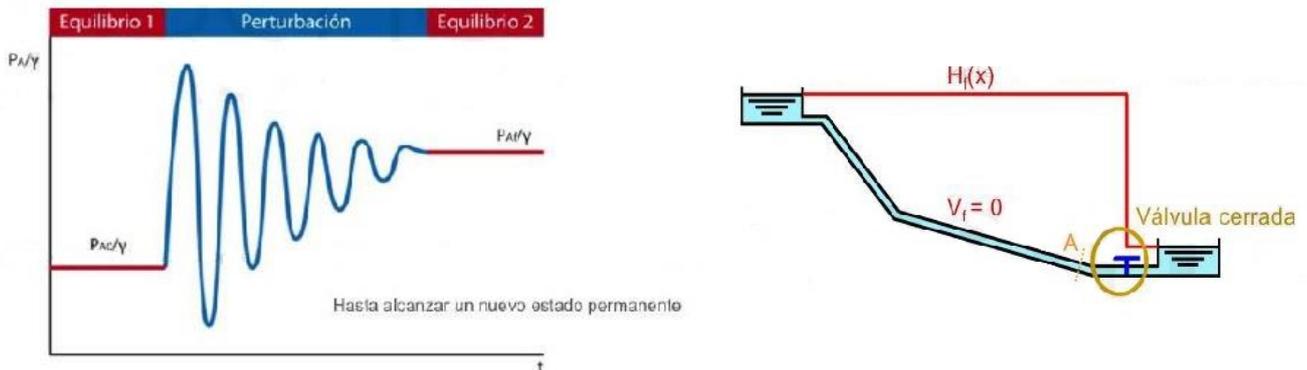
# **TRANSITORIO**

# **HIDRÁULICO**

## CAPÍTULO 4. ESTUDIO DEL TRANSITORIO HIDRÁULICO

### 4.1. INTRODUCCIÓN

Los transitorios hidráulicos están originados por la variación de las condiciones de operación que se dan en un sistema, como por ejemplo el grado de apertura de una válvula o el cambio de una velocidad de una válvula. De manera muy simplificada, lo que ocurre es que un sistema que inicialmente está en equilibrio se ve afectado por alguna perturbación. Esta perturbación provoca un régimen transitorio que va evolucionando hasta estabilizarse de nuevo.



*Figura 23. Ejemplo transitorio hidráulico al cierre de una válvula. Fuente: Abreu, 2012*

En la Figura 23, está representado un ejemplo simple del efecto del transitorio hidráulico para el caso de un cierre de válvula en una línea de tuberías entre dos depósitos donde la conducción del agua entre ellas se hace por gravedad.

En este ejemplo, al inicio, en régimen permanente, existe un equilibrio. Este equilibrio está caracterizado porque mantiene un caudal y una presión determinada en los diferentes puntos del sistema. Al cerrar la válvula, se induce al sistema a cambios puntuales que derivan en una alteración del estado de equilibrio, originando diferentes oscilaciones de presión que poco a poco se atenúan. Es decir, existe un intercambio entre energía cinética del caudal a energía de presión volviendo por último a energía cinética.

Cuando se ha estabilizado la perturbación se alcanza un nuevo equilibrio cuyas características no tienen por qué coincidir con las iniciales.

De manera general se puede decir que las perturbaciones más bruscas originarán transitorios más rápidos mientras que las perturbaciones ligeras provocan efectos más reducidos e incluso inapreciables en el sistema. Es por ello que, en primera instancia, al programar el cierre controlado de las válvulas de nuestra instalación, se harán de forma sensible para atenuar lo más posible el efecto del transitorio hidráulico.

En instalaciones de bombeo, como es nuestro caso el de una impulsión, el transitorio más desfavorable suele presentarse tras el paro repentino de todas las bombas en marcha por interrupción del suministro eléctrico. Es por ello, que nos interesará modelar sistemas de protección que eviten roturas de tuberías por excesivas presiones durante el transitorio (Abreu, 2012).

## 4.2. CONSECUENCIAS NEGATIVAS DEL TRANSITORIO HIDRÁULICO

Como hemos explicado anteriormente, en conductos a presión el problema de los transitorios viene originado por las variaciones de presión que se pueden dar en la instalación como consecuencia de una perturbación.

Los principales efectos negativos derivados del transitorio hidráulico pueden ser:

- Presiones excesivas.
- Presiones inferiores a la presión atmosférica.
- Presiones inferiores a la tensión de vapor.

### 4.2.1. Presiones excesivas

Las ondas de sobrepresión que se originan en los transitorios hidráulicos, al alcanzar determinados puntos de la instalación, pueden originar presiones muy elevadas que provoquen la rotura del elemento más débil, como por ejemplo una tubería parcialmente corroída. Las presiones máximas de la instalación se alcanzan cuando se produce el paro de las bombas o el cierre de una válvula, es en este momento en el que si el tiempo de cierre o de paro es menor al tiempo que tarda la onda de sobrepresión en su viaje de ida y vuelta por toda la tubería cuando se pueden producir graves fallos de la instalación.

Las altas presiones que se producen en el transitorio pueden superar la resistencia de los diferentes elementos en la conducción o de la propia tubería de conducción, llegando a provocar fisuras o roturas en ellas.

### 4.2.2. Presiones inferiores a la presión atmosférica

De forma contraria al caso anteriormente descrito, las ondas de presión que llegan a un determinado punto de la instalación reducen su valor significativamente, pudiendo incluso alcanzar valores inferiores a la presión atmosférica.

De esta manera si una tubería es sometida a presiones negativas, y además se trata de un material elástico con una relación espesor/diámetro suficientemente baja, es probable que sufra una reducción de su sección útil, o incluso que llegue a colapsar.

Hay que tener en cuenta que una tubería esta generalmente diseñada para trabajar a tracción axial o circunferencial bajo los efectos de la presión, y no siempre contempla en su funcionamiento la posibilidad de que la presión pueda ser negativa.



Figura 24. Ejemplo de colapso de una tubería

Una de las graves consecuencias de este fallo es que si en la tubería existen grietas o pequeñas roturas se puede producir un efecto conocido como intrusión patógena. La intrusión patógena es el acceso de elementos extraños que están en contacto con la tubería por el exterior y que pasan al caudal de agua. Este caso es especialmente grave si se trata de un sistema de abastecimiento.

#### 4.2.3. Presiones inferiores a la tensión de vapor

El caso más desfavorable en lo que se refiere a la aparición de presiones negativas se produce cuando la presión mínima durante el transitorio alcanza valores inferiores a la tensión de vapor, LPV.

Cuando la presión en algún punto de la tubería alcanza la tensión de vapor líquido, éste entra en ebullición con formación de vapor en el interior de la conducción. A este fenómeno se le denomina separación de la columna líquida.

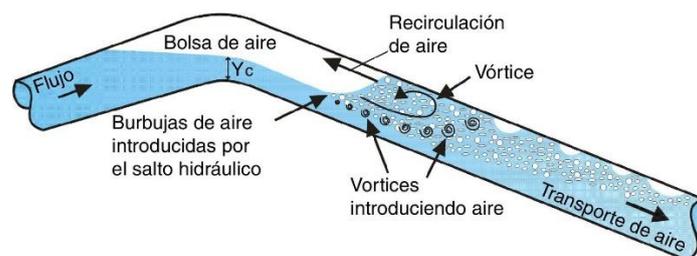


Figura 25. Ejemplo de separación de columna líquida

Al colapsar la bolsa de vapor, el choque entre las columnas líquidas puede producir un pulso de presión importante. Las presiones máximas suelen ser mayores que en el caso de no producirse separación de columna.

*Presión > Tensión de vapor: Choque de las columnas líquidas*

Algunos efectos derivados de este fenómeno son:

- Pulsos de presión importante en el sistema hidráulico
- Rotura de tuberías y fallos en el suministro de agua.



*Figura 26. Ejemplo rotura de tubería*

Una vez que se conoce como se producen los transitorios hidráulicos y sus posibles consecuencias, se presenta una hoja de ruta para prevenir los desastres generados por los transitorios hidráulicos.

#### 4.3. FASES DE EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS

En conductos a presión, la consecuencia más importante de los transitorios hidráulicos es el peligro de rotura de tuberías y demás componentes del sistema, tanto por presiones altas como por depresiones.

Por ello, la línea de actuación que vamos a seguir para prevenir los desastres del transitorio hidráulico es:



*Gráfico 8. Hoja de ruta de análisis del sistema*

1. Diagnosticar: debemos definir el sistema, los límites de seguridad y las condiciones que son aceptables o no. Además de todas las posibles causas de fallo con los escenarios con mayor riesgo.
2. Formular: esbozar la línea de alturas piezométricas e identificar los puntos críticos.
3. Proteger: identificar las estrategias de protección y diseñar los posibles dispositivos.

#### 4.4. DESCRIPCIÓN DE LAS POSIBLES PROTECCIONES

Las estrategias de protección se pueden agrupar en tres grandes grupos como son:

1. Brindarle al sistema suficiente resistencia mecánica.
2. Aumentar los tiempos de maniobra.
3. Diseñar dispositivos de protección.

## **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

---

### 4.4.1. Brindarle más resistencia mecánica

Se puede proporcionar mucha resistencia mecánica a los elementos del sistema. Con esto se consiguen soportar los valores extremos de presión en el caso de un transitorio desfavorable. Esta solución lleva asociada las siguientes ventajas e inconvenientes:

- VENTAJA: simplicidad en la decisión.
- INCONVENIENTE: aumento de peso y coste de los componentes.

Es decir, se podría cambiar el timbraje de las tuberías o aumentar el espesor de las mismas.

En la instalación en estudio, esta solución no se contemplará, puesto que una de las bases del proyecto es que se reutilice una tubería de impulsión previamente instalada para obtener un ahorro económico en la puesta en marcha de la instalación.

### 4.4.2. Aumentar el tiempo de maniobra

Al aumentar los tiempos de maniobra de válvulas y bombas disminuye la amplitud de las oscilaciones de presión hasta alcanzar las nuevas condiciones de equilibrio. Las ventajas e inconvenientes de esta solución son:

- VENTAJA: simplicidad de solución.
- INCONVENIENTE: el tiempo de maniobra puede ser excesivo.

Este sistema además tiene otro inconveniente asociado que se produce en caso de un fallo en el suministro eléctrico. Si esto ocurre la parada será simultánea en todas las bombas puestas en marcha, sin posibilidad de actuación sobre ellas.



*Figura 27. Cuadro estación de bombeo*

### 4.4.3. Diseño de dispositivos de protección

Se pueden instalar dispositivos de protección frente a transitorios hidráulicos cuyo objetivo es disminuir la amplitud de las oscilaciones de presión. Clasificándolos en dos grandes grupos que son: dispositivos de acción directa y dispositivos de acción indirecta.

#### 4.4.3.1. *Dispositivos de protección de acción directa*

Los dispositivos de acción directa son aquellos que intervienen directamente en la generación del transitorio. Un ejemplo de acción directa sería el cierre controlado de una válvula, a la cual se le impone una maniobra de apertura/cierre que origine unas determinadas oscilaciones de presión.

## **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

Estos dispositivos se instalan para actuar sobre la causa que genera el transitorio y desde el instante inicial en que comienza la perturbación. Los dispositivos más comunes son:

- Volantes de inercia.
- Válvulas de retención.
- Válvulas de cierre programado.



*Figura 28. Dispositivos de acción directa*

### *4.4.3.2. Dispositivos de protección de acción indirecta*

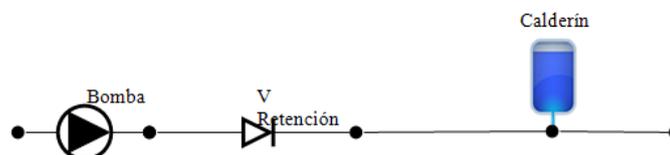
Los dispositivos de acción indirecta actúan una vez el transitorio se ha producido, pero intentando limitar sus efectos. Su comportamiento está prefijado, seleccionando sus especificaciones en función de la magnitud del transitorio y de las necesidades de protección del sistema.

- VENTAJA: permiten disminuir las necesidades de resistencia mecánica de los componentes del sistema.
- INCONVENIENTE: mantenimiento muy exigente para que nunca se produzcan fallos en su funcionamiento. En muchas ocasiones además supone un importante coste económico inicial.

A continuación, se definen los métodos de protección indirecta más usados.

#### *4.4.3.2.1. Calderines*

Es uno de los dispositivos de protección más utilizados, particularmente de bombeo, frente al transitorio originado por la parada accidental de las bombas. Se trata de una reserva de gas (aire o nitrógeno) que actúa como un colchón a modo de resorte, permitiendo amortiguar las oscilaciones de presión, por ejemplo tras el fallo de suministro eléctrico a una estación de bombeo (EB).



*Figura 29. Disposición de un calderín*

Lo que sucede tras la desconexión de la bomba, la inercia del agua que trata de seguir circulando genera una onda de depresión que se transmite hacia aguas debajo de la tubería de impulsión.

Posteriormente, cuando el agua retrocede a lo largo de esta tubería, la válvula de retención se cierra, originando con ello una onda de sobrepresión que se transmite a su vez a lo largo de la tubería de impulsión.

## **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

---

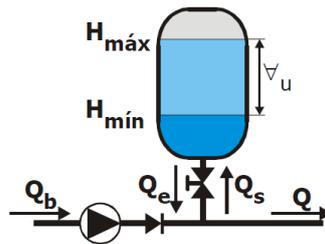
Al incorporar un calderín en un sistema de impulsión, la presión en su interior cierra la válvula de retención en el momento en que se desconectan las bombas. A su vez, el agua va saliendo del calderín para continuar alimentando la impulsión, el gas en su interior se expande, y la presión disminuye en su interior. De esta forma no se origina una caída de presión tan significativa. Por tanto, el calderín origina una evolución de caudal más controlada, y mucho más lenta que si éste no estuviese.

De esta manera logramos pasar de un fenómeno transitorio rápido a uno más lento, y esto se parecía perfectamente en la envolvente de las alturas piezométricas.

De forma más concreta, el funcionamiento del calderín se divide en dos fases: expansión y compresión del gas.

**Expansión del gas:** tras la parada de la bomba y el cierre de la válvula de retención, la tubería continúa alimentándose del agua almacenada en el calderín, lo que provoca la expansión del gas. Interesan pocas pérdidas en el flujo de aporte para que las presiones mínimas no bajen excesivamente.

**Compresión del gas:** en el flujo de retorno el agua va entrando y comprimiendo el gas, esto hace que las presiones máximas no sean tan elevadas. Interesan pérdidas altas en el flujo de retorno, para disipar la energía cinética del agua.



*Figura 30. Expansión y Compresión del gas en el calderín*

### 4.4.3.2.2. Chimeneas de equilibrio

Es un dispositivo recomendable en bombeos de pequeña altura de impulsión con tubería de gran longitud, o que tenga algún punto elevado en su perfil. Su principal finalidad es aportar o acumular agua, en función de la etapa del transitorio.

Las chimeneas de equilibrio son grandes estructuras cuyo principal objetivo es proteger la instalación de los efectos transitorios al imponer la altura piezométrica en un punto de conexión aproximadamente igual al nivel del agua en su interior. La columna de agua dentro de la chimenea impide que la presión en su punto de conexión tome valores negativos.

Con las chimeneas de equilibrio se logra laminar los picos de presión, amortiguando tanto las sobrepresiones como depresiones.

Su gran limitación es que requieren ser instaladas en puntos altos donde la diferencia entre la altura piezométrica y la cota geométrica de la tubería sea discreta.

## **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

---



*Figura 31. Chimenea de equilibrio*

Es muy importante tener presente a la hora de realizar el dimensionado de la chimenea, que un diseño muy ajustado puede producir oscilaciones del nivel del agua en su interior, con el consiguiente peligro de vaciado o desbordamiento.

En ningún caso se deberá de permitir ni el vaciado ni desbordamiento de la chimenea. El vaciado provocaría la entrada de aire al interior de la tubería principal. El desbordamiento originaría inundaciones o daños por agua en el entorno del punto de ubicación de la chimenea de equilibrio.

### **4.4.3.2.3. Tanques unidireccionales**

El tanque unidireccional es un dispositivo bastante similar a la chimenea de equilibrio, con la diferencia de que cuenta con una válvula de retención instalada en el tramo de conexión. Esta válvula tiene la función de impedir la entrada de agua desde la tubería hacia el tanque.



*Figura 32. Tanque unidireccional*

Cuando se instala un tanque unidireccional, logramos limitar las depresiones generadas en un transitorio, ya que este dispositivo tiene como misión aportar agua al sistema.

El tanque unidireccional no controla las sobrepresiones, ya que la válvula de retención instalada en la tubería de conexión impide que le entre caudal desde la tubería principal.

Una vez que llegan las ondas al tanque unidireccional, éstas se fraccionan de manera que se transmite la parte de la onda que queda por arriba del nivel libre del agua en el tanque, y se refleja la parte de la onda que queda por debajo de este nivel.

## **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

---

Para la instalación debemos considerar un tramo de conexión de gran diámetro y pequeña longitud, además de las características de la válvula de retención que instalaremos a la salida del tanque unidireccional.

A diferencia de las chimeneas, el nivel del agua en el tanque en condiciones de régimen se encuentra siempre por debajo de la línea de alturas piezométricas de la instalación. Por ello la altura del tanque unidireccional es menos que la altura requerida por una chimenea de equilibrio conectada al mismo punto de la tubería.

Con todo esto el tanque unidireccional tiene dos grandes inconvenientes:

1. El tanque unidireccional empieza a regular el transitorio en el momento en que la altura piezométrica del punto de conexión con la tubería alcanza el nivel del agua en su interior. Ello puede originar una deficiente protección frente a las depresiones en la parte de la instalación situada aguas abajo de su posición.
2. El coste de mantenimiento tanto de la válvula de retención como de la válvula de llenado es alto. Esta operación queda agravada en ocasiones por la dificultad de acceso que puede tener el punto de instalación del tanque.

### 4.4.3.2.4. Ventosas

Las ventosas son dispositivos que permiten controlar las depresiones producidas en el interior de las conducciones durante el transitorio. Al caer la presión por debajo de la presión atmosférica, las ventosas abren y permiten la entrada de aire a la conducción.

De esta manera se evita que la presión baje por debajo de la presión atmosférica, al menos en la zona de influencia de la ventosa.



*Figura 33. Ventosa*

Una ventosa típica cuenta internamente con un flotador que se encarga de abrir o cerrar el orificio de conexión con la atmósfera. Con presión interior menor que la atmosférica el flotador cae, abriendo la ventosa y entrando aire al interior de la conducción. Con presión interior mayor que la atmosférica el aire es expulsado y el flotador va subiendo arrastrado por el agua. Cuando

## DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL

se ha expulsado todo el aire, el flotador cierra la ventosa. Una vez cerrada la ventosa, solamente se puede abrir si la presión interior desciende por debajo de la presión atmosférica.

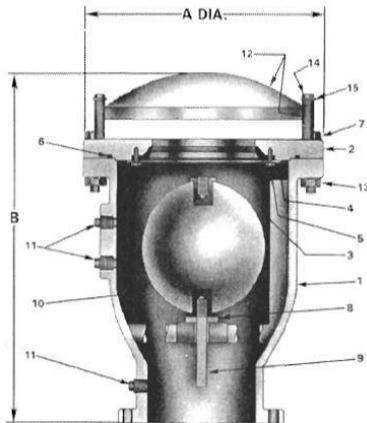


Figura 34. Esquema Ventosa

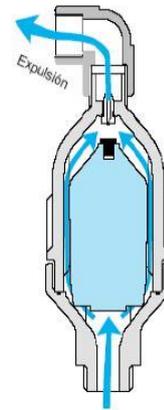


Figura 35. Esquema purgador

Existen en el mercado una gran variedad de tipos y formas constructivas de ventosas. Sin embargo, es importante conocer las diferencias entre cada uno de estos tipos, puesto que una elección inadecuada puede generar más problemas que soluciones.

Otra desventaja asociada a este tipo de dispositivos es que una vez instaladas, han de tener un mantenimiento adecuado de manera que respondan como es de esperar cuando la presión interior baje por debajo de la presión atmosférica.

Las ventajas que ofrecen estos dispositivos son:

1. Gran capacidad de admisión, para evitar que las presiones en el interior de la tubería alcancen valores por debajo de la presión atmosférica.
2. Baja capacidad de expulsión, para evitar picos de presión importantes producidos por el cierre brusco de la ventosa.



Figura 36. Mal mantenimiento de una ventosa

La acción de las ventosas como dispositivos de protección son muy difíciles de modelar. Ello es así porque el aire que admiten puede desplazarse a lo largo de las tuberías, y este hecho no se puede tener en cuenta en los modelos de simulación de transitorios hidráulicos.

## **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

---

Es por esto que su utilización queda reservada para los casos en los que sean estrictamente necesario como es el caso de la rotura de tuberías (Espert, 2004).

### 4.4.3.2.5. Válvulas de alivio

Las válvulas de alivio es una medida de acción indirecta sobre el transitorio y están diseñadas para aliviar la presión cuando el fluido supere una presión preestablecida, presión de tarado.

La principal misión de este elemento es evitar la rotura total o parcial del sistema por un exceso de presión.



*Figura 37. Válvula de alivio comercial*

El mecanismo de alivio consiste en un tapón que mantiene cerrado la vía de escape. Un resorte calibrado con la presión de tarado mantiene este tapón en posición evitando que el fluido escape. Cuando la presión interna supera la presión de tarado del resorte, éste cede y el fluido escapa. Una vez que la presión interna disminuye el tapón regresa a su posición original. También existen válvulas más modernas que cuentan con electrónica en vez del sistema mecánico descrito anteriormente.

Este sistema de protección tan solo protege frente a rotura, no disminuye el transitorio hidráulico que lo está provocando.

## 4.5. MODELADO EN ALLIEVI

### 4.5.1. Motor de cálculo del programa

Como hemos comentado anteriormente, para resolver el transitorio hidráulico vamos a usar como software el programa Allievi. La formulación de los fenómenos transitorios no es nada sencilla es por ello que resolver un sistema de ecuaciones como el que vamos a describir a continuación requiere de métodos que permitan obtener soluciones fiables con un reducido coste computacional.

Para la resolución de los transitorios hidráulicos, el procedimiento más utilizado es el método de las características. Todo empieza con la formulación de las ecuaciones diferenciales que definen el transitorio. De forma sencilla las ecuaciones tienen la siguiente forma:

$$\frac{a^2}{gA} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial t} = 0 \quad \text{Representa la Ec de conservación de la masa}$$
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + f \frac{Q|Q|}{2DA} = 0 \quad \text{Representa la Ec de conservación de la cantidad de movimiento}$$

Esta modelación matemática busca resolver el sistema de ecuaciones anterior para puntos de la tubería separados una distancia  $\Delta x$ , y para instantes de tiempo separados en intervalo  $\Delta t$ . El

## DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL

método calcula la altura piezométrica y el caudal en estos puntos de la tubería para los correspondientes instantes de tiempo.

Al final, las ecuaciones a resolver tienen la siguiente forma:

$$C^+ : H_i^{n+1} - H_{i-1}^n + \frac{a}{gA} [Q_i^{n+1} - Q_{i-1}^n] + \frac{f \Delta x}{2gDA^2} Q_{i-1}^n |Q_{i-1}^n| = 0$$

$$C^- : H_i^{n+1} - H_{i+1}^n - \frac{a}{gA} [Q_i^{n+1} - Q_{i+1}^n] - \frac{f \Delta x}{2gDA^2} Q_{i+1}^n |Q_{i+1}^n| = 0$$

Allievi utiliza este método de las características como el motor de cálculo de sus algoritmos. Esto posibilita al software la posibilidad de calcular tanto sistemas simples como en redes malladas o ramificadas (Abreu, 2012).

### 4.5.2. Modelado del caso de estudio en Allievi

Una vez que ya es conocido cómo funciona el software que vamos a usar, es momento de modelar el caso real. Para ello es preciso recordar el perfil de tubería con el que se trabaja:



Figura 38. Perfil completo de la tubería de impulsión

Al tener dos tuberías de diferente composición desde el inicio hasta la arqueta de impulsión y de la arqueta hasta Foia de Berenguer, por ello se divide en dos tuberías diferentes y en cada una de ellas se introduce el perfil en el software:

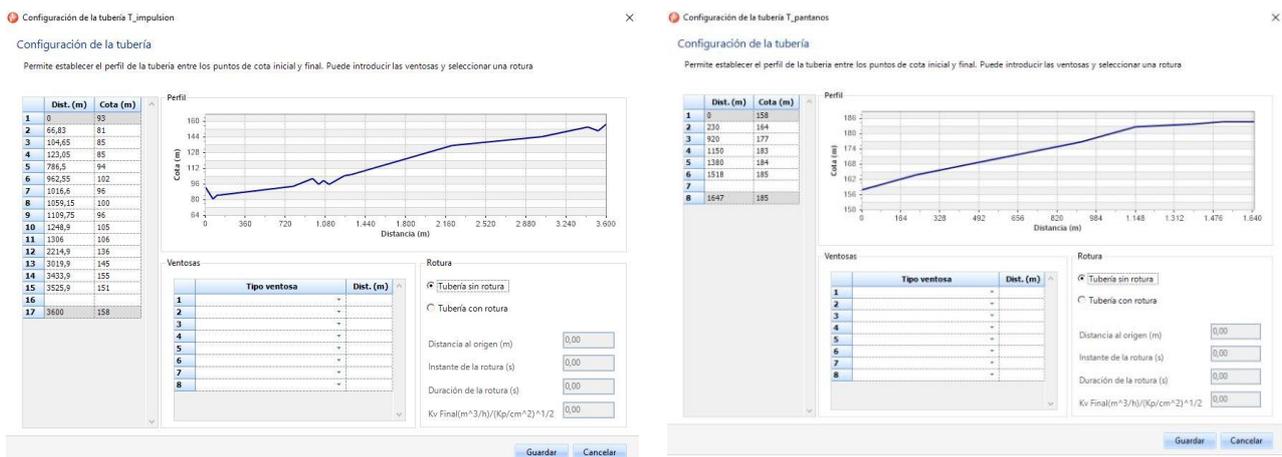


Figura 39. Perfil de las dos tuberías en Allievi

De forma inicial se introducen todos los elementos del sistema pero sin ningún elemento de protección para comprobar en qué condiciones está la red. El modelo queda de la siguiente manera:

## DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL

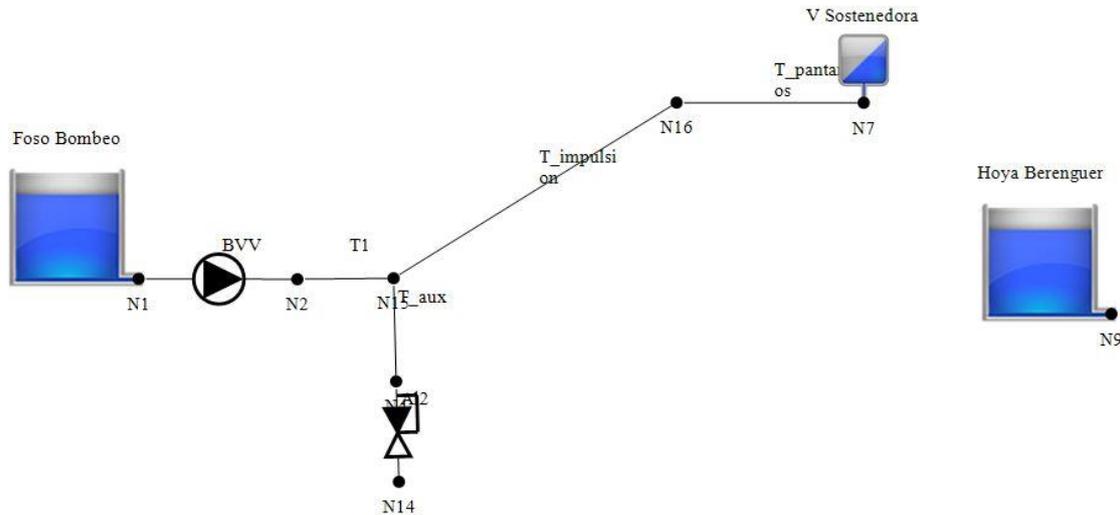


Figura 40. Modelo inicial de Allievi

El foso de bombeo y la hoya de Berenguer se han modelado como unos depósitos de grandes dimensiones, para que la variación del nivel de la lámina de agua no afecte al transitorio hidráulico.

La bomba de velocidad variable que aparece es la misma que se definió en el capítulo 3. Allievi permite definir las válvulas que van asociadas al sistema de bombeo, así como el número de bombas en paralelo que han sido instaladas en la estación de bombeo. Es por ello que se decide incluir una válvula de retención a la salida de la bomba de tipo mariposa. También es necesario definir el estado inicial de las bombas para poder simular el transitorio en el arranque y en las paradas.

Será necesario estudiar tanto el arranque de la instalación como la parada del sistema de forma no intencionada por falta de suministro eléctrico.

También se ha simulado una válvula de alivio de tipo mariposa a la salida de la estación de bombeo. Esta válvula está tarada para que en 150 bares se abra completamente. La válvula descargará sobre el foso donde están instaladas las bombas sumergidas.

Para definir el llenado superior del depósito, es decir la descarga libre a la atmósfera, es necesario definir una ley de altura en la que se indica la altura fija a la que se impulsa el agua a presión atmosférica. La energía que transmite el grupo de bombeo debe de ser suficiente para llegar a esa consigna de altura.

Para empezar a simular se define un tiempo de parada/arranque de las bombas. Tal y como se ha visto en apartados anteriores, se elige un tiempo de maniobra de:

$$t_{\text{maniobra arranque/paro}} = 180 \text{ seg}$$

Con estas consideraciones se simula el sistema de forma inicial, es decir con un arranque y parada totalmente controlados dentro de un funcionamiento normal de la instalación. Se han obtenido los siguientes resultados:

## DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL

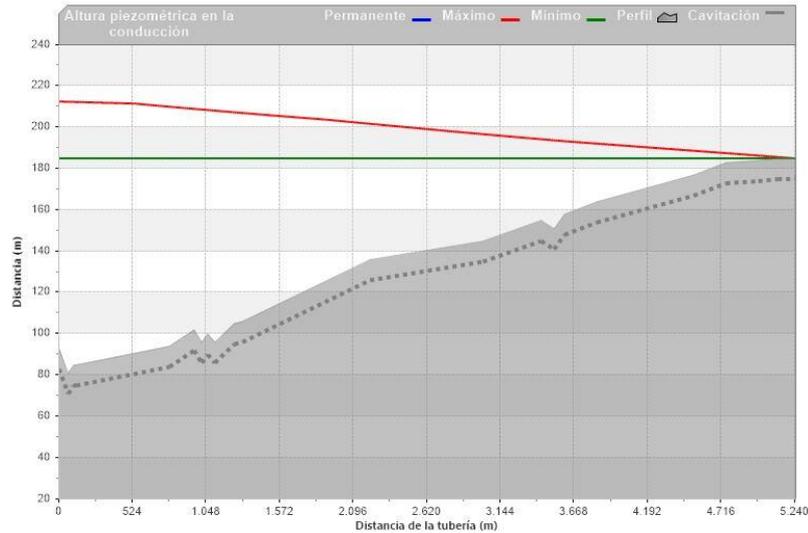


Gráfico 9. Puesta en marcha de la instalación sin protecciones.

Como se puede comprobar en la puesta en marcha de la instalación sin ningún tipo de protección estaríamos al límite de tener serios problemas al entrar en la zona de cavitación.

Es por ello que se estudia el comportamiento de la instalación ante una parada repentina de la estación de bombeo por un fallo en el suministro eléctrico.

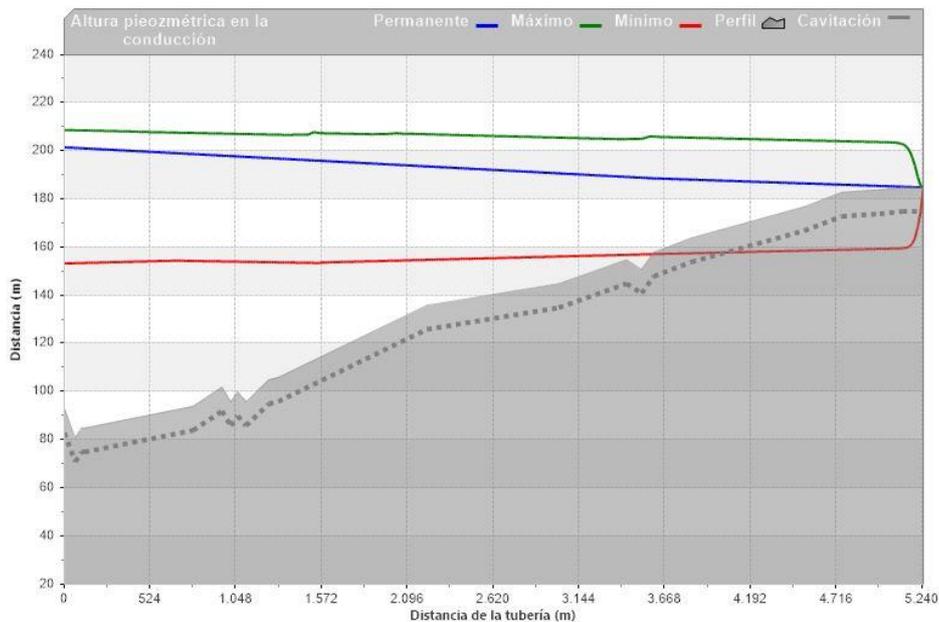


Gráfico 10. Parada brusca de la instalación sin protecciones

Como se puede visualizar, este fallo de suministro al grupo de bombeo se tornaría catastrófico ya que el mínimo de la envolvente de altura estaría por debajo de la línea de cavitación.

Es por ello por lo que se tiene que proteger el sistema para evitar un fallo de la instalación ante estos acontecimientos.

Hay un hecho muy a tener en cuenta que es que en el último tramo de la tubería existen presiones negativas en el interior de la tubería.

## DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL

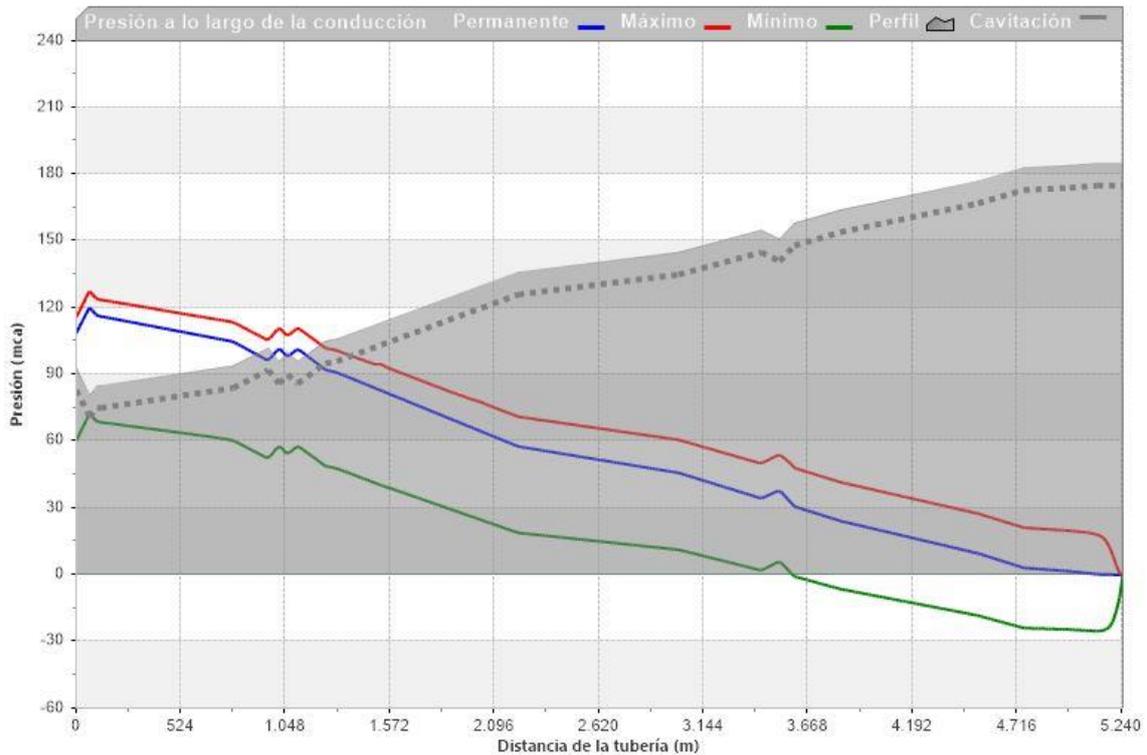


Gráfico 11. Presiones a lo largo de la conducción sin elementos de protección

Como se puede comprobar, existe en el último tramo de la conducción presiones negativas, este hecho se tendrá en cuenta para que la solución final escogida compense este efecto también.

### 4.5.2.1. Instalación de calderines

Dado que el problema parece estar centrado en la parada repentina de la instalación, la primera solución que se propone será la instalación de calderines.

Es por ello que se introduce un calderín en el modelo a la salida del grupo de bombeo.

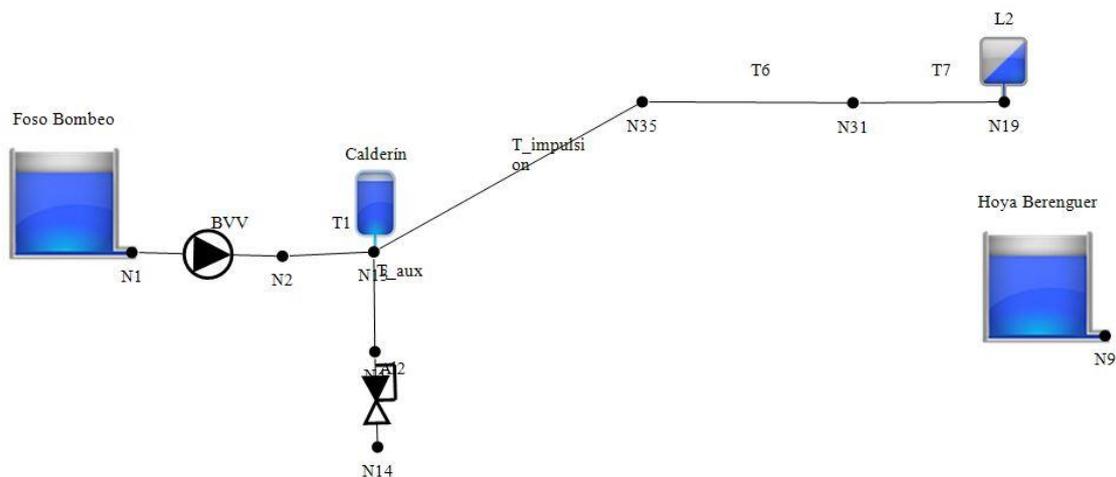


Figura 41. Modelo de Allievi con calderín

Se definen los datos de un calderín comercial de la marca “Ibaiondo”, modelo “6000 AMR” con una capacidad de 6000 litros.

**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW  
PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

---

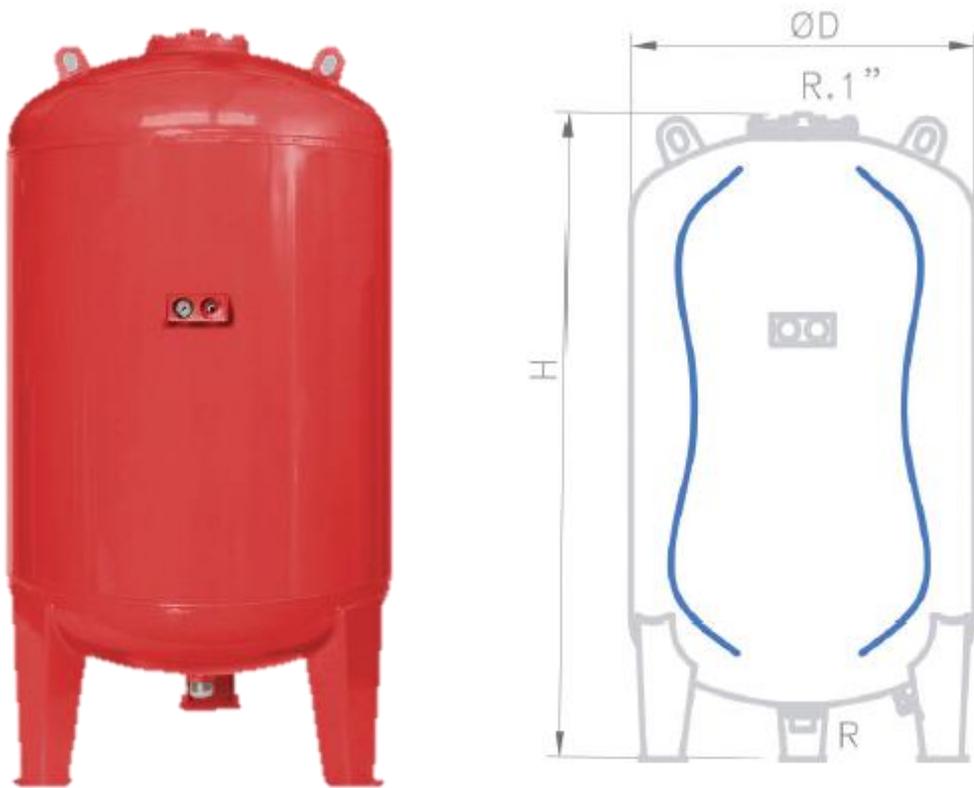


Figura 42. Calderín Ibaiondo 6000 AMR

El programa Allievi en su última versión dispone de un asistente de cálculo de los coeficientes de pérdidas a la entrada y salida del agua por el calderín.

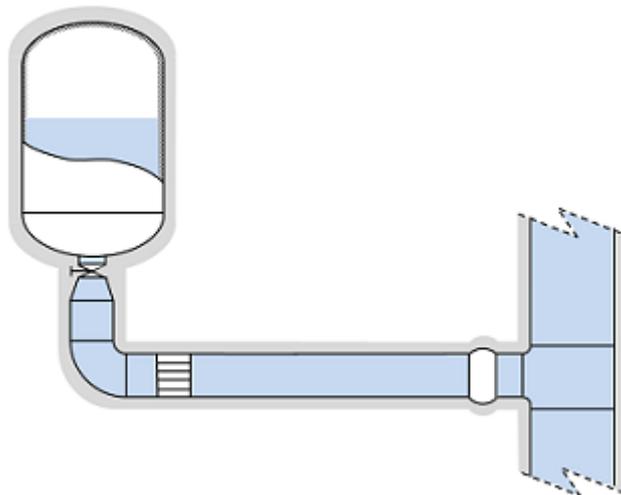


Figura 43. Esquema de conexión del calderín a la instalación

## DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL

En resumen, las características más importantes que tiene este elemento de protección son:

Características del calderín		Ramal de unión		Pérdidas	
<b>Diámetro</b>	1,5m	<b>Diámetro</b>	200mm	<b>K entrada</b>	312,18
<b>Longitud</b>	4,2m	<b>Longitud</b>	1m	<b>K salida</b>	223,42
<b>Volumen</b>	7,42m <sup>3</sup>	<b>Rugosidad</b>	0,1mm	-	-
<b>Rugosidad</b>	0,1mm	-	-	-	-
<b>Posición</b>	Vertical	-	-	-	-
<b>Vejiga</b>	No	-	-	-	-
<b>Presión de hinchado</b>	51,61m	-	-	-	-
<b>Exponente politrópico</b>	1,2	-	-	-	-

Tabla 25. Características calderín comercial

Con esta solución lo que se pretende mejorar es la parada repentina de las bombas. El resultado una vez simulado el modelo y habiendo introducido 1 sólo calderín a la salida de la estación de bombeo es el siguiente:

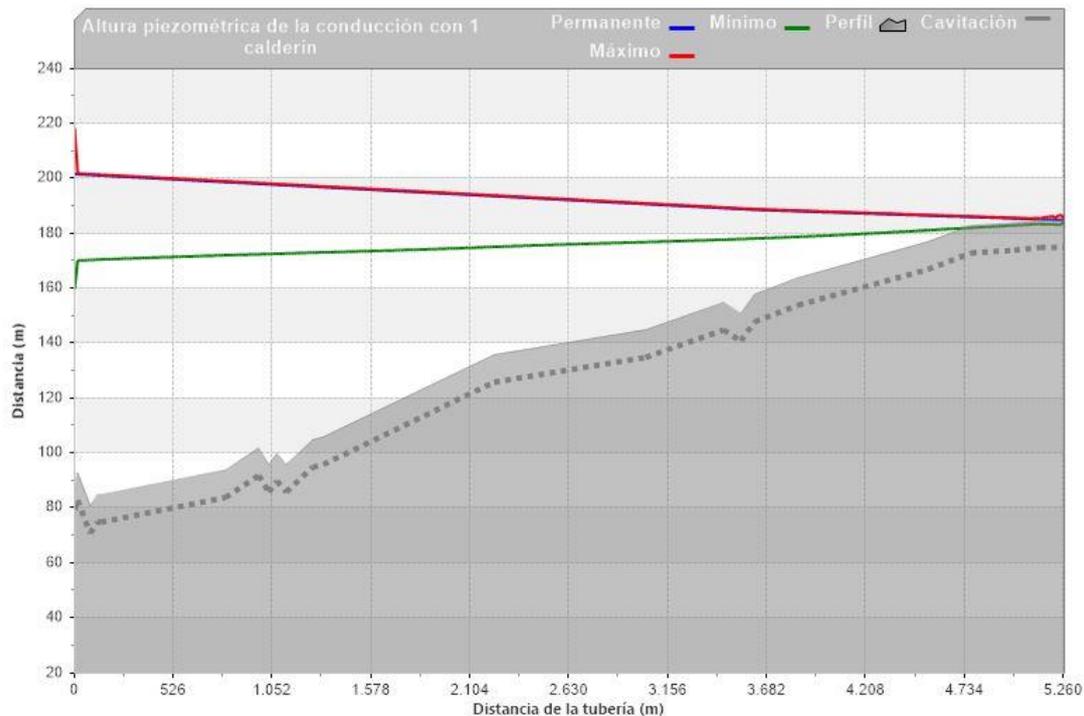


Gráfico 12. Altura piezométrica con parada brusca de las bombas y la instalación de 1 calderín

Se puede ver que con la instalación de este calderín existe una protección evidente con respecto al caso de no tener ningún elemento de protección. Tanto es así que la instalación estrictamente hablando, estaría protegida, puesto que al final de la conducción sí que estaríamos con presiones negativas, en concreto de -1,72 mca pero aún no por debajo de la línea de cavitación, por tanto la solución sería correcta.

## DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL

Viendo la evolución de las presiones a lo largo de la conducción, se tiene que:

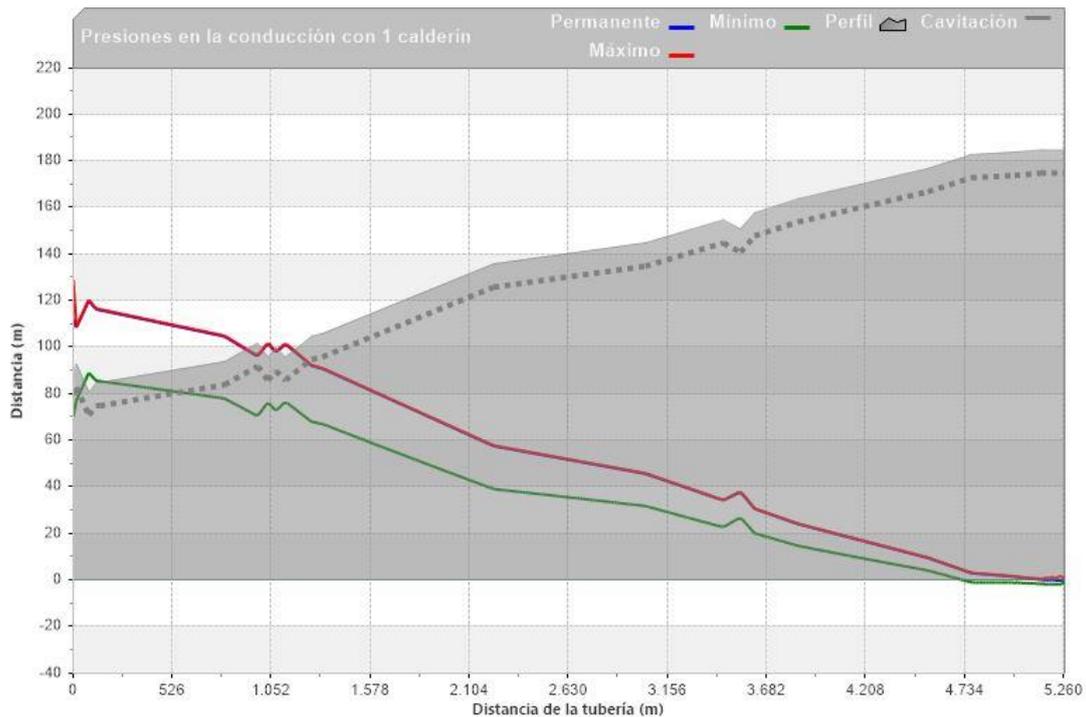


Gráfico 13. Presiones en la conducción ante una parada brusca de las bombas con la instalación de 1 calderín

### 4.5.2.2. Instalación de ventosas

Otra solución propuesta es la instalación de ventosas a lo largo de la conducción dejando una distancia entre ellas comprendida entre 500 y 1000m para la tubería de PEAD y una distancia entorno a 300m para toda la línea de PVC. Además, se impone colocar una de estas ventosas en la parte más elevada de la instalación.

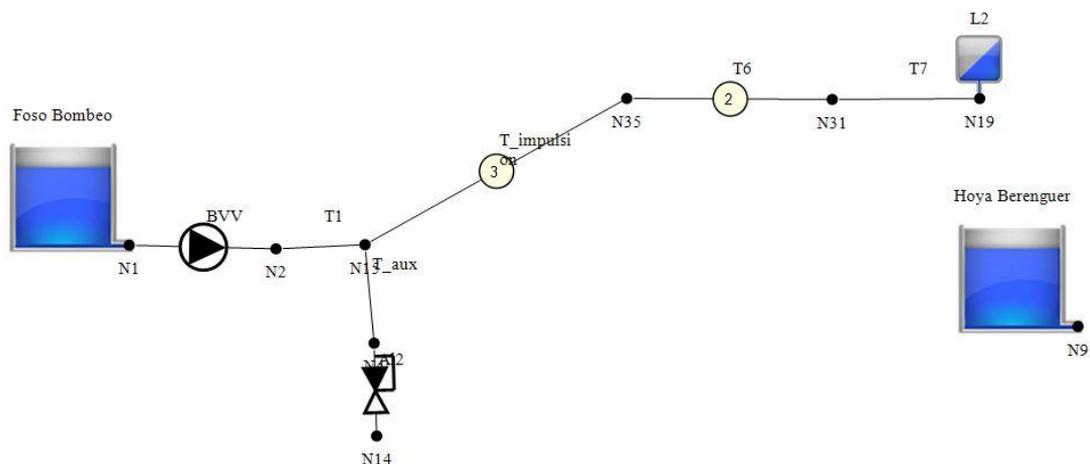


Figura 44. Modelo de Allievi con ventosas

Se definen los datos de una ventosa con aducción acoplada y que aparece definida dentro de la base de datos del software: Ventosa DN15 + Aducción DN100.

Con esta solución lo que se pretende mejorar es la parada repentina de las bombas. El resultado una vez simulado el modelo y habiendo introducido un total de 8 ventosas es:

## DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL

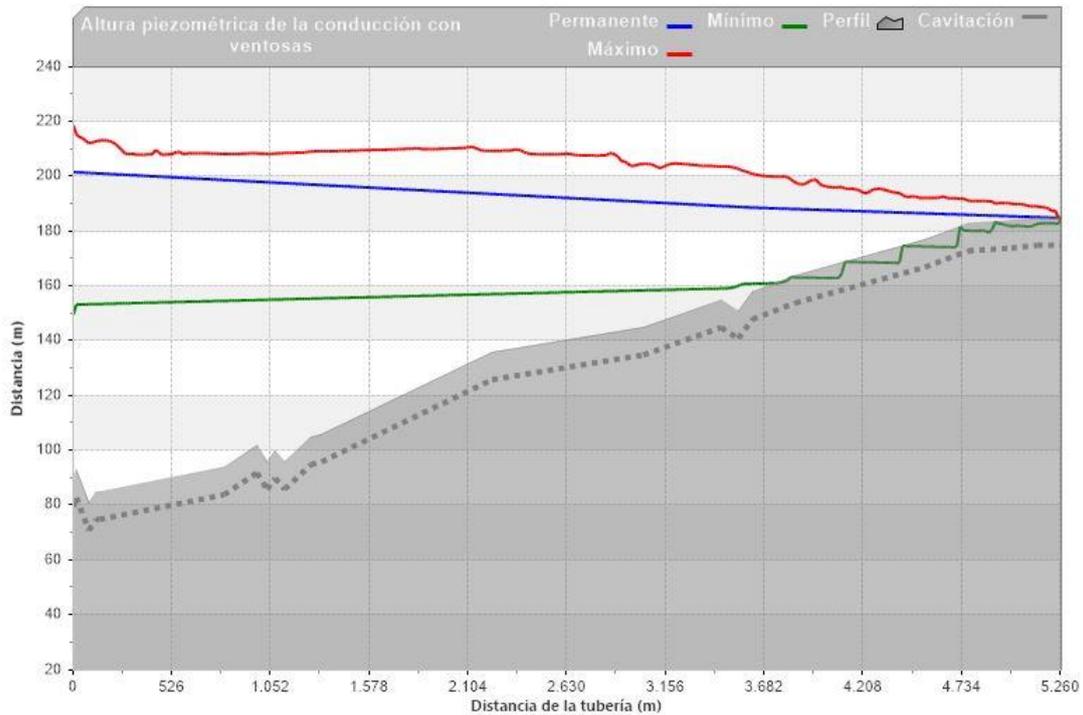


Gráfico 14. Parada brusca de las bombas con la instalación ventosas

A diferencia de antes, la instalación de las ventosas no proporciona una protección evidente con respecto al caso de no tener ningún elemento de protección. Además de tener presiones negativas en el último tramo de conducción, éstos valores están muy cerca de la línea de cavitación, y por tanto, es peligroso que la instalación opere en estas condiciones

Se comprueba que la existencia de presiones negativas al final de la conducción:

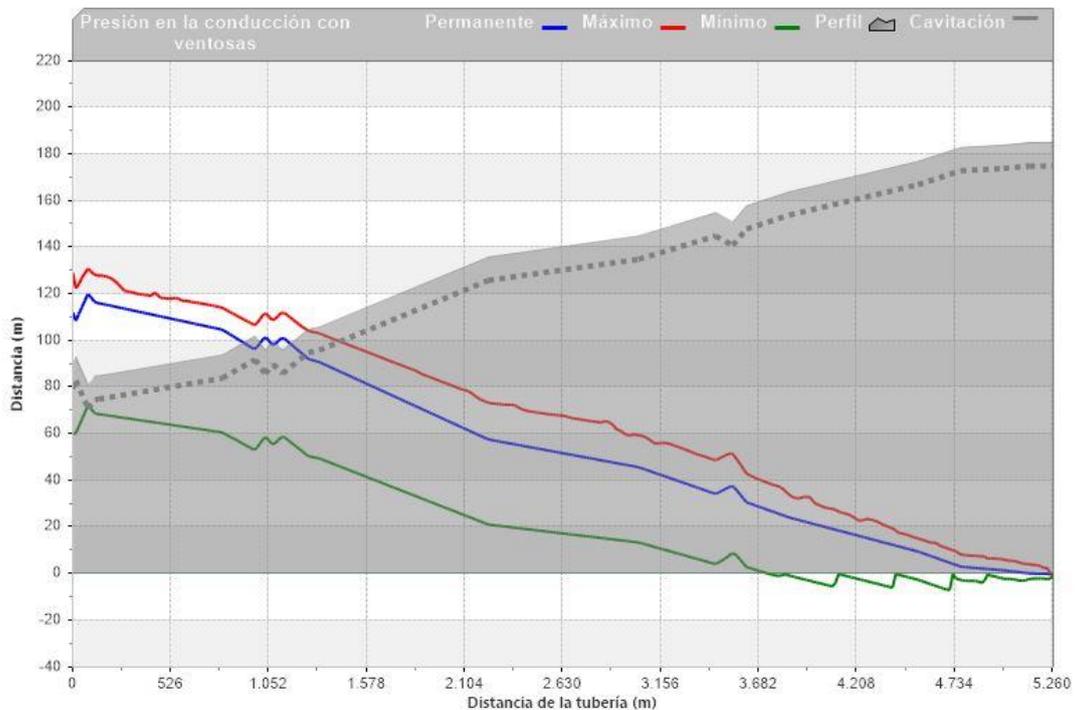
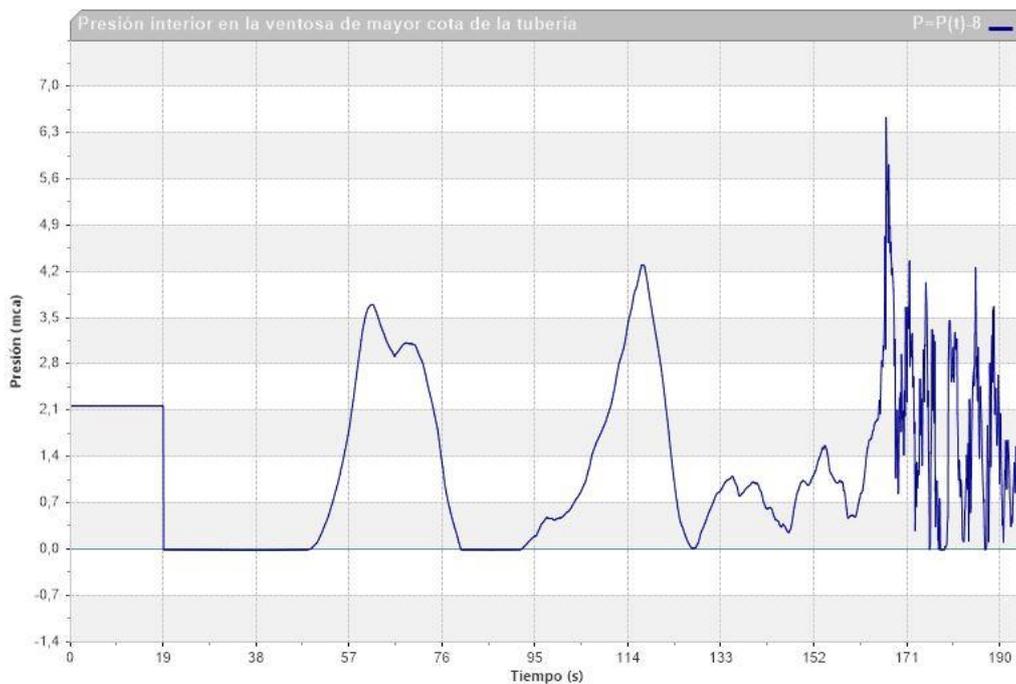
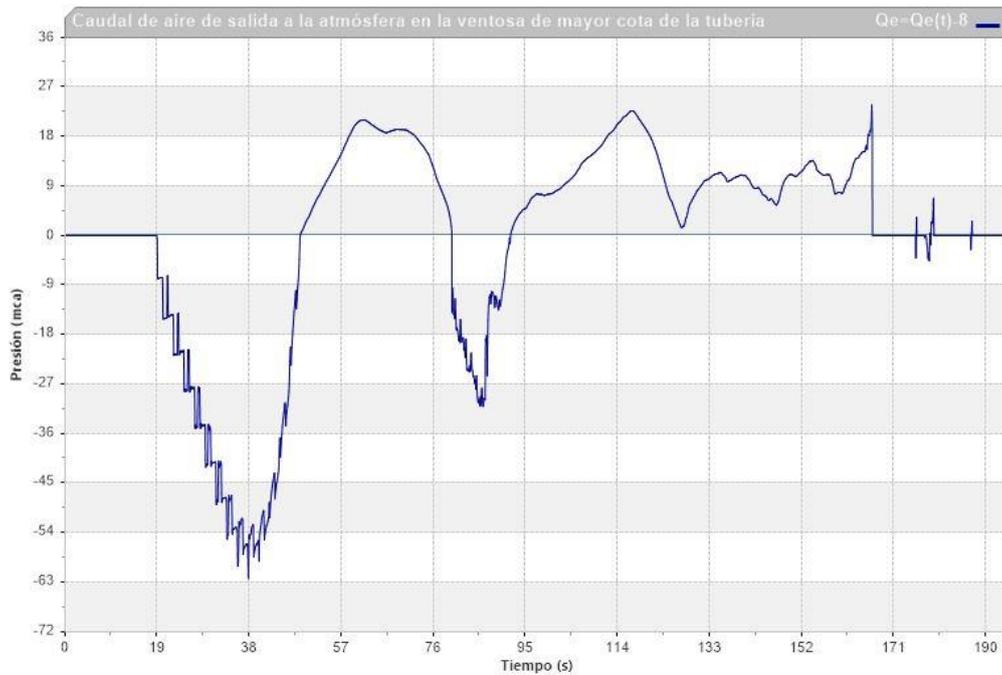


Gráfico 15. Parada brusca de las bombas con la instalación de ventosas

## DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL

Con el Gráfico 15 se comprueba que con esta solución no se ha solventado el problema de las presiones negativas al final de la conducción ya que el mínimo de presión que aparece es de -6,8 mca, por tanto, ésta no puede ser una configuración válida para la protección de la instalación.

También resulta interesante comprobar el estado de la ventosa que se encuentra en la cota más alta de la instalación. Allievi permite visualizar el caudal de salida de aire a la atmósfera y la presión interior.



## **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

---

Los fuertes picos de presión se producen al cerrarse la ventosa por el frenado brusco del flujo que se dirige hacia ella expulsando aire. Que son coincidentes con los picos de expulsión de caudal del Gráfico 16, al igual que al haber caudal negativo la presión es cero al estar abierta la ventosa y admitir aire.

### **4.6. SOLUCIÓN SELECCIONADA**

Después de probar varias soluciones, seleccionamos la opción que incluye tan sólo el calderín a la salida de la estación de bombeo.

La razón de la selección de esta solución es que mitiga el efecto del transitorio, como se ha comprobado en el apartado anterior, esta solución a la salida de la estación de bombeo funciona mejor frente a los transitorios hidráulicos.

El esquema final de la instalación sería el presentado en la Figura 41.

# **CAPÍTULO 5.**

# **CONCLUSIONES**

## CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

1. Se ha estudiado el uso de placas solares para suministrar la energía necesaria en la estación de bombeo para la impulsión del agua.
2. Las placas solares permiten obtener una energía limpia y más barata a medio plazo en contraposición con el suministro por la red eléctrica.
3. Una inclinación mayor de las placas solares favorece la generación de la energía eléctrica en invierno a costa de conseguir grandes picos de generación en verano. Esta configuración es la adecuada para demandas constantes de suministro eléctrico durante todo el año.
4. Se han probado dos configuraciones diferentes de inclinación, llegando a la conclusión que para una demanda constante a lo largo del año la latitud de nuestra instalación es preferible una inclinación pronunciada de los paneles solares, 64°.
5. Para obtener grandes picos de generación eléctrica sería preferible una inclinación de las placas no tan severa como puede ser una inclinación con los mismos grados de latitud en la que se va a instalar las placas o incluso menor.
6. Ajustar la demanda de la estación de bombeo con la generación solar, es la parte fundamental del proyecto puesto que definirá las características de las placas a seleccionar y la cantidad de placas solares a instalar.
7. Se ha realizado el estudio del régimen permanente para ajustar la velocidad de giro de las bombas de la estación de bombeo cada mes de funcionamiento acorde con la energía eléctrica generada por el campo solar.
8. Se ha realizado un análisis del régimen transitorio para proteger la instalación frente a las paradas repentinas de la estación de bombeo por fallo en el suministro eléctrico.
9. De todas las soluciones estudiadas, se ha escogido aquella que mejor protege frente a los transitorios hidráulicos con la instalación de un calderín a la salida de la estación de bombeo.

# **CAPÍTULO 6.**

# **BIBLIOGRAFÍA**

## CAPÍTULO 6. BIBLIOGRAFÍA

- Almandoz Redondo, F. J., Guimaraes de Abreu, J. D., Cabrera Marcet, E., Cobacho Jordán, R., & Cabrera Rochera, E. (2005). *Análisis, Diseño, Operación y Gestión de Agua con Epanet (Tomo I, Tomo II)*. UPV.
- Alonso Abellá, M. (2001). *Sistemas Fotovoltaicos. Introducción al Diseño y Dimensionado de Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica*. S.A.P.T. Publicaciones Técnicas, S.L.
- AROS. (2018). *AROS Solar Technology. Productos*. Obtenido de <http://www.aros-solar.com/es/inversores/inversores-solares-trifasico-sirio-k200>
- Corominas, J. (Septiembre de 2010). *Agua y energía en el riego, en la época de sostenibilidad*. Obtenido de Ingeniería del Agua, Vol. 17, No 3: <http://www.ingenieriadelagua.com/2004/download/17-3%5Carticle3.pdf>
- De Eça Guimaraes de Abreu, J. M., Espert Alemany, V., García-Serra García, J., Sanz, F., & Cabrera Marcet, E. (2012). *Transitorios hidráulicos del régimen estacionario al golpe de ariete*. Valencia: UPV.
- Delta Volt. (2018). *Energías Renovables. Bombear agua con Energía Solar*. Obtenido de <https://deltavolt.pe/energia-renovable/bombear-solar>
- Espert Alemany, V., García Serra, J., & Cabrera Marcet, E. (2004). Las ventosas como sistema de protección en el arranque de bombas de pozo. *Ingeniería del Agua*.
- Hernández García, A. (Junio de 2015). *La modernización de regadíos. Situación actual y retos de futuro*. Obtenido de iagua: <https://www.iagua.es/blogs/alberto-hernandez-garcia/modernizacion-regadios-situacion-actual-y-retos-futuro>
- IDAE. (Octubre de 2005). *Ahorro y Eficiencia Energética en Agricultura y Regadío*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la energía.
- IDAE. (2008). *Ahorro y Eficiencia Energética en las Comunidades de Regantes*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
- INDUSTRIAS IBAIONDO, S.A. (2016). *Acumuladores y antiarrietes hidroneumáticos*. Obtenido de <http://www.ibaiondo.es/productos/details/2570/920/acumuladores-a-antiarrietes-hidroneumaticos/amr-acumuladores-hidroneumaticos-gran-capacidad/6000-amr.html>
- Instituto para la Energía y el Transporte, Comisión Europea. (Mayo de 2018). *Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica - Mapa Interactivo*. Obtenido de <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=es&map=europe>
- ITA, & Grupo Aguas de Valencia. (2015). *Diagnóstico del Gasto Energético de una Red a Presión*. Villarreal.
- MAPAMA. (2015). *Plan de Choque de Modernización de Regadíos*. Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.
- Mistral Ross. (2017). *Válvulas Ross. Productos*. Obtenido de <http://www.valvulasross.es/es/producto/familia/ventosas-aguas-limpias>
- Monzón, R. G. (2016). *Observatorio de la Electricidad mayo 2016*. WWF España.

**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW  
PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

---

- Pareja Aparicio, M. (2009). *Energía solar fotovoltaica. cálculo de una instalación aislada*. Barcelona: MARCOMBO, S.A.
- Pareja Aparicio, M. (2010). *Radiación solar y su aprovechamiento energético*. Barcelona: MARCOMBO S.A.
- PVsystem. (2018). PVsystem Help. *Preliminary Design*.
- REE. (2017). *El sistema eléctrico español, Avance 2017*. Red Eléctrica de España.
- Roig Lozano, Á. (2016). *Diseño de una instalación fotovoltaica de 100kWn conectada a red en la cubierta de la nave cooperativa agrícola de Concentaina, Alicante*. UPV.
- UNEF. (2018). *El auge mundial de la fotovoltaica. Informe anual 2017*. Unión Española Fotovoltaica.

# CAPÍTULO 7. PRESUPUESTO

7.1. CUADRO DE DESCOMPUESTOS

**CUADRO DE DESCOMPUESTOS**

SRHA

CÓDIGO	CANTIDAD UD	RESUMEN	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
--------	-------------	---------	--------	----------	---------

**CAPÍTULO CAP1 INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA**

**SUBCAPÍTULO C1.1 INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA**

<b>FV</b>		<b>GENERADOR FOTOVOLTAICO</b>			
		Incluye Estructura FIJA de Acero Galvanizado de 4 filas de 10 módulos en horizontal a 64° de inclinación. Fijación al suelo mediante tornillo roscado. Totalmente montada, incluyendo la fijación de los tornillos roscado al suelo. Módulo FOTOVOLTAICO POLICRISTALINO Canadian Solar, modelo DIAMOND CS6X-310 de 544 células de 315 Wp (+3%). Dimensiones: 1.972 x 996 x 10 mm. Certificados: - IEC 61215:2005 - IEC 61730-1:2004/IEC 61730-2:2004. Carga frontal (nieve): 5.400 Pa. Carga trasera (viento): 2.400 Pa. Certificado de Resistencia al Fuego / Clase II (bajo estándar UNI9177). MCS (UK). EEE016-20130528-001 (Francia). WEEE compliance in Germany. Garantías: 12 años para el producto y 25 años rendimiento.			
FV1	544,000 u	Generador Fotovoltaico	262,64	142.876,16	
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>					<b>142.876,16</b>

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CIENTO CUARENTA Y DOS MIL OCHOCIENTOS SETENTA Y SEIS EUROS con DIECISEIS CÉNTIMOS

<b>AR</b>		<b>ARMARIO FOTOVOLTAICO</b>			
		Incluye DO-Q450RX-54S. Armario de Bombeo Fotovoltaico para sistema a Caudal Variable. Alimentación de bombas hasta 91 A a 400 V. Armario Metálico de pie IP54, PANTALLA TÁCTIL de 7" para el control y supervisión de la instalación y Monitorización y Puesta en MARCHA Armario de Bombeo.			
AR1	1,000 u	Armario de Bombeo FV para el sistema de Caudal Variable	15.294,24	15.294,24	
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>					<b>15.294,24</b>

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de QUINCE MIL DOSCIENTOS NOVENTA Y CUATRO EUROS con VEINTICUATRO CÉNTIMOS

<b>CABLE</b>		<b>CABLEADO</b>			
		Incluye Cable unipolar RZ1-K (AS), no propagador de la llama, con conductor de cobre clase 5 (-K) de 6 mm² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (R) y cubierta de compuesto termoplástico a base de poliolefina libre de halógenos con baja emisión de humos y gases corrosivos (Z1), siendo su tensión asignada de 0,6/1 Kv. Cable unipolar RZ1-K (AS), no propagador de la llama, con conductor de cobre clase 5 (-K) de 50 mm² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (R) y cubierta de compuesto termoplástico a base de poliolefina libre de halógenos con baja emisión de humos y gases corrosivos (Z1), siendo su tensión asignada de 0,6/1 kV, Cable unipolar RZ1-K (AS), no propagador de la llama, con conductor de cobre clase 5 (-K) de 95 mm² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (R) y cubierta de compuesto termoplástico a base de poliolefina libre de halógenos con baja emisión de humos y gases corrosivos (Z1), siendo su tensión asignada de 0,6/1 kV, Cable eléctrico unipolar, Bupreno Bombas Sumergidas, para instalaciones permanentemente sumergidas, tipo DN-F Bombas Sumergidas, tensión nominal 0,6/1 kV, con conductor de cobre recocido, flexible (clase 5), de 1x25 mm² de sección, aislamiento de etileno propileno reticulado (EPR), cubierta de policloropreno, de color negro, y Cableado Sensor de Radiación para monitorización y señales.			
CABLE1	1,000 u	Cable unipolar RZ1-K (AS) de 6, 50, 95 y 125 m2	16.176,16	16.176,16	
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>					<b>16.176,16</b>

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de DIECISEIS MIL CIENTO SETENTA Y SEIS EUROS con DIECISEIS CÉNTIMOS

<b>SIST</b>		<b>SISTEMAS DE INSTALACIÓN</b>			
		Incluye Instalación DC Interior CASETA ARMARIO DE BOMBEO - REJIBAND, Sistema de Instalación AC, Instalación AC Exterior. Alimentación BOMBAS y Auxiliar IO3.			
SIST1	1,000 u	Sistemas de instalación	340,91	340,91	
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>					<b>340,91</b>

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de TRESCIENTOS CUARENTA EUROS con NOVENTA Y UN CÉNTIMOS

<b>PROT</b>		<b>PROTECCIONES</b>			
		Incluye las protecciones del generador FV: Cuadro de Protección Nivel 1 - 8 ramas (CP.N1-8). Entrada 6 mm² - Salida máxima 50 mm², Cuadro de Protección Nivel 1 - 12 ramas (CP.N1-12). Entrada 6 mm² - Salida máxima 95 mm² y Cuadro de Bus Común Nivel 2.			
PROT1	1,000 u	Protecciones del generador FV	4.552,41	4.552,41	
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>					<b>4.552,41</b>

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CUATRO MIL QUINIENTOS CINCUENTA Y DOS EUROS con CUARENTA Y UN CÉNTIMOS

**CUADRO DE DESCOMPUESTOS**

SRHA

CÓDIGO	CANTIDAD UD	RESUMEN	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
<b>TIER</b>					
<b>TOMA DE TIERRA</b>					
Incluye Toma de tierra con 6 picas de acero cobreado de 1,5 m de longitud cada una, y unidas entre sí con Cable de cobre desnudo de 35 mm <sup>2</sup> y Toma de tierra con 4 picas de acero cobreado de 1,5 m de longitud cada una, y unidas entre sí con Cable de cobre desnudo de 35 mm <sup>2</sup> .					
TIER1	1,000 u	Toma de tierra de la instalación	440,62	440,62	
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>					<b>440,62</b>
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CUATROCIENTOS CUARENTA EUROS con SESENTA Y DOS CÉNTIMOS					
<b>INV</b>					
<b>INVERSOR</b>					
Inversor Aros modelo SIRIO K200 HV. Totalmente montada, incluyendo la fijación de los tornillos roscados al suelo. Potencia nominal de 200kW. Dimensiones de 1600x1000x1900mm peso de 1580kg					
INV1	1,000 u	Inversor AROS K200	10.000,00	10.000,00	
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>					<b>10.000,00</b>
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de DIEZ MIL EUROS					
<b>INST</b>					
<b>INSTALACIÓN</b>					
INST1	1,000 u	Instalación eléctrica	4.128,00	4.128,00	
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>					<b>4.128,00</b>
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CUATRO MIL CIENTO VEINTIOCHO EUROS					
<b>PROY</b>					
<b>PROYECTO Y DIRECCIÓN DE OBRA</b>					
Incluye Levantamiento TOPOGRÁFICO, Proyecto de Ingeniería, Dirección de Obra y Legalización de la Instalación Eléctrica en el Servicio Territorial e Industria.					
PROY1	1,000 u	Proyecto y dirección de obra	9.000,00	9.000,00	
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>					<b>9.000,00</b>
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de NUEVE MIL EUROS					

**CUADRO DE DESCOMPUESTOS**

SRHA

CÓDIGO	CANTIDAD UD	RESUMEN	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
--------	-------------	---------	--------	----------	---------

**CAPÍTULO CAP2 ADAPTACIÓN Balsa EPANET****SUBCAPÍTULO C2.1 OBRA DE TOMA DE AGUA**

<b>ATFD0900</b>		<b>Tubería de fundición dúctil DN400mm</b>			
		Tubería de fundición dúctil DN 400 mm serie K-9 con junta estándar y fabricada según norma UNE-EN-545, totalmente instalada, incluso piezas especiales (codo 90°), suministro, transporte, carga, descarga, montaje y parte proporcional de pruebas de presión y estanqueidad. Toma de fondo.			
ATFD09001	6,000 u	Tubería de fundición dúctil	330,47	1.982,82	
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>					<b>1.982,82</b>

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de MIL NOVECIENTOS OCHENTA Y DOS EUROS con OCHENTA Y DOS CÉNTIMOS

<b>HO.550</b>		<b>Malla electrosoldada 150x150x6, colocada obra</b>			
		Acero en malla electrosoldada de 6 mm de diámetro y retícula de 150x150 mm, colocada en obra, incluidos solapes.			
HO.5501	10,000 u	Acero en malla electrosoldada	1,66	16,60	
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>					<b>16,60</b>

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de DIECISEIS EUROS con SESENTA CÉNTIMOS

**CUADRO DE DESCOMPUESTOS**

SRHA

CÓDIGO	CANTIDAD UD	RESUMEN	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
--------	-------------	---------	--------	----------	---------

**CAPÍTULO CAP3 FOSO Y CASETA DE BOMBEO**

**SUBCAPÍTULO C3.1 VALVULERÍA Y ACCESORIOS**

<b>U07VAF100</b>		<b>Filtro Cazapiedras</b>			
		Filtro toma de agua para válvula de 2 a 4 " de diámetro, colocada en tubería de abastecimiento de agua, completamente instalado.			
U07VAF1001	2,000 u	Filtro de cazapiedras	371,94	743,88	
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>					<b>743,88</b>

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de SETECIENTOS CUARENTA Y TRES EUROS con OCHENTA Y OCHO CÉNTIMOS

<b>U0VAV032</b>		<b>Filtro de arena, 300mm</b>			
		Filtro de arena de 300 mm de diámetro interior, incluso uniones y accesorios y bypass para limpieza, completamente instalado.			
U0VAV0321	2,000 u	Filtro de arena	1.121,06	2.242,12	
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>					<b>2.242,12</b>

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de DOS MIL DOSCIENTOS CUARENTA Y DOS EUROS con DOCE CÉNTIMOS

<b>16VM.300</b>		<b>Válvula mariposa DN300, 16atm</b>			
		Válvula de mariposa con cuerpo de fundición nodular, embrizada, con desmultiplicador, eje de acero inoxidable, lenteja de acero inoxidable, anillo con E.P.D.M., con p.p. de juntas y tornillería; presión de trabajo 16 atm, para diámetro de 300 mm, instalada. Con recubrimiento de tipo Epoxi.			
16VM.3001	4,000 u	Válvula de mariposa	740,00	2.960,00	
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>					<b>2.960,00</b>

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de DOS MIL NOVECIENTOS SESENTA EUROS

<b>CDE300</b>		<b>Carrete desmontaje 300mm</b>			
		Carrete de desmontaje en acero de 6 mm. de espesor de 300 mm. de diámetro interior, totalmente instalado y probado; incluso p.p. de juntas y tornillería.			
CDE3001	4,000 u	Carrete de desmontaje	563,04	2.252,16	
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>					<b>2.252,16</b>

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de DOS MIL DOSCIENTOS CINCUENTA Y DOS EUROS con DIECISEIS CÉNTIMOS

<b>CPA400</b>		<b>Tubo pasamuros</b>			
		Tubo pasamuros en chapa de acero liso de 6 mm. de espesor, 300 mm. de diámetro y 0,80 m. de longitud. Incluso brida PN-10 de 400 mm. colocado.			
CPA4001	4,000 u	Tubo pasamuros	371,22	1.484,88	
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>					<b>1.484,88</b>

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de MIL CUATROCIENTOS OCHENTA Y CUATRO EUROS con OCHENTA Y OCHO CÉNTIMOS

<b>U620018</b>		<b>Caudalímetro electromagnético DN300</b>			
		Caudalímetro electromagnético montado en tubería Ø300, incluso carrete de desmontaje telescópico. Totalmente instalado.			
U6200181	1,000 u	Caudalímetro electromagnético	3.556,17	3.556,17	
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>					<b>3.556,17</b>

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de TRES MIL QUINIENTOS CINCUENTA Y SEIS EUROS con DIECISIETE CÉNTIMOS

**CUADRO DE DESCOMPUESTOS**

SRHA

CÓDIGO	CANTIDAD UD	RESUMEN	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
--------	-------------	---------	--------	----------	---------

**SUBCAPÍTULO C3.2 EQUIPO DE BOMBEO**

U610009

**Motobomba Sumergible, carcasas fundición, potencia 45kW**

Motobomba sumergible (Caprari, mod. P8P135/5/27/5C o características superiores) con carcasa de fundición y recubrimiento mediante imprimación y pintado según normas ISO 2808 método nº6, motor eléctrico de jaula de ardilla con una potencia en el eje de 45 Kw a 2900 r.p.m., dobles juntas mecánicas autolubricadas con carter de aceite que las facultan para poder trabajar en seco, camisa de refrigeración integral para poder trabajar con bajos niveles de agua, anillos de desgaste: fijo en el cuerpo de la motobomba y giratorio en el impulsor, central de alarmas CAS para chequeo interno con señalización exterior por medio de termocontactos en el estator, PT-100 en el rodamiento inferior y detector de humedad en la cámara estanca. Equipada con 10 m de cable tipo especial sumergible RDOT (fuerza y señal). Incluyendo zócalo de Ø300mm interior para empotramiento a dado de hormigón, totalmente colocado. Se incluye ensayo en fábrica de un mínimo de 9 puntos de trabajo del Comportamiento de la motobomba. Totalmente colocada y probada, incluso mecanismos de sujeción y cables de potencia y señal tipo RDOT hasta el cuadro de baja tensión y de control y caja de bornas.

U6100091	2,000 u	Motobomba sumergible Caprari	9.000,00	18.000,00	
----------	---------	------------------------------	----------	-----------	--

<b>TOTAL PARTIDA .....</b>				<b>18.000,00</b>	
----------------------------	--	--	--	------------------	--

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de DIECIOCHO MIL EUROS

U6110010

**Cuadro de mando y control para bomba de 58kW**

Cuadro de mando y control para bomba de 58 KW y mando de la valvulería e instrumentación existente. Automata de control de las secuencias de funcionamiento, sistema de control de alarmas, interruptor trifásico, preparado para telecontrol, arrancador estático de 60 Kw para la motobomba, batería de condensadores de 34KVAR. Cable tipo Rdot para potencia y señal hasta caja de bornas, caja de bornas y pequeño material según esquema. Totalmente colocado y probado según normas.

MAND1	1,000 u	Cuadro de mando y control	2.114,88	2.114,88	
-------	---------	---------------------------	----------	----------	--

<b>TOTAL PARTIDA .....</b>				<b>2.114,88</b>	
----------------------------	--	--	--	-----------------	--

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de DOS MIL CIENTO CATORCE EUROS con OCHENTA Y OCHO CÉNTIMOS

**SUBCAPÍTULO C3.3 OBRA CIVIL**

CAS

**Caseta de Bombeo**

Sin descomposición

<b>TOTAL PARTIDA .....</b>				<b>22.000,00</b>	
----------------------------	--	--	--	------------------	--

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de VEINTIDOS MIL EUROS

FOSO

**Foso de Bombeo**

Sin descomposición

<b>TOTAL PARTIDA .....</b>				<b>5.000,00</b>	
----------------------------	--	--	--	-----------------	--

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CINCO MIL EUROS

**CUADRO DE DESCOMPUESTOS**

SRHA

CÓDIGO CANTIDAD UD RESUMEN PRECIO SUBTOTAL IMPORTE

**CAPÍTULO CAP4 ARQUETA DE ENTRADA A FOIA BERENGUER**

**SUBCAPÍTULO C4.1 OBRAS DE FÁBRICA**

<b>ARQ3</b>		<b>Arqueta de derivación y válvulas 2x1,5</b>		
		Arqueta de derivación y de válvulas de 2.00 x 1.00 x 1.50 m de hormigón HA-25 en alzados y solera, con un espesor de 25 cm. tanto en alzados como en solera y armada con mallazo de 15 x 15 x 6 mm.		
ARQ31	1,000 u	Arqueta de derivación y válvulas	1.498,16	1.498,16
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>				<b>1.498,16</b>

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de MIL CUATROCIENTOS NOVENTA Y OCHO EUROS con DIECISEIS CÉNTIMOS

<b>U08SR255</b>		<b>Anclaje T en conduccion de agua con D=300-315</b>		
		Dado de anclaje para pieza en T en conducciones de agua, de diámetros comprendidos entre 300 y 315 mm., con hormigón HA-25/P/20/I, elaborado en central para relleno del dado, i/excavación, encofrado, colocación de armaduras, vibrado, desencofrado y arreglo de tierras, s/NTE-IFA-17.		
U08SR2551	1,000 u	Anclaje en T	73,35	73,35
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>				<b>73,35</b>

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de SETENTA Y TRES EUROS con TREINTA Y CINCO CÉNTIMOS

**SUBCAPÍTULO C4.2 CONDUCCIONES**

<b>PVC530</b>		<b>Tubería PVC de 315mm, 10atm con union por goma o encolado</b>		
PVC5301	60,000 u	Tubería PVC	36,27	2.176,20
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>				<b>2.176,20</b>

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de DOS MIL CIENTO SETENTA Y SEIS EUROS con VEINTE CÉNTIMOS

**SUBCAPÍTULO C4.3 VALVULERÍA**

<b>16VENT150</b>		<b>Ventosa trifuncional</b>		
		Ventosa trifuncional de 100mm para expulsión del aire contenido en el agua con la instalación en carga. Funcionamiento por bola flotante de polipropileno. Gran capacidad de extracción de aire. Presión de trabajo PN16. Filtro para evitar la introducción de cuerpos extraños en la zona de cierre. Cuerpo y cúpula fundición nodular GGG-40/GJL-40. Cierre neopreno vulcanizado. Bola flotante: polipropileno. Tornillería acero inoxidable. Triple efecto: base metálica. Recubrimiento EPOXY		
VENT1	1,000 u	Ventosa trifuncional	520,64	520,64
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>				<b>520,64</b>

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de QUINIENTOS VEINTE EUROS con SESENTA Y CUATRO CÉNTIMOS

<b>WOLT</b>		<b>Contador tipo Woltman 300</b>		
		Contador Woltman de agua WI para riego 12" 300 mm, Qn 600. Con certificado de homologación y verificación. Normativa constructiva ISO 4064. Clase B / Classe B. Esfera seca, indicación de rueda, extraíble y transmisión magnética, con preequipo para emisor de pulsos.		
WOLTM1	1,000 u	Contador de agua Woltman	1.228,50	1.228,50
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>				<b>1.228,50</b>

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de MIL DOSCIENTOS VEINTIOCHO EUROS con CINCUENTA CÉNTIMOS

<b>TES300</b>		<b>Té de fundicion enchufe de 300</b>		
		Té de fundición dúctil de 300 mm de diámetro, con salida recta en brida igual o inferior y sistema de acople por enchufe con dos acoples, colocada y montada en obra, en terrenos de adecuada capacidad portante, sin incluir excavación, terraplén ni extendido de tierras.		
TES3001	1,000 u	Té de fundición	697,23	697,23
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>				<b>697,23</b>

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de SEISCIENTOS NOVENTA Y SIETE EUROS con VEINTITRES CÉNTIMOS

<b>CPA402</b>		<b>Tubo pasamuros 300</b>		
		Tubo pasamuros en chapa de acero liso de 6 mm. de espesor, 300 mm. de diámetro y 0,80 m. de longitud. Incluso brida PN-10 de 400 mm. colocado.		
CPA4021	2,000 u	Tubo pasamuros	371,22	742,44
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>				<b>742,44</b>

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de SETECIENTOS CUARENTA Y DOS EUROS con CUARENTA Y CUATRO CÉNTIMOS

**CUADRO DE DESCOMPUESTOS**

SRHA

CÓDIGO	CANTIDAD UD	RESUMEN	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
<b>CDE301</b>		<b>Carrete desmontaje 300</b> Carrete de desmontaje en acero de 6 mm. de espesor de 300 mm. de diámetro interior, totalmente instalado y probado; incluso p.p. de juntas y tornillería.			
CDE3011	1,000 u	Carrete desmontaje	563,04	563,04	
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>					<b>563,04</b>

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de QUINIENTOS SESENTA Y TRES EUROS con CUATRO CÉNTIMOS

<b>16VM.301</b>		<b>Válvula maripos 300, 16atm</b> Válvula de mariposa con cuerpo de fundición nodular, embridada, con desmultiplicador, eje de acero inoxidable, lenteja de acero inoxidable, anillo con E.P.D.M., con p.p. de juntas y tornillería; presión de trabajo 16 atm, para diámetro de 300 mm, instalada. Con recubrimiento de tipo Epoxi.			
16.VM3011	1,000 u	Válvula mariposa	740,32	740,32	
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>					<b>740,32</b>

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de SETECIENTOS CUARENTA EUROS con TREINTA Y DOS CÉNTIMOS

**CUADRO DE DESCOMPUESTOS**

SRHA

CÓDIGO	CANTIDAD UD	RESUMEN	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
--------	-------------	---------	--------	----------	---------

**CAPÍTULO CAP5 ARQUETA DE CONEXIÓN CONDUCCIÓN IMPULSIÓN**

**SUBCAPÍTULO C5.1 OBRAS DE FÁBRICA**

<b>ARQ.2</b>		<b>Arqueta de conexión y válvulas 1.50x2.00</b> Arqueta de conexión y de válvulas de 1.50 x 2.00 x 1.50 m. de hormigón HA-25 en alzados y solera, con un espesor de 20 cm. tanto en alzados como en solera y armada con mallazo de 15 x 15 x 6 mm.			
ARQ.21	1,000 u	Arqueta de conexión y válvulas	1.225,43	1.225,43	
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>					<b>1.225,43</b>

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de MIL DOSCIENTOS VEINTICINCO EUROS con CUARENTA Y TRES CÉNTIMOS

<b>U07SR255</b>		<b>Anclaje T en conducción de agua con D=300-315</b> Dado de anclaje para pieza en T en conducciones de agua, de diámetros comprendidos entre 300 y 315 mm., con hormigón HA-25/P/20/I, elaborado en central para relleno del dado, i/excavación, encofrado, colocación de armaduras, vibrado, desencofrado y arreglo de tierras, s/NTE-IFA-17.			
U07SR2551	2,000 u	Anclaje para piezas en T en conducciones de agua	73,35	146,70	
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>					<b>146,70</b>

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CIENTO CUARENTA Y SEIS EUROS con SETENTA CÉNTIMOS

**SUBCAPÍTULO C5.2 VALVULERÍA**

<b>16VENT150</b>		<b>Ventosa trifuncional</b> Ventosa trifuncional de 100mm para expulsión del aire contenido en el agua con la instalación en carga. Funcionamiento por bola flotante de polipropileno. Gran capacidad de extracción de aire. Presión de trabajo PN16. Filtro para evitar la introducción de cuerpos extraños en la zona de cierre. Cuerpo y cúpula fundición nodular GGG-40/GJL-40. Cierre neopreno vulcanizado. Bola flotante: polipropileno. Tornillería acero inoxidable. Triple efecto: base metálica. Recubrimiento EPOXY			
VENT1	1,000 u	Ventosa trifuncional	520,64	520,64	
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>					<b>520,64</b>

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de QUINIENTOS VEINTE EUROS con SESENTA Y CUATRO CÉNTIMOS

<b>TES302</b>		<b>Té de fundición con enchufe</b> Té de fundición dúctil de 300 mm de diámetro, con salida recta en brida igual o inferior y sistema de acople por enchufe con dos acoples, colocada y montada en obra, en terrenos de adecuada capacidad portante, sin incluir excavación, terraplén ni extendido de tierras.			
TES3021	2,000 u	Té de fundición	697,23	1.394,46	
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>					<b>1.394,46</b>

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de MIL TRESCIENTOS NOVENTA Y CUATRO EUROS con CUARENTA Y SEIS CÉNTIMOS

<b>CPA304</b>		<b>Tubo pasamuros 300</b> Tubo pasamuros en chapa de acero liso de 6 mm. de espesor, 300 mm. de diámetro y 0,80 m. de longitud. Incluso brida PN-10 de 400 mm.			
CPA3041	4,000 u	Tubo Pasamuros	371,22	1.484,88	
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>					<b>1.484,88</b>

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de MIL CUATROCIENTOS OCHENTA Y CUATRO EUROS con OCHENTA Y OCHO CÉNTIMOS

<b>CDE3151</b>		<b>Carrete desmontaje 300</b> Carrete de desmontaje en acero de 6 mm. de espesor de 300 mm. de diámetro interior, totalmente instalado y probado; incluso p.p. de juntas y tornillería.			
CDE31511	1,000 u	Carrete desmontaje	563,04	563,04	
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>					<b>563,04</b>

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de QUINIENTOS SESENTA Y TRES EUROS con CUATRO CÉNTIMOS

<b>16VM.302</b>		<b>Válvula mariposa 300, 16atm</b> Válvula de mariposa con cuerpo de fundición nodular, embridada, con desmultiplicador, eje de acero inoxidable, lenteja de acero inoxidable, anillo con E.P.D.M., con p.p. de juntas y tornillería; presión de trabajo 16 atm, para diámetro de 300 mm, instalada. Con recubrimiento de tipo Epoxi.			
16VM.3021	1,000 u	Válvula mariposa	740,32	740,32	
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>					<b>740,32</b>

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de SETECIENTOS CUARENTA EUROS con TREINTA Y DOS CÉNTIMOS

**CUADRO DE DESCOMPUESTOS**

SRHA

CÓDIGO	CANTIDAD UD	RESUMEN	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
--------	-------------	---------	--------	----------	---------

**CAPÍTULO CAP6 SISTEMAS DE PROTECCIÓN TRANSITORIO HIDRÁULICO**

**SUBCAPÍTULO C6.1 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN**

<b>CALD</b>		<b>Calderín de 6m3 de capacidad</b> Calderín hidroneumático para grupos de presión. Modelo 5000AMR. Conexiones embriadas conforme a EN109-1, boca de hombre DN400 y recubrimiento interno de pintura epoxi. Membrana recambiable apta para agua potable. Dimensiones D=1500mm y H=3840mm.Precarga de 1,5bares			
CALD1	1,000 u	Calderín	25.510,97	25.510,97	
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>					<b>25.510,97</b>

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de VEINTICINCO MIL QUINIENTOS DIEZ EUROS con NOVENTA Y SIETE CÉNTIMOS

<b>16VSP.315</b>		<b>Válvula Sostenedora de Presión</b> Válvula de control hidráulico accionada por diafragma, cámara doble. Cuerpo en Nylon reforzado con fibra de vidrio, diafragma en Buna N reforzado con Nylon, tornillos y resorte en Acero inoxidable, presión de trabajo de 7 a 145 PSI.			
VSP1	1,000 u	Válvula sostenedora de presion	11.198,50	11.198,50	
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>					<b>11.198,50</b>

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de ONCE MIL CIENTO NOVENTA Y OCHO EUROS con CINCUENTA CÉNTIMOS

<b>16VENT150</b>		<b>Ventosa trifuncional</b> Ventosa trifuncional de 100mm para expulsión del aire contenido en el agua con la instalación en carga. Funcionamiento por bola flotante de polipropileno. Gran capacidad de extracción de aire. Presión de trabajo PN16. Filtro para evitar la introducción de cuerpos extraños en la zona de cierre. Cuerpo y cúpula fundición nodular GGG-40/GJL-40. Cierre neopreno vulcanizado. Bola flotante: polipropileno. Tornillería acero inoxidable. Triple efecto: base metálica. Recubrimiento EPOXY			
VENT1	1,000 u	Ventosa trifuncional	520,64	520,64	
<b>TOTAL PARTIDA.....</b>					<b>520,64</b>

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de QUINIENTOS VEINTE EUROS con SESENTA Y CUATRO CÉNTIMOS

7.2. RESUMEN PRESUPUESTO

**RESUMEN DE PRESUPUESTO**

SRHA

<b>CAPITULO</b>	<b>RESUMEN</b>	<b>EUROS</b>	<b>%</b>
CAP1	INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA .....	202.808,50	64,04
CAP2	ADAPTACIÓN Balsa EPANET .....	1.999,42	0,63
CAP3	FOSO Y CASETA DE BOMBEO .....	60.354,09	19,06
CAP4	ARQUETA DE ENTRADA A FOIA BERENGUER .....	8.239,88	2,60
CAP5	ARQUETA DE CONEXIÓN CONDUCCIÓN IMPULSIÓN .....	6.075,47	1,92
CAP6	SISTEMAS DE PROTECCIÓN TRANSITORIO HIDRÁULICO .....	37.230,11	11,76
	<b>TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL</b>	<b>316.707,47</b>	
	13,00% Gastos generales.....	41.171,97	
	6,00% Beneficio industrial.....	19.002,45	
	<b>SUMA DE G.G. y B.I.</b>	<b>60.174,42</b>	
	21,00% I.V.A.....	79.145,20	
	<b>TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA</b>	<b>456.027,09</b>	
	<b>TOTAL PRESUPUESTO GENERAL</b>	<b>456.027,09</b>	

Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de CUATROCIENTOS CINCUENTA Y SEIS MIL VEINTISIETE EUROS con NUEVE CÉNTI-MOS

Mutxamel, a 28 de agosto de 2018.

**El promotor**

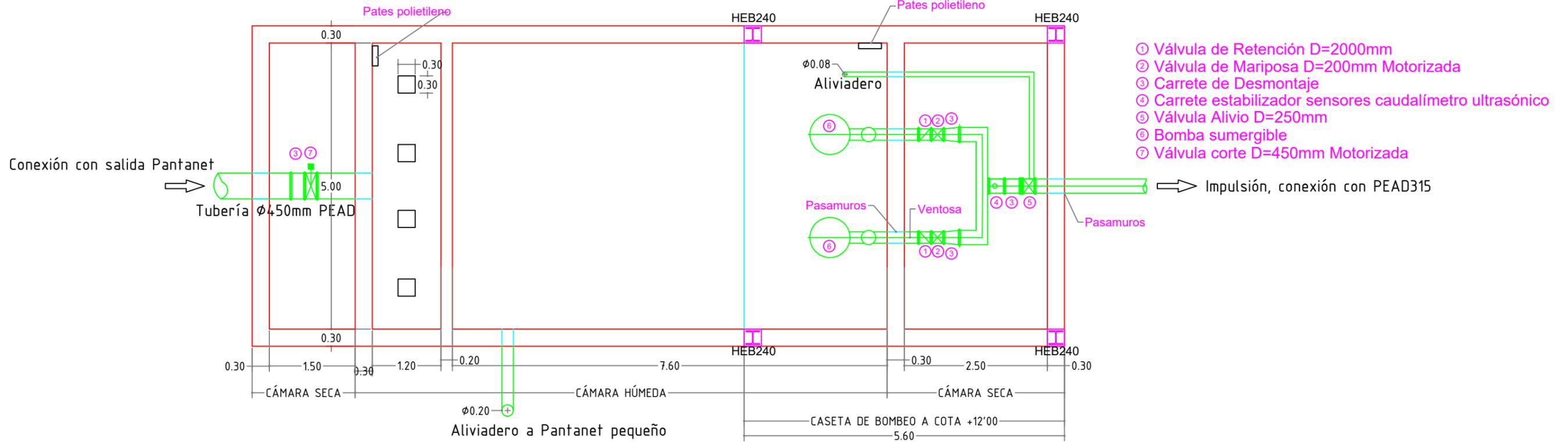
**La dirección facultativa**

# **CAPÍTULO 8.**

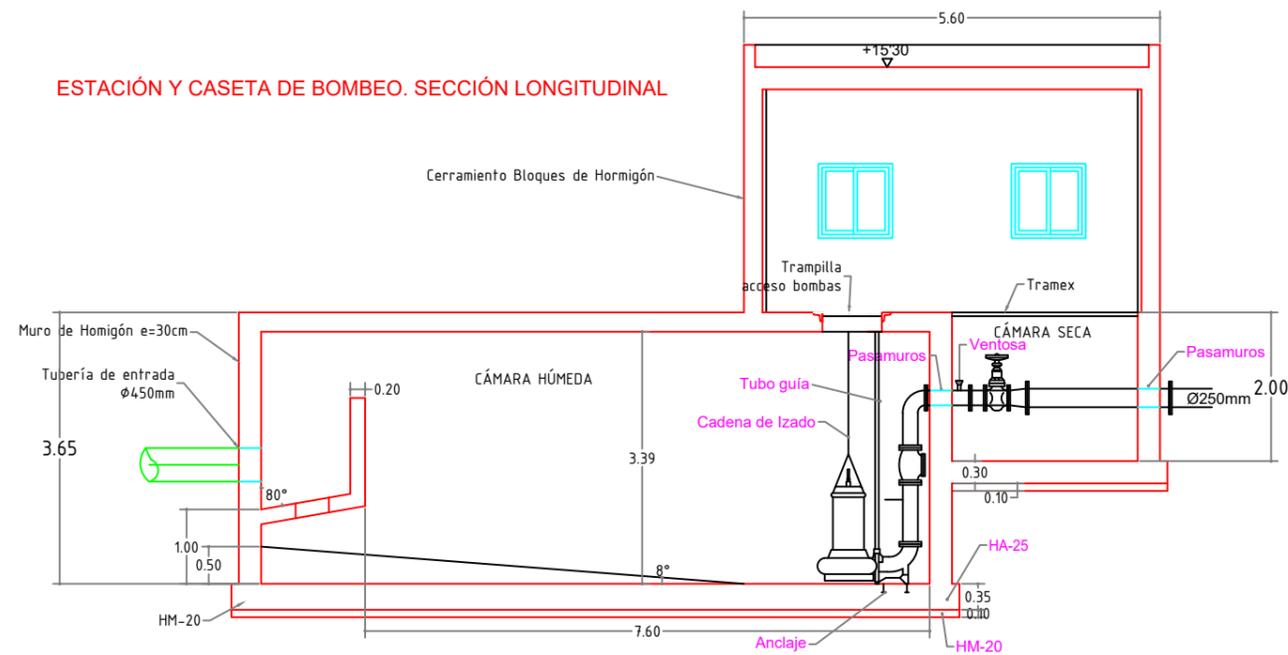
# **PLANOS**

8.1. ESTACIÓN DE BOMBEO. PLANTA, ALZADO Y SECCIÓN

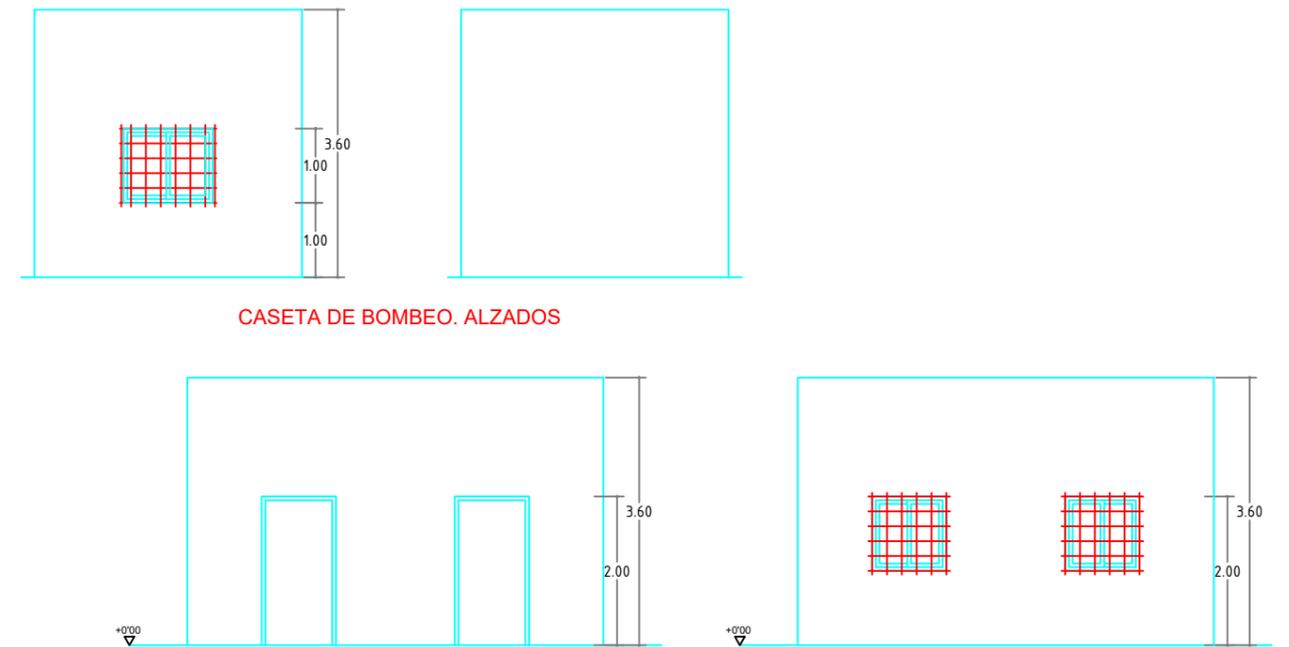
### ESTACIÓN DE BOMBEO. PLANTA



### ESTACIÓN Y CASETA DE BOMBEO. SECCIÓN LONGITUDINAL



### CASETA DE BOMBEO. ALZADOS



TRABAJO FIN DE MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL



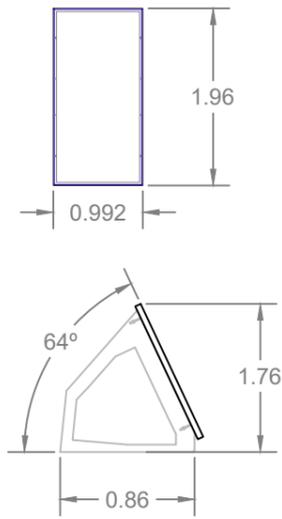
Proyecto: **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO DE 55kW PARA EL RIEGO DE LA HUERTA DE ALICANTE DE MUTXAMEL**

Plano: **Estación de Bombeo. Planta, alzado y sección.**  
 Autor: **Miguel Llopis Morales**

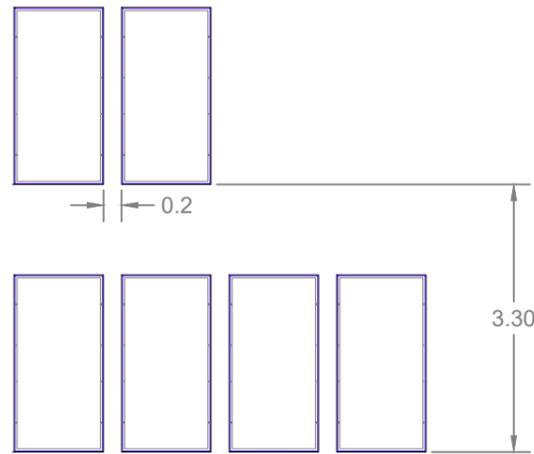
Fecha: **Junio 2018**  
 Escala: **Varias**  
 Nº Plano: **1**

## 8.2. SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y DISPOSICIÓN DE LAS PLACAS SOLARES

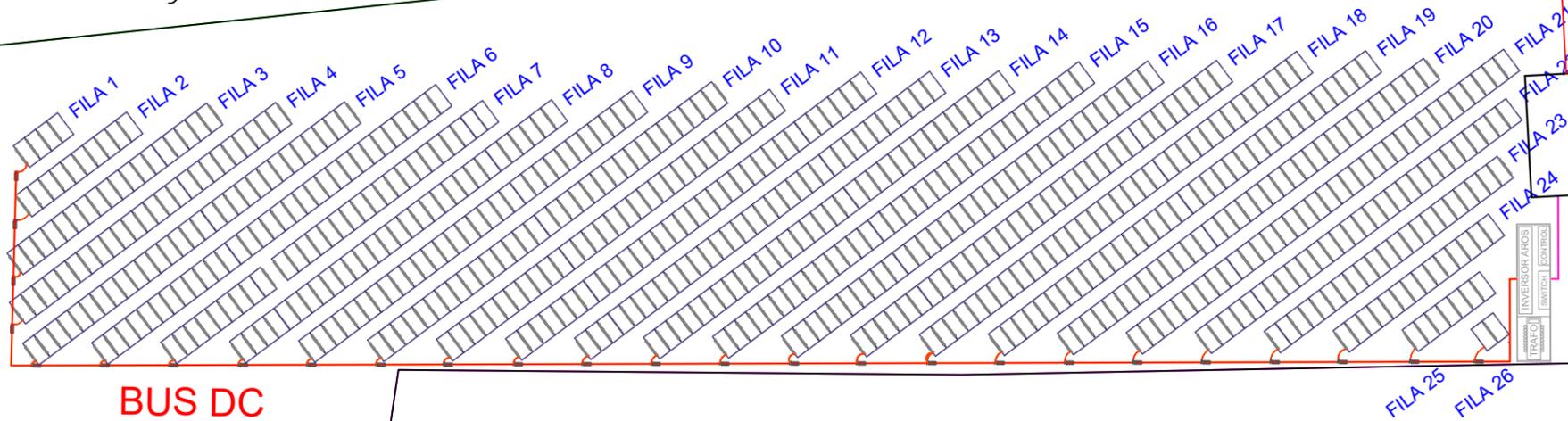
MODULO CS6X-315M PLANO 0°



MODULO CS6X-315M PLANO 64°



Carretera



PANTANET