



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Industrial

Diseño de un sistema fotovoltaico para aplicaciones de regadío

TRABAJO FIN DE MASTER

MÁSTER EN ENERGÍAS RENOVABLES

Autor: Dña. María José Gil Fernández
Director: D. Antonio Urbina Yeregui

Cartagena, a 09 de Septiembre de 2021



Universidad
Politécnica
de Cartagena

A mi director, D. Antonio Urbina, por su dedicación y apoyo tanto como profesor del Máster de Energías Renovables como director del proyecto. Por hacer de su asignatura y profesión, una línea sobre la que desear trabajar y aprender.

A mi tío Sebastián, quien, con ilusión y sacrificio, consigue estar a la vanguardia tecnológica, haciendo de cada explotación y estructura agraria, una fuente de valor. Gracias no sólo por cuidar, sino por mejorar.

A ti Papá, te quiero dedicar todo.

Contenido

Índice de tablas.....	9
Índice de ilustraciones	11
1 . Introducción	13
1.1 Motivación	13
1.2 Introducción a la eficiencia en regadío	13
1.3 Objetivos	14
1.4 Metodología	14
2 . Estado del arte.....	16
2.1 Necesidad de introducir sistemas fotovoltaicos para riego	16
2.2 Riego por goteo.....	16
2.2.1 Definición	16
2.2.2 Ventajas.....	17
2.3 Metodología para seleccionar bomba solar	17
2.4 Estudios de bombeo solar	18
2.5 Reducción de huella de carbono	19
3 . Descripción de la explotación.....	20
3.1 Generalidades de la explotación	20
3.1.1 Contexto geográfico.....	20
3.1.2 Topografía.....	20
3.1.3 Superficie regable y referencias catastrales	21
3.1.4 Procedencia de agua de riego.....	21
3.1.5 Emplazamientos	21
4 . Estudio climatológico.....	23
4.1.1 Irradiancia mensual.....	23
4.1.2 Irradiancia diaria	24
4.1.3 Datos ambientales	24
5 . Marco legislativo	26
5.1 Normativa	26
5.1.1 Ayudas y subvenciones.....	26
6 . Diseño agronómico.....	27
6.1 Calendario de irrigación.....	27
6.2 Cálculo de la evapotranspiración	28
6.3 Cálculo de demanda hídrica	30
6.4 Cálculo de parámetros de riego	31
6.4.1 Diámetro mojado	31

6.4.2 Superficie mojada	32
6.4.3 Separación de emisores.....	32
6.4.4 Número de emisores por planta	32
6.4.5 Caudales.....	32
6.4.6 Profundidad de bulbo húmedo	33
6.4.7 Programación: intervalo y tiempo de riego.....	33
6.5 Sectorización.....	34
7 . Diseño hidráulico	36
7.1 Características de los sistemas principales.....	36
7.2 Parámetros condicionantes	36
7.2.1 Diseño subunidades	38
8 . Diseño de grupo de bombeo	39
8.1 Sistema de bombeo con motores DC	39
8.2 Sistema de bombeo con motores AC	40
8.3 Justificación selección sistema de doble bomba	40
8.4 Cálculo pérdidas de carga	40
8.5 Cálculo de alturas manométricas	41
8.6 Potencias físicas de elevación	41
8.7 Demanda energética.....	42
8.8 Selección de bombas	42
8.8.1 Motobomba de alta potencia.....	42
8.8.2 Motobomba de baja potencia	43
9 . Sistemas auxiliares	45
9.1 Depósito de acumulación	45
9.2 Sistemas de control y automatización de riego.....	45
9.2.1 Contador de agua	45
9.2.2 Manómetros	46
9.2.3 Ventosas.....	46
9.3 Válvulas.....	46
9.3.1 Válvulas de bola.....	46
9.3.2 Válvulas antirretorno	46
9.3.3 Electroválvulas.....	46
9.4 Sistema de automatización	46
10 . Dimensionado de instalación solar	47
10.1 Descripción módulos fotovoltaicos	47
10.2 Selección del inversor	47
10.3 Descripción del generador fotovoltaico.....	49

10.4 Cálculo de la energía fotovoltaica generada	49
11 . Estudio económico y ambiental	51
11.1 Estudio ambiental	51
11.2 Estudio económico	54
11.2.1 Retorno de la inversión	56
Anejo I. Diseño agronómico	57
Anejo II. Diseño subunidades de riego	58
II. 1. Cálculo de parámetros condicionantes	58
II.1.1 Variación de presión máxima admisible	58
II.1.2 Longitud máxima del lateral	59
II.1.3 Presión punto inicial.....	60
II.1.4 Pérdidas de carga localizadas	60
II.1.5 Pérdidas de carga continuas en laterales y terciarias.....	60
II. 2. Cálculo de laterales	60
II.3. Cálculo de tuberías terciarias	61
II.4. Trazado de tuberías	62
II.5. Resultados	63
Anejo III. Selección grupo de bombeo	66
III.1. Análisis de las alternativas	66
III.2. Cálculos tuberías	66
III.3. Caudal de recuperación del pozo	68
III.4. Selección de bomba de alta potencia	68
III.5. Selección bomba de baja potencia	70
Anejo IV. Diseño instalación solar	73
IV.1. Horas de sol pico	73
IV.2. Dimensionado de la instalación	74
IV.2.1. Cálculo de potencia de pico máxima	74
IV.3. Selección de paneles solares	75
IV.3.1. Número máximo de módulos en serie por ramal.....	76
IV.3.2. Número mínimo de módulos en serie por ramal	76
IV.3.3. Número de ramales conectadas en paralelo	77
IV.3.4. Configuración final	77
IV.3.5. Disposición de módulos.....	77
IV.4. Selección del inversor	79
Planos	81
Referencias	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Resultados de una comparativa de viabilidad económica en Grecia.	18
Tabla 2-2. Toneladas de CO ₂ evitadas mediante la aplicación de bombeo solar [5].	19
Tabla 3-1. Datos de referencia y catastrales de la finca.	21
Tabla 3-2. Características de la captación hídrica.	21
Tabla 3-3. Características generales de la nave emplazada en la finca.	22
Tabla 4-1. Histórico de datos de irradiación, ratio de difusión y temperatura 2015-2016. Fuente PVGIS [13].	23
Tabla 4-2. Irradiancia diaria para el mes de agosto del año 2016. Fuente PVGIS [13].	24
Tabla 4-3. Datos climatológicos medios mensuales 2020. Fuente SIAR [14].	25
Tabla 6-1. Fases, período y descripción correspondientes a la irrigación del pistacho.	27
Tabla 6-2. Cálculo total de pistachos en la finca.	28
Tabla 6-3. Valores de K_r y Sc para el cálculo de la evapotranspiración.	29
Tabla 6-4. Cálculo de la evapotranspiración en el marco de cultivo 6x6m.	29
Tabla 6-5. Cálculo de la precipitación efectiva y demanda hídrica (mm/día).	31
Tabla 6-6. Volumen de agua a suministrar durante la campaña de irrigación.	31
Tabla 6-7. Diámetro mojado según la textura del terreno.	31
Tabla 6-8. Parámetros de riego por planta para distintos caudales comerciales.	32
Tabla 6-9. Intervalo y tiempo de riego mensual y anual.	34
Tabla 6-10. Caudal total bombeado por las bombas durante la campaña de riego.	34
Tabla 6-11. Sectorización de finca para riego.	34
Tabla 7-1. Datos técnicos del emisor.	36
Tabla 7-2. Características de tuberías laterales.	36
Tabla 7-3. Parámetros condicionantes en diseño de subunidades.	37
Tabla 7-4. Resultado del dimensionado de subunidades utilizando Dimsub.	38
Tabla 7-5. Resultado económico por subunidad utilizando Dimsub.	38
Tabla 8-1. Parámetros y cálculo de pérdida de carga hf.	40
Tabla 8-2. Potencia física para bomba de alta potencia (4,36 kW).	41
Tabla 8-3. Potencia física para bomba de baja potencia (538,1 W).	41
Tabla 8-4. Especificaciones técnicas y eléctricas de la motobomba sumergible SPE 17-20.	43
Tabla 8-5. Especificaciones técnicas y eléctricas de la motobomba centrífuga vertical CRIF 5-6.	44
Tabla 9-1. Condicionantes para depósito de acumulación.	45
Tabla 9-2. Características del depósito.	45
Tabla 10-1. Características módulo solar ERA PERC mono 400W.	47
Tabla 10-2. Características del inversor SD 700SP.	48

Tabla 10-3. Características del generador fotovoltaico.....	49
Tabla 10-4. Cálculo de la energía fotovoltaica generada.	50
Tabla 11-1. Parámetros ambientales [20].....	51
Tabla 11-2. Energía generada y emisiones evitadas en un marco de 50 años.....	52
Tabla 11-3. Parámetros económicos [19].....	53
Tabla 11-4. Ahorro económico por tonelada de CO ₂ evitado a la atmósfera.....	54
Tabla 11-5. Presupuesto instalación de bombeo solar.	55
Tabla 11-6. Presupuesto instalación del circuito hidráulico.....	55
Tabla 11-7. Análisis de retorno de la inversión.....	56
Tabla I-1. Cálculo de evapotranspiración. CROPWAT.	57
Tabla I-2. Cálculo de precipitación efectiva. CROPWAT.....	57
Tabla II-1. Ecuación característica del emisor y presión de trabajo. AZUD.	58
Tabla II-2. Longitudes máximas admisibles para laterales de PE de Ø 16 mm. AZUD.....	59
Tabla II-3. Ábaco de pérdidas y diámetro de tubería terciaria.	61
Tabla II-4. Resultados de tuberías laterales del sector 1. Dimbub.	63
Tabla II-5. Resultados de tuberías laterales del sector 2. Dimbub.	64
Tabla II-6. Resultados de tuberías laterales del sector 3. Dimbub.	65
Tabla IV-1. Cálculo de horas de sol pico y producción eléctrica diaria para distinta potencia... 74	74
Tabla IV-2. Cálculo de la potencia de pico máxima del generador.	74
Tabla IV-3. Comparativa de paneles monocristalino y policristalino.....	75
Tabla IV-4. Cálculo de número máximo de módulos en serie por ramal.....	76
Tabla IV-5. Cálculo de número mínimo de módulos en serie por ramal.	77
Tabla IV-6. Cálculo de número de ramales en paralelo.	77
Tabla IV-7. Configuración y potencia final del generador fotovoltaico.	77
Tabla IV-8. Cálculo de distancia mínima entre paneles en cubiertas inclinadas.	77
Tabla IV-9. Medidas panel fotovoltaico ERA 400W PERC monocristalino.....	78

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1. Consumo de agua para regadío frente a coste unitario del agua. Fuente INE [2].	14
Ilustración 1-2. Funcionamiento de instalación de bombeo solar para riego.	15
Ilustración 2-1. Diagrama de bombeo solar fotovoltaico desde pozo para riego por goteo. [7] .	16
Ilustración 2-2. Sistema tradicional de selección de bombas [8].	17
Ilustración 2-3. (a) Comparación del volumen de agua bombeado por cuatro bombas posibles durante los un año y (b) durante las horas de bombeo del día característico de julio [8].	18
Ilustración 2-4. Coeficiente ahorro-inversión para los tres escenarios [10].	19
Ilustración 2-5. GWP (Global Warming Potential) contribución de CO ₂ [11].	19
Ilustración 3-1. Vista centrada de la finca “El Pozo Nuevo” mes de febrero 2021.	20
Ilustración 3-2. Vista perimetral de la explotación agraria. Fuente SIGPAC [12].	21
Ilustración 3-3. Nave industrial destinada a instalación de paneles solares. PVSYST.	22
Ilustración 6-1. Producción de pistachos en fase crecimiento.	27
Ilustración 6-2. Vista aérea de los marcos de cultivo (6x6m) y planta de nave agrícola.	28
Ilustración 6-3. Datos técnicos de modelos de emisores. Fuente catálogo empresa AZUD.	31
Ilustración 6-4. Vista geográfica de irrigación sectorizada.	35
Ilustración 8-1. Curva de radiación frente a evapotranspiración del cultivo. CROPWAT.	42
Ilustración 8-2. Curva P-Q bomba SPE 17-20. Grundfos.	43
Ilustración 8-3. Curva P-Q bomba CRIF 5-6. Grundfos.	44
Ilustración 10-1. Aspecto físico del panel solar 400W PERC monocristalino ERA [17].	47
Ilustración 10-2. Aspecto físico del inversor SD 700SP [18].	48
Ilustración 10-3. Especificaciones del inversor para una potencia de 15 kW.	48
Ilustración 10-4. Esquema de la instalación fotovoltaica de alta potencia.	49
Ilustración 11-1. Emisiones evitadas totales en 50 años.	53
Ilustración II-1. Curva característica de emisor autocompensante.	58
Ilustración II-2. Cálculo de longitud máxima de lateral en Dimsb.	61
Ilustración II-3. Trazado de tuberías.	62
Ilustración III-1. Tipo de bombeo solar en función del caudal y altura total de bombeo.	66
Ilustración III-2. Perfil topográfico del desnivel y alturas desde pozo hasta punto más lejano de riego hacia el Norte de la finca. Google Earth.	67
Ilustración III-3. Perfil topográfico del desnivel y alturas desde pozo hasta punto más lejano de riego hacia el Sur de la finca. Google Earth.	67
Ilustración III-4. Interfaz para dimensionado de bombas solares sumergibles. GRUNDFOS.	68
Ilustración III-5. Curva P-Q para bomba SPE 17-20 junto con producción de agua en el mes de julio. GRUNDFOS.	69

Ilustración III-6. Interfaz para dimensionado de bombas de superficie. GRUNDFOS.....	70
Ilustración III-7. Interfaz para cálculo de pérdidas por fricción en el sistema de tuberías. GRUNDFOS.....	70
Ilustración III-8. Curva P-Q para bomba CRIF 5-6 junto con producción de agua en el mes de julio. GRUNDFOS.....	71
Ilustración III-9. Curva P-Q para bomba CRIF 3-5 junto con producción de agua en el mes de julio. GRUNDFOS.....	72
Ilustración IV-1. Cálculo de horas de sol pico en Albacete. [21].....	73
Ilustración IV-2. Características de módulos a T=25°C y niveles variables de radiación. [17].	76
Ilustración IV-3. Características de módulos a 1000W/m2 a distintas temperaturas. [17]	76
Ilustración IV-4. Separación entre módulos fotovoltaicos para evitar sombras. Monsolar.	78
Ilustración IV-5. Vista de la disposición de paneles solares en cubierta. PVSYST.....	79
Ilustración IV-6. Funcionamiento de una bomba e inversor SD 700SP en sistema aislado [18].	79
Ilustración IV-7. Diagrama operacional del inversor SD 700 SP [18].....	80

1 . INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

En el contexto actual, la tendencia alcista de los costes energéticos, la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero acompañadas de la particularidad de dependencia energética de España, obliga a la explotación de los recursos naturales renovables para su obtención y aprovechamiento [1].

En la economía española tiene cada vez menor peso contributivo el sector primario, pero en contraposición, durante el año 2020 representado por una crisis mundial, la variación interanual del PIB agrícola fue la única positiva (+6,3 %), frente a los retrocesos de Industria (-23,8 %) y Servicios (-21,3 %) según datos del Instituto Nacional de Estadística, traduciéndose como un sector cuya inversión es estratégica, ya que la sociedad mundial demanda cada vez más, productos de origen ecológico y sostenible.

La agricultura de regadío en España usa el 40 % de la demanda eléctrica del sector del agua, y supone un 2,3% del consumo nacional de electricidad; Su innovación para conseguir rentabilidad y sostenibilidad es una necesidad inmediata ya que la tarifa eléctrica aplicada al regadío continúa aumentando su coste en término de potencia sin tener en cuenta factores tan importantes como lo son la estacionalidad.

Introducir sistemas de riego por goteo mediante energía solar fotovoltaica dedicada al ahorro de recursos, así como al fomento de las energías renovables dentro del marco de transición energética es una obligación.

En definitiva, el riego por goteo mediante la producción eléctrica de origen renovable es crucial para hacer de la agricultura un sector competitivo que cumpla con las exigencias ambientales en el binomio agua-energía, mediante el ahorro de agua y mitigación del cambio climático.

1.2 Introducción a la eficiencia en regadío

En el contexto económico nacional. Castilla la Mancha aporta un 27% de superficie destinada al cultivo ecológico total y cumple con unas condiciones idóneas para el empleo de energía solar fotovoltaica por sus altos niveles de irradiancia (superiores a 2.000 kWh/m² por año y con meses por encima de 220 kWh/m², datos de PVGIS para Latitud/Longitud: 38.995, -1.860 en la provincia de Albacete).

El riego es una de las actividades más vulnerables de las políticas públicas, destinando un alto porcentaje de demanda eléctrica a dicha actividad. Tanto la potencia eléctrica generada en los paneles fotovoltaicos como las necesidades de agua de los cultivos, se van a ceñir por la misma variable: la radiación solar; a mayor insolación mayor producción eléctrica, principio fundamental del presente trabajo y motivo por el que se elige un sistema de doble bomba. En Ilustración 1-1 se observa la estabilidad de consumo de agua para regadío y el coste unitario de agua de la última década.

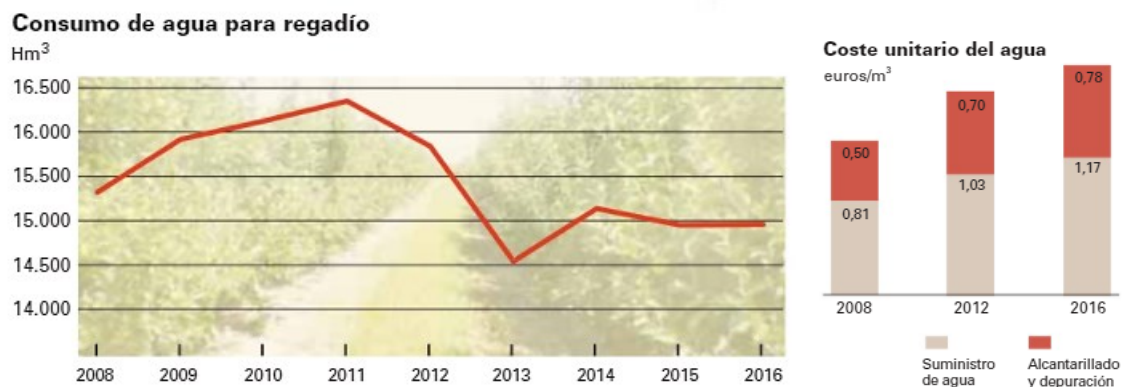


Ilustración 1-1. Consumo de agua para regadío frente a coste unitario del agua. Fuente INE [2].

1.3 Objetivos

El objetivo principal del trabajo consistirá en diseñar y caracterizar un sistema de bombeo solar aislado en el que la energía solar será captada por paneles solares, los cuales estarán dispuestos sobre una cubierta ubicada en una explotación agraria de pistachos localizada, con propósitos de irrigación de caudal constante.

Es reseñable que el trabajo supone una innovación debido a la implementación de un sistema de doble bomba para solucionar la problemática de pérdida energética ya que en las instalaciones actuales existe una franja horaria del día en el que a pesar de existir irradiancia, no se alcanza el mínimo para arrancar la motobomba, y cuando ésta llega a su punto de máxima potencia (irradiancia máxima) se para con el fin de evitar entrar en saturación. El presente diseño supone un nuevo sistema de aprovechamiento de energía cuando es inviable la utilización de baterías al ser un sistema aislado.

Los paneles fotovoltaicos producen corriente continua, siendo directamente utilizada por la bomba de baja potencia y caudal, sin embargo, con la bomba sumergible (será la de alta potencia y gran caudal), será necesario transformarla en corriente alterna mediante un inversor variador de frecuencia, a través de un cuadro de control. Desde dicho cuadro de control, que cuenta con seguimiento del punto de máxima potencia, un autómata programado será el encargado de, contando con la información que facilitan las boyas de nivel del pozo y del depósito, en función de la radiación disponible en cada momento hacer funcionar las bombas por separado o a la vez.

1.4 Metodología

Para realizar el dimensionado de las dos bombas implicadas, se partirá de un diseño bajo demanda para aplicación de regadío, en el que la bomba limitante será la de alta potencia. Es necesario tener en cuenta diferentes criterios fundamentales en el cultivo como las que se definen a continuación:

- Estacionalidad: Existen determinadas épocas del año en las que es fundamental el riego para garantizar productividad de la plantación (kg/árbol), y en las que resulta de gran provecho el aprovechamiento de los recursos naturales como la irradiancia solar.
- Tipo de plantación: Es crucial determinar el tipo de cultivo, en este trabajo se realizará sobre pistachos. Se trata de un árbol que es originario de países orientales, de secano y cuyo riego supone un incremento de producción de fruto seco abierto, así como un aumento de vida útil de la plantación, aumentando así su valor comercial.

- Tipo de riego: Una vez definidos los requerimientos propios del árbol, se elige como óptimo el riego de apoyo de caudal constante y no el intensivo al tratarse de secano.
- Superficie: Conocidas las hectáreas destinadas a riego, el caudal máximo requerido para el abastecimiento de toda la plantación y el caudal proporcionado por el grupo de bombeo siendo el límite el árbol más alejado del punto origen de bombeo, puede determinarse el número de sectores que son necesarios en la instalación agraria.
- Desnivel: se estudiará la topografía de la superficie total para regadío, realizando un análisis del posible aprovechamiento del riego por gravedad y la eventual necesidad de bombeo a distintas alturas o con posible depósito de agua auxiliar.
- Ubicación de la fuente hídrica: Su posición es determinante en el dimensionado de potencia de bombeo puesto que el recurso hídrico debe llegar al punto más alejado de la plantación con presión.

Se calcularán los requisitos de potencia y energía que el sistema fotovoltaico deberá suministrar para alimentar los sistemas de bombeo necesarios. A partir de los datos de demanda de energía en el “mes peor” (considerando mes peor aquel que tiene peor relación entre demanda de consumo y generación fotovoltaica), y utilizando información de las condiciones ambientales, se propondrá un diseño de sistema fotovoltaico autónomo.

Se realizará la selección de dos bombas con amplia diferencia de potencia entre ambas, calculando el rendimiento eléctrico individual y rendimiento global de la instalación. Además, se seleccionarán los paneles solares fotovoltaicos que ofrezcan una alta eficiencia y LCOE ofreciendo finalmente un estudio de viabilidad económica. En Ilustración 1-2 se define un esquema con el funcionamiento de la instalación de bombeo solar.

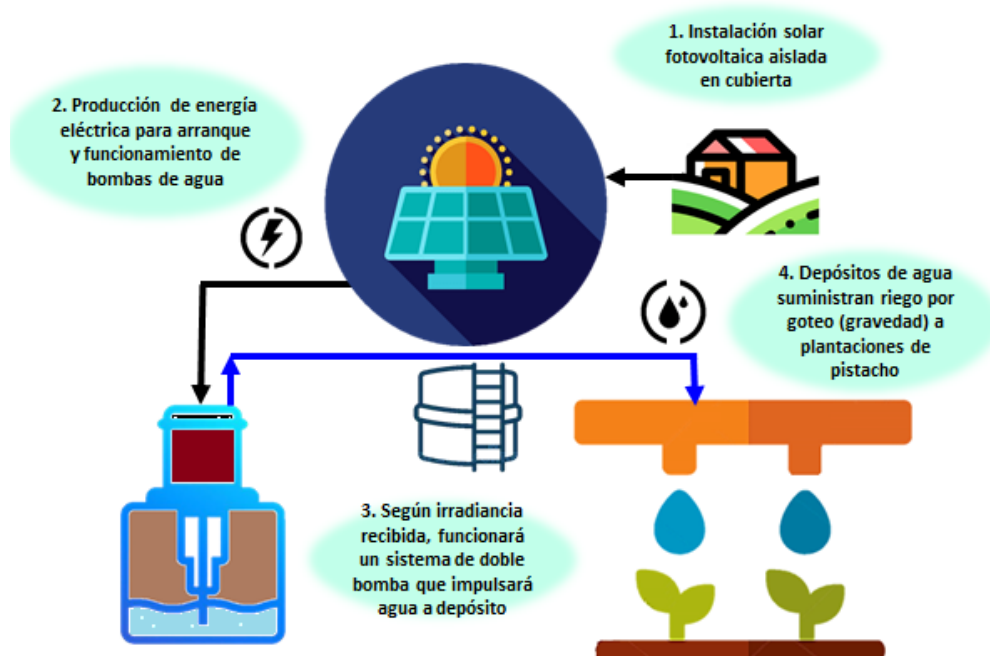


Ilustración 1-2. Funcionamiento de instalación de bombeo solar para riego.

2 . ESTADO DEL ARTE

En la actualidad, la conversión fotovoltaica de energía solar a eléctrica para alimentar bombas de agua es una tecnología emergente que supone grandes desafíos [3]. La tecnología fotovoltaica se puede aplicar a mayor escala y presenta una alternativa ambiental a las bombas de agua convencionales alimentadas por combustibles fósiles [4].

2.1 Necesidad de introducir sistemas fotovoltaicos para riego

Los nuevos proyectos de modernización del riego en el levante español se caracterizan por sustituir los sistemas tradicionales con nuevos sistemas de riego presurizado de caudal constante. El principal requisito de estos sistemas es emplear fuentes de energía sostenibles, para obtener una presión de trabajo mínima que permita su uso con riego ubicado en sus diferentes modalidades, produciendo un mejor desempeño de eficiencia hídrica [5].

2.2 Riego por goteo

El riego localizado se ha expandido sustancialmente durante el último décadas, tras la introducción del riego por goteo a principios de la década de 1960. En la bibliografía consultada de riego fotovoltaico por goteo, existe un estudio de producción para una plantación de almendros en Córdoba (árbol que requiere cuidados similares al pistacho, y con mismas necesidades hídricas) en el que se concluye que un aumento en el volumen de suelo mojado de riego por goteo produjo un aumento del crecimiento de los árboles y producción de frutos.

Es fundamental que este tipo de plantación susceptible de padecer estrés hídrico, a pesar de haber recibido el agua adecuada, mediante el incremento de superficie de suelo mojado aplicando una sola línea de riego por goteo por línea de árboles podría favorecer el crecimiento potencial de los árboles [6].

2.2.1 Definición

El riego por goteo es un método de irrigación localizado que permite una aplicación óptima de agua en los sistemas agrícolas de zonas áridas. El agua aplicada se infiltra en el suelo irrigando directamente la zona de influencia radicular a través de un sistema de tuberías y emisores.

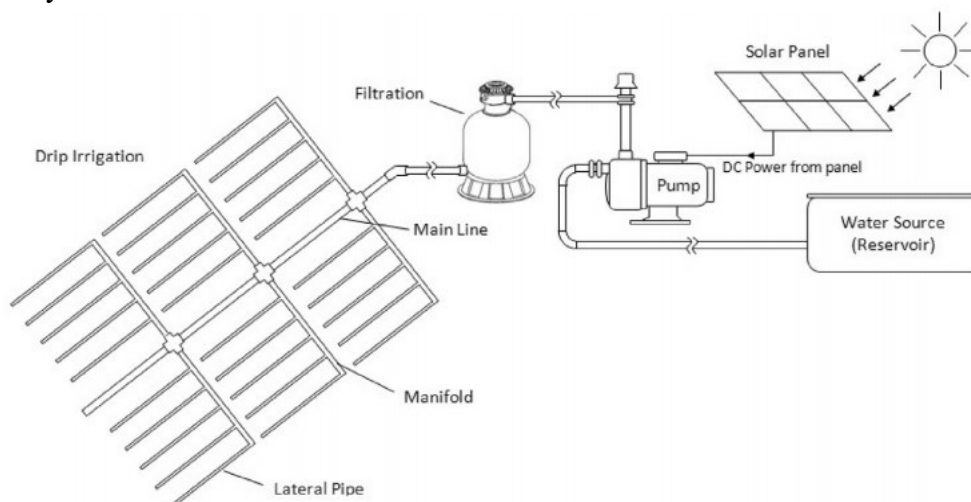


Ilustración 2-1. Diagrama de bombeo solar fotovoltaico desde pozo para riego por goteo. [7]

2.2.2 Ventajas

Entre las múltiples ventajas que ofrece el riego por goteo, los principales beneficios son:

1. Minimiza las pérdidas por infiltración profunda.
2. Reduce la superficie útil de riego aplicando diariamente únicamente las necesidades hídricas que requiere la planta y sólo en el área radicular.
3. La reducción del fenómeno de evaporación del agua en el suelo.
4. Fácil adaptación a terrenos irregulares y con suelos cuya naturaleza es poco apropiada para el cultivo.
5. Reduce la aparición de mala hierba.
6. Reduce costes debido al poco mantenimiento y mano de obra que supone su instalación.

2.3 Metodología para seleccionar bomba solar

El método tradicional de selección de bombas tiene como objetivo minimizar la desviación entre los puntos de trabajo especificados y los reales, es decir, elegir una bomba con el mejor punto de eficiencia (BEP) lo más próximo al punto de operación [8].

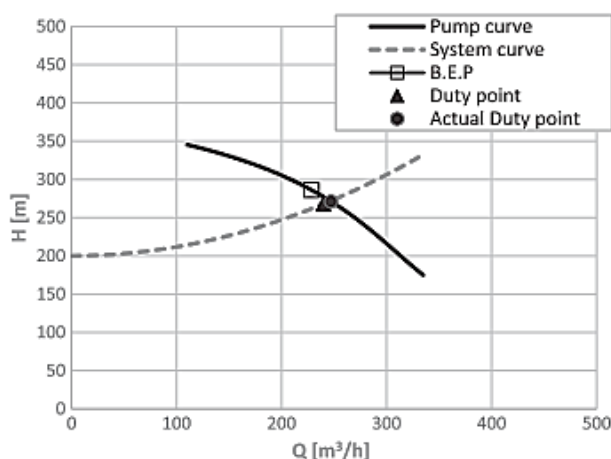


Ilustración 2-2. Sistema tradicional de selección de bombas [8].

En los sistemas de riego fotovoltaicos se trabaja con frecuencia variable, mediante un convertidor de dicha frecuencia, es posible variar la velocidad de rotación de la bomba ajustando la frecuencia de funcionamiento a la potencia fotovoltaica disponible. Por lo tanto, hay que asegurar que la bomba es capaz de trabajar en una amplia gama de frecuencias para un determinado sistema. Dicha condición se cumple si la bomba tiene una curva H-Q con alta pendiente para permitir una variedad de puntos de intersección entre la curva del sistema y las curvas H-Q de la bomba a diferentes frecuencias [8].

La metodología a seguir en la selección de bombas alimentadas por generadores fotovoltaicos es la siguiente [8]:

- Seleccionar las bombas con una curva H-Q a 50 Hz con la mayor pendiente de las que pueden funcionar en un determinado punto de trabajo.
- Seleccionar las bombas cuyo punto de trabajo está en el "tercio derecho" de la curva H-Q. El punto de trabajo en la parte derecha de la curva H-Q, junto con su gran pendiente, permitirá una amplia gama de frecuencias de funcionamiento.
- Identificar la frecuencia de funcionamiento más baja a la que se encuentra la bomba para comenzar el bombeo.
- Seleccionar la bomba con la mejor eficiencia entre las disponibles.

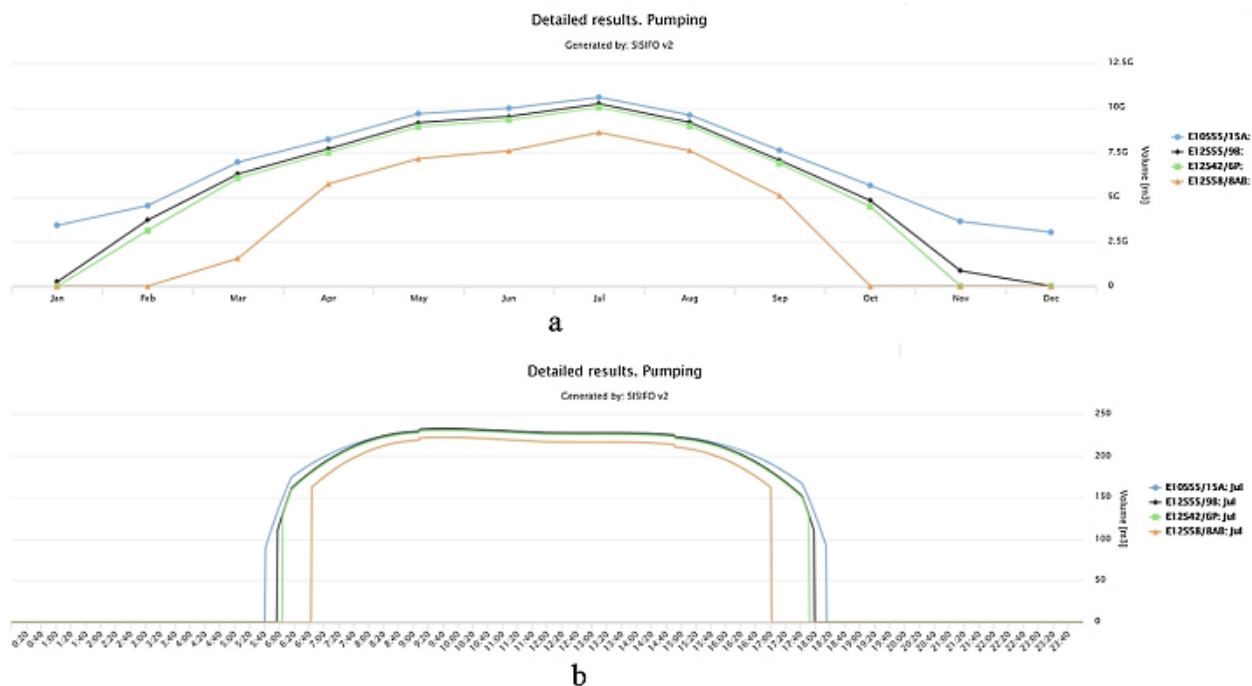


Ilustración 2-3. (a) Comparación del volumen de agua bombeado por cuatro bombas posibles durante los un año y (b) durante las horas de bombeo del día característico de julio [8].

2.4 Estudios de bombeo solar

En Creta (Grecia) se realizó un estudio de viabilidad económica entre un sistema de riego con una bomba diésel convencional y otro aplicando riego mediante bombeo solar fotovoltaico. La metodología elegida para evaluar la viabilidad del sistema fotovoltaico tiene en cuenta numerosos parámetros (y favoreciendo los precios del diésel considerando cero anual el aumento del precio, diésel agrícola subvencionado). Tras aplicar el método del coste total del ciclo de vida del producto (LCC) de ambos sistemas, resulta notablemente más barato el bombeo fotovoltaico [9].

	Diésel	Solar
Inversión inicial	1.550 €	6.750 €
LCC a 25 años	27.000 €	22.325 €

Tabla 2-1. Resultados de una comparativa de viabilidad económica en Grecia.

Otro estudio en Turquía corrobora los resultados anteriores. Aplicando el mismo método LCC, mediante el establecimiento de tres escenarios económicos:

1. Escenario sin subvenciones.
2. Con subvención del 50% (no incluye coste del módulo fotovoltaico).
3. Con subvención del 50% (incluye coste del módulo fotovoltaico).

Se concluye que el coste del combustible y la variabilidad de precios del mercado, hacen que el sistema de bombeo diésel de agua sea más caro que el sistema PVWP después de 8,2 años para el primer escenario, 10 años para el segundo escenario y 7,6 años para el tercer escenario [10].

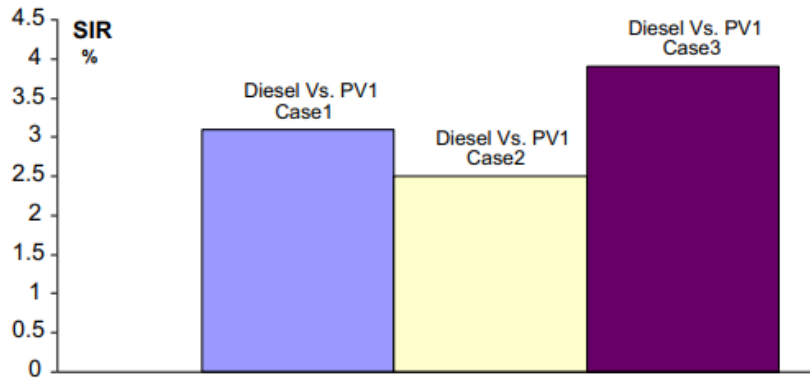


Fig. 14. Saving to investment ratio (SIR) for three cases.

Ilustración 2-4. Coeficiente ahorro-inversión para los tres escenarios [10].

2.5 Reducción de huella de carbono

En España se realizó un estudio sobre contaminación entre sistemas conectados a red y los aislados. La opción fotovoltaica conectada a red permitió la exportación de exceso de energía, teniendo un impacto medioambiental seis veces menor que aislados [11].

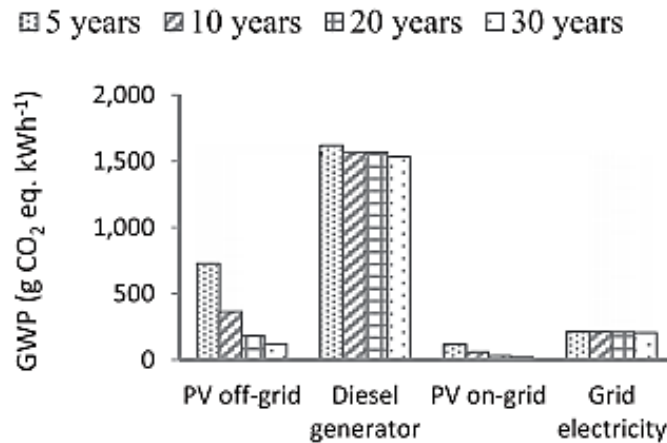


Ilustración 2-5. GWP (Global Warming Potential) contribución de CO₂ [11].

Aprovechando otro estudio realizado en Murcia, compara distintas instalaciones fotovoltaicas (con agua procedente de recursos naturales dispares), la cantidad de dióxido de carbono en toneladas evitable a la atmósfera mediante la implantación de sistemas solares para bombeo de agua:

Huella de CO ₂ evitado mediante el uso de bombes fotovoltaicos (t CO ₂)			
	PV kWh/año	g CO ₂ /kWh	t CO ₂
Instalación FV bombeo WWTP	108,64	311	33,79
Instalación FV bombeo Well	543,2	311	168,94
Instalación FV bombeo TST	360,971	311	112,26
Total			314,99

Tabla 2-2. Toneladas de CO₂ evitadas mediante la aplicación de bombeo solar [5].

3 . DESCRIPCIÓN DE LA EXPLOTACIÓN

3.1 Generalidades de la explotación

3.1.1 Contexto geográfico

La finca agraria a la que se quiere instalar el sistema de bombeo solar se encuentra situada en el término municipal Santa María del Campo. Se ubica al sur de la provincia de Cuenca, en la vega del río Júcar, lugar idóneo para la explotación de energía solar fotovoltaica. En la zona es predominante el sistema de riego localizado por goteo, aunque hay algunas explotaciones dotadas de sistema de riego por aspersion (cobertura total enterrada y cobertura superficial).

En los últimos cinco años, los agricultores de Castilla la Mancha están apostando fuertemente por el cultivo de pistacho y almendro por su gran demanda mundial, atrayendo consigo a arrendadores extranjeros que invierten en estas explotaciones a largo plazo debido a su longeva producción.



Ilustración 3-1. Vista centrada de la finca “El Pozo Nuevo” mes de febrero 2021.

3.1.2 Topografía

La topografía de la zona se define mayoritariamente ondulada, pendientes entre 2-8%, con zonas fuertemente onduladas, pendientes entre 8-16%, contando con una orografía montañosa de terreno franco arenoso con intervalo de humedad disponible de 120 mm/m que se traduce como poca capacidad de absorción, y con una altura de la finca a 882 m.s.n.m.

3.1.3 Superficie regable y referencias catastrales

En la siguiente tabla se reflejan los datos de referencia de la explotación agraria acompañada de la Ilustración 3-2 en la que es apreciable la distribución del perímetro irregular de la finca.

Provincia	Municipio	Polígono	Parcela	Superficie total (ha)	Superficie cultivada (ha)
Cuenca	Santa María del Campo Rus	507	24	34,12	26,92

Tabla 3-1. Datos de referencia y catastrales de la finca.



Ilustración 3-2. Vista perimetral de la explotación agraria. Fuente SIGPAC [12].

3.1.4 Procedencia de agua de riego

La procedencia del agua disponible para el riego es de una captación subterránea localizada de origen natural dentro de la finca y de uso privado. Las características se definen en la siguiente tabla:

Altura dinámico (m)	Altura estático (m)	Diámetro pozo (m)
22	12	1,2

Tabla 3-2. Características de la captación hídrica.

El bombeo del agua se realizará con la instalación de una bomba sumergible por debajo del nivel dinámico del agua. Así mismo, la alimentación de ésta no podrá realizarse con suministro de electricidad de la red, puesto que no existe ningún tendido eléctrico próximo a la finca.

3.1.5 Emplazamientos

Se localiza una nave industrial (Ilustración 3-3) cuyo uso principal es de almacén dentro de la explotación, situada en el interior de la parcela. Se toma la construcción como el origen del bombeo solar por distintas razones:

1. Sobre el techo de la nave industrial se instalarán los paneles fotovoltaicos, evitándose efectos indeseables como pérdidas por sombras.
2. El pozo de agua se sitúa en el lateral del almacén, por lo que el cableado a la instalación solar será también mínimo.
3. La distribución de distancias a partir del edificio no es equidistante a ambos lados, por lo que existirá una distancia máxima que marcará una condición en el dimensionado de la bomba.
4. Es el punto de la finca con cota más baja, por lo que será más sencillo practicar el bombeo de agua y riego por goteo.

Sus características principales son las que se relacionan en la Tabla 3-3:

Característica	Descripción
Tipo de cubierta	A un agua
Muros	Hormigón
Dimensiones	25m x 13m
Altura total	7 m
Inclinación sobre suelo	015º
Orientación	330º-150º
Ubicación	39º34,53'N-002º22,44'W
Altitud	866-882m

Tabla 3-3. Características generales de la nave emplazada en la finca.

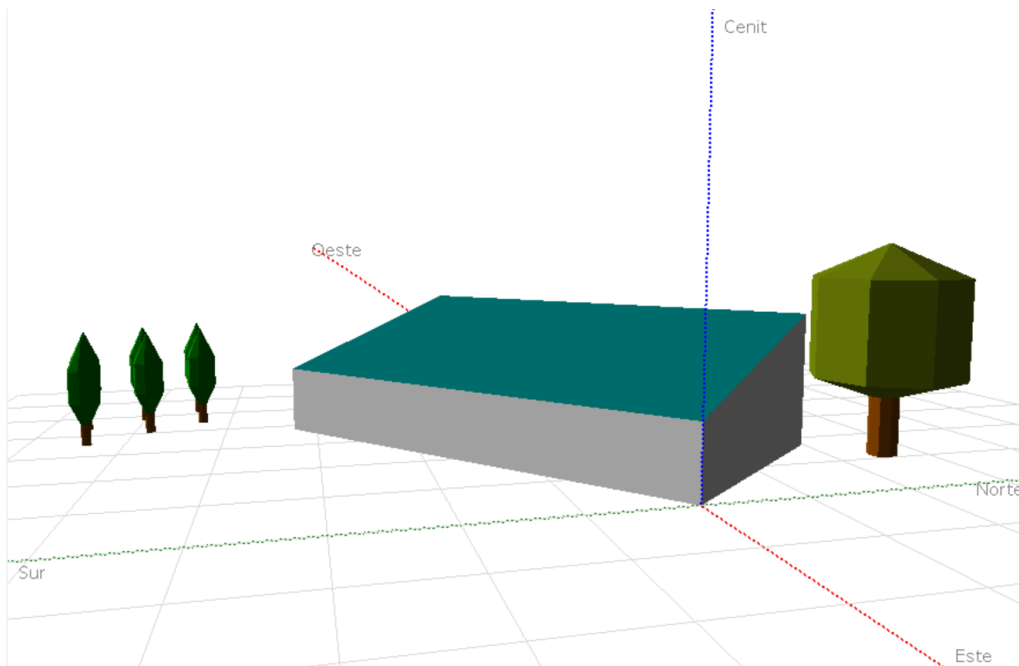


Ilustración 3-3. Nave industrial destinada a instalación de paneles solares. PVSYST.

4 . ESTUDIO CLIMATOLÓGICO

4.1.1 Irradiancia mensual

En la Tabla 4-1 se representan todos los valores exactos por meses de irradiancia (horizontal, directa y por ángulo óptimo), ratio y temperatura registrados de los últimos años mediante el software PVGIS (JRC-Ispra, Comisión Europea).

Se calcula y añade dentro de la tabla los valores medios y totales de cada variable. Además, con el mismo software se conoce el ángulo óptimo $\alpha=35^\circ$.

Año	Mes	H(h)_m	H(i_opt)_m	H(i)_m	Hb(n)_m	Kd	T2m
2015	Ene	87,34	163,54	157,67	176,56	0,24	3,8
2015	Feb	86,79	125,08	122,57	111,73	0,43	4,8
2015	Mar	141,84	179,99	178,27	166,82	0,35	9,7
2015	Abr	173,08	186,53	187,48	169,37	0,37	12,8
2015	May	231,81	224,57	228,38	241,87	0,28	19,3
2015	Jun	232,52	213,12	218,06	240,84	0,28	22,9
2015	Jul	250,66	236,65	241,47	273,29	0,23	29,2
2015	Ago	210,49	218,75	220,86	232,81	0,27	25,3
2015	Sep	166,12	198,82	197,97	189,31	0,32	18,2
2015	Oct	106,97	145,54	143,25	125,12	0,43	14,4
2015	Nov	89,56	156,83	151,78	162,37	0,29	9,7
2015	Dic	76,34	146,56	141,04	152,16	0,31	8,3
PROMEDIO		154,46	183,00	182,40	186,85	0,32	14,87
TOTAL ANUAL		1853,52	2195,98	2188,80	2242,25	3,80	178,40
2016	Ene	58,85	100,74	97,59	97,68	0,37	7
2016	Feb	83,72	120,97	118,53	110,46	0,41	6,3
2016	Mar	145,04	181,81	180,23	166,73	0,37	7,5
2016	Abr	160,44	170,7	171,73	154,29	0,4	10,9
2016	May	192,8	184,3	187,5	176,14	0,39	15,1
2016	Jun	241,45	221,42	226,55	254,35	0,27	23,1
2016	Jul	242,1	227,07	231,82	265,52	0,24	27,3
2016	Ago	226,28	235,56	237,89	267,95	0,22	25,8
2016	Sep	168,19	202,02	201,13	201,64	0,29	22
2016	Oct	108,6	149,25	146,82	132,8	0,4	16,1
2016	Nov	71,24	113,21	110,19	106,41	0,4	8,6
2016	Dic	67,63	125,96	121,4	128	0,36	6,5
PROMEDIO		147,20	169,42	169,28	171,83	0,34	14,68
TOTAL ANUAL		1766,34	2033,01	2031,38	2061,97	4,12	176,20

Tabla 4-1. Histórico de datos de irradiación, ratio de difusión y temperatura 2015-2016. Fuente PVGIS [13].

Leyenda:

- H(h)_m: Irradiación horizontal en el plano (kWh/m²/mes).
- H(i_opt)_m: Irradiación ángulo óptimo (kWh/m²/mes).
- Hb(n)_m: Irradiación normal directa (kWh/m²/mes).
- Kd: Ratio difusión de radiación (%).
- T2m: Media de temperatura mensual (°C).

4.1.2 Irradiancia diaria

Para realizar un estudio en profundidad de la irradiancia diaria en el mes con los mejores datos más recientes, es decir, agosto del año 2016. Se exponen los datos de irradiancia diaria para el ángulo óptimo $\alpha=35^\circ$. El valor medio tiene en cuenta las 24 horas del día y quedan excluidos de la tabla las horas con valores de irradiancia nulos.

Hora (UTC)	G(i)	Gb(i)	Gd(i)	G(n)	Gb(n)	Gd(n)
6:00	36,36	1,24	33,65	347,74	255,37	85,45
7:00	217,94	127,02	86,19	667,14	496,12	153,65
8:00	446,99	312,46	126,26	838,16	636,78	179,26
9:00	656,81	491,16	154,29	915,9	708,75	186,59
10:00	830,8	647,21	169,72	963,4	761,93	185,63
11:00	950,27	757,63	177,04	991,46	798,26	182,07
12:00	984,75	780,65	188,01	990,19	792,03	189,19
13:00	958,07	758,54	183,83	992,15	793,14	188,28
14:00	840,7	650,24	176,44	959,61	753,31	191,14
15:00	681,47	509,38	160,36	926,9	714,99	191,69
16:00	474,46	333,52	132,25	854,92	648,46	184,11
17:00	245,81	147,45	93,16	703,07	521,78	162,8
18:00	54,32	10,79	41,6	437,27	317,41	110,97
19:00	0,45	0	0,44	0,24	0	0,19
MEDIA	307,467	230,304	71,802	441,173	341,597	91,293
TOTAL DIARIA	7379,2	5527,29	1723,24	10588,15	8198,33	2191,0

Tabla 4-2. Irradiancia diaria para el mes de agosto del año 2016. Fuente PVGIS [13].

Es destacable dentro de los resultados diarios que en la franja horaria comprendida entre las 10:00-14:00 se obtienen valores de irradiancia elevados, alcanzando máximos a mediodía.

Leyenda:

- G(i): Irradiancia global en plano fijo (W/m^2)
- Gb(i): Irradiancia normal directa en plano fijo (W/m^2)
- Gd(i): Irradiancia difusa en plano fijo (W/m^2)
- G(n): Irradiancia global en seguidor a dos ejes. (W/m^2)
- Gb(n): Irradiancia normal directa en seguidor a dos ejes (W/m^2)
- Gd(n): Irradiancia difusa en seguidor a dos ejes (W/m^2)

4.1.3 Datos ambientales

Del Servicio Integral de Asesoramiento al Regante (SIAR) de Castilla La Mancha se obtienen los siguientes datos climatológicos que servirán de gran interés para conocer las condiciones ambientales mediante la selección de la estación meteorológica más próxima a la plantación: El Picazo.

Mes	Tm (°C)	TMA (°C)	H _r (%)	H _r máx (%)	H _r min (%)	HS (horas)
Enero	4,71	11,44	83,25	96,55	56,99	6,05
Febrero	8,78	16,52	78,64	98,40	47,23	8,17
Marzo	9,41	14,97	77,58	96,79	53,17	8,26
Abril	12,09	17,88	77,59	97,60	51,26	10,04

Mayo	17,28	24,87	66,50	96,93	36,08	11,66
Junio	20,93	29,15	51,97	88,68	23,62	12,63
Julio	25,56	34,95	50,25	85,48	21,00	12,12
Agosto	24,75	33,63	45,67	82,70	17,69	11,85
Septiembre	19,51	27,52	56,59	91,40	27,22	10,51
Octubre	12,57	20,35	66,28	93,48	36,11	9,15
Noviembre	9,83	16,37	85,28	99,92	55,89	7,01
Diciembre	5,71	10,57	83,55	98,22	60,44	6,47

Tabla 4-3. Datos climatológicos medios mensuales 2020. Fuente SIAR [14].

Leyenda:

- T_m es la temperatura media.
- TMA es la temperatura máxima absoluta.
- H_r es la humedad relativa.
- $H_{r_{máx}}$ es la humedad relativa máxima.
- $H_{r_{mín}}$ es la humedad relativa mínima.
- HS son las horas de sol.

5 . MARCO LEGISLATIVO

5.1 Normativa

En el marco legislativo español en vigor, el sistema del proyecto se encuadra en los sistemas fotovoltaicos aislados de red (SFA), ya que son considerados SFA tanto los sistemas fotovoltaicos autónomos con baterías como los sistemas de bombeo aislados de red (Legislación fotovoltaica en España (2019)).

En virtud de dicha ley, los sistemas fotovoltaicos aislados de la red deben cumplir con el RD 842/2002 donde se aprueba el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT), más concretamente la instrucción técnica que trata este tipo de sistemas es la ITC-BT-40.

Según el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión para la legislación de los sistemas fotovoltaicos aislados de la red, estos se dividen en dos casos, los sistemas de potencia no superior a 10 kW y los sistemas de potencia superior a 10kW. En el trabajo será este último, ya que la bomba de alta potencia será de 13kW.

Se tendrán en cuenta también los estándares técnicos de la *International Electrotechnical Commission* IEC 62124:2004 con recomendaciones de diseño para sistemas fotovoltaicos aislados y el IEC 62253:2011 más orientado a recomendaciones para sistemas de bombeo fotovoltaico.

5.1.1 Ayudas y subvenciones

La Unión Europea desarrolló el paquete de medidas sobre clima y energía hasta 2020 conocido como 20/20/20, el cual tenía como objetivos fundamentales la reducción del 20% de las emisiones de gases de efecto invernadero, la obtención del 20% de energías renovables y la mejora de la eficiencia energética del 20% (*2020 climate & energy package*). Dicha estrategia en el ámbito de Castilla-La Mancha está recogida en la Ley 1/2007, de 15 de febrero, de fomento de las energías renovables e incentivación del ahorro y eficiencia energética en Castilla-La Mancha (Documento BOE-A-2007-9936, 2007).

A día de hoy, las bases reguladoras de las ayudas para el aprovechamiento de las energías renovables en Castilla-La Mancha, cofinanciadas por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional están establecidas en la Orden 201/2017, de 5 de diciembre, de la Consejería de Economía, Empresas y Empleo. Los requisitos, importe y criterios para la solicitud de ayuda para el aprovechamiento de energías renovables de 2019 están establecidos en dicha orden. Estas subvenciones supondrán un 40% de la inversión, pudiendo alcanzarse en algunos casos hasta un 50%, añadiendo un porcentaje adicional del 20% en el caso de régimen de jóvenes agricultores. Esto siempre que se cumplan los requisitos y exigencias establecidos en la Orden 201/2017 (Orden 201/2017).

6 . DISEÑO AGRONÓMICO

6.1 Calendario de irrigación

El pistacho es un árbol que morfológicamente sufre grandes cambios en su tronco en un breve periodo de tiempo y, por tanto, es altamente susceptible de padecer estrés hídrico, es decir, el exceso de transpiración supera la absorción de agua por el árbol pudiendo llegar a causar la muerte. La producción del fruto de pistacho sólo es realizable por las hembras Ilustración 6-1, y el aspecto es similar al de las uvas: en racimos que contienen numerosos pistachos.



Ilustración 6-1. Producción de pistachos en fase crecimiento.

Una solución a este fenómeno desfavorable es realizar riego deficitario controlado (RDC), el cual, consiste en someter a restricciones de riego a las plantaciones en momentos cuando el impacto en la producción es mínimo, acorde con el momento fenológico donde se encuentre la planta. Se presenta el calendario típico de riego en plantaciones pistacheras:

Fase de desarrollo	Período	Efecto de estrés hídrico moderado
I	Desde la floración hasta alcanzar el máximo tamaño del fruto.	Posible incremento de frutos abiertos y con fractura en cáscara.
II	Desde el tamaño máximo del pistacho hasta el inicio del crecimiento del grano.	Sin efecto en cantidad y calidad.
III	Desde el comienzo de crecimiento del grano hasta la recolección.	Aumento de los frutos vacíos y cerrados.
Post-cosecha	Desde la recolección hasta la pérdida de hojas.	Frutos más pequeños en tamaño.

Tabla 6-1. Fases, período y descripción correspondientes a la irrigación del pistacho.

6.2 Cálculo de la evapotranspiración

Se define como evapotranspiración de una plantación a la humedad que los cultivos van perdiendo cuando se traspasa agua a la atmósfera mediante dos procesos diferentes: evaporación y transpiración. Al tratarse de dos fenómenos que implican pérdida de agua son aplicadas en un mismo término: **evapotranspiración**, conocida también como nivel ET medida en mm/mes.

Es de suma importancia su cálculo para la determinación de demanda hídrica ya que influye directamente en el cálculo de la demanda hídrica que los cultivos requieren para un desarrollo óptimo o en determinar las capacidades de absorción de humedad que posee un terreno [15].

A partir de la ecuación de Penman-Monteith¹ obtendremos la evapotranspiración de la finca [16]:

$$ET_c = ET_o * K_c * K_r$$

Sabiendo que 1 ha son 10.000 m², la plantación pistachera a satisfacer realiza el cultivo en marcos cuadriculados de 6x6 m (Ilustración 6-2), es decir, 36 m². Al realizar la división de la superficie disponible entre el área ocupada por el árbol, resultan los 277 pistachos.

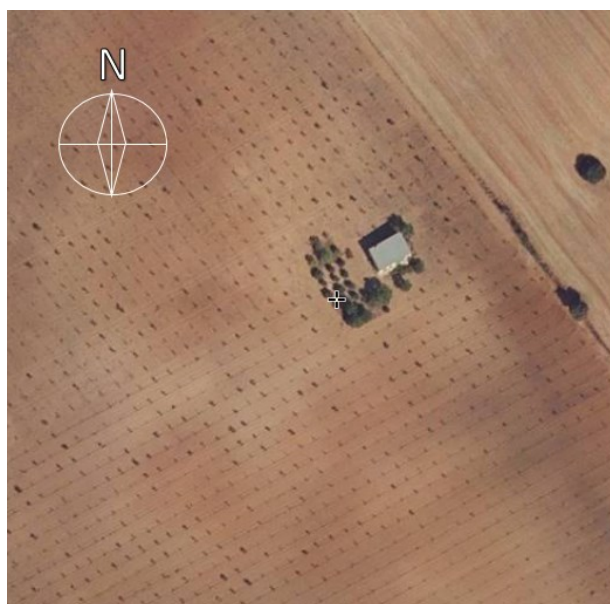


Ilustración 6-2. Vista aérea de los marcos de cultivo (6x6m) y planta de nave agrícola.

Superficie	Árboles
1 (ha)	277
Total (26,92 ha)	7457

Tabla 6-2. Cálculo total de pistachos en la finca.

¹ El método Penman-Monteith fue desarrollado mediante la definición del cultivo de referencia como un cultivo hipotético referente con una altura asumida de 0.12 m, una resistencia superficial fija de 70 s/m y un albedo de 0.23. La superficie de referencia se asemeja a una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, creciendo activamente, sombreando totalmente la tierra y con un adecuado aporte de agua.

Siguiendo la metodología Fereres, en la que K_r es el coeficiente reductor, el cual, depende del tamaño y densidad de la plantación, N es el número de árboles (7457), S_c es el porcentaje de superficie del área cubierta por sombra y D el diámetro medio del árbol (se toma 3,5 metros):

$$K_r = 2 * S_c / 100$$

$$S_c = (\pi * N * D^2) / 400$$

Resultan los siguientes valores que se tendrán en cuenta para el cálculo final de la evapotranspiración.

Sc (%)	19,919
Kr (%)	0,398

Tabla 6-3. Valores de K_r y S_c para el cálculo de la evapotranspiración.

Finalmente, llegamos al cálculo preciso de ET_c (corresponde a la evapotranspiración del cultivo), ET_0 (evapotranspiración de referencia obtenida de la estación climatológica El Picazo), y K_c (coeficiente de cultivo que depende del cultivo a considerar y es de valores variables según transcurre la estación de crecimiento).

El valor de K_c es 0 durante el reposo invernal, desde la post-cosecha hasta la floración de la siguiente campaña. A medida que se va incrementando la superficie foliar los valores de K_c van aumentando, hasta alcanzar los valores máximos correspondiendo con la época estival, es decir, en estado fenológico II/III (los coeficientes para los pistachos están preestablecidos).

Es importante destacar que los meses con mayores de evapotranspiración referida son los meses de julio y agosto, coincidiendo con los estados fenológicos más exigentes con una evapotranspiración máxima de 95,86 mm/mes durante el mes de julio.

Mes	Días	Estado fenológico	K_c	ET_0 (mm/mes)	ET_c (mm/mes)
Enero	31	Reposo	0	26,80	0
Febrero	28	Reposo	0	45,48	0
Marzo	31	Reposo	0	63,70	0
Abril	30	Fase I	0,25	81,50	8,12
Mayo	31	Fase I/II	0,8	143,10	45,61
Junio	30	Fase II	1,13	174,80	78,69
Julio	31	Fase II/III	1,19	202,20	95,86
Agosto	31	Fase III	1,16	181,20	83,74
Septiembre	30	Fase III/Post-cosecha	0,93	117,30	43,46
Octubre	31	Post-cosecha	0,56	73,00	16,29
Noviembre	30	Post-cosecha/Reposo	0,56	32,30	7,21
Diciembre	31	Reposo	0	24,80	0

Tabla 6-4. Cálculo de la evapotranspiración en el marco de cultivo 6x6m.

6.3 Cálculo de demanda hídrica

Se define como necesidad hídrica al volumen de agua que se debe suministrar al cultivo en la superficie de suelo que ocupa su sistema radicular efectivo para satisfacer su demanda de irrigación. El método de estimación de las necesidades netas (NR_n) a utilizar es el balance hídrico, cuya ecuación atiende a la siguiente expresión:

$$NR_n = K_1 * K_c * ET_o - P_e$$

Donde:

- NR_n : Necesidades netas de riego (mm/mes).
- ET_c : Evapotranspiración del cultivo (mm/mes).
- P_e : Precipitación efectiva.

A partir de los valores de precipitación mensuales (P_m) obtenidos del SIAR, se realizará el cálculo de la precipitación efectiva atendiendo a la siguiente ecuación, siendo el valor d_n estándar de 75 mm de capacidad de almacenamiento de agua de un suelo (USDA, 1970):

$$f(d_n) = 0,53 + 0,0116 * d_n - 8,94 * 10^{-5} * d_n^2 + 2,32 * 10^{-7} * d_n^3 = 0,995$$

Conocido el valor $f(d_n) = 0,995$, se realiza la corrección para la precipitación efectiva con la ecuación de USDA², 1970:

$$P_e = f(d_n) * [1,25 * P_m^{0,824} - 2,93] * [10^{0,000955 * ET_c}]$$

Se obtienen los valores que figuran en la Tabla 6-5, donde K_1 es el coeficiente de localización medio con valor de 0,8, ET_{rl} es la evapotranspiración del cultivo mensual corregida ($ET_o * K_c * K_1$) necesarias para el cálculo final de las necesidades netas de riego NR_n expresadas en mm/mes:

$$NR_n = ET_{rl} - P_e$$

Todos aquellos valores en los que la demanda hídrica NR_n resultase un valor negativo, se considerarán nulos. Se traduce como la no necesidad de irrigación por ser una temporada en la cual la diferencia de evapotranspiración y precipitación efectiva es negativa como consecuencia de existir excedente de agua por lluvias.

Mes	ET_o (mm/mes)	P_m (mm/mes)	K_c	ET_{rl} (mm/mes)	P_e (mm/mes)	NR_n (mm/mes)	NR_n (mm/día)
Enero	26,8	41,4	0	0	30,64	0	0
Febrero	45,48	0,29	0	0	0,21	0	0
Marzo	63,7	92	0	0	68,08	0	0
Abril	81,5	23,9	0,25	16,30	17,69	0	0
Mayo	143,1	49,4	0,8	91,58	36,56	55,03	1,78
Junio	174,8	13,8	1,13	158,02	10,21	147,81	4,93
Julio	202,2	28,9	1,19	192,49	21,39	171,11	5,52
Agosto	181,2	25,7	1,16	168,15	19,02	149,14	4,81
Septiembre	117,3	6,1	0,93	87,27	4,51	82,76	2,76
Octubre	73	18,3	0,56	32,70	13,54	19,16	0,62

² USDA Soil Conservation Service: Ecuación desarrollada por el USCS elegido como preferido por su fórmula empírica que contempla la precipitación media como factor principal.

Noviembre	32,3	105,5	0,56	14,47	78,07	0	0
Diciembre	24,8	31	0	0	22,94	0	0
TOTALES	1166,18			761,0		625,00	20,41

Tabla 6-5. Cálculo de la precipitación efectiva y demanda hídrica (mm/día).

Conocidas las necesidades hídricas, se tomará como campaña aquellos meses que exigen demanda hídrica (valores positivos de NR_n). Para calcular el volumen, conocida la superficie del marco por cada planta 36 m^2 , se multiplicará por el valor de NR_n , asumiendo una eficiencia de aplicación del 90%.

Mes	NR_n (mm/día)	NR_n ($\text{m}^3/\text{día}$)	NR_n (l/día y planta)	N_e (l/hora)
Mayo	1,78	0,064	57,51	2,40
Junio	4,93	0,177	159,63	6,65
Julio	5,52	0,199	178,84	7,45
Agosto	4,81	0,173	155,87	6,49
Septiembre	2,76	0,099	89,38	3,72
Octubre	0,62	0,022	20,03	0,83

Tabla 6-6. Volumen de agua a suministrar durante la campaña de irrigación.

6.4 Cálculo de parámetros de riego

Se realizan cálculos para distintos valores comerciales de caudales de goteros catalogados por la empresa AZUD, escogiendo PREMIER PC AS:

AZUD PREMIER PC AS		Ecuación característica AZUD PREMIER $q = K \cdot h^0$		Presión de trabajo
Modelos		q (l/h) - h (mca)	q (gph) - h (psi)	bar psi
AZUD PREMIER PC AS	1L	$q = 0.9 \cdot h^0$	$q = 0.24 \cdot h^0$	0.5 - 4.0 7 - 58 psi
AZUD PREMIER PC AS	1.6L	$q = 1.5 \cdot h^0$	$q = 0.39 \cdot h^0$	0.5 - 4.0 7 - 58 psi
AZUD PREMIER PC AS	2L	$q = 1.9 \cdot h^0$	$q = 0.50 \cdot h^0$	0.5 - 4.0 7 - 58 psi
AZUD PREMIER PC AS	2.3L	$q = 2.2 \cdot h^0$	$q = 0.58 \cdot h^0$	0.5 - 4.0 7 - 58 psi
AZUD PREMIER PC AS	3L	$q = 2.9 \cdot h^0$	$q = 0.77 \cdot h^0$	0.5 - 4.0 7 - 58 psi
AZUD PREMIER PC AS	3.5L	$q = 3.4 \cdot h^0$	$q = 0.90 \cdot h^0$	0.5 - 4.0 7 - 58 psi

Ilustración 6-3. Datos técnicos de modelos de emisores. Fuente catálogo empresa AZUD.

La selección de dichos caudales se ve motivada en escoger valores medios entre los ofrecidos con una diferencia mínima de $0,5 \text{ l/h}$. Se calcularán todos los parámetros de riego para los valores seleccionados resultando la Tabla 6-8 aportando información crucial para determinar las necesidades por árbol y así seleccionar el caudal óptimo del emisor.

6.4.1 Diámetro mojado

Según la textura del terreno, se empleará una ecuación que relaciona el diámetro mojado con la textura, seleccionando la gruesa.

Textura	Diámetro
Fina	$D_m = 1,2 + 0,1 * q_{emisor}$
Media	$D_m = 0,7 + 0,11 * q_{emisor}$
Gruesa	$D_m = 0,3 + 0,12 * q_{emisor}$

Tabla 6-7. Diámetro mojado según la textura del terreno.

$$A_m = \frac{\pi * D_m^2}{100}$$

6.4.2 Superficie mojada

Una de las características del riego por goteo es que tan sólo hay que mojar la parte de suelo del sistema radical. El porcentaje de suelo mojado para el marco de 6×6m, se estima entre un 25 y un 30% de la superficie total (se elige un 25% dado que es un suelo franco arenoso con baja capacidad de absorción de humedad).

$$A_m = \frac{P * a * b}{100}$$

6.4.3 Separación de emisores

$$S_{em} = \frac{D_m}{2} * \left[2 - \frac{a}{100} \right]$$

6.4.4 Número de emisores por planta

El número de emisores se redondeará hacia arriba para que exista en su defecto un exceso de irrigación y solucionar así posibles efectos de RDC. NLP corresponde al número de laterales por planta, considerando un lateral único, b será la base del marco (6 m) y S_{em} es la separación de los emisores:

$$n_e = NLP * \frac{b}{S_{em}}$$

6.4.5 Caudales

Se realizará calculando primero el caudal a suministrar por árbol con la demanda hídrica más exigente en (Julio= 7,45 l/h), y a continuación, teniendo en cuenta la superficie radicular enmarcada del pistacho (6 x 6m), el caudal por unidad de superficie:

$$q_{planta} = N_e * q_e$$

$$q_u = \frac{q_{planta}}{(a * b)}$$

Parámetros	Caudal emisor (l/h)		
	1,6	2,3	3,0
Diámetro mojado (m)	0,492	0,576	0,66
Superficie mojada (m ²)	0,190	0,261	0,342
Nº goteros/planta	0,477	0,559	0,640
Separación mínima emisores (m)	0,6	0,75	0,9
Nº emisores/planta	13	11	9
Caudal por unidad de superficie (l/h/m ²)	2,60	2,22	1,94
Caudal por planta (l/h)	93,68	80,02	69,84

Tabla 6-8. Parámetros de riego por planta para distintos caudales comerciales.

Se elige el emisor cuyo caudal de emisor es 2,3 l/h Premier PC AS de la empresa AZUD ya que ofrece una separación de emisores por planta de 0,75 m y un caudal por pistacho de 80,02 l/h.

Al tratarse de una tubería con el propio gotero autocompensante integrado con una gran uniformidad de aplicación, se optimiza el resultado del cultivo.

6.4.6 Profundidad de bulbo húmedo

El bulbo húmedo debe quedar comprendido siempre entre el 90% y el 120% de la profundidad efectiva de la raíz de la planta. Para calcular la profundidad del bulbo húmedo se empleará la siguiente ecuación teniendo en cuenta que las raíces en pistachos llegan al menos a 1 m de profundidad, fijando 1,2 m de profundidad de raíz:

$$0,9 * P_r < P_{bh} < 1,2 * P_r$$

$$1,08 \text{ m} < P_{bh} < 1,44 \text{ m}$$

6.4.7 Programación: intervalo y tiempo de riego

Para los cálculos que figuran en la siguiente tabla se tomará el caudal por planta de 80,02 l/h y el valor de demanda hídrica NR_n para cada mes expresado en l/h.

El número de riego por semanas es estándar para el cultivo de pistachos, mientras, el intervalo de riego, estableciendo que la semana consta de 7 días:

$$I = \frac{7}{NR_n}$$

A continuación, se calcula el tiempo de riego, utilizando NR_n (l/día) de los meses de campaña, el caudal demandando por planta y el número de riegos por semana (NRS).

$$t = \frac{NR_n}{q_{planta}} * \frac{7}{NRS}$$

Se agrega el resultado de horas de riego al día por planta como dato importante para visualizar que en julio es necesario suministrar **4,42 h** de irrigación por planta, por lo que será de suma importancia la recuperación hídrica del pozo y recibir suficiente irradiancia para cubrir la demanda. El tiempo de riego anual es **321,86 h/año**.

Mes	Nº riegos/ semana	Intervalo entre riegos	Tiempo de riego/mes	Días de riego/mes	Horas de riego/día
Enero	1	7,0	0	0	0
Febrero	1	7,0	0	0	0
Marzo	1	7,0	0	0	0
Abril	1	7,0	0	0	0
Mayo	4	1,8	20,12	16	1,26
Junio	5	1,4	69,82	21,4	3,26
Julio	7	1,0	109,51	24,8	4,42
Agosto	7	1,0	95,45	31	3,08
Septiembre	3	2,3	23,46	12,9	1,82
Octubre	2	3,5	3,50	8,5	0,41

Noviembre	1	7,0	0	4,2	0
Diciembre	1	7,0	0	4	0
TOTAL			321,86	114,60	

Tabla 6-9. Intervalo y tiempo de riego mensual y anual.

Tras definir la campaña de riego o uso de la instalación solar los meses comprendidos desde mayo hasta octubre, el resto de necesidades hídricas estarán cubiertas por las precipitaciones mensuales. A continuación, figuran los caudales necesarios a suministrar mediante bombeo solar a la explotación agraria:

Campaña	Q (m³/h)	Q (m³/día)
Mayo	6,191	0,258
Junio	17,184	0,716
Julio	18,794	0,783
Agosto	16,779	0,699
Septiembre	9,621	0,401
Octubre	2,156	0,090
TOTAL ANUAL	70,725	2,947

Tabla 6-10. Caudal total bombeado por las bombas durante la campaña de riego.

6.5 Sectorización

La finca se divide en tres sectores de riego principales que, a su vez, contienen tres subunidades respectivamente, resultando un total de nueve subunidades denominadas campos. Para esta decisión se ha tenido en cuenta la capacidad de poder regar los sectores simultáneamente, pero también cada sector individualmente, o la realización de una combinación dependiendo de la irradiancia y potencia existente.

Una subunidad de riego es el conjunto de tuberías laterales, las cuales, integran a los emisores de riego, y que a su vez se conectan a unas tuberías de mayor diámetro denominadas terciarias, en cuyo extremo inicial existe un elemento regulador de presión.

Se exponen los datos de sectorización de la finca con la superficie correspondiente a cada subunidad, denominada campo.

Sector	Campos	Superficie
1	1	3,10
	2	3,27
	3	3,10
2	4	3,17
	5	3,21
	6	3,10
3	7	3,27
	8	3,39
	9	3,40
Total		29,01

Tabla 6-11. Sectorización de finca para riego.

La división de la finca se hace de forma que las subunidades tengan una geometría lo más rectangular posible para facilitar cálculos. La partición contempla los campos de

menor longitud compensen el área ganando anchura para que las áreas sean similares y con ello el caudal de irrigación.

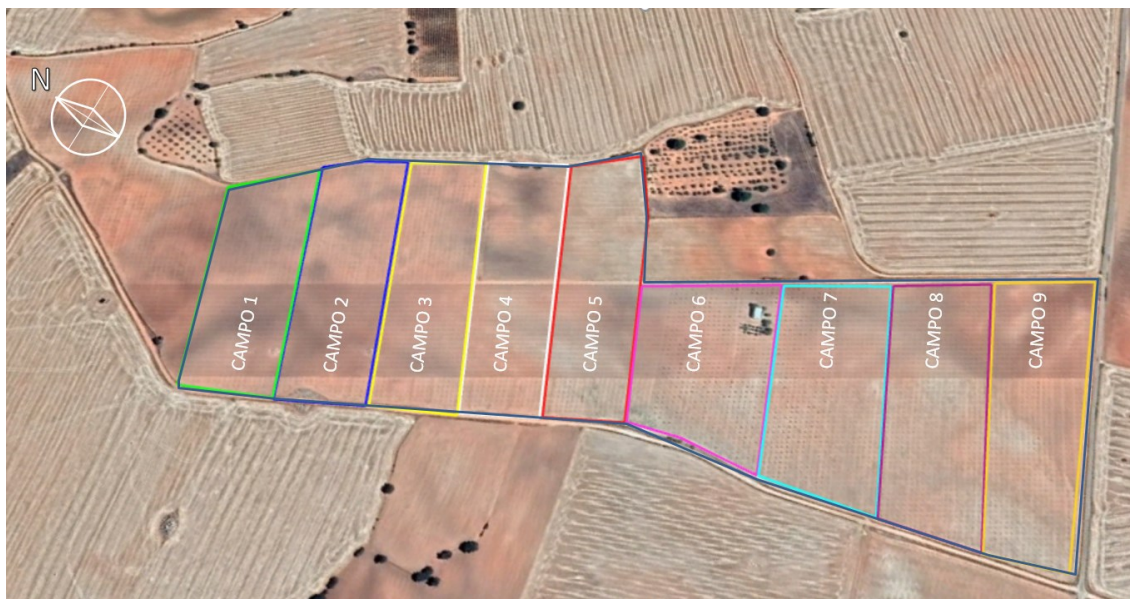


Ilustración 6-4. Vista geográfica de irrigación sectorizada.

7 . DISEÑO HIDRÁULICO

El objetivo del presente apartado consiste en realizar un diseño idóneo de las subunidades mediante el establecimiento de criterios y cálculos de valores optimizados para conseguir uniformidad en la irrigación y garantizar las presiones y caudales adecuados al inicio de cada subunidad de riego. Se concretan los datos detallados en Anejo II. Diseño subunidades de riego.

7.1 Características de los sistemas principales

Los emisores son autocompensantes integrados en la propia tubería principal. El fin principal reside en el riego subterráneo con mecanismos para prevenir la succión, la obturación y la intrusión radicular con las siguientes características:

Parámetro	Valor
Caudal emisor (l/h)	2,3
Separación mínima emisores (m)	0,75
P _{máx} (bar)	4
P _{mín} (bar)	0,5
Diámetro nominal (mm)	16

Tabla 7-1. Datos técnicos del emisor.

Las tuberías **laterales o secundarias** son aquellas que albergan a los emisores de riego y están conectadas a las terciarias, y están fabricadas de polietileno de baja densidad (PE 32 UNE 53367) con el mismo diámetro que la tubería principal:

Parámetro	Valor
Diámetro nominal (mm)	16
Longitud estándar (m)	13,70
Espesor nominal (mm)	0,9
P _{máx} (bar)	4
P _{mín} (bar)	0,5

Tabla 7-2. Características de tuberías laterales.

Las tuberías **terciarias** conforman la red de transporte, y son aquellas que alimentan a los laterales de riego. Serán de PVC UNE EN 1452 PN16. La selección del material viene motivada por su elevada resistencia mecánica y su tratamiento anticorrosivo. En estas tuberías irán conectadas en su inicio un elemento regulador de presión.

7.2 Parámetros condicionantes

Los sistemas de riego por goteo proporcionan el caudal deseado a las plantas, minimizando las pérdidas por evaporación y limitando el agua en la raíz del pistacho.

El término de **compensación de la presión** se utiliza para describir un emisor que mantiene la misma presión de salida a diversas presiones de ingreso del agua. Los emisores compensan las irregularidades del terreno, la longitud del tubo de alimentación y los flujos variables de entrada.

Las tuberías que conforman la instalación hidráulica, desde la red de transporte hasta los mismos laterales, se encontrarán enterradas para evitar roturas y desgaste tanto por sol como por lluvia, así como facilitar las labores agrícolas dentro de la explotación. No es motivo del trabajo dimensionar la red de transporte.

Para proceder al cálculo del cálculo de la longitud máxima del lateral y diseño de subunidades, se parten de los parámetros iniciales que condicionan la irrigación (Tabla 7-3). Se adjuntan todos los cálculos justificados en el Anejo II. Diseño subunidades de riego.

Parámetro	Valor
ΔH_s (m.c.a)	3,5
$L_{m\acute{a}x}$ lateral (m)	342
hr (m.c.a)	25
$L_{equivalente}$ (m)	0,4402
Km	1,35
Diámetro lateral (mm)	16

Tabla 7-3. Parámetros condicionantes en diseño de subunidades.

7.2.1 Diseño subunidades

Mediante la aplicación Dimsub, se procede a calcular toda la información por subunidades mediante la caracterización de los laterales por campo, suponiendo un caudal total entre los 3 sectores de 18,79 m³/h. Además, se aportan los costes económicos por cada sector y elemento de la instalación de riego:

Subunidad	Sector	Nº de laterales	Caudal inicio (l/h)	P inicial (mca)	Cota inicio (m)	Diámetro lateral (m)	Longitud laterales (m)	Diámetro 1 terciaria (m)	Longitud Terciaria DN1 (m)	Material Terciaria	Alimentación Laterales
1	1	18	1933,82	28,2	868	13,7	5364	63	702	PVC UNE EN 1452	Extremo
2	1	17	2015,32	28,8	871	13,7	5457	63	496	PVC UNE EN 1452	Extremo
3	1	16	1935,67	19,8	875	13,7	5280	50	290	PVC UNE EN 1452	P. medio
4	2	16	1894,92	42,6	877	13,7	5280	63	270	PVC UNE EN 1452	Extremo
5	2	16	2057,30	23,7	877	13,7	5440	50	190	PVC UNE EN 1452	P. medio
6	2	28	2383,93	25,3	864	13,7	6552	63	212	PVC UNE EN 1452	Extremo
7	3	21	1896,77	26,2	859	13,7	5040	63	190	PVC UNE EN 1452	Extremo
8	3	19	2272,17	19,2	854	13,7	6080	63	278	PVC UNE EN 1452	P. medio
9	3	20	2404,30	26,8	859	13,7	6600	63	454	PVC UNE EN 1452	P. medio
TOTAL			18794,20								

Tabla 7-4. Resultado del dimensionado de subunidades utilizando Dimsub.

Subunidad	Sector	Coste Emisores y laterales (€)	Coste Tubería Terciaria (€)	Coste Subunidad (€)
1	1	2038,32	1375,92	3414,24
2	1	2073,66	972,16	3045,82
3	1	2006,40	516,20	2522,60
4	2	2006,40	529,20	2535,60
5	2	2067,20	338,20	2405,40
6	2	2489,76	415,52	2905,28
7	3	1915,20	372,40	2287,60
8	3	2310,40	544,88	2855,28
9	3	2508,00	889,84	3397,84
TOTAL (€)				25369,66

Tabla 7-5. Resultado económico por subunidad utilizando Dimsub.

8 . DISEÑO DE GRUPO DE BOMBEO

La primera consideración al seleccionar el tamaño de las bombas, es el hecho de proporcionarles capacidad por sí solas de abastecer la demanda máxima dentro de los rangos de presiones y caudales, existiendo siempre una bomba adicional para alternancia con la otra y para cubrir entre todas, por lo menos el 120 % de la demanda máxima probable.

El sobredimensionamiento debe entenderse como un margen de seguridad motivado por los patrones irregulares de lluvia de la zona que pueden continuar variando como consecuencia del cambio climático, evitando así el fenómeno de estrés hídrico, es decir, prevalecerá el calendario de irrigación frente a posibles sequías.

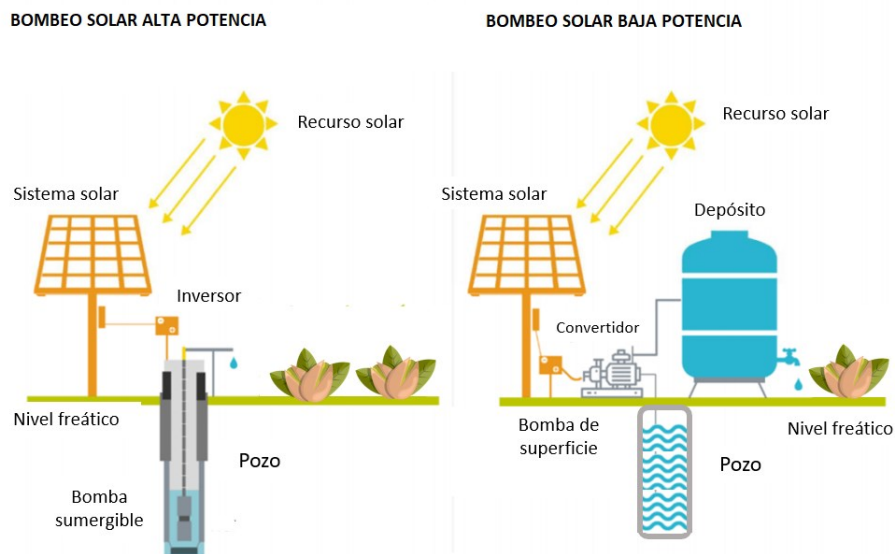


Ilustración 8-1. Tipos de bombeo solar para riego de caudal constante.

8.1 Sistema de bombeo con motores DC

La energía producida por el sistema fotovoltaico depende directamente de irradiancia solar absorbida por los paneles fotovoltaicos.

El componente fundamental del sistema de bombeo solar con motores DC es el convertidor DC/DC, cuya función principal consiste en ajustar la impedancia entre el sistema fotovoltaico y el motor para poder utilizar en cualquier situación la máxima potencia. Dicho sistema será el elegido para la bomba de baja potencia que cubrirá las primeras y últimas horas del día, cuando la bomba de alta potencia no alcance los valores de mínima potencia. La bomba de superficie extraerá agua del pozo trasegándola a un depósito el cual tendrá una elevación en altura, el cual actuará por gravedad para la realización de irrigación de caudal constante.

8.2 Sistema de bombeo con motores AC

El caudal de la bomba varía en función de la velocidad de su motor, el cual, depende de la irradiancia solar captada por los paneles fotovoltaicos.

El componente fundamental del sistema de bombeo solar con motores de AC es el inversor, cuya función principal consiste en transformar la corriente continua en alterna monofásica o trifásica para alimentar al motor AC. Dicho sistema será el elegido para entrar en funcionamiento cuando exista suficiente irradiancia y producción solar, es decir, durante las horas pico.

8.3 Justificación selección sistema de doble bomba

La instalación del “Pozo Nuevo” dispondrá de un sistema de doble bomba, el cual debe ser capaz de adaptarse a los picos de demanda de tal forma que se pueda realizar bombeo de agua con cada una de las bombas por individual o en conjunto si el generador fotovoltaico lo permitiese.

Se decide instalar un sistema que integre dos bombas por las siguientes razones:

1. El motor debe soportar la potencia de pico generada por el sistema fotovoltaico, por lo tanto, la potencia eléctrica de entrada debe ser como mínimo la del generador fotovoltaico.
2. Tras evaluar las condiciones climatológicas del municipio, es apreciable que presume de ser un lugar idóneo para la explotación de energía fotovoltaica, disponiendo de una buena media de horas de sol y de gran irradiancia, esto se traduce en que la potencia del motor puede ser inferior a la potencia pico del generador, produciendo pérdidas por desacople y generando al motor sobretensiones de operación.
3. De la misma forma, existirán franjas horarias en las que la producción eléctrica sea inferior a la potencia mínima de funcionamiento del motor de la bomba, existiendo vacíos de funcionamiento hasta entrar dentro de valores nominales de operación.
4. Relacionado con los apartados 2 y 3, el motor, y con ello su bomba asociada, dejará de funcionar durante dos períodos de tiempo:
 - Cuando el motor no alcanza la potencia mínima de funcionamiento.
 - Cuando el motor alcanza la máxima potencia de funcionamiento.

Con la instalación de la doble bomba, solucionaremos la problemática que presentan las instalaciones de bombeo solar.

8.4 Cálculo pérdidas de carga

Se entiende como pérdida de carga a la pérdida de presión que se produce en un fluido debido a la fricción de las partículas del mismo entre sí y contra las paredes de la tubería que las conduce. Se estiman las pérdidas de carga con la siguiente ecuación:

$$hf = \frac{8fLQ^2}{g\pi D^5}$$

Q (m ³ /s)	f	L (m)	D (m)	g (m/s ²)	hf (m.c.a)
0,026128	0,012	40	0,0635	9,81	82,39

Tabla 8-1. Parámetros y cálculo de pérdida de carga hf.

8.5 Cálculo de alturas manométricas

La altura manométrica es la presión diferencial que deben vencer las bombas para su correcto funcionamiento.

$$H_m = H_g + P_c + 10 * \frac{P_i - P_a}{\gamma}$$

Donde:

- H_m : Altura manométrica (m).
- H_g : Altura geométrica (m).
- P_c : Pérdidas de carga (m).
- P_i : Presión de impulsión (m):
- P_a : Presión de aspiración (m).

Al tratarse de un pozo abierto $P_i = P_a =$ presión atmosférica.

8.6 Potencias físicas de elevación

Conociendo caudales, presión y altura se puede calcular la potencia física demandada por las bombas (que no será la mecánica, sino sólo la parte de contribución hidráulica). Será determinante para la selección de las bombas, dado que deben tener potencias similares a las calculadas. Se aplicará la siguiente ecuación:

$$P_{física} = Q * H * g$$

Para la bomba de alta potencia, se recopila la información relativa al mes de riego más exigente (julio), además será la encargada de regar la totalidad de la finca.

Bomba de alta potencia	Valor
Nº riegos/semana	7
Horas de riego (h)	4,42
Caudal (m ³ /h)	18,79
Presión riego (bar)	0,5
Altura total elevación (m)	80
Potencia física (W)	4368,21

Tabla 8-2. Potencia física para bomba de alta potencia (4,36 kW).

La metodología de cálculo para la bomba de baja potencia será la misma, a excepción del caudal. Se procede a observar qué sector requiere mayor caudal, siendo el sector 3 con un caudal de 6,57 m³/h, se calcula la potencia física máxima.

Bomba baja potencia	Valor
Nº riegos/semana	7
Horas de riego (h)	4,42
Caudal (S1) (m ³ /h)	5,88
Caudal (S2) (m ³ /h)	6,34
Caudal (S3) (m ³ /h)	6,57
Presión de riego (bar)	0,5
Altura total elevación (m)	30
Potencia física (W)	538,08

Tabla 8-3. Potencia física para bomba de baja potencia (538,1 W).

8.7 Demanda energética

En Ilustración 8-1 es necesario destacar que el mes de julio la plantación de pistachos coincide con el mes de campaña con mayor evapotranspiración, coincidiendo así con el fenómeno de mayor recepción de irradiancia. A efectos prácticos, se traduce como el aprovechamiento óptimo del recurso solar para fines de irrigación, urgiendo la necesidad de sustituir combustibles fósiles para la alimentación de una bomba de riego por energías renovables.

La metodología a seguir, por tanto, será considerar siempre el mes de mayor exigencia o necesidad de riego aprovechando la radiación disponible.

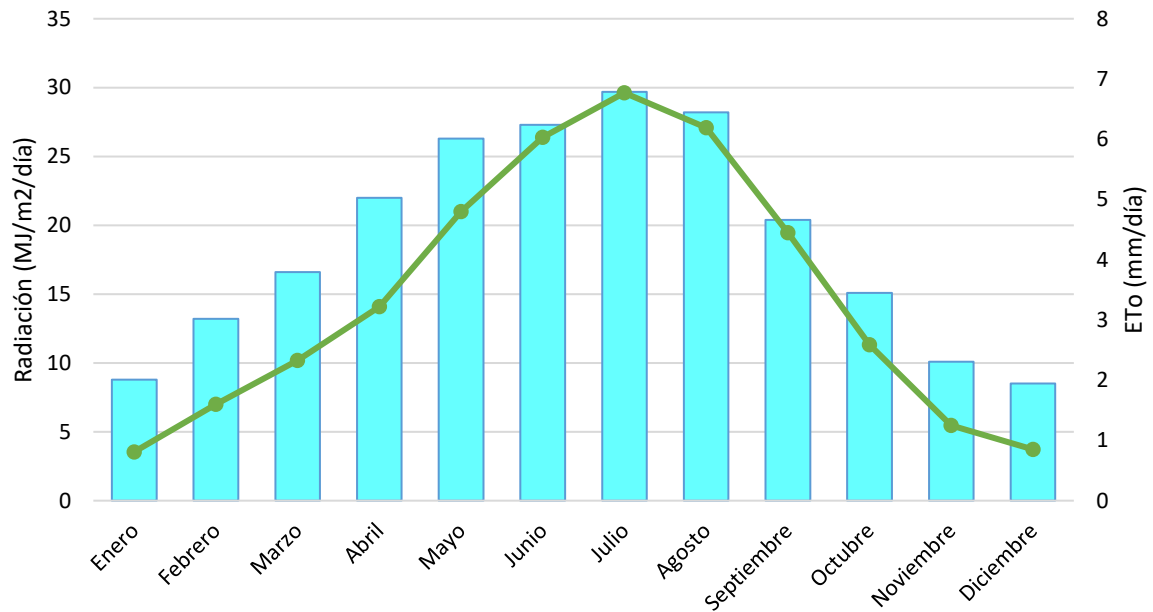


Ilustración 8-1. Curva de radiación frente a evapotranspiración del cultivo. CROPWAT.

8.8 Selección de bombas

El sistema de bombeo consta de dos bombas: una sumergida dentro del pozo subterráneo que será la de gran potencia, y una segunda bomba de menor potencia de superficie vertical. El suministro de electricidad para la bomba lo generará una instalación fotovoltaica desarrollada en 10.3 Descripción del generador fotovoltaico. Descripción del generador fotovoltaico

8.8.1 Motobomba de alta potencia

Se selecciona la bomba sumergible multietapa SPE 17-20, con regulación de velocidad para suministro de agua bruta, descenso del nivel freático y aumento de presión. La bomba es apta para bombear el agua limpia del pozo. La bomba es de acero inoxidable y apta para instalación vertical. La bomba lleva una válvula anti retorno integrada. Es observable que su caudal nominal es 21 m³/h, cumpliendo el requisito de sobredimensionado de la bomba.

Su motor es síncrono trifásico de imán permanente sumergible y de alta eficiencia de tipo encapsulado. Todas las superficies en contacto con el líquido bombeado están realizadas en acero inoxidable. El motor es de tipo IPM, con imanes integrados en el rotor

revestido de metal; necesita un accionamiento de frecuencia para el arranque y la regulación de velocidad.

Especificaciones Técnicas	Valores	Especificaciones eléctricas	Valores
Velocidad de bomba	3000 rpm	Tipo de motor	PM
Caudal nominal	21 m ³ /h	Potencia nominal	13kW
Altura nominal	192 m	Potencia requerida por la bomba	13kW
Etapas	20	Frecuencia de red	50 Hz
Válvula retorno	Sí	Tensión nominal	3x400V
Homologaciones	CE,EAC	Intensidad nominal	29,2A
Precio	10.623,00 €	Eficiencia motor	92,4%

Tabla 8-4. Especificaciones técnicas y eléctricas de la motobomba sumergible SPE 17-20.

8.8.1.1 Curva característica bomba de alta potencia

Se puede apreciar en Ilustración 8-2 las curvas características de la bomba seleccionada. En ella se observa que el punto de trabajo requiere una potencia eléctrica de 9,36 kW para bombear un caudal de 20,1 m³/h a una altura de 87,37 metros. Es importante denotar que en la parte derecha de la gráfica existen más alturas de trabajo para caudales inferiores a 20 m³/h, lo que permite un amplio rango de trabajo a la bomba.

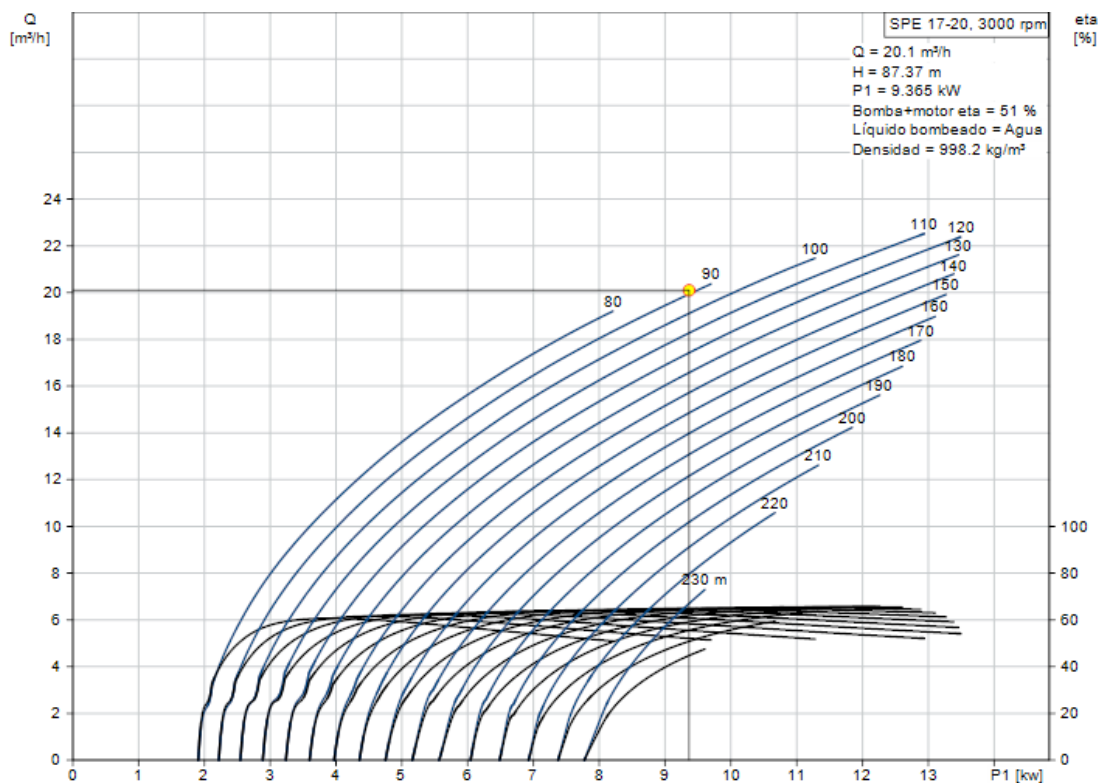


Ilustración 8-2. Curva P-Q bomba SPE 17-20. Grundfos.

8.8.2 Motobomba de baja potencia

La motobomba de superficie de baja potencia escogida será el modelo CRIF 5-6, justificándose por su producción de agua temprana con gran caudal, lo que implicaría que a primera hora del día a 07:00h es capaz de comenzar el bombeo solar. Se trata de una bomba multietapa centrífuga vertical.

El motor MGF de estas bombas admite un suministro eléctrico tanto de C.C como de C.A. Dado que los sistemas electrónicos del motor incorporan funciones de protección, no se requiere ningún tipo de protección adicional para el mismo. La función de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT) permite al motor funcionar de forma eficiente al conectarlo a un panel solar. Se aprovechará el mismo inversor para esta bomba puesto que posee seis entradas.

Especificaciones Técnicas	Valores	Especificaciones eléctricas	Valores
Velocidad de bomba	3452 rpm	Tipo de motor	90SC
Caudal nominal	6,9 m ³ /h	Potencia de entrada P1	1,73 kW
Altura nominal	45 m	Potencia nominal P2	1,5 kW
Etapas	6	Tensión nominal C.A	1x90x240V
Impulsores	6	Tensión nominal C.C	30-300V
Homologaciones	CE,TR	Velocidad nominal	500-3600 rpm
Precio	2.624 €	Motor N°	98190192

Tabla 8-5. Especificaciones técnicas y eléctricas de la motobomba centrífuga vertical CRIF 5-6.

8.8.2.1 Curva característica bomba de baja potencia

Se puede apreciar en la Ilustración 8-3 las curvas características de la bomba seleccionada. En ella se observa que el punto de trabajo óptimo demanda una potencia eléctrica de 0,97 kW para bombear un caudal de 7,284 m³/h a una altura de 25 metros.

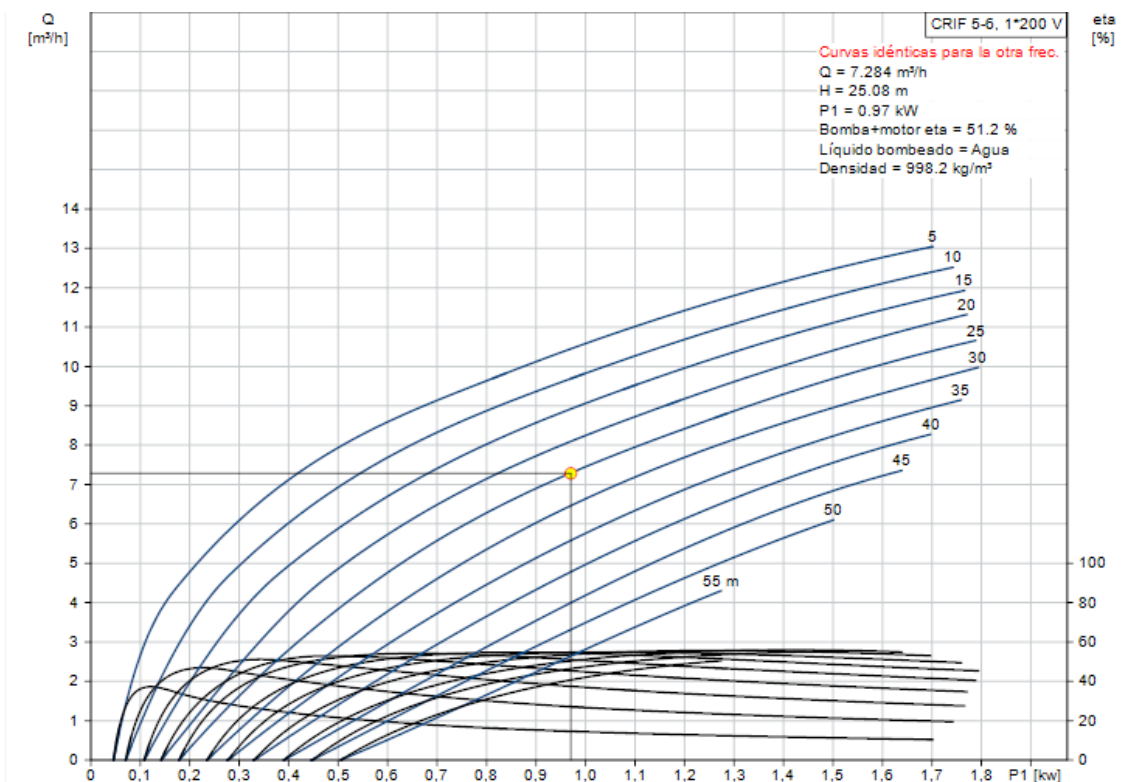


Ilustración 8-3. Curva P-Q bomba CRIF 5-6. Grundfos.

9 . SISTEMAS AUXILIARES

9.1 Depósito de acumulación

El depósito de acumulación se dimensiona según la capacidad de bombeo y caudal de la bomba de baja potencia. Para ello considerando que bombea un caudal de 6,9 m³/h, y un funcionamiento medio de 8 horas diarias, resultaría un volumen de 56 m³.

En el dimensionado del depósito es necesario recalcar la importancia de dicho elemento para una realización eficiente de riego por gravedad. En sistemas de bombeo solar, en los cuales el recurso solar está altamente condicionado por factores como la nubosidad, hay que establecer un remanente de agua almacenado que pueda realizar irrigación sin contribución energética del grupo generador fotovoltaico.

La principal limitación del proyecto reside en la irregularidad del terreno y que en el sistema de riego por goteo a baja presión se depende íntegramente de la presión que proporciona la propia gravedad y las electroválvulas convencionales, (encargadas de abrir y cerrar el paso de agua), requieren una presión mínima de 0,5 bar, es decir, haría falta un desnivel del depósito respecto a la electroválvula de al menos 5 metros de altura.

Para solucionar la problemática se seleccionan electroválvulas para baja presión $P_{\text{funcionamiento}} = 0,05$ bares, es decir, 0,5 metros de desnivel.

El depósito de acumulación será llenado gracias a la bomba de bajo caudal, capaz de extraer del pozo 7,3 m³/h, si funcionase durante 8 horas del día, se extraería

Condiciones del depósito	
Días sin generación FV	2
Volumen a regar (m ³ /día)	58,4
Volumen almacenamiento (m ³)	175,2
Altura del depósito (m)	1,5

Tabla 9-1. Condiciones para depósito de acumulación.

Entre el catálogo comercial de la empresa *Dendromon*, se escoge el depósito con las siguientes características:

Características	
Material	Chapa galvanizada
Normativa	ISO 9001
Diámetro (m)	9,1
Altura (m)	2,36
Volumen (m ³)	153

Tabla 9-2. Características del depósito.

9.2 Sistemas de control y automatización de riego

9.2.1 Contador de agua

El contador tipo Woltman se instalará a la entrada del cabezal de riego. Su función es medir el volumen de agua consumido en la explotación. Este elemento permite llevar el control sobre el consumo de agua.

9.2.2 Manómetros

Los manómetros son los instrumentos encargados de medir la presión interior en las tuberías. Se colocan al inicio del cabezal de riego y también en las tuberías de diferentes sectores para comprobar que la presión de riego por las tuberías es la correcta. Se colocarán también manómetros en los laterales con máxima diferencia de cota, es decir, en situación más desfavorable para garantizar el riego por goteo.

9.2.3 Ventosas

Las ventosas expulsan aire cuando la tubería se llena y permiten su entrada cuando se vacía. Se ubicarán en las zonas con mayor cota para evitar la acumulación de bolsas de aire con medidas de 1" y 2".

9.3 Válvulas

9.3.1 Válvulas de bola

Son las encargadas de interrumpir y/o regular el flujo de agua en las tuberías. Se caracterizan por su mecanismo regulador situado en el interior con forma esférica perforada. Estas válvulas se colocan en la tubería principal del cabezal de riego o red de transporte que conecta con los laterales para que, en caso de rotura, avería, reparación o limpieza de filtros, se pueda detener el flujo del agua. Se conectan en las diferentes tuberías de la instalación teniendo presiones de 1 MPa-1,6 MPa.

9.3.2 Válvulas antirretorno

Su función es cerrar totalmente el paso del agua circulando en un sentido y permitir su paso libre en el contrario. Se utilizan cuando se pretende mantener a presión una tubería en servicio y poner en descarga la alimentación.

9.3.3 Electroválvulas

Son las encargadas de controlar el paso del agua por la tubería mediante un solenoide. Se colocan en el cabezal de riego y a la entrada de cada sector, para abrir y cerrar sectores mediante el tiempo de riego. Se dispone de 9 electroválvulas con DN63.

9.4 Sistema de automatización

Para la automatización, se instala el programador *Agrónic 2500* para controlar la irrigación, totalmente configurable y con múltiples posibilidades de uso, comunicación y ampliación. Equipado para el control del riego, bombeo y limpieza de filtros, con detección de averías y detallado registro cronológico de eventos e histórico de acumulados. La programación se puede realizar tanto por tiempo como por volumen, ya sea en el riego y la fertilización o en la limpieza de los filtros, y con la posibilidad de actuaciones independientes en cada programa.

10 . DIMENSIONADO DE INSTALACIÓN SOLAR

10.1 Descripción módulos fotovoltaicos

Se selecciona el siguiente tipo de panel fotovoltaico PERC monocristalino de ERA solar, con las siguientes características y aspecto físico:

Datos eléctricos	Valores
Tensión máxima admisible	400 W
Corriente de cortocircuito	10,36 A
Tensión de circuito abierto	49,8 V
Corriente PMP	9,6 A
Tensión PMP	41,7 V
Rendimiento	20,17 %

Tabla 10-1. Características módulo solar ERA PERC mono 400W.

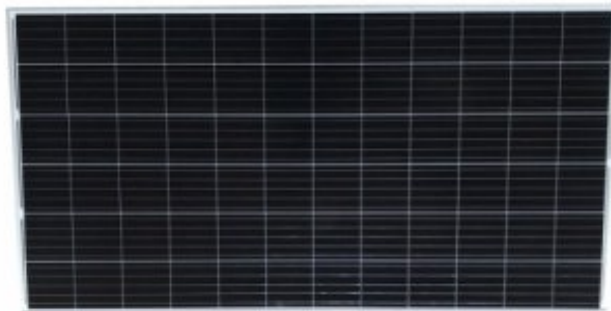


Ilustración 10-1. Aspecto físico del panel solar 400W PERC monocristalino ERA [17].

El resto de información concerniente a los módulos solares seleccionados figuran en el apartado IV.3. Selección de paneles solares. Se procede a calcular la primera aproximación de paneles necesarios para cubrir la demanda de la bomba de alta potencia (13 kW):

$$\text{Número de módulos} = \frac{P_{\text{máx generador FV}}}{P_{\text{p módulo solar}}} = \frac{13,96}{400} = 34,89 = 35 \text{ paneles}$$

Por tanto, la potencia pico del generador fotovoltaico será:

$$P_{\text{pico generador FV}} = 35 * 400 = 14kWp$$

Tanto el número de módulos que conforman el generador fotovoltaico y con ello, la potencia del mismo, pueden variar a lo largo del proyecto debido a la existencia de factores altamente influyentes en el diseño.

10.2 Selección del inversor

El inversor de frecuencia es un dispositivo electrónico cuya función principal, varía la velocidad desde cero hasta la nominal máxima de motores de inducción asíncronos trifásicos de corriente alterna. Para ello, se instala un equipo inversor que integra un

variador de frecuencia diseñado para alimentar directamente al grupo de bombeo hidráulico de alta potencia. Se selecciona el inversor SD700SP con las siguientes características:

Datos eléctricos	Valores
Rango de potencia	1,5-560 kW
Frecuencia	50/60 Hz
Tensión nominal	3x208-240 V
Tensión nominal salida (AC)	380-500 Vca 3 fases
Tensión entrada	540-900 Vcc
Corriente nominal salida (AC)	62 A
Udc	230 V
Eficiencia a corriente y tensión nominal	98%
Precio	5.221,00 €

Tabla 10-2. Características del inversor SD 700SP.



Ilustración 10-2. Aspecto físico del inversor SD 700SP [18].

El variador SD700SP sólo está conectado al campo FV, generando la potencia mínima para arrancar y acelerar la bomba. Esta potencia de arranque depende de las curvas hidráulicas de la bomba y el sistema. Se selecciona la talla 2 del catálogo (Ilustración 10-3), ya que la potencia inmediatamente superior a 13 kW (requerida por bomba de gran caudal) es 15 kW de potencia del motor a 400 Vca.

TALLA	CÓDIGO	400Vca - 565Vcc				
		Temperatura de trabajo 50°C ALIMENTACIÓN CA			ALIMENTACIÓN CC @565Vcc	
		I(A) Nominal	Potencia motor (kW) a 400VCA	150% Sobrecarga (A)	Entrada I(A) CC	Entrada I(A) CC 120% Sobrecarga
1	SD7SP0006 5	6	2,2	9	4	5
	SD7SP0009 5	9	4	14	7	8
	SD7SP0012 5	12	5,5	18	10	12
	SD7SP0018 5	18	7,5	27	13	16
	SD7SP0024 5	24	11	36	19	23
2	SD7SP0032 5	32	15	48	27	32
	SD7SP0038 5	38	18,5	57	33	39
	SD7SP0048 5	48	22	72	39	47
3	SD7SP0060 5	60	30	90	53	64
	SD7SP0075 5	75	37	113	65	79
	SD7SP0090 5	90	45	135	80	96
	SD7SP0115 5	115	55	173	97	117

Ilustración 10-3. Especificaciones del inversor para una potencia de 15 kW.

10.3 Descripción del generador fotovoltaico

En Anejo IV. Diseño instalación solar, apartado IV.3. Selección de paneles solares, se relacionan los cálculos realizados para la selección y configuración adoptada cuyas características principales son las descritas en Tabla 10-3:

Parámetros	Valor
Número de módulos FV	36
Conexión	12s 3p
Potencia pico generador FV (kWp)	14400
Corriente I_{pmp} (A)	28,8
Tensión V_{pmp} (V)	500,4
Corriente cortocircuito I_{sc} (A)	597,6
Tensión circuito abierto V_{oc} (V)	31,08
Área del generador (m ²)	100,45

Tabla 10-3. Características del generador fotovoltaico.

El esquema del generador fotovoltaico compuesto por la bomba de alta potencia será el mostrado en Ilustración 10-4:

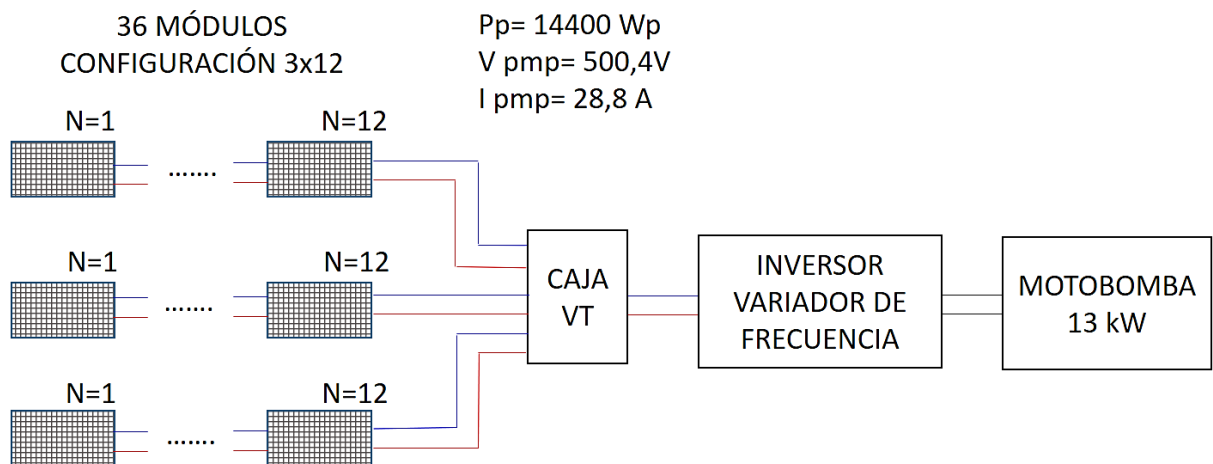


Ilustración 10-4. Esquema de la instalación fotovoltaica de alta potencia.

10.4 Cálculo de la energía fotovoltaica generada

Con los datos disponibles en el apartado 4.1.1 Irradiancia mensual, se seleccionan los valores del año 2016 (por ser el histórico disponible más actualizado) para irradiación horizontal e irradiación con ángulo óptimo, realizando el cociente de los datos entre el número de días por mes resultando la irradiación diaria. Se aplican las siguientes fórmulas para el cálculo de energía fotovoltaica generada por la instalación:

$$E_t = P_{nom,G} \cdot Y_{R,t} \cdot PR$$

$$Y_{R,t} = \frac{G_t}{I_{STD}} \left(\frac{kWh/m^2}{kW/m^2} \rightarrow h \right)$$

Leyenda

- Et es la energía total producida (kWh).
- Pnom es la potencia nominal del grupo generador fotovoltaico.
- Yrt son las horas equivalentes de sol.
- PR es el Performance Ratio.
- Gt es la irradiancia.
- Istd=1kW/m²

Mes	Días/mes	PR	G _t (kWh/m ² /dia)	E _t (kWh/dia)	E _t (kWh/mes)
Enero	31	0,925	3,25	43,27	1341,34
Febrero	28	0,925	4,32	57,54	1611,03
Marzo	31	0,925	5,86	78,08	2420,41
Abril	30	0,924	5,69	75,67	2270,20
Mayo	31	0,922	5,95	78,97	2447,99
Junio	30	0,920	7,38	97,80	2934,01
Julio	31	0,919	7,32	96,94	3005,08
Agosto	31	0,919	7,60	100,61	3118,85
Septiembre	30	0,921	6,73	89,26	2677,82
Octubre	31	0,922	4,81	63,93	1981,84
Noviembre	30	0,924	3,77	50,22	1506,65
Diciembre	31	0,925	4,06	54,11	1677,39
Media anual:			5,56	73,87	2249,39
Total anual (kWh/año)					26992,63

Tabla 10-4. Cálculo de la energía fotovoltaica generada.

Resultaría un total de energía fotovoltaica generada de 26.992,63 kWh/año.

11 . ESTUDIO ECONÓMICO Y AMBIENTAL

11.1 Estudio ambiental

Se realiza un estudio económico ambiental en un marco de 50 años de la instalación fotovoltaica propuesta. El presente apartado debe servir para crear conciencia sobre la importancia de implantar energías renovables frente a las tradicionales fundamentalmente por ser la solución presente y futura para frenar el calentamiento global y otros fenómenos ambientales indeseables. Se parte de la situación que los gases más perjudiciales para la capa de ozono son los denominados gases de efecto invernadero (GEI). El análisis realizado incluye los parámetros económicos actualizados que figuran en la Tabla 11-1.

Las emisiones evitadas se realizarán sobre tres gases principales: kilogramos de dióxido de carbono equivalente (es el gas más producido en motores de combustión interna consecuencia de quemar combustible, principal causante del incremento de temperatura de la Tierra), gramos de óxidos de nitrógeno (producidos por altas presiones y temperaturas por el exceso de oxígeno durante la combustión) y gramos de óxidos de azufre (causantes de la lluvia ácida).

Parámetros	Valores
Emisiones del mix eléctrico (Kg CO ₂ eq/kWh)	0,399
Lluvia ácida (g SO _x /kWh)	0,366
Óxidos de nitrógeno (g NO _x /kWh)	0,261

Tabla 11-1. Parámetros ambientales [20].

La metodología seguida para el análisis parte del cálculo de la energía generada por el grupo fotovoltaico 10.4 Cálculo de la energía fotovoltaica generada. Conociendo su valor inicial 26992,63 kWh/año, aplicando el coeficiente de degradación de los módulos del 80%/año, se calcula la energía generada y acumulada para el resto de años.

De la misma forma, para las emisiones evitadas se multiplica la energía generada por los parámetros ambientales correspondientes a cada gas producido en las reacciones de combustión, resultando las cantidades evitadas en kWh/año producidos por el grupo fotovoltaico.

Energía generada			Emisiones evitadas			
Año	kWh/año	kWh (acumulado a la fecha)	Año	Kg CO ₂ eq	g SO _x	g NO _x
0	26992,63	26992,63	0	10770,06	9879,30	7045,08
1	26776,69	53769,31	1	10683,90	9800,27	6988,72
2	26562,47	80331,79	2	10598,43	9721,86	6932,81
3	26349,97	106681,76	3	10513,64	9644,09	6877,34
4	26139,17	132820,93	4	10429,53	9566,94	6822,32
5	25930,06	158750,99	5	10346,09	9490,40	6767,75
6	25722,62	184473,61	6	10263,33	9414,48	6713,60
7	25516,84	209990,45	7	10181,22	9339,16	6659,89
8	25312,70	235303,15	8	10099,77	9264,45	6606,62
9	25110,20	260413,35	9	10018,97	9190,33	6553,76

10	24909,32	285322,67	10	9938,82	9116,81	6501,33	
11	24710,05	310032,72	11	9859,31	9043,88	6449,32	
12	24512,37	334545,09	12	9780,43	8971,53	6397,73	
13	24316,27	358861,35	13	9702,19	8899,75	6346,55	
14	24121,74	382983,09	14	9624,57	8828,56	6295,77	
15	23928,76	406911,85	15	9547,58	8757,93	6245,41	
16	23737,33	430649,18	16	9471,20	8687,86	6195,44	
17	23547,43	454196,62	17	9395,43	8618,36	6145,88	
18	23359,05	477555,67	18	9320,26	8549,41	6096,71	
19	23172,18	500727,85	19	9245,70	8481,02	6047,94	
20	22986,80	523714,66	20	9171,73	8413,17	5999,56	
21	22802,91	546517,57	21	9098,36	8345,87	5951,56	
22	22620,49	569138,05	22	9025,57	8279,10	5903,95	
23	22439,52	591577,58	23	8953,37	8212,87	5856,72	
24	22260,01	613837,58	24	8881,74	8147,16	5809,86	
25	22081,93	635919,51	25	8810,69	8081,99	5763,38	
26	21905,27	657824,78	26	8740,20	8017,33	5717,28	
27	21730,03	679554,81	27	8670,28	7953,19	5671,54	
28	21556,19	701111,00	28	8600,92	7889,57	5626,17	
29	21383,74	722494,74	29	8532,11	7826,45	5581,16	
30	21212,67	743707,41	30	8463,86	7763,84	5536,51	
31	21042,97	764750,37	31	8396,14	7701,73	5492,21	
32	20874,62	785625,00	32	8328,98	7640,11	5448,28	
33	20707,63	806332,62	33	8262,34	7578,99	5404,69	
34	20541,97	826874,59	34	8196,24	7518,36	5361,45	
35	20377,63	847252,22	35	8130,67	7458,21	5318,56	
36	20214,61	867466,83	36	8065,63	7398,55	5276,01	
37	20052,89	887519,72	37	8001,10	7339,36	5233,80	
38	19892,47	907412,19	38	7937,10	7280,64	5191,93	
39	19733,33	927145,52	39	7873,60	7222,40	5150,40	
40	19575,46	946720,98	40	7810,61	7164,62	5109,20	
41	19418,86	966139,84	41	7748,12	7107,30	5068,32	
42	19263,51	985403,35	42	7686,14	7050,44	5027,78	
43	19109,40	1004512,75	43	7624,65	6994,04	4987,55	
44	18956,53	1023469,28	44	7563,65	6938,09	4947,65	
45	18804,87	1042274,15	45	7503,14	6882,58	4908,07	
46	18654,43	1060928,58	46	7443,12	6827,52	4868,81	
47	18505,20	1079433,78	47	7383,57	6772,90	4829,86	
48	18357,16	1097790,94	48	7324,51	6718,72	4791,22	
49	18210,30	1116001,24	49	7265,91	6664,97	4752,89	
50	18064,62	1134065,86	50	7207,78	6611,65	4714,87	
				Totales:	452492,28	415068,10	295991,19

Tabla 11-2. Energía generada y emisiones evitadas en un marco de 50 años.

Se construye un diagrama de barras que refleje qué tipo de gas se evita en mayor cantidad, observándose una superioridad absoluta de CO₂, ya que además se está expresando en un orden de magnitud mil veces superior al resto (kg) de gases (g).

Emisiones evitadas en 50 años

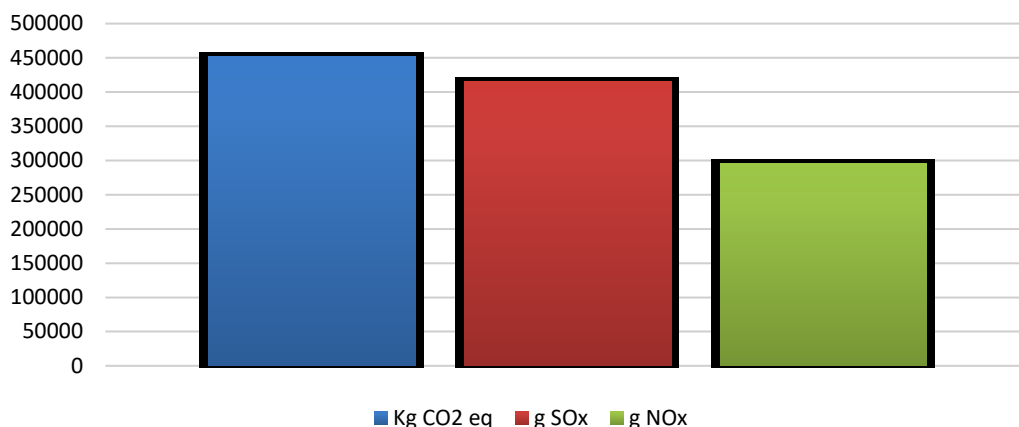


Ilustración 11-1. Emisiones evitadas totales en 50 años.

Finalmente, disponiendo de las cantidades de GEI evitados a la atmósfera, se procede al cálculo referente al ahorro económico por emisiones de CO₂ equivalente teniendo en cuenta los parámetros económicos actualizados Tabla 11-3.

Parámetros	Valores
Tasa de inflación (%)	1,2
Tasa de inflación (eléctrica) (%)	3,3
Tasa de interés (%)	3,75
Precio kWh en red (€/kWh)	0,11
Coste Tm CO ₂ (€/Tm CO ₂)	5,66
Impuestos a la generación (€/kWh)	0,04

Tabla 11-3. Parámetros económicos [19].

El comercio de los derechos de emisión de CO₂ es uno de los grandes motores en el proceso de descarbonización y es importante su estudio para materializar el ahorro que supone sustituir combustibles fósiles por energías renovables. Al hablar de derecho de emisión dentro del marco europeo, nos referimos a los derechos que obtienen las empresas para emitir una determinada cantidad de gases de efecto invernadero a la atmósfera. La cantidad de derechos que hay en el mercado es limitada y está fijada por la Comisión Europea. Las empresas deben ajustarse en base a ese límite, comprando o vendiendo dichos derechos en función de sus necesidades.

La metodología seguida para el cálculo, es necesario tener en cuenta las emisiones evitadas de CO₂, multiplicadas por el precio que cuesta emitir a la atmósfera una tonelada de dicho gas (5,66€/Tm CO₂).

Año	€	Año	€
0	608,831391	26	494,083683
1	603,96074	27	490,131014
2	599,129054	28	486,209966
3	594,336021	29	482,320286
4	589,581333	30	478,461724
5	584,864682	31	474,63403
6	580,185765	32	470,836958

7	575,544279	33	467,070262
8	570,939925	34	463,3337
9	566,372405	35	459,62703
10	561,841426	36	455,950014
11	557,346694	37	452,302414
12	552,887921	38	448,683995
13	548,464818	39	445,094523
14	544,077099	40	441,533767
15	539,724482	41	438,001497
16	535,406686	42	434,497485
17	531,123433	43	431,021505
18	526,874445	44	427,573333
19	522,65945	45	424,152746
20	518,478174	46	420,759524
21	514,330349	47	417,393448
22	510,215706	48	414,0543
23	506,13398	49	410,741866
24	502,084909	50	407,455931
25	498,068229		
Total: 25579,38			
Total (NPV): 10231,75			

Tabla 11-4. Ahorro económico por tonelada de CO₂ evitado a la atmósfera.

El **Acuerdo de París** fija como objetivo reducir un 40% las emisiones de gases de efecto invernadero para 2030, respecto al año 1990. Dicho requerimiento se traduce en que la tendencia del alza del coste de tonelada de CO₂ en un contexto de inestabilidad económica y política actual, para poder cumplir el acuerdo, se ahorraría en 25 años 25.579,38€ como mínimo, ya que los valores podrán hasta triplicarse.

11.2 Estudio económico

Se relaciona a continuación, los cuadros con los costes separados para cada tipo de instalación. Cabe destacar que, en el proyecto, la inversión principal, que es el cultivo de las plantaciones de pistacho acompañado del trabajo agrícola correspondiente, ya estaba realizado previamente. Por tanto, el análisis constará del cuadro de precios del sistema de bombeo solar Tabla 11-5, y del cuadro de precios del sistema hidráulico Tabla 11-6.

Descripción	Cantidad	Precio/unidad	Subtotal
Panel Solar 400W PERC Monocristalino ERA. Modelo de 24V y 72 células de tipo PERC.	36	114,97 €	4.138,92 €
Kit Unión Universal Falcat 45mm	3	6,18 €	18,54 €
Estructura 6 Paneles 30-45mm Coplanar Falcat.	6	111,85 €	671,10 €
Cable Unifilar 6 mm ² SOLAR PV ZZ-F Rojo	90	1,40 €	126,00 €
Cable Unifilar 6 mm ² SOLAR PV ZZ-F Negro	90	1,47 €	132,30 €
Conectores WEIDMULLER PVStick	3	5,83 €	17,49 €
Control Bombeo 400V Variador Fuji 11kWp IP54 50Mt	1	2.101,88 €	2.101,88 €
Bomba sumergible SPE 17-20 Grundfos	1	10.623,00 €	10.623,00 €
Bomba superficie vertical CRIF 5-6 Grundfos	1	2.624,00 €	2.624,00 €
Inversor SD 700SP Power Electronics	1	1.569,11 €	1.569,11 €

Tratamiento y reciclaje de residuos orgánicos obtenidos durante la ejecución de las tareas de la obra.	1	166,48 €	166,48 €
Vigilante de aislamiento ISO-CHECK PV 1000. Tensión nominal del sistema 500 - 1000 VDC. Tensión continua admisible 1150 V	1	219,52 €	219,52 €
Conjunto de protecciones necesarias para garantizar la protección de la instalación fotovoltaica	1	251,27 €	251,27 €
Total			22.659,61 €

Tabla 11-5. Presupuesto instalación de bombeo solar.

Se relacionan de forma aproximada los costes de tuberías incluyendo los tubos autocompensantes. Esta tabla no se tendrá en cuenta a la hora de hacer el cálculo de rentabilidad de la instalación, ya que lo que se desea evaluar, es el retorno del desembolso de la instalación fotovoltaica respecto a su producción energética.

Descripción	Cantidad	Precio/unidad	Subtotal
Agronic 2500, completo programador para el control del riego y la fertilización	1,00 €	1.792,98 €	1.792,98 €
Metro lineal de tubería de PVC instalado, de diámetro exterior 50mm, para una presión de trabajo de 10 atm, unión por encolado.		2,45€/m	
Tubo de polietileno con gotero integrado autocompensante AZUD PREMIER PC AS		0,97€/m	
Metro lineal de tubería de PVC instalado, de diámetro exterior 50mm, para una presión de trabajo de 16 atm		2,72€/m	
Metro lineal de tubería de PVC instalado, de diámetro exterior 63 mm, para una presión de trabajo de 10 atm		3,33€/m	
Metro lineal de tubería de PVC instalado, de diámetro exterior 63 mm, para una presión de trabajo de 16 atm		3,52€/m	25.369,66 €
Metro lineal de tubería de PVC instalado, de diámetro exterior 75mm, para una presión de trabajo de 10 atm		3,67€/m	
Metro lineal de tubería de PVC instalado, de diámetro exterior 75 mm, para una presión de trabajo de 16 atm		3,84€/m	
Metro lineal de tubería de PVC instalado, de diámetro exterior 90mm, para una presión de trabajo de 16 atm		4,05€/m	
Metro lineal de tubería de PVC instalado, de diámetro exterior 125mm, para una presión de trabajo de 10 atm		11,02€/m	
Metro lineal de tubería de PVC instalado, de diámetro exterior 140mm, para una presión de trabajo de 16 atm		13,36€/m	
Contador de agua de tipo Woltman	1,00 €	337,75 €	337,75 €
Depósito de agua de agua 153 m3	1,00 €	4.051,14 €	4.051,14 €
Válvula de bola o de esfera de 63 mm	9,00 €	10,26 €	92,34 €
Válvula antirretorno serie encolar de diámetro nominal de válvula 63mm	14,00 €	10,09 €	141,26 €
Electroválvula de membrana con diafragma integral, con solenoide de 24V	3,00 €	143,12 €	429,36 €
Total			32.214,49 €

Tabla 11-6. Presupuesto instalación del circuito hidráulico.

11.2.1 Retorno de la inversión

Con los datos económicos de la Tabla 11-3, se procede a realizar un análisis que permite evaluar la rentabilidad de la instalación y el tiempo que tardaríamos en recuperar la inversión inicial de únicamente la instalación de bombeo solar. Como resultado, se obtiene que a partir del año 16 comenzarían a existir beneficios, es decir, concluiría el pago del proyecto.

Año	Contabilidad anual				Beneficio		
	Precio/kWh	Entradas	Salidas	Balance anual	Acumulado	Acumulado (NPV)	TIR
	€	€	€	€	€	€	
0	0,11	2969,19	24872,30	-21903,11	-21903,11	-21903,11	-0,97
1	0,11	3042,63	2217,64	824,99	-21078,12	-20825,18	-0,92
2	0,12	3117,90	2222,67	895,23	-20182,89	-19698,50	-0,87
3	0,12	3195,02	2227,77	967,26	-19215,63	-18523,87	-0,82
4	0,13	3274,05	2232,93	1041,12	-18174,51	-17302,13	-0,76
5	0,13	3355,04	2238,16	1116,88	-17057,63	-16034,17	-0,71
6	0,13	3438,03	2243,46	1194,57	-15863,06	-14720,92	-0,65
7	0,14	3523,07	2248,82	1274,25	-14588,81	-13363,35	-0,59
8	0,14	3610,22	2254,25	1355,97	-13232,84	-11962,49	-0,53
9	0,15	3699,52	2259,75	1439,77	-11793,07	-10519,42	-0,46
10	0,15	3791,03	2265,31	1525,72	-10267,35	-9035,27	-0,40
11	0,16	3884,81	2270,94	1613,87	-8653,47	-7511,21	-0,33
12	0,16	3980,90	2276,62	1704,28	-6949,19	-5948,51	-0,26
13	0,17	4079,38	2282,38	1797,00	-5152,19	-4348,45	-0,19
14	0,17	4180,28	2288,19	1892,09	-3260,10	-2712,40	-0,12
15	0,18	4283,69	2294,07	1989,62	-1270,48	-1041,79	-0,05
16	0,18	4389,65	2300,01	2089,64	819,16	661,88	0,03
17	0,19	4498,23	2306,01	2192,22	3011,39	2397,06	0,11
18	0,20	4609,50	2312,07	2297,43	5308,82	4162,11	0,18
19	0,20	4723,52	2318,19	2405,33	7714,15	5955,33	0,26
20	0,21	4840,36	2324,37	2515,99	10230,14	7774,91	0,34
21	0,22	4960,09	2330,61	2629,48	12859,63	9619,00	0,42
22	0,22	5082,78	2336,91	2745,88	15605,51	11485,65	0,51
23	0,23	5208,51	2343,26	2865,25	18470,75	13372,83	0,59
24	0,24	5337,35	2349,68	2987,67	21458,43	15278,40	0,67
25	0,25	5469,37	2356,15	3113,22	24571,65	17200,15	0,76

Tabla 11-7. Análisis de retorno de la inversión.

ANEJO I. DISEÑO AGRONÓMICO

Mediante la utilización del software *CROPWAT*, se corroboran las necesidades hídricas de la plantación mediante la introducción de los datos ambientales y de la posición geográfica de la explotación agraria, comenzando con la evapotranspiración.

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/día
Enero	4.7	11.4	83	135	6.0	8.8	0.81
Febrero	8.7	16.5	78	121	8.2	13.2	1.60
Marzo	9.4	14.9	77	214	8.2	16.6	2.33
Abril	12.1	17.9	77	148	10.0	22.0	3.22
Mayo	17.2	24.9	66	126	11.7	26.3	4.80
Junio	20.9	29.2	51	138	12.6	28.3	6.03
Julio	25.5	34.9	50	151	12.1	27.1	6.77
Agosto	24.7	33.6	45	129	11.9	25.2	6.19
Septiembre	19.5	27.5	56	130	10.5	20.4	4.45
Octubre	12.6	20.3	66	137	9.1	15.1	2.59
Noviembre	9.8	16.4	85	126	7.0	10.1	1.25
Diciembre	5.7	10.6	83	179	6.5	8.5	0.85
Promedio	14.2	21.5	68	145	9.5	18.5	3.41

Tabla I-1. Cálculo de evapotranspiración. CROPWAT.

De igual modo, se introducen los datos de precipitación mensual en mm/día. Es crucial observar que el método seleccionado nos ofrece los mismos resultados que los calculados manualmente a excepción del mes de junio que ofrece mayor radiación, esto se debe a que depende del año seleccionado (en el software no figura el histórico de datos por años).

	Precipit. mm	Prec. efec mm
Enero	1.3	1.0
Febrero	0.0	0.0
Marzo	2.9	2.2
Abril	0.8	0.6
Mayo	1.6	1.2
Junio	0.5	0.3
Julio	0.9	0.7
Agosto	0.8	0.6
Septiembre	0.2	0.1
Octubre	0.6	0.4
Noviembre	3.5	2.6
Diciembre	1.0	0.7
Total	14.1	13.8

Tabla I-2. Cálculo de precipitación efectiva. CROPWAT.

ANEJO II. DISEÑO SUBUNIDADES DE RIEGO

Los criterios en el diseño y dimensionado de las subunidades de riego son:

1. Uniformidad de emisión lo más alta posible.
2. Emisores autocompensantes en los que se fije una presión mínima y variación de presión máxima en función del desnivel y dimensiones de la subunidad.
3. Cada subunidad de riego tendrá una variación de presión distinta.

II. 1. Cálculo de parámetros condicionantes

II.1.1 Variación de presión máxima admisible

Los emisores autocompensantes reciben ese nombre por estar dentro de un rango efectivo de presiones:

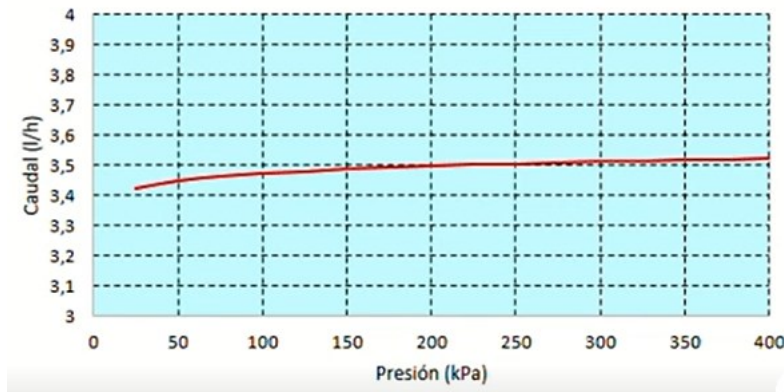


Ilustración II-1. Curva característica de emisor autocompensante.

AZUD PREMIER PC AS		Ecuación característica AZUD PREMIER $q = K \cdot h^x$		Presión de trabajo
Modelos		q (l/h) - h (mca)	q (gph) - h (psi)	bar psi
AZUD PREMIER PC AS	1L	$q = 0.9 \cdot h^0$	$q = 0.24 \cdot h^0$	0.5 - 4.0 7 - 58 psi
AZUD PREMIER PC AS	1.6L	$q = 1.5 \cdot h^0$	$q = 0.39 \cdot h^0$	0.5 - 4.0 7 - 58 psi
AZUD PREMIER PC AS	2L	$q = 1.9 \cdot h^0$	$q = 0.50 \cdot h^0$	0.5 - 4.0 7 - 58 psi
AZUD PREMIER PC AS	2.3L	$q = 2.2 \cdot h^0$	$q = 0.58 \cdot h^0$	0.5 - 4.0 7 - 58 psi
AZUD PREMIER PC AS	3L	$q = 2.9 \cdot h^0$	$q = 0.77 \cdot h^0$	0.5 - 4.0 7 - 58 psi
AZUD PREMIER PC AS	3.5L	$q = 3.4 \cdot h^0$	$q = 0.90 \cdot h^0$	0.5 - 4.0 7 - 58 psi

Tabla II-1. Ecuación característica del emisor y presión de trabajo. AZUD.

De esta forma, el exponente de descarga se considera cercano a cero, por lo que, teóricamente, la máxima diferencia de presión admisible en la subunidad (ΔH_s) vendrá dada por la siguiente ecuación y los datos facilitados por el fabricante:

$$\Delta H_s = H_{\max} - H_{\min} = 4 - 0,5 = 3,5 \text{ bar} = 35,69 \text{ m.c.a}$$

Definida la máxima presión admisible (35,69 m.c.a), se debe definir la presión mínima de funcionamiento de la subunidad, estableciendo 5 m.c.a.

II.1.2 Longitud máxima del lateral

La longitud máxima del lateral viene dada por las especificaciones del fabricante:

AZUD PREMIER PC AS		Longitud de ramal*																					
		Separación de emisores*																					
Modelo	0.20 m		0.25 m		0.30 m		0.33 m		0.40 m		0.50 m		0.60 m		0.75 m		1.00 m		1.25 m		1.50 m		
	(m)	(pies)	(m)	(pies)	(m)	(pies)	(m)	(pies)	(m)	(pies)	(m)	(pies)	(m)	(pies)	(m)	(pies)	(m)	(pies)	(m)	(pies)	(m)	(pies)	
16	1L	125	410	150	492	183	600	200	656	235	771	285	935	335	1099	400	1312	500	1640	600	1969	680	2231
	1.6L	90	295	111	364	130	427	143	469	170	558	206	676	242	794	290	951	370	1214	440	1444	500	1640
	2L	77	254	95	313	112	366	123	403	146	479	177	581	208	682	249	817	316	1037	377	1237	428	1406
	2.3L	70	230	89	292	102	335	115	377	132	433	158	518	195	640	226	741	287	942	342	1122	394	1293
	3L	58	190	76	249	85	279	98	322	111	364	135	443	160	525	189	620	240	787	286	938	330	1083
20	3.5L	52	171	65	213	78	256	89	292	99	325	121	397	143	469	170	558	216	709	258	846	297	974
	1L	244	801	294	965	342	1122	370	1214	431	1414	500	1640	575	1886	690	2264	850	2789	975	3199	1100	3609
	1.6L	174	571	210	689	244	801	269	883	309	1014	367	1204	425	1394	500	1640	600	1969	720	2362	810	2657
	2L	149	490	180	591	209	687	231	757	265	870	315	1033	365	1197	428	1404	530	1739	620	2034	698	2288
	2.3L	135	443	164	538	200	656	215	705	240	787	295	968	329	1079	390	1280	480	1575	570	1870	645	2116
3.5L	3L	114	374	137	450	154	522	172	564	205	673	238	781	275	902	323	1060	405	1329	472	1549	535	1755
	3.5L	102	335	127	417	143	469	160	525	180	591	215	705	245	804	293	961	362	1188	420	1378	485	1591

* Pendiente: 0%
 * Presión entrada: 3 bar/44 psi
 Se recomienda realizar el diseño de la instalación, con longitudes de ramal inferiores a 800 metros / 2.625 pies.

Tabla II-2. Longitudes máximas admisibles para laterales de PE de Ø 16 mm. AZUD.

La longitud máxima de ramal alcanza un valor de 342 m que dividido por la separación entre emisores 1,25 m resultarían **274** emisores/ramal máximo al tratarse de una distancia límite especificada por el fabricante.

Las pérdidas de carga se calculan a través de la ecuación de *Blasius*, que se define con la siguiente ecuación:

$$h_r = F * C * (L + L_e * n_{el}) * \frac{Q_L^{1,75}}{D^{4,75}}$$

A partir de la ecuación, se calcula la longitud equivalente sabiendo que la presión necesaria al inicio de la tubería es de 3 bar, es decir, 30 m.c.a. Así se consigue en el extremo final del lateral una presión de 5 m.c.a, (lo mínimo que para que pueda funcionar la instalación de riego correctamente) ($h_r=25$ m.c.a).

$$25 = 0,367 * 0,466 * (342 + L_e * 274) * \frac{(2,3 * 274)^{1,75}}{13,7^{4,75}}$$

$$L_e = 0,44 \text{ m}$$

Donde:

- $h_r=25$ m.c.a.
- C: Coeficiente que depende de la temperatura, por lo que suponiendo 20°C con valor 0,466.
- F: Coeficiente de Christiansen generalizado, en función del número de derivaciones. Con un valor de 0,367.
- L: Longitud de la tubería, dada por las especificaciones del fabricante (342 metros)
- L_e : Longitud equivalente.
- n_{el} : Número de emisores en el lateral (274 emisores)
- Q_L : Caudal del lateral 2,3 l/h cada emisor por 274 emisores.
- D: Diámetro interior del lateral (13,7 mm)

II.1.3 Presión punto inicial

Este cálculo se realizará para cada campo con la siguiente ecuación integrada en la aplicación Dimsub proporcionado por la Universidad Politécnica de Valencia:

$$\frac{P_o}{\gamma} = \frac{P}{\gamma} + \beta * h_r + \alpha * z$$

Donde:

- P_o/γ : Presión necesaria en la tubería considerada (m.c.a)
- P/γ : Presión media en la tubería considerada (m.c.a)
- z : Desnivel de la tubería
- β y α : Coeficientes adimensionales dados según el caso considerado, teniendo valores iguales a 1 puesto que el diseño se realiza con emisores autocompensantes.

II.1.4 Pérdidas de carga localizadas

Las pérdidas de carga localizadas en una subunidad se producen en las conexiones de los elementos a la red, tanto en la conexión de los emisores en los laterales, como en la conexión de los laterales a la terciaria. El método del coeficiente mayorante (K_m), consiste en aplicar un coeficiente superior a 1, de forma que las pérdidas de carga localizadas pasan a considerarse como un porcentaje de las continuas.

II.1.5 Pérdidas de carga continuas en laterales y terciarias

La diferencia de presión en el lateral será de 25 m.c.a, tratándose de las pérdidas de carga del mismo lateral. Las pérdidas de carga en las tuberías terciarias se calcularán mediante el software Dimsub.

II. 2. Cálculo de laterales

La distribución de la variación de presión en cada sector será la siguiente: Admitiendo una variación máxima de los caudales dentro de un mismo ramal de un 10%, y conociendo la variación de presión de trabajo del emisor (3,5 m.c.a.) y el exponente de descarga del emisor ($x=0,1$), obtenemos que la variación máxima de presión del lateral es:

$$\Delta H = \frac{0,1}{x} * H$$

$$\Delta H = \frac{0,1}{0,1} * 25 = 25 \text{ m. c. a}$$

Se ha tomado como valor del exponente de descarga del emisor 0,1, motivado por tratarse de goteros integrados autocompensantes con valores en torno a 0. Para poder evaluar su comportamiento, se toman valores entre 0 y 0,2, seleccionando la media de ambos.

Con los datos de partida o parámetros condicionantes, se introducen en la aplicación Dimsub para calcular los valores límite para una longitud de lateral de 342 m (de fabricante):

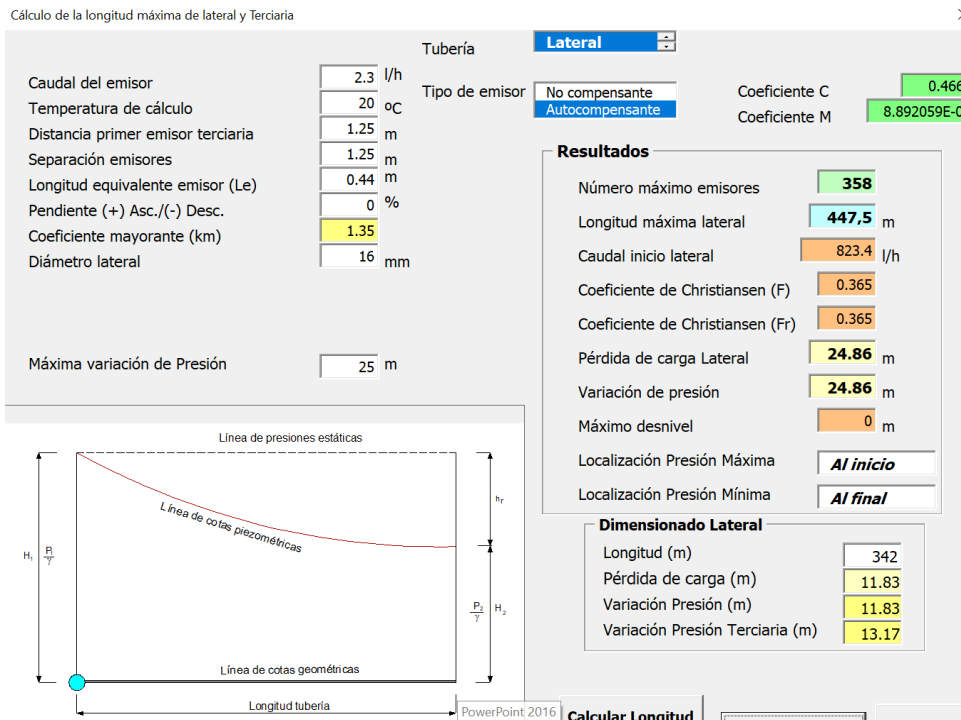


Ilustración II-2. Cálculo de longitud máxima de lateral en Dimsub.

II.3. Cálculo de tuberías terciarias

Para el cálculo de las tuberías terciarias se ha calculado el caudal necesario en cada campo. Teniendo en cuenta el caudal empleado en cada campo, así como su presión al inicio de dichas terciarias, se obtienen los diámetros que aparecen en la tabla adjunta.

Se ha tenido en cuenta la distribución de los sectores, pues una terciaria llevará agua para uno o más campos, por tanto, se tiene en cuenta el caudal total que necesitarían cada sector.

También se ha tenido en cuenta que la velocidad del agua dentro de las tuberías de PVC esté comprendida entre 0,5 m/s y 1,5 m/s. Los diámetros escogidos para todas las terciarias son de 63 mm, además, el propio software Dimsub establece este diámetro como idóneo en todas las subunidades.

Q(l/h)	Diámetro interior de la tubería en mm.																												
	14	19	25	32	38	50	63	75	89	100	125	150																	
Metros de columna de agua por 100 m de recorrido recto																													
500	8,9	2,1	0,6																										
800	20,2	4,7	1,3	0,4																									
1000	29,8	7	1,9	0,6																									
1500		14,2	3,9	1,2	0,5																								
2000			23,5	6,4	2	0,9																							
2500				9,4	2,9	1,3	0,4																						
3000					13	4	1,8	0,5	0,2																				
3500						17	5,3	2,3	0,6	0,2																			
4000							21,5	6,6	2,9	0,8	0,3	0,1																	
4500								8,2	3,6	1	0,3	0,1																	
5000									9,8	4,3	1,2	0,4	0,2																
5500										11,6	5,1	1,4	0,5	0,2															
6000											13,5	6	1,6	0,5	0,2														
6500												15,5	6,9	1,9	0,6	0,3													
7000													17,7	7,8	2,1	0,7	0,3												
8000														22,4	9,9	2,7	0,9	0,4	0,2										
9000															12,1	3,3	1,1	0,5	0,2										
10000																14,6	4	1,3	0,6	0,3	0,1								
12000																	20,1	5,5	1,8	0,8	0,4	0,2							
15000																		29,7	8,1	2,7	1,2	0,5	0,3						
18000																			11,1	3,7	1,6	0,7	0,4	0,1					
20000																				13,3	4,5	1,9	0,9	0,5	0,2				
25000																					19,7	6,6	2,9	1,3	0,7	0,3			
30000																						9	4	1,8	1	0,3	0,1		
35000																							11,8	5,2	2,3	1,3	0,5	0,2	
40000																								15	6,5	2,9	1,7	0,6	0,2

Tabla II-3. Ábaco de pérdidas y diámetro de tubería terciaria.

II.4. Trazado de tuberías

El trazado de tuberías se realiza teniendo en cuenta que existen nueve sectores, es decir, nueve subunidades. Tras los resultados obtenidos en Dimsub, programa que tiene en cuenta el desnivel del terreno, y fija si la alimentación de la red de transporte es en un extremo o en el punto medio del campo, se crea el plano con los puntos o nudos principales de la explotación agraria.

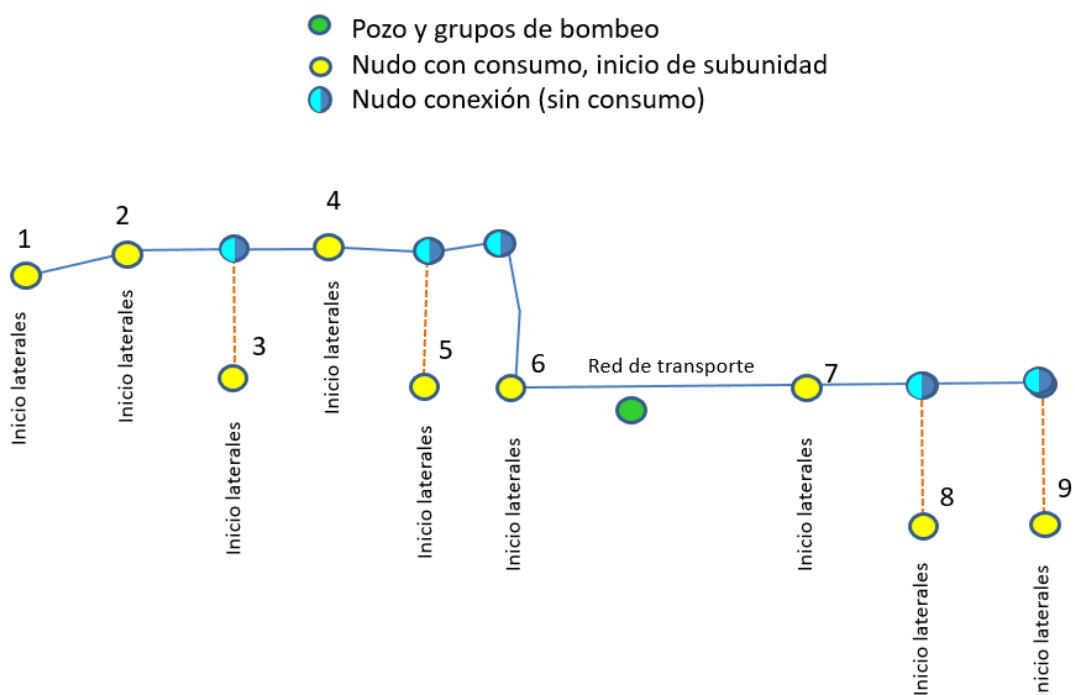


Ilustración II-3. Trazado de tuberías.

II.5. Resultados

CAMPO 1		CAMPO 2		CAMPO 3	
Pendiente	1,94%	Pendiente	1,60%	Pendiente	2,30%
Número máximo de emisores	248	Número máximo de emisores	252	Número máximo de emisores	243
Longitud máxima lateral (m)	310	Longitud máxima lateral (m)	315	Longitud máxima lateral (m)	303,75
Caudal lateral (l/h)	570,4	Caudal lateral (l/h)	579,6	Caudal lateral (l/h)	558,9
Coeficiente de Christiansen (F)	0,366	Coeficiente de Christiansen (F)	0,366	Coeficiente de Christiansen (F)	0,366
Coeficiente de Christiansen (Fr)	0,366	Coeficiente de Christiansen (Fr)	0,366	Coeficiente de Christiansen (Fr)	0,366
Pérdida de carga lateral (m)	18,96	Pérdida de carga lateral (m)	19,81	Pérdida de carga lateral (m)	17,93
Variación de presión (m)	24,98	Variación de presión (m)	24,85	Variación de presión (m)	24,92
Máximo desnivel (m)	6,01	Máximo desnivel (m)	5,04	Máximo desnivel (m)	6,99
Localización P _{máx}	Al inicio	Localización P _{máx}	Al inicio	Localización P _{máx}	Al inicio
Localización P _{mín}	Al final	Localización P _{mín}	Al final	Localización P _{mín}	Al final
DIMENSIONADO LATERAL		DIMENSIONADO LATERAL		DIMENSIONADO LATERAL	
Longitud (m)	298	Longitud (m)	321	Longitud (m)	330
Pérdida de carga (m)	16,96	Pérdida de carga (m)	20,75	Pérdida de carga (m)	22,51
Variación de presión (m)	22,75	Variación de presión (m)	25,89	Variación de presión (m)	30,1
Variación de presión terciaria (m)	2,25	Variación de presión terciaria (m)	-0,89	Variación de presión terciaria (m)	-5,1

Tabla II-4. Resultados de tuberías laterales del sector 1. Dimbub.

CAMPO 4		CAMPO 5		CAMPO 6	
Pendiente	-7,00%	Pendiente	7,00%	Pendiente	7,00%
Número máximo de emisores	371	Número máximo de emisores	186	Número máximo de emisores	186
Longitud máxima lateral (m)	463,75	Longitud máxima lateral (m)	232,5	Longitud máxima lateral (m)	232,5
Caudal lateral (l/h)	853,3	Caudal lateral (l/h)	427,8	Caudal lateral (l/h)	427,8
Coeficiente de Christiansen (F)	0,366	Coeficiente de Christiansen (F)	0,366	Coeficiente de Christiansen (F)	0,366
Coeficiente de Christiansen (Fr)	0,366	Coeficiente de Christiansen (Fr)	0,366	Coeficiente de Christiansen (Fr)	0,366
Pérdida de carga lateral (m)	57,29	Pérdida de carga lateral (m)	8,61	Pérdida de carga lateral (m)	8,61
Variación de presión (m)	24,83	Variación de presión (m)	24,89	Variación de presión (m)	24,89
Máximo desnivel (m)	-32,46	Máximo desnivel (m)	16,27	Máximo desnivel (m)	16,27
Localización Pmáx	Al inicio	Localización Pmáx	Al inicio	Localización Pmáx	Al inicio
Localización Pmín	P. Intermedio	Localización Pmín	Al final	Localización Pmín	Al final
DIMENSIONADO LATERAL		DIMENSIONADO LATERAL		DIMENSIONADO LATERAL	
Longitud (m)	330	Longitud (m)	340	Longitud (m)	234
Pérdida de carga (m)	22,51	Pérdida de carga (m)	24,43	Pérdida de carga (m)	8,75
Variación de presión (m)	-0,59	Variación de presión (m)	48,23	Variación de presión (m)	25,13
Variación de presión terciaria (m)	25,59	Variación de presión terciaria (m)	-23,23	Variación de presión terciaria (m)	-0,13

Tabla II-5. Resultados de tuberías laterales del sector 2. Dimbub.

CAMPO 7	
Pendiente	4,00%
Número máximo de emisores	221
Longitud máxima lateral (m)	276,25
Caudal lateral (l/h)	508,3
Coeficiente de Christiansen (F)	0,366
Coeficiente de Christiansen (Fr)	0,366
Pérdida de carga lateral (m)	13,82
Variación de presión (m)	24,87
Máximo desnivel (m)	11,05
Localización P _{máx}	Al inicio
Localización P _{mín}	Al final
DIMENSIONADO LATERAL	
Longitud (m)	240
Pérdida de carga (m)	9,4
Variación de presión (m)	19
Variación de presión terciaria (m)	6

CAMPO 8	
Pendiente	5,40%
Número máximo de emisores	204
Longitud máxima lateral (m)	255
Caudal lateral (l/h)	469,2
Coeficiente de Christiansen (F)	0,366
Coeficiente de Christiansen (Fr)	0,366
Pérdida de carga lateral (m)	11,1
Variación de presión (m)	24,87
Máximo desnivel (m)	13,77
Localización P _{máx}	Al inicio
Localización P _{mín}	Al final
DIMENSIONADO LATERAL	
Longitud (m)	320
Pérdida de carga (m)	20,69
Variación de presión (m)	37,97
Variación de presión terciaria (m)	-12,97

CAMPO 9	
Pendiente	5,10%
Número máximo de emisores	208
Longitud máxima lateral (m)	260
Caudal lateral (l/h)	478,4
Coeficiente de Christiansen (F)	0,366
Coeficiente de Christiansen (Fr)	0,366
Pérdida de carga lateral (m)	11,7
Variación de presión (m)	24,96
Máximo desnivel (m)	13,26
Localización P _{máx}	Al inicio
Localización P _{mín}	Al final
DIMENSIONADO LATERAL	
Longitud (m)	330
Pérdida de carga (m)	22,51
Variación de presión (m)	39,34
Variación de presión terciaria (m)	-14,34

Tabla II-6. Resultados de tuberías laterales del sector 3. Dimbub.

ANEJO III. SELECCIÓN GRUPO DE BOMBEO

III.1. Análisis de las alternativas

A continuación, se puede observar según la altura equivalente y el caudal a bombear, qué tipo de bombas son recomendables en el proyecto. En nuestro caso, al tratarse de un caudal máximo de $18,79 \text{ m}^3/\text{h}$ para una altura equivalente de 40 m, nuestra primera bomba será alimentada por inversor de bombeo solar. En la siguiente bomba, será solar especial, una bomba de superficie con una altura equivalente de 15 m y un caudal máximo entre sectores de $12,91 \text{ m}^3/\text{h}$.

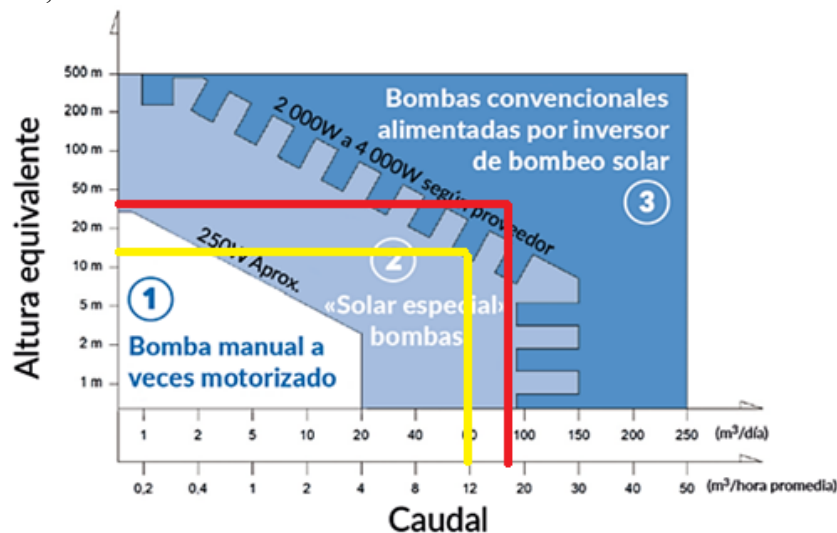


Ilustración III-1. Tipo de bombeo solar en función del caudal y altura total de bombeo.

III.2. Cálculos tuberías

El primer paso será dimensionar las tuberías de ambas bombas, siendo necesario determinar tanto material, diámetro y longitud total de las mismas. La elección del diámetro interior de la tubería es fundamental, ya que, si se sobredimensiona, se reducen las pérdidas de carga a costa de aumentar el precio del elemento; Si, por el contrario, el diámetro se minimizase aumentarían notablemente las pérdidas de carga y consigo la altura manométrica, encareciendo el precio de la moto-bomba.

Para ello, haciendo uso de la aplicación gratuita *Google Earth Pro*, se selecciona el perfil del terreno desde el pozo a ambas partes de la finca, obteniéndose los siguientes datos:

Desnivel (m)	Cota máxima de riego (m) m.s.n.m	Cota de pozo (m) m.s.n.m	Desnivel máximo (%)	Máxima distancia pozo-riego (m)
17	860	877	7,9	650

Tabla III.1. Información del terrero para cálculo de tuberías.

En la imagen en la que se contempla el tramo de tubería que trasegaría agua desde el pozo a los sectores 1 y 2. Es fácilmente apreciable que existe una mayor distancia a recorrer por la tubería de bombeo (650 m). Además, debe vencer un máximo desnivel que se encuentra en el campo número 2, el cual alcanza una pendiente máxima de 7,9%.

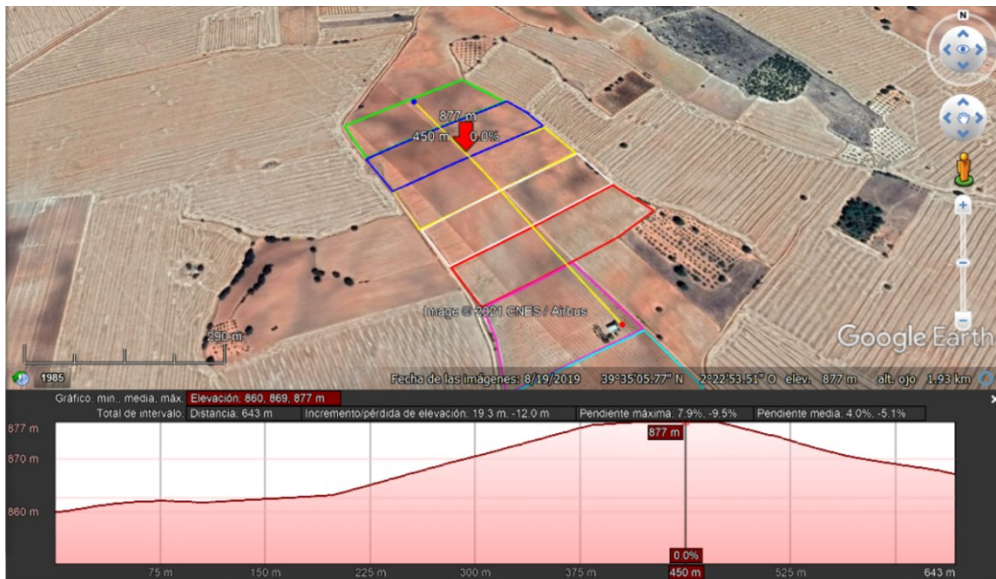


Ilustración III-2. Perfil topográfico del desnivel y alturas desde pozo hasta punto más lejano de riego hacia el Norte de la finca. Google Earth.

En la siguiente imagen, se observa como desde el pozo hacia el otro lado de la finca, sólo existe un tramo de tubería de 380 m, y que el máximo desnivel se encontraría en el campo número 9, con una pendiente máxima de 3,6%.



Ilustración III-3. Perfil topográfico del desnivel y alturas desde pozo hasta punto más lejano de riego hacia el Sur de la finca. Google Earth.

III.3. Caudal de recuperación del pozo

El valor del caudal de recuperación es un dato experimental obtenido mediante la colocación de anillas en las paredes del pozo en el nivel estático separadas 1 m, lo que equivale a un volumen de 1.130 litros. Durante la prueba se observó que el tiempo de recuperación para cada anilla es de 5 minutos tras parar el bombeo y pasar del nivel dinámico al estático (10 metros). Se trata de un pozo poco profundo de unas características más que favorables.

III.4. Selección de bomba de alta potencia

A través del recurso gratuito en línea ofrecido por *GRUNDFOS*, mediante la introducción en la interfaz de dimensionado, directamente selecciona los tipos de bombas idóneas para cada fin.

En este caso, el caudal disponible es de 18,79 m³/h, multiplicados por una estimación de horas de funcionamiento (entre las 10:00h hasta las 16:00h), son 112,7 m³/día.

Dimensionar por	Selecciona la aplicación	Selección aplicación.	Selección el tipo de instalación
Aplicación	Suministro de agua y riego	Soluciones para bombeo sol	Sistema solar

Selecciona tus parámetros

Ubicac.

Power supply: Solar only

Instalación: Pozo de sondeo Bomba de superficie

Volumen de agua*: m³/día

Caudal (Q): m³/h

Límitación caudal: m³/h

Comienzo del periodo: h

Final del periodo: h

Altura geométrica desde el suelo*: m

Nivel dinámico del agua*: m

Pérdidas por fricción en el sistema de tuberías: m

Mes del dimensionamiento:

Módulos solares:

Segunda opción de módulo solar:

Ilustración III-4. Interfaz para dimensionado de bombas solares sumergibles. GRUNDFOS.

A continuación, en cada uno de los parámetros que figura una calculadora, añadiremos los datos para que el propio sistema calcule las pérdidas. Las tuberías para aspiración de la bomba serán de PHE.

Las SP de Grundfos son bombas de perforación sumergibles diseñadas para bombear agua subterránea. Este tipo de bombas están fabricadas íntegramente de acero inoxidable y están disponibles en tres grados de material. Las bombas son adecuadas para perforaciones de tamaños que comprenden diámetros desde 4", pasando por 6" y 8", hasta 10". Los tamaños de motor para las bombas están disponibles en 0,37-250 kW.

El resultado que ofrece el sistema es una única bomba sumergible. En este caso para módulos de 330 W, se estima un total de 64 módulos en total, cuyos datos son los siguientes:

Bomba	Caudal (m ³ /h)	Potencia solar (kW)	Configuración	Diámetro (mm)	Longitud tubería de descarga (m)	Altura total (m)	Pérdidas por rozamiento (m)	Producción total de agua (m ³ /Año)	Promedio de producción agua (m ³ /día)	Promedio de prod de agua (l/Wp/día)
SPE 17-20	20,1	21,12	16 serie x 4 paralelo	DN 90 (79,2)	650	87,37	15,37	67000	183,6	8,7

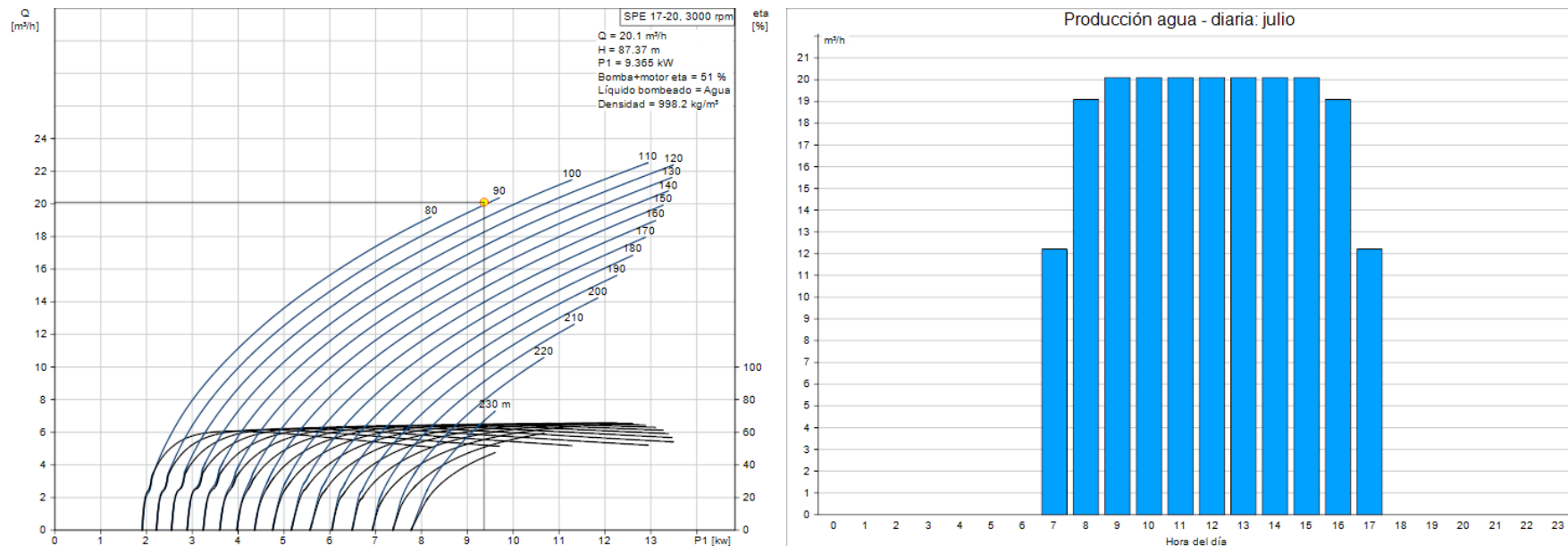



Ilustración III-5. Curva P-Q para bomba SPE 17-20 junto con producción de agua en el mes de julio. GRUNDFOS.

III.5. Selección bomba de baja potencia

El caudal disponible es de 6,57 m³/h, multiplicados por una estimación de horas de funcionamiento de 5,5 h resultan 36,14 m³/día. Finalmente, entre las opciones que ofrece la página de dimensionado GRUNDFOS, se elige la bomba CRIF 5-6 con potencia de 1,73 kW.

Selecciona tus parámetros

Ubicac.



Power supply: Solar only

Instalación: Pozo de sondeo Bomba de superficie

Size by: Volumen de agua Número de módulos solares

Volumen de agua*: m³/día

Altura geométrica*: m

Pérdidas por fricción en el sistema de tuberías*: m

Mes del dimensionamiento: Julio

Módulos solares: NN 330W

Segunda opción de módulo solar: NN 350W

Ilustración III-6. Interfaz para dimensionado de bombas de superficie. GRUNDFOS.

Pérdidas por fricción en el sistema de tuberías

Material: PEH

Tamaño (diámetro interno): DN 90 (79.2 mm)

Longitud*: m

Adicional para pérdidas individuales*: m

% m ft

Otras pérdidas de carga: m

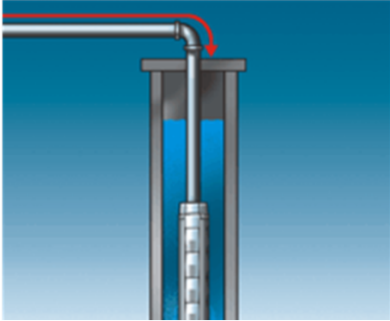


Ilustración III-7. Interfaz para cálculo de pérdidas por fricción en el sistema de tuberías. GRUNDFOS.

Se decide seleccionar la primera opción entre las ofrecidas debido a que es capaz de extraer mayor caudal en la primera y última franja horaria del día, lo que supone cubrir las necesidades de riego.

Bomba	Caudal (m ³ /h)	Potencia solar (kW)	Configuración	Diámetro (mm)	Altura total (m)	Producción total de agua (m ³ /Año)	Promedio producción agua (m ³ /día)	Promedio de prod de agua (l/Wp/día)
CRIF 5-6	7,284	1,4	4 serie x 1 paralelo	79,2	25,08	20200	55,4	39,6
CRIF 3-5	4,102	1,4	1 serie x 4 paralelo	79,2	25,04	12400	34	24,3

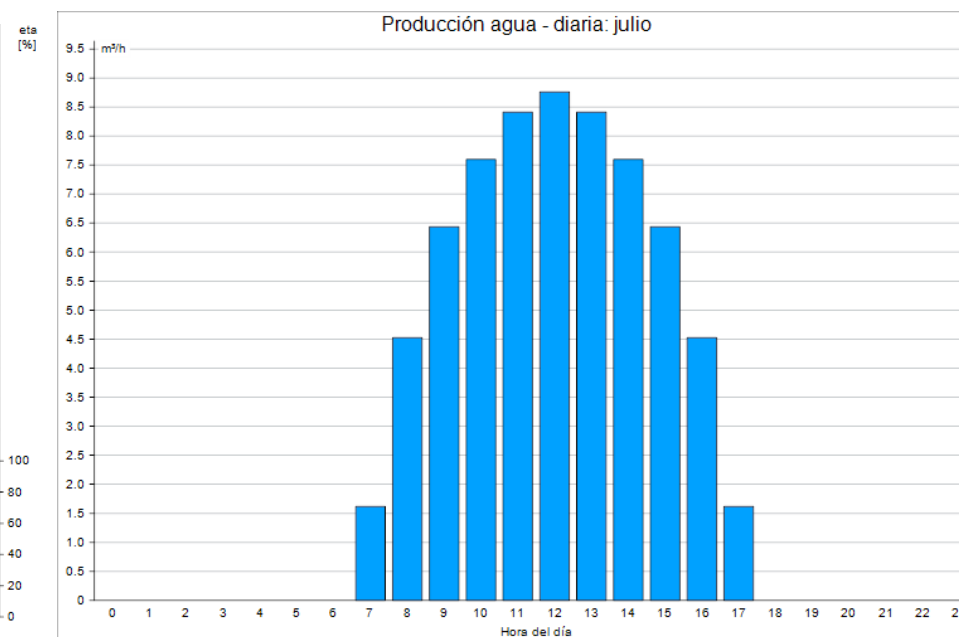
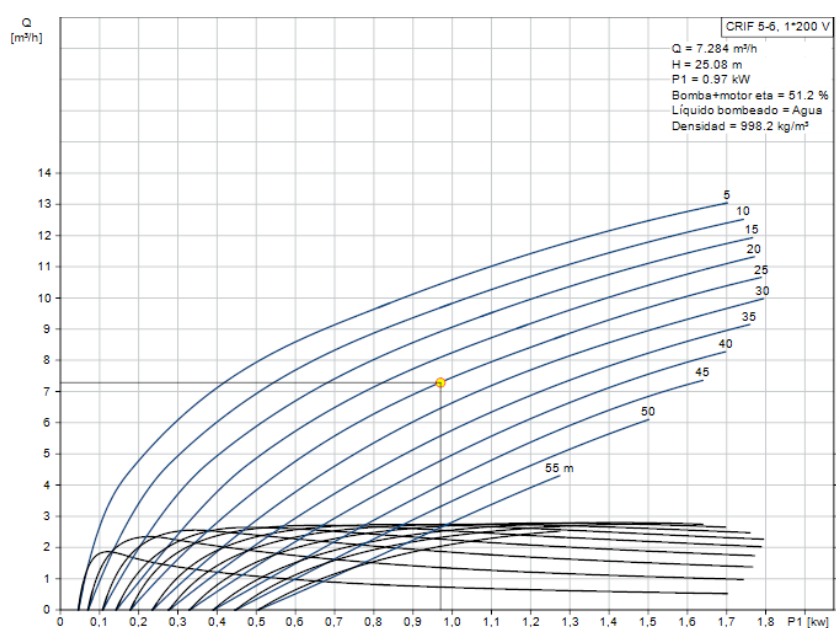


Ilustración III-8. Curva P-Q para bomba CRIF 5-6 junto con producción de agua en el mes de julio. GRUNDFOS.

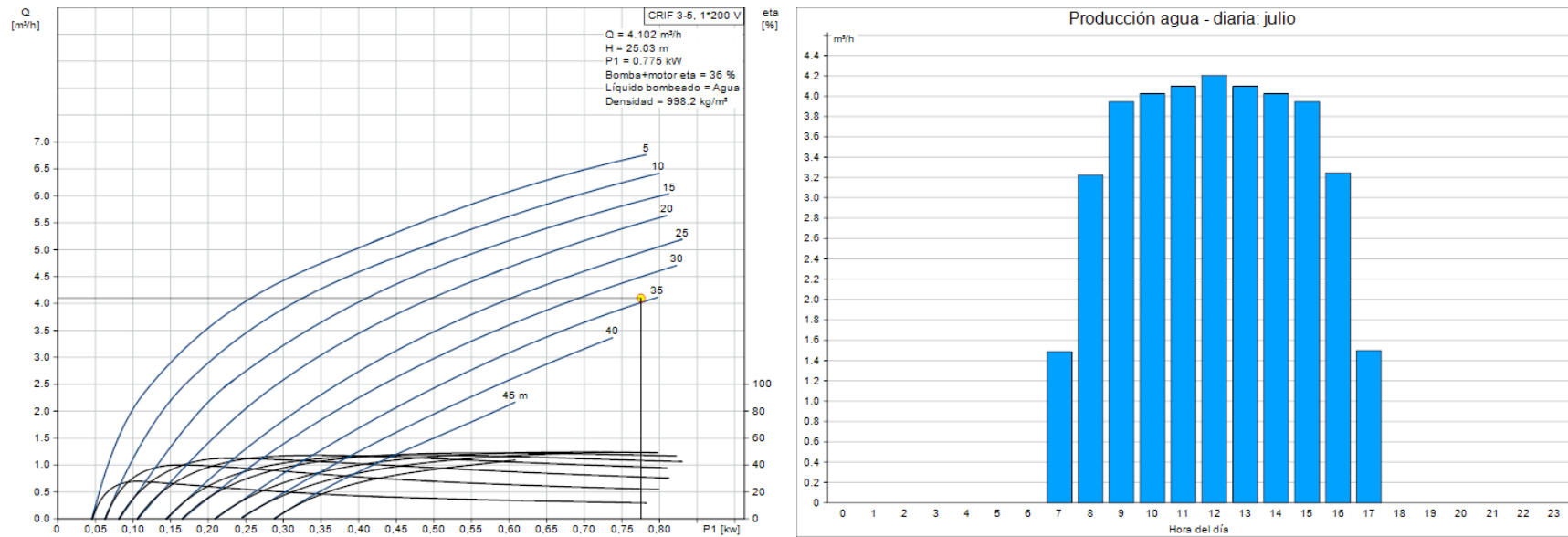


Ilustración III-9. Curva P-Q para bomba CRIF 3-5 junto con producción de agua en el mes de julio. GRUNDFOS.

ANEJO IV. DISEÑO INSTALACIÓN SOLAR

IV.1. Horas de sol pico

Para facilitar el proceso de cálculo en las instalaciones fotovoltaicas, se emplea un concepto relacionado con la radiación solar, que simplifica el cálculo de las prestaciones energéticas de este tipo de instalaciones. Este concepto se denomina “Horas Sol Pico” (HSP).

Las “horas de sol pico” que pueden definirse como el número de horas al día con una hipotética irradiancia de 1kWh/m^2 que en conjunto suman la misma irradiación total que la real de ese día, es decir, es un modo de contabilizar la energía recibida del sol agrupándola en paquetes de 1kWh/m^2 .

Para una atmósfera limpia aplicamos un coeficiente de corrección de $k=1,05$. Se adjunta de fuentes abiertas, un cálculo estimado para una inclinación dada, y en la provincia de Albacete (las condiciones climatológicas del municipio se parecen más a Albacete capital que a Cuenca), observándose que para el ángulo óptimo existe una media anual de 5,23 horas, mientras que sobre histórico de datos del año 2016 de PVGIS, resultarían 5,84 horas.

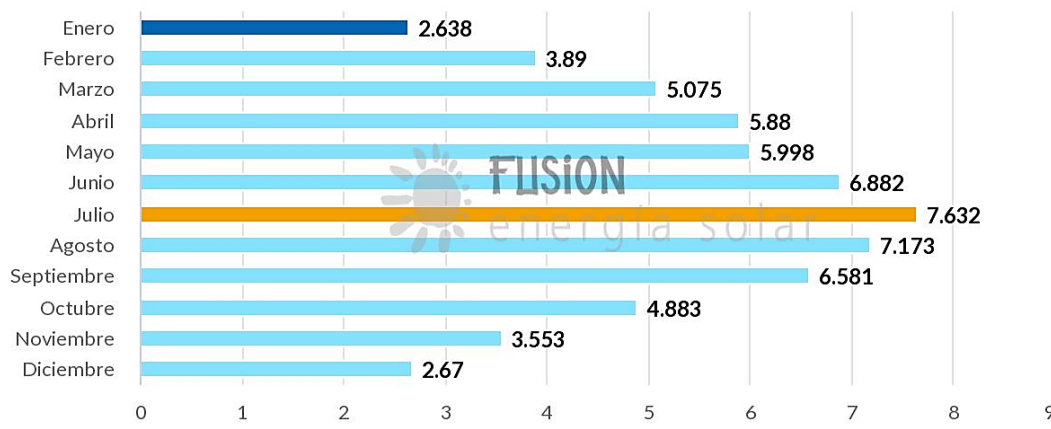


Ilustración IV-1. Cálculo de horas de sol pico en Albacete. [21]

Mes	H(h)_m		H(i_opt)_m		Producción diaria		
	kWh/m ² /mes	Yt (h)	kWh/m ² /mes	Yt (h)	350 W	370 W	400 W
Enero	58,85	1,99	99,44	3,37	1178,85	1246,21	1347,25
Febrero	83,72	3,14	119,96	4,50	1574,48	1664,45	1799,40
Marzo	145,04	4,91	181,21	6,14	2148,22	2270,97	2455,10
Abril	160,43	5,62	171,2	5,99	2097,20	2217,04	2396,80

Mayo	192,74	6,53	185,72	6,29	2201,68	2327,49	2516,21
Junio	241,24	8,44	223,68	7,83	2740,08	2896,66	3131,52
Julio	242,03	8,20	229,18	7,76	2716,89	2872,14	3105,02
Agosto	226,28	7,66	236,64	8,02	2805,33	2965,63	3206,09
Septiembre	168,17	5,89	201,71	7,06	2470,95	2612,14	2823,94
Octubre	108,6	3,68	148,27	5,02	1757,72	1858,16	2008,82
Noviembre	71,24	2,49	111,96	3,92	1371,51	1449,88	1567,44
Diciembre	67,64	2,29	124,07	4,20	1470,83	1554,88	1680,95
MEDIA	147,17	5,07	169,42	5,84	2044,48	2161,30	2336,54
TOTAL	1765,98	60,84	2033,04	70,10	24533,72	25935,65	28038,54

Tabla IV-1. Cálculo de horas de sol pico y producción eléctrica diaria para distinta potencia.

IV.2. Dimensionado de la instalación

Los generadores fotovoltaicos se conforman por un conjunto de ramas en paralelo que a su vez están compuestas por módulos conectados en serie. La tensión deseada se obtiene asociando en serie el número de módulos adecuado. Una vez conocido el número necesario de módulos por rama, se determina el número de ramas que se van a conectar en paralelo para alcanzar el nivel de corriente y la potencia que se pretende instalar.

La potencia pico del generador fotovoltaico se define en función de la bomba existente que se desea alimentar de mayor potencia (SPE-17-20 de 13kW).

Por tanto, para el cálculo de la potencia del generador debe considerarse:

- El rendimiento de los grupos motobomba: la potencia eléctrica suministrada debe ser superior que la potencia de la bomba para compensar el rendimiento del motor eléctrico.
- Pérdidas en el sistema: se producen pérdidas tanto en el generador fotovoltaico (en relación a su funcionamiento en condiciones CEM) como en el convertidor de frecuencia (en función de su rendimiento). Debido a estas pérdidas la potencia pico del generador se debe incrementar un 10-15 %.
- Los excedentes de producción del grupo generador deben ser ínfimos ya que en el sistema actual no hay vertido a red ni sistema de acumulación, por tanto, cualquier sobredimensionado de la instalación supone costes elevados en la inversión que jamás serán retribuidos.

IV.2.1. Cálculo de potencia de pico máxima

Para ello, se parte de los siguientes datos y utilizando la expresión de potencia máxima:

Característica	Valor
Potencia bomba (kW)	13
η motor (%)	0,9
η bomba (%)	0,75
% pérdidas	0,15
$P_{\text{máx gen FV}}$	13,96

Tabla IV-2. Cálculo de la potencia de pico máxima del generador.

$$P_{\text{máx gen FV}} = \frac{P_{\text{bomba}}}{\mu_{\text{bomba}}} + (1 + \%_{\text{pérdidas}})$$

IV.3. Selección de paneles solares

Los tipos de paneles solares vienen dados por la tecnología de fabricación de las células y son fundamentalmente silicio cristalino, monocristalino o policristalino, y silicio amorfo. En la siguiente tabla, se muestran sus características y las diferencias entre ellos.


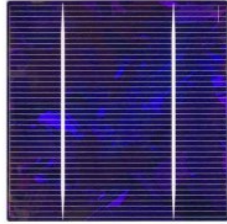
	Monocristalino	Policristalino
Imagen		
Aspecto	Las células son generalmente de color azul oscuro y uniformes.	Las células son generalmente de color azul claro y los cristales son visibles.
Rendimiento	13-17%	11-15%
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Mejor rendimiento que los paneles policristalinos con radiación difusa (condiciones durante días nublados, ambientes con altos índices de contaminación, polvo...) • Mayor vida útil que policristalinos 	<ul style="list-style-type: none"> • Más barato que los monocristalinos • Huella de carbono baja • Baja sensibilidad a las fluctuaciones de temperatura
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor precio que policristalinos • Bajo rendimiento con alta temperatura 	<ul style="list-style-type: none"> • Menor rendimiento que monocristalinos • Menor vida útil que los paneles monocristalinos
Precio/módulo 24V 405W	197,42€	199,88€

Tabla IV-3. Comparativa de paneles monocristalino y policristalino.

Una vez observadas las características y valoradas sus ventajas, se seleccionan paneles monocristalinos con potencia de **400Wp de la marca ERA Solar** que implementa tecnología PERC.

PERC es un acrónimo que corresponde a *Passivated Emitter Rear Cell*, es decir, el panel dispone de una capa reflectante en su parte trasera colocada entre el silicio y el aluminio. Su función consiste en evitar que la radiación trasera incida en la capa de aluminio final y sea reflejada a la de silicio para que pueda absorber su energía. Gracias a esta reflexión, la propia célula es capaz de absorber más energía y menos temperatura, consiguiendo una temperatura de trabajo inferior frente a otras tecnologías de células fotovoltaicas elevando su rendimiento.

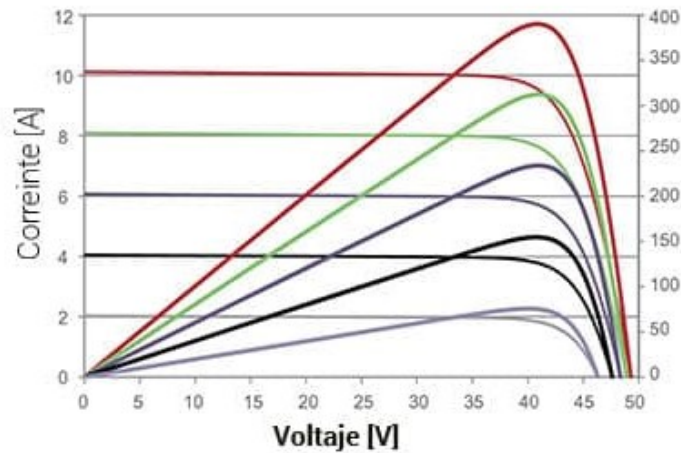


Ilustración IV-2. Características de módulos a T=25°C y niveles variables de radiación. [17]

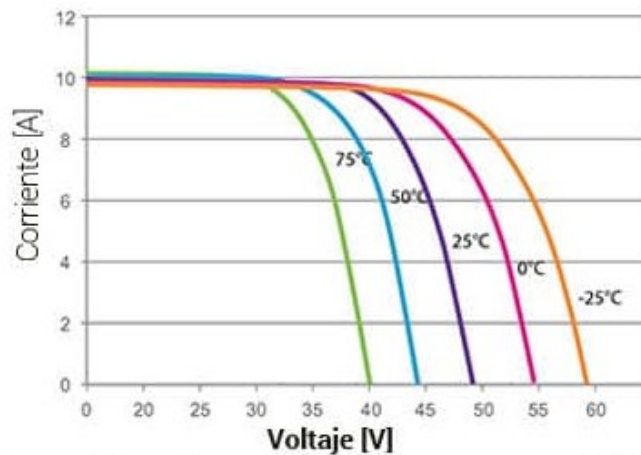


Ilustración IV-3. Características de módulos a 1000W/m2 a distintas temperaturas. [17]

IV.3.1. Número máximo de módulos en serie por ramal

El número de módulos conectados en serie por rama debe ser tal que la tensión máxima de la rama en cualquier condición de trabajo sea menor que la tensión máxima del rango de funcionamiento del MPPT del inversor.

Datos	Valor
$T_{\text{mín panel}}$	3,125 °C
U_{ca}	53,94 V
$n_{\text{máx}}$	11,56

Tabla IV-4. Cálculo de número máximo de módulos en serie por ramal.

$$n_{\text{máx}} = \frac{U_{\text{máx Inversor}}}{U_{ca}(T_{\text{mín panel}})} = 12$$

IV.3.2. Número mínimo de módulos en serie por ramal

Conforme aumenta la temperatura de la célula, disminuye la tensión en los módulos fotovoltaicos. Al disminuir la tensión de trabajo del generador por debajo del límite mínimo del rango de seguimiento del punto de máxima potencia del inversor, este no

puede localizar el PMP y, asumiendo que no hay suficiente potencia solar, desconectaría el generador.

Para evitarlo, se conectan en serie un número mínimo de módulos por rama, de forma que la tensión de la rama, con los módulos FV trabajando en el PMP a una temperatura de célula alta, sea mayor que la tensión mínima del rango de tensiones del inversor.

Datos	Valor
$T_{m\acute{a}x \text{ panel}}$	31,25 °C
U_{ca}	40,71 V
$n_{m\acute{i}n}$	9,83

Tabla IV-5. Cálculo de número mínimo de módulos en serie por ramal.

$$n_{m\acute{i}n} = \frac{U_{pmp} \text{ Inversor}}{U_{pmp}(T_{m\acute{a}x \text{ panel}})} = 10$$

IV.3.3. Número de ramales conectadas en paralelo

El límite de ramas en paralelo que se pueden conectar al inversor viene determinado por la corriente máxima admisible de entrada al inversor.

Datos	Valor
lcc ramal	10,38 A
$n_{ramales}$	4,72

Tabla IV-6. Cálculo de número de ramales en paralelo.

$$n_{ramales \text{ paralelo}} = \frac{P_{pmp} FV}{P_{pmp} ramal} = 4$$

IV.3.4. Configuración final

Teniendo en cuenta la demanda que requiere el grupo de bombeo de alta potencia, se decide adoptar el siguiente esquema:

Características	Valor
Número de módulos en serie	12
Número de ristas en paralelo	3
Número total de módulos	36
Potencia pico del generador	14,4 kW

Tabla IV-7. Configuración y potencia final del generador fotovoltaico.

IV.3.5. Disposición de módulos

Al tratarse de una nave industrial con cubierta a un agua, el CTE determina

Tipo de tejado	Inclinación del tejado	Latitud	Longitud panel (m)	Ángulo panel sobre horizontal	D1 (m)	D2 (m)	Distancia mínima (m)
Inclinación A	15	39,34	1,002	35	0,47	0,94	1,41

Tabla IV-8. Cálculo de distancia mínima entre paneles en cubiertas inclinadas.

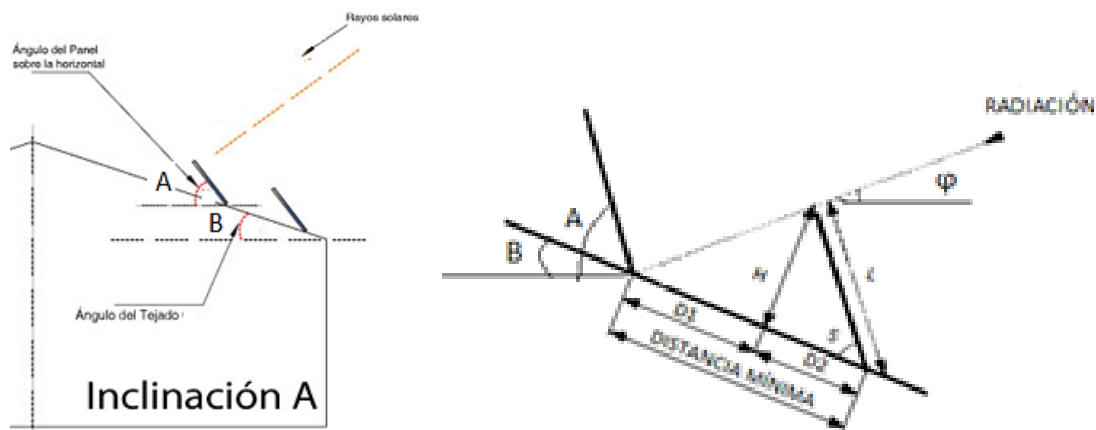


Ilustración IV-4. Separación entre módulos fotovoltaicos para evitar sombras. Monsolar.

La colocación de los módulos será horizontal, comprobando que dicha configuración es posible:

Dimensiones módulo	Valor
Largo (m)	1,979
Alto (m)	1,002
Ancho (m)	0,04

Tabla IV-9. Medidas panel fotovoltaico ERA 400W PERC monocristalino.

Teniendo en cuenta la distancia mínima de separación en cubiertas inclinadas (1,41 metros) y la disposición longitudinal del panel:

$$\text{Longitud límite} = L_{\text{panel}} * N^{\circ} \text{ paneles en serie} < \text{Longitud cubierta}$$

$$\text{Longitud límite} = 1,979 * 12 = 23,75 \text{ m}$$

Por tanto, la configuración horizontal sí es posible, puesto que la cubierta tiene una longitud de 25 metros. A continuación, se procede a calcular el área total (no debe confundirse con el área de captación solar) que requerirán los paneles debido a la distancia mínima exigida entre paneles instalados en cubiertas con inclinación:

$$\text{Distancia entre paneles} = \text{Distancia mínima} * N^{\circ} \text{ filas en paralelo}$$

$$\text{Distancia entre paneles} = 1,41 * 3 = 4,23 \text{ m}$$

$$\text{Área total} = \text{Longitud límite} * \text{Distancia entre paneles}$$

$$\text{Área total} = 4,23 * 23,75 = 100,454 \text{ m}^2$$

Finalmente, la disposición total sería la que figura a continuación:

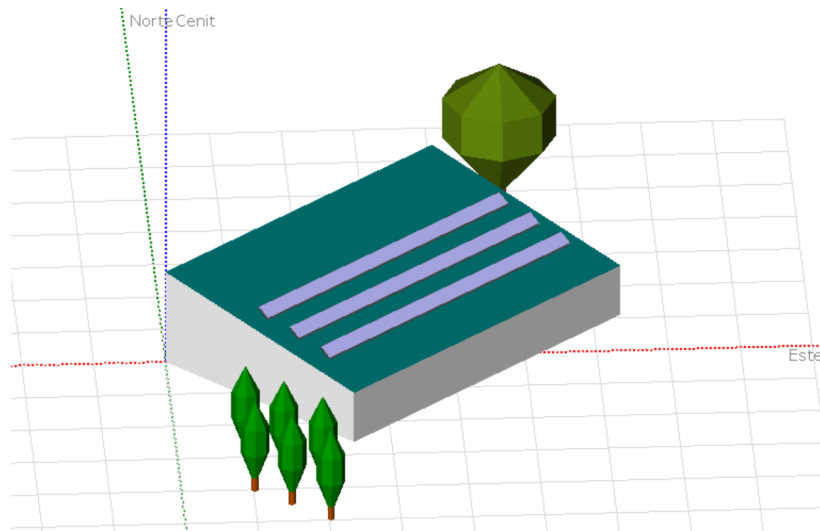


Ilustración IV-5. Vista de la disposición de paneles solares en cubierta. PVSYST.

IV.4. Selección del inversor

Se selecciona un equipo inversor SD 700SP, que integra un variador de frecuencia diseñado para alimentar directamente grupos de bombeo hidráulicos, denominando a este conjunto equipos para bombeo solar. El equipo conjunto inversor-variador permite que la instalación fotovoltaica y de bombeo solar puedan operar en condiciones de baja potencia de generación fotovoltaica, haciendo un uso óptimo de la energía. El inversor cuenta con un sistema híbrido por lo que se puede conectar simultáneamente a la red/generador (CA) y al campo fotovoltaico (CC).

Con el algoritmo de búsqueda dinámica de MPPT desarrollado por *Power Electronics*, *SD700SP* busca automáticamente en punto de potencia máxima, por tanto, el campo FV siempre entrega la máxima energía disponible, independientemente de si es verano o invierno, ni la intensidad de radiación. La siguiente figura muestra el funcionamiento de una bomba en continuo. Durante el día, la energía generada por los paneles FV (área verde) se inyecta a la motobomba. Con la aparición de nubes, se reduce la absorción de irradiancia, por tanto, el variador absorberá más corriente del grupo electrógeno de forma instantánea con el objetivo de mantener el balance de potencia constante.

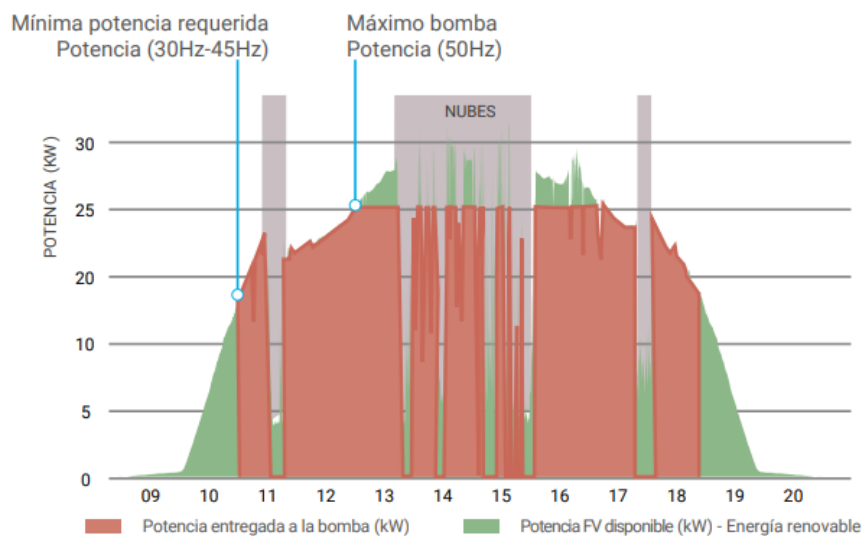


Ilustración IV-6. Funcionamiento de una bomba e inversor SD 700SP en sistema aislado [18].

Al integrar inversor y variador en un único equipo existirá un mejor aprovechamiento energético ya que puede funcionar en condiciones de muy baja potencia de generación fotovoltaica, aprovechando al máximo las horas de producción.

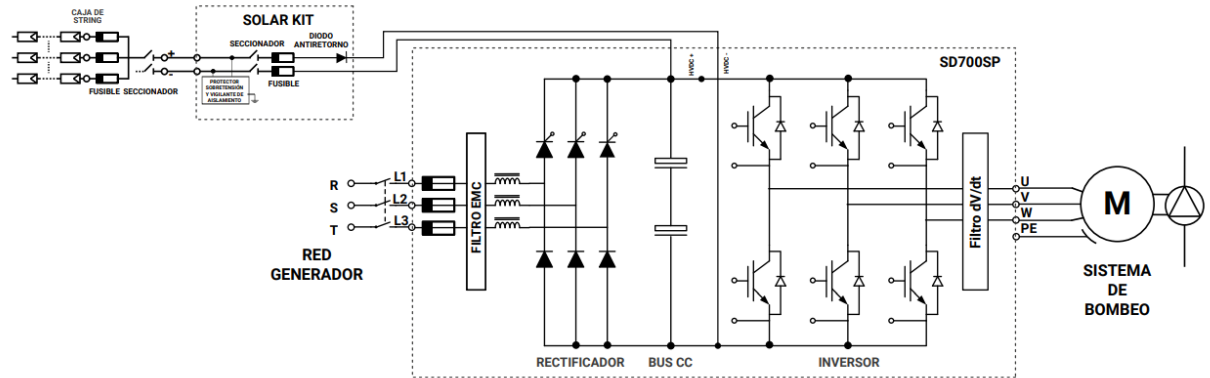


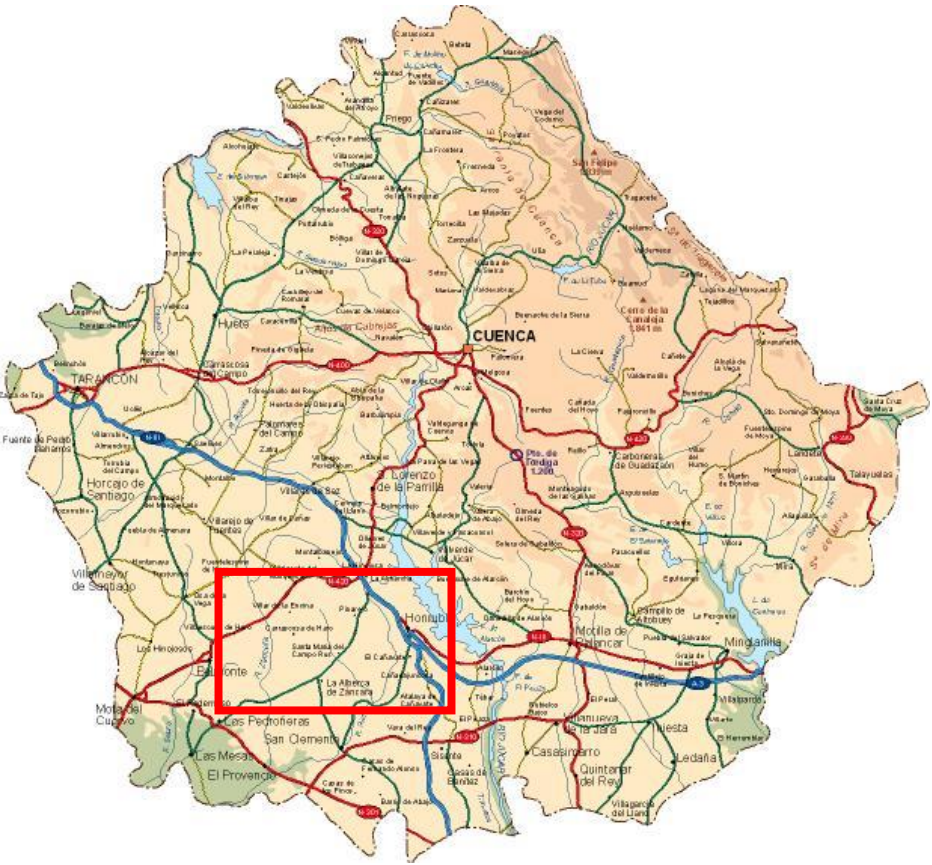
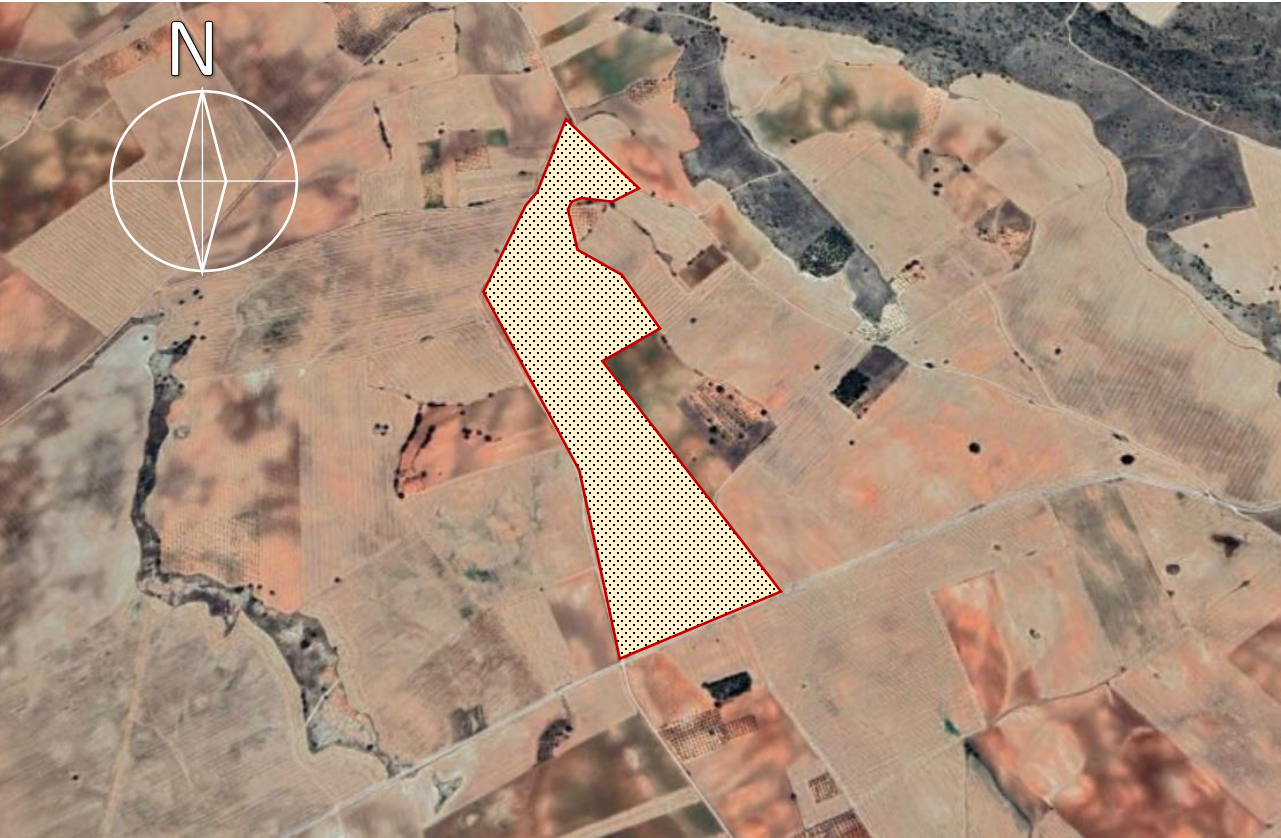
Ilustración IV-7. Diagrama operacional del inversor SD 700 SP [18].

PLANOS

Índice de planos

- 1. Localización**
- 2. Ubicación de la instalación fotovoltaica**
- 3. Dimensiones bomba sumergible SPE 17-20 Grundfos.**
- 4. Dimensiones bomba centrífuga vertical CRIF 5-6 Grundfos.**
- 5. Dimensiones inversor SD 700 SP talla 2.**
- 6. Disposición del generador fotovoltaico.**

ENTRE LOS MUNICIPIOS DE SANTA MARÍA DEL CAMPO RUS Y HONRUBIA



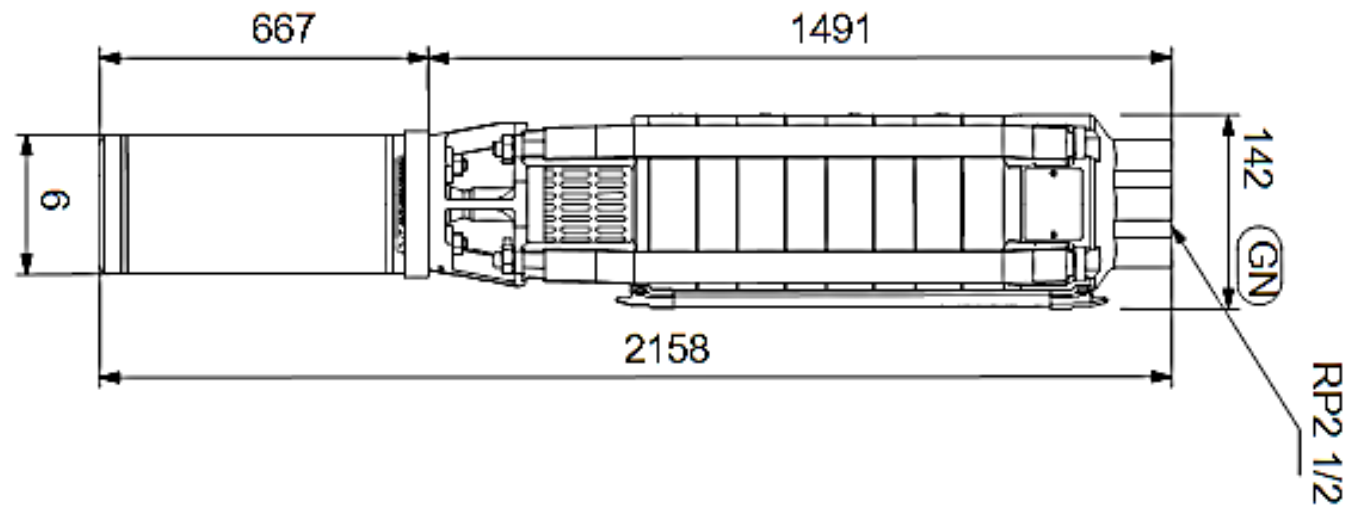
PROVINCIA DE CUENCA

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA		
Fecha: 10/07/2021	DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA APLICACIONES DE REGADÍO	
Firma	ALUMNO: MARÍA JOSÉ GIL FERNÁNDEZ	
	TÍTULO PLANO: LOCALIZACIÓN	PLANO Nº 1



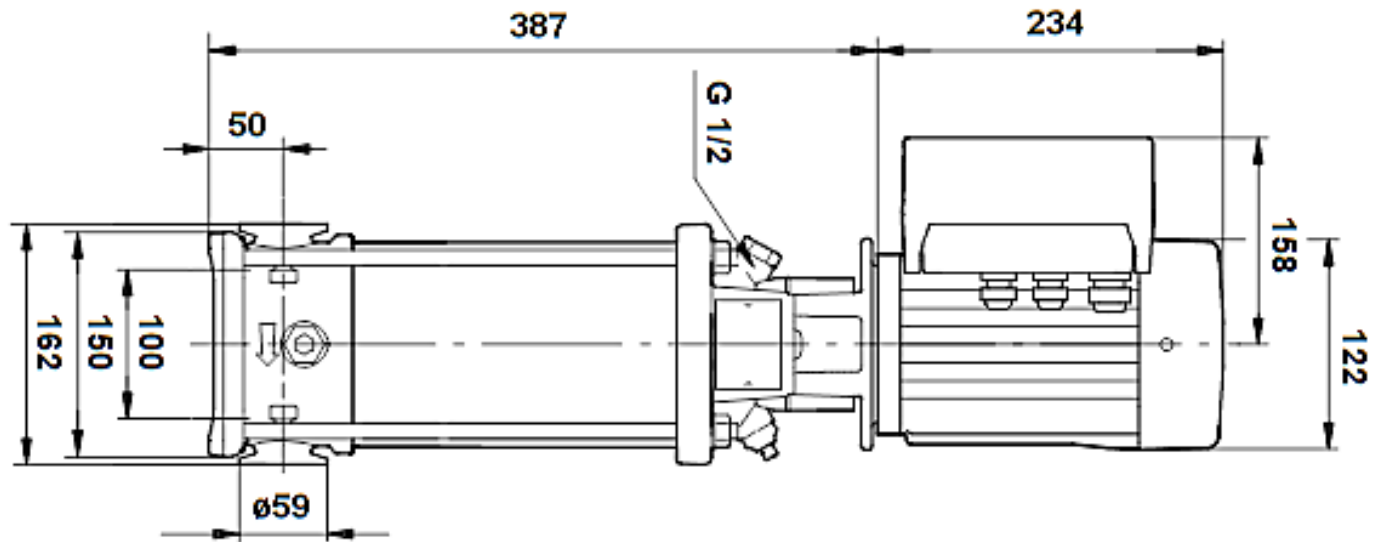
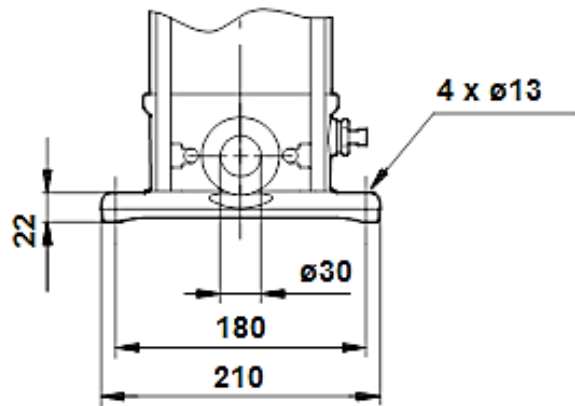
Escala 1/250

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA			
Fecha: 15/07/2021	DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA APLICACIONES DE REGADÍO		
Firma	ALUMNO: MARÍA JOSÉ GIL FERNÁNDEZ		
	TÍTULO PLANO: UBICACIÓN DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	PLANO Nº 2	



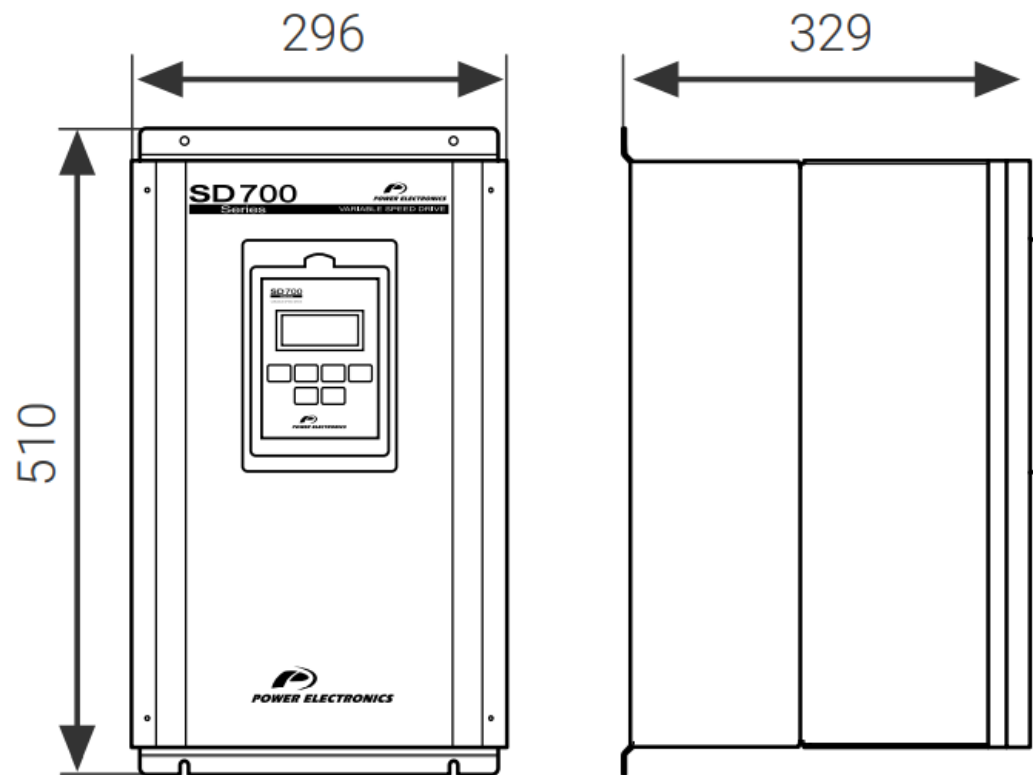
Unidades en milímetros

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA			
Fecha: 30/08/2021	DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA APLICACIONES DE REGADÍO		
Firma	ALUMNO: MARÍA JOSÉ GIL FERNÁNDEZ		
	TÍTULO PLANO: DIMENSIONES BOMBA SUMERGIBLE SPE 17-20	PLANO Nº 3	



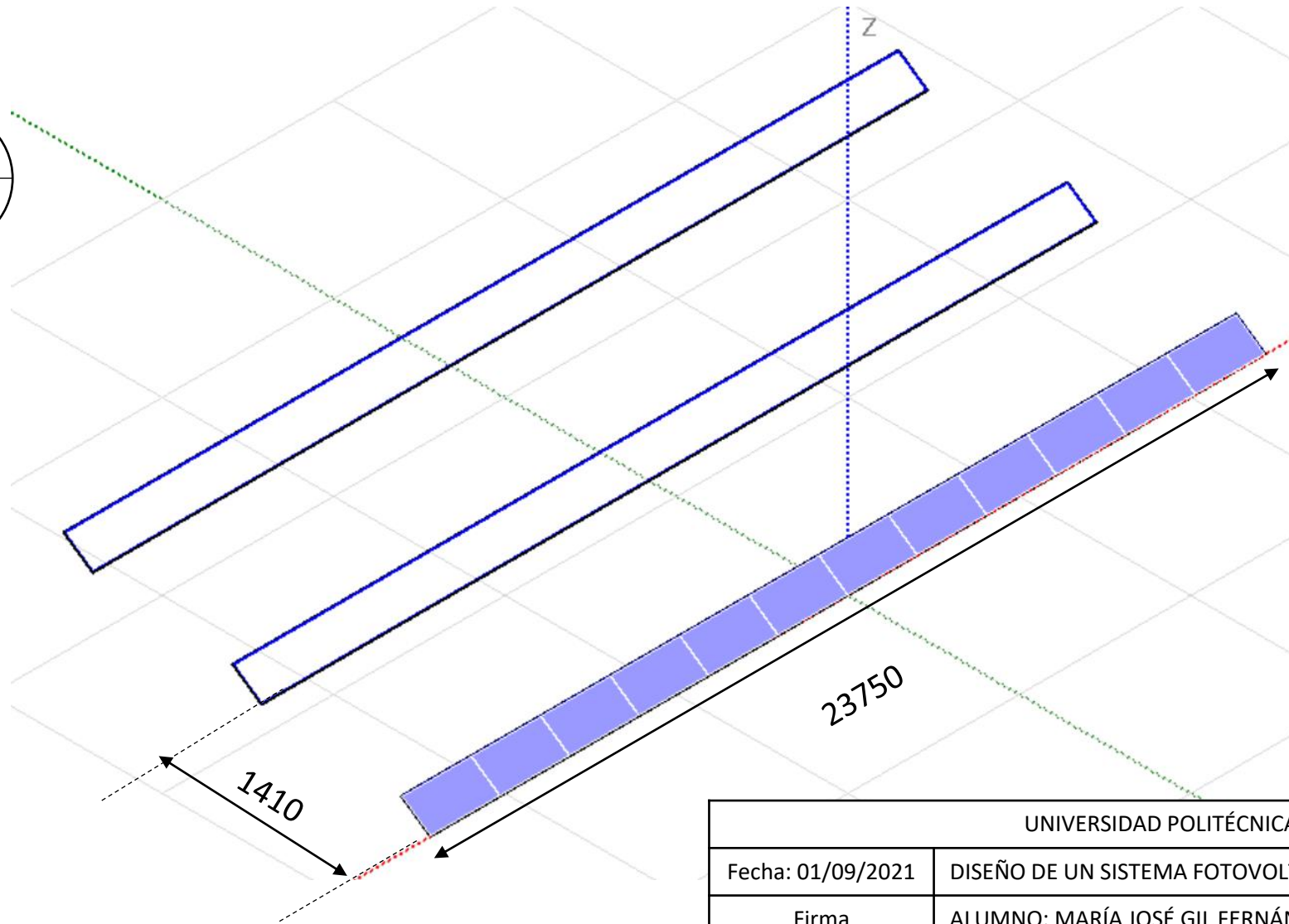
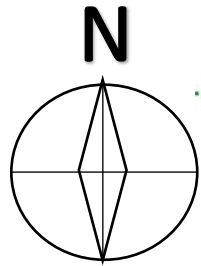
Unidades en milímetros

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA		
Fecha: 30/08/2021	DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA APLICACIONES DE REGADÍO	
Firma	ALUMNO: MARÍA JOSÉ GIL FERNÁNDEZ	
	TÍTULO PLANO: DIMENSIONES BOMBA VERTICAL CRIF 5-6	PLANO Nº 4

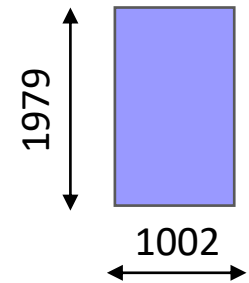


Unidades en milímetros

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA			
Fecha: 29/08/2021	DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA APLICACIONES DE REGADÍO		
Firma	ALUMNO: MARÍA JOSÉ GIL FERNÁNDEZ		
	TÍTULO PLANO: DIMENSIONES INVERSOR SD 700 SP TALLA 2	PLANO Nº 5	



Dimensiones de un módulo



Unidades en milímetros

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA		
Fecha: 01/09/2021	DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA APLICACIONES DE REGADÍO	
Firma	ALUMNO: MARÍA JOSÉ GIL FERNÁNDEZ	
	TÍTULO PLANO: DISPOSICIÓN GENERADOR FOTOVOLTAICO	PLANO Nº 6

REFERENCIAS

- [1] Á. Rubio-Aliaga, M. S. García-Cascales, J. M. Sánchez-Lozano, and A. Molina-García, “Multidimensional analysis of groundwater pumping for irrigation purposes: Economic, energy and environmental characterization for PV power plant integration,” *Renewable Energy*, vol. 138, pp. 174–186, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.renene.2019.01.077.
- [2] INE. Instituto nacional de estadística, “España en cifras 2019.” https://www.ine.es/prodyser/espa_cifras/2019/8/
- [3] P. Caton, “Design of rural photovoltaic water pumping systems and the potential of manual array tracking for a West-African village,” *Solar Energy*, vol. 103, pp. 288–302, May 2014, doi: 10.1016/j.solener.2014.02.024.
- [4] V. C. Sontake and V. R. Kalamkar, “Solar photovoltaic water pumping system - A comprehensive review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 59, pp. 1038–1067, Jun. 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.01.021.
- [5] J. Chazarra-Zapata, J. M. Molina-Martínez, F.-J. P. de la Cruz, D. Parras-Burgos, and A. Ruíz Canales, “How to Reduce the Carbon Footprint of an Irrigation Community in the South-East of Spain by Use of Solar Energy,” *Energies*, vol. 13, no. 11, p. 2848, Jun. 2020, doi: 10.3390/en13112848.
- [6] M. Espadafor *et al.*, “Almond tree response to a change in wetted soil volume under drip irrigation,” *Agricultural Water Management*, vol. 202, pp. 57–65, Apr. 2018, doi: 10.1016/j.agwat.2018.01.026.
- [7] A. Parvaresh Rizi, A. Ashrafzadeh, and A. Ramezani, “A financial comparative study of solar and regular irrigation pumps: Case studies in eastern and southern Iran,” *Renewable Energy*, vol. 138, pp. 1096–1103, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.renene.2019.02.026.
- [8] “A new pump selection method for large-power PV irrigation systems at a variable frequency - ScienceDirect.” <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890418309397> (accessed Sep. 02, 2021).
- [9] N. Taousanidis and K. Gavros, “An analysis of photovoltaic irrigation system for olive orchards in Greece,” *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 161, p. 012095, Nov. 2016, doi: 10.1088/1757-899X/161/1/012095.
- [10] R. Senol, “An analysis of solar energy and irrigation systems in Turkey,” *Energy Policy*, vol. 47, pp. 478–486, Aug. 2012, doi: 10.1016/j.enpol.2012.05.049.
- [11] A. Mérida García, J. Gallagher, A. McNabola, E. Camacho Poyato, P. Montesinos Barrios, and J. A. Rodríguez Díaz, “Comparing the environmental and economic impacts of on- or off-grid solar photovoltaics with traditional energy sources for rural irrigation systems,” *Renewable Energy*, vol. 140, pp. 895–904, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.renene.2019.03.122.
- [12] “Visor SigPac V 4.6.” <https://sigpac.mapa.gob.es/fega/visor/>
- [13] “Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) | EU Science Hub.” <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis> (accessed Sep. 02, 2021).
- [14] “SIAR - Servicio Integral de Asesoramiento al Regante de Castilla-La Mancha.” <http://crea.uclm.es/siar/>
- [15] R. López-Luque, J. Reca, and J. Martínez, “Optimal design of a standalone direct pumping photovoltaic system for deficit irrigation of olive orchards,” *Applied Energy*, vol. 149, pp. 13–23, Jul. 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.03.107.

- [16] J. Martínez and J. Reza, "Water Use Efficiency of Surface Drip Irrigation versus an Alternative Subsurface Drip Irrigation Method," *J. Irrig. Drain Eng.*, vol. 140, no. 10, p. 04014030, Oct. 2014, doi: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000745.
- [17] "Panel Solar 400W PERC Monocristalino ERA." <https://autosolar.es/panel-solar-24-voltios/panel-solar-400w-perc-monocristalino-era>
- [18] "Power Electronics," *Power Electronics*. <https://power-electronics.com/es/>
- [19] "Precios CO2 - Sendeco2." <https://www.sendeco2.com/es/precios-co2> (accessed Sep. 05, 2021).
- [20] "Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico - Energía." <https://energia.gob.es/es-es/Paginas/index.aspx> (accessed Sep. 05, 2021).
- [21] Fusion solar, "Cálculo de las HSP (Horas Pico Solar)." <https://fusionenergiasolar.es/contenido/14-calculo-hps>
- [22] "Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, Reglamento electrotécnico para baja tensión.," *BOE*, p. 284.

