



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

REDISEÑO EFICIENTE Y SOSTENIBLE DE UNA INSTALACIÓN HIDRÁULICA

Autor: Álvaro López Pérez

Director: Iñigo Sanz Fernández

Madrid, julio 2020

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
REDISEÑO EFICIENTE Y SOSTENIBLE DE UNA INSTALACIÓN HIDRÁULICA
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2019/20 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

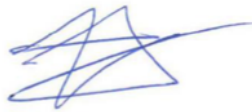


Fdo.: Álvaro López Pérez

Fecha: 19/07/2020

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Iñigo Sanz Fernández

Fecha: 20/07/2020



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

REDISEÑO EFICIENTE Y SOSTENIBLE DE UNA INSTALACIÓN HIDRÁULICA

Autor: Álvaro López Pérez

Director: Iñigo Sanz Fernández

Madrid, julio 2020

ESTE PROYECTO CONTIENE LOS SIGUIENTES DOCUMENTOS

DOCUMENTO N°1: MEMORIA

- CAPÍTULO 1: Introducción pág. 9 a 30
- CAPÍTULO 2: Descripción de las Tecnologías pág. 21 a 34
- CAPÍTULO 3: Estado de la Cuestión pág. 35 a 46
- CAPÍTULO 4: Definición de Trabajo pág. 47 a 52
- CAPÍTULO 5: Situación Actual pág. 53 a 60
- CAPÍTULO 6: Dimensionamiento de la Futura Instalación pág. 61 a 84
- CAPÍTULO 7: Estudio Económico pág. 85 a 88
- CAPÍTULO 8: Conclusiones pág. 91 a 96
- CAPÍTULO 9: Bibliografía pág. 99 a 98
- ANEXOS pág. 101 a 116

DOCUMENTO N°2: PLANOS

- Plano 01 pág. 127
- Plano 02 pág. 128
- Plano 03 pág. 129
- Plano 04 pág. 130
- Plano 05 pág. 131

DOCUMENTO N°3: PRESUPUESTO

- Presupuesto pág. 131 a 131
- Coste de los componentes pág. 132 a 132
- Coste de la instalación de los componentes pág. 132 a 132

Agradecimientos

Familia y amigos, siempre.

A L., en especial,

porque su apoyo no conoce límite, momento ni lugar.

REDISEÑO EFICIENTE Y SOSTENIBLE DE UNA INSTALACIÓN HIDRÁULICA.

Autor: López Pérez, Álvaro.

Director: Sanz Fernández, Iñigo.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

En este proyecto, se plantea la renovación de una instalación hidráulica correspondiente a una finca cuyo consumo de agua se debe a la actividad agropecuaria. El objetivo principal es el de dar una solución que reunirá las características de eficiente, sostenible y rentable.

Palabras clave: bomba hidráulica, fotovoltaico, bombeo solar.

1. Introducción

La finca Cerro Tablado centra su actividad en la cría y pupilaje de caballos, en el mantenimiento de una granja con más de veinte especies distintas de animales y en el cultivo de plantaciones cuyas dimensiones alcanzan las 18 hectáreas.

Actualmente, el sistema de obtención de agua que abastece toda esta instalación está basado en una bomba cuya eficiencia y sostenibilidad tienen mucho potencial de mejora, como se mostrará a continuación.

Una de las razones principales que alentó el proyecto fue la idea de poder sustituir la actual forma de alimentación de la bomba -diésel- por una alternativa renovable y, por tanto, en consonancia con el objetivo de transformar las fuentes de energía actuales hacia opciones más asequibles y menos contaminantes, acorde a las directrices procedentes de la ONU.

2. Definición del proyecto

El objetivo de este proyecto es el de diseñar una instalación que sea capaz de sustituir a la actual, por lo que tiene que adaptarse a las condiciones de trabajo existentes y que, además, aporte nuevas características que darán lugar a una nueva instalación más sostenible y eficiente.

La determinación de la solución óptima pasó por diferentes etapas analíticas: la primera pasó por analizar los parámetros en los que se fundamentaba el problema, junto con la medición de estos en la finca, la segunda fase consistió en un estudio sobre el mercado actual de bombas hidráulicas y, por último, una tercera fase de análisis para poder determinar la calidad de la radiación solar en el lugar específico donde se quiere implantar el proyecto. Al final, la solución que mejor se adaptaba al caso fue la de bombeo solar fotovoltaico, y las razones se exponen a continuación.

Las instalaciones de bombeo fotovoltaicas se encuentran en auge actualmente entre agricultores y ganaderos por las numerosas ventajas que este tipo de instalaciones ofrece. A pesar de ser un sistema aislado y emplear renovables como fuente única de energía, una instalación de bombeo solar fotovoltaica trabaja con gran eficiencia y es capaz de competir junto a la tecnología del diésel en el mercado de pequeñas y medianas instalaciones. Esta tecnología ofrece sistemas fiables, limpios y de larga vida. Además, las fluctuaciones propias de una tecnología basada en energías renovables tienen un impacto casi nulo ya que, en la práctica, hay más energía solar cuando más abastecimiento de agua se necesita y viceversa.

Adicionalmente, gracias a la instalación del equipo de bombeo solar, se conseguirá una alternativa sostenible, asequible y no contaminante.

3. Descripción del sistema

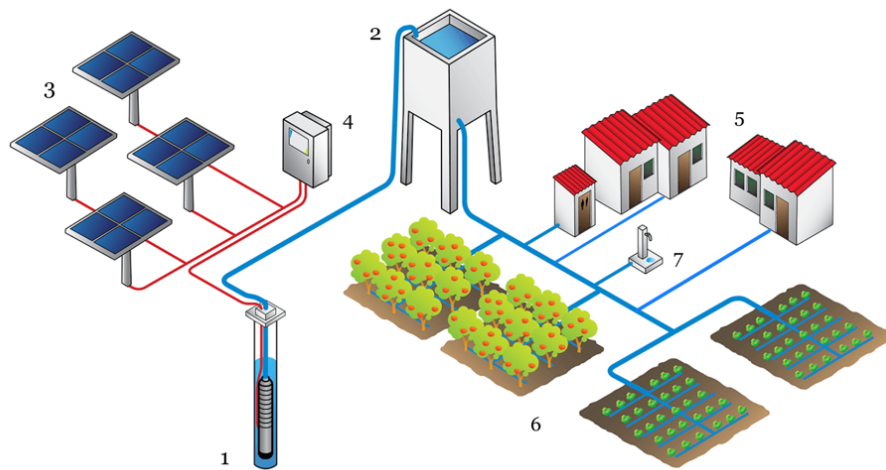


Ilustración 1: Instalación de bombeo solar fotovoltaico

La extracción de agua se realiza mediante una motor- bomba que utiliza como fuente un pozo situado a 120 m de profundidad y del que se obtiene el volumen suficiente de agua para llenar dos depósitos de 80 m³ en total con una frecuencia que varía según la época del año debido a las necesidades cambiantes de las plantaciones.

En la *Ilustración 1*, puede observarse el esquema básico de lo que sería la instalación en el que el número 1 representa el conjunto bomba-motor, que estará sumergida dentro del pozo y que extraerá el agua para llenar los depósitos, representados como uno solo e identificado con el número 2 y que corresponde a la descripción dada al principio del apartado. La energía necesaria para el funcionamiento del conjunto 1 es proporcionada por el campo de paneles fotovoltaicos, representados en 3, que serán capaces de captar la energía solar necesaria para cumplir con los requisitos de la instalación. Sin embargo, como puede observarse, la conexión 3-1 no es directa, sino que pasa necesariamente por el elemento 4, correspondiente al controlador del conjunto motor-bomba, que se encarga de transformar la corriente generada por los paneles de forma digital para hacer funcionar el motor de la bomba. La importancia de este elemento reside en su función de analizar constantemente la entrada de energía solar optimizando el sistema para que la bomba sea capaz de extraer la máxima cantidad de agua posible con la energía existente.

Una vez explicado cómo se abastece el depósito, a partir de ahí, la instalación se convierte en una red de distribución desde de la cual, todas las zonas de la finca pueden tener acceso al agua extraída. En la ilustración, los establos donde se encuentran los caballos u otras zonas valladas donde viven diferentes animales (5), campos de cultivo y vegetación en general (6) y otros servicios y salidas de agua que puedan encontrarse además de estas dos (7).

4. Resultados

Después de trabajar con la herramienta de estudio de irradiación solar puesta a disposición por la Comisión Europea llamada *Photovoltaic Geographical Information System*, se obtuvieron los datos necesarios para realizar el estudio solar de la zona. Los resultados de este estudio, en conjunto con los datos tomados de la necesidad hídrica de la finca, definió unos resultados de potencia, caudal y altura necesaria que permitió discernir entre qué módulos solares, que controlador y qué bomba eran los más apropiados para la instalación.

Los primeros resultados obtenidos daban la información de la distribución de las necesidades de caudal diario a lo largo del año. Estos resultados junto con los resultados del estudio solar, que indicaban las horas al día que el sol podía hacer funcionar la bomba, permitieron distinguir la situación crítica de todo el año: el mes de agosto. Durante el mes de agosto se reciben de media 7,25 HSP diarias, que junto con las necesidades hídricas de la finca propias del verano (26,67 m³/día) da lugar a la necesidad de una bomba que trabaje propulsando 3,56 m³/hora durante las horas de sol disponibles. Utilizando el caudal, la altura y la potencia necesarios para satisfacer las necesidades de la finca como restricciones, se llegó a la conclusión de que la bomba más adecuada para la instalación es la del modelo *PS4000 C-SJ3-32* de la marca Lorentz (Potencia nominal 4,5kW, Altura máxima 160m, Caudal máximo 4,2 m³/hora). A partir del modelo de la bomba y conocida su potencia nominal, se pudo dimensionar el controlador y el sistema de paneles solares, que tienen que proporcionar, como mínimo, la potencia nominal de la bomba. Se hizo un estudio sobre qué conjunto de módulos fotovoltaicos, dentro de la amplia gama que ofrece la empresa Lorentz, era capaz de cumplir las condiciones necesarias de abastecimiento de tensión y potencia de la bomba y, además, era el más económico. El resultado fue un sistema de 18 módulos solares de 60 células fotovoltaicas cada uno del modelo *LC250-P60*. Para aprovechar al máximo el potencial de los materiales seleccionados, se volvió a hacer uso de la herramienta *Photovoltaic Geographical Information System* para estudiar cuál es la posición óptima de los paneles, resultando ser de un azimut solar menor de 30° y una inclinación con respecto a la horizontal de 35°.

5. Conclusiones

Aunque la idea inicial de este proyecto solo constaba de la elección de una bomba más moderna para sustituir la actual, ha acabado tratándose del diseño y dimensionamiento de una instalación de bombeo solar fotovoltaico por las numerosas ventajas que ofrece este tipo de instalaciones.

La propuesta de instalación realizada comprende e implica el uso de tecnologías mucho más eficientes y limpias que las que se emplean actualmente en la finca. Las instalaciones de bombeo solar fotovoltaico están en auge debido a los buenos resultados obtenidos en instalaciones ganaderas y agrícolas.

Las instalaciones de bombeo solar permiten eliminar la dependencia de la red general eléctrica y fomentan el autoconsumo, energizando pequeñas y medianas fincas agrícolas y ganaderas con fuentes renovables.

Las tecnologías empleadas para este tipo de sistemas tienen una larga vida útil, requieren poco mantenimiento, son fiables, eficientes y muy rentables a medio/largo plazo, permitiendo tener una instalación limpia, sin ruidos y totalmente ecológica.

6. Referencias

- [ALON19] Alonso, J.A., “Radiación, Geometría, Recorrido óptico, Irradiancia y HSP, SunFields, 2019.
- [POLI17] Universidad Politécnica de Madrid, “Gráficos Significativos energía solar fotovoltaica”, Instituto de Energía Solar, Madrid, 2017
- [BARQ2019] Barqueros, A., “Optimización de sistemas de bombeo solar directo”, Trabajo fin de grado, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, 2019.
- [ALON19] Alonso M., Chenlo F., “Sistemas de Bombeo Fotovoltaico”, Departamento de Energías Renovables del CIEMAT, 2019.

EFFICIENT AND SUSTAINABLE RE-DESIGN OF A HIDRAULIC SYSTEM

Author: López Pérez, Álvaro.

Supervisor: Sanz Fernández, Iñigo.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

The aim of this project is to renovate a hydraulic system from a farm where water consumption is due to agriculture and livestock. The primary goal is to find a solution which is efficient, sustainable and profitable.

Keywords: pump, photovoltaic, solar pumping.

1. Introduction

In the farm, which is called Cerro Tablado, the activities that are carried out are: horses' taming and training, the breeding of more than twenty different species of animals and the farming of fields that take up 18 hectares.

Nowadays, the needed water for these activities is obtained through a pump whose efficiency and sustainability are significative improvable.

As for the main reason to carry out this project, it was the opportunity to substitute the current way of energy -diesel- for a renewable alternative which is in line with the ONU's objective of transforming the present types of energy for new options that are more affordable and less contaminating.

2. Project's definition

The objective of this project is to design a system that has the same use as the current one. The result will be a new system that meets the present requirements at the same time that provides additional advantages such as sustainability and efficiency.

To achieve this, first of all it was required to do measurements at the farm. Then, it was necessary to analyse the market around the pumps. Finally, it was carried out a study about the solar radiation quality at Cerro Tablado. After all of these steps, it was decided that the optimal solution that could be given for this particular scenario was a solar pumping system with solar panels and the reasons are explained below.

In the first place, the way of obtaining water that solar pumping provides is less "explosive" than the one provided by diesel. The reason is that solar pumping extracts water with a flow that is significative lower than the one with diesel -here, $Q=3,5$ m³/h-, so the tank is slowly filled. This operation mode is valid for this system because the speed of the filling is not a requirement.

Moreover, the market of solar pumping offers a relevant variety of alternatives. This means that is feasible to find "solar pumping kit" -gathering a pump, an engine, a controller and panels- which meet all the requirements in the system.

Furthermore, this new solar pumping system will provide a solution which is sustainable, affordable and no contaminating.

3. System's definition

The water obtaining is done through a pump-engine which extracts water from a well that is 120 m deep. The volume of water obtained is enough to fill a 80 m³ tank. The demanded frequency of filling depends on the season because the fields need different quantity of water depending on the season.

In the figure, it is shown a basic diagram of the facilities. The component named as 1 corresponds to the aforementioned pump-engine, which is submerged in the well to extract water in order to bring it to the tank, which is represented as 2.

The energy that is required so component 1 can work is provided by the photovoltaic panels represented as 3. For this system, 18 panels will receive the needed solar energy for the facilities. However, it can be seen that the connection from 3 to 1 is not direct but there is an element named as 4 in between. This element is the controller and it is essential to digitally transform the electricity current from the panels so the engine works. In addition, the controller is relevant because its function is to constantly analyse the flow of solar energy and optimize the system so the pump can extract the maximum quantity of water with the existing energy.

Now that it is explained how the tank is filled, the rest of the system consists on a distribution network that brings water to every area in the farm: the stables and cages for the animals (5), the cultivated fields (6) and other extra services (7).

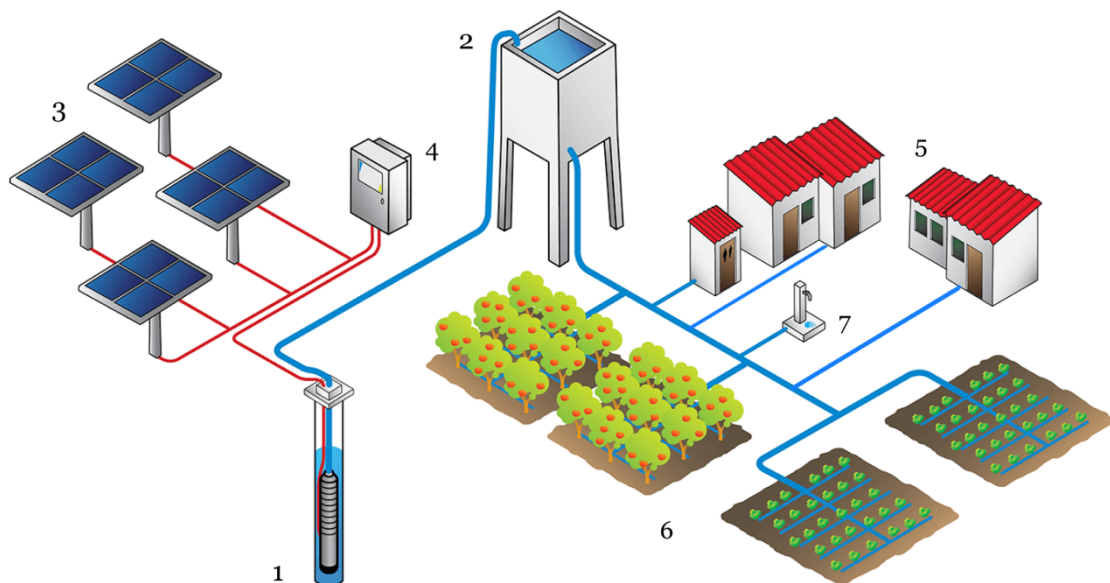


Ilustración 2: Solar pumping system

4. Results

A tool designed by the European Commission, named *Photovoltaic Geographical Information System*, was used to make a study about solar irradiation in the farm, in order to countify how many hours of sun can the pump take advantage on. Other datum that was required to determine which were the optimal panels, controller and pump was the amount of water consumption in the farm. With this information, it was possible to calculate the needed power, flow and height.

Gathering all of these results, it was feasible to know the quantity of hours that the pump can work a day and to calculate the most critical scenario of the year, that was proved to be August. The reason is that in August it takes place the maximum demand of water of the year, which is $Q=3,56 \text{ m}^3/\text{h}$, at the time that the panels receive 7,25 HSP, which is a high figure but not the highest of the year.

In order to guarantee that the system can work in the critical operation mode -what will assure that it will be able to work in any operation mode- the chosen pump is the *PS4000 C-SJ3-32* from Lorentz (Nominal power 4,5kW, maximum rated height 160m, maximum rated flow $4,2 \text{ m}^3/\text{h}$).

The next step after determining the optimal pump was to find the appropriate controller and solar panels which need to provide, at least, the pump's nominal power. The result of this study was that the optimal solution for this scenario is a collection of 18 solar modules with 60 photovoltaic cells each -model *LC250-P60* from Lorentz- because it will fulfil the voltage and power requirements while being the most economical alternative. Lastly, to make the most of the chosen components, a study through *Photovoltaic Geographical Information System* was carried out in order to determine the optimal positioning of the solar panels. After analysing the results, it was determined that the perfect inclination for them is 35° in respect with the horizontal line.

5. Conclusions

Even though, the original idea of the project was to find a modern pump to substitute the current one with, it turned out that the most suitable solution for Cerro Tablado was a solar pumping system because of their many advantages:

Solar panels can be reliable, and usually, the time when water is needed the most meets the time when there's more irradiation available.

One of the mayor advantages of a solar pump is that its energy comes straight from the sun, lowering operating costs and its environmental footprint.

This technology is easy to transport and can be located wherever is needed.

Another important factor is that solar pumps are generally low maintenance.

6. References

- [ALON19] Alonso, J.A., "Radiación, Geometría, Recorrido óptico, Irradiancia y HSP, SunFields, 2019.
- [ALON19] Alonso M., Chenlo F., "Sistemas de Bombeo Fotovoltaico", Departamento de Energías Renovables del CIEMAT, 2019.
- [BARQ2019] Barqueros, A., "Optimización de sistemas de bombeo solar directo", Trabajo fin de grado, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, 2019.

Índice de la memoria

Capítulo 1. <i>Introducción</i>.....	9
1.1 Contexto Histórico de la Ingeniería Hidráulica	11
1.2 Contexto Histórico de la Ingeniería Solar	16
1.3 Contexto Histórico del Bombeo Solar	19
Capítulo 2. <i>Descripción de las Tecnologías</i>.....	21
2.1 Procedencia del Agua	23
2.2 Conceptos de las Bombas Hidráulicas	25
2.2.1 Componentes de las Bombas Hidráulicas.....	25
2.2.2 Curvas Características de una Bomba Hidráulica.....	26
2.3 Conceptos de los Sistemas Fotovoltaicos	27
2.3.1 Componentes de Los Sistemas Fotovoltaicos.....	27
2.3.2 Curvas Características de un Sistema Fotovoltaico	28
2.3.3 Efectos de la Variación de Condiciones Ambientales	29
2.3.4 Condiciones de Operación	31
2.4 Componentes de una Instalación de Bombeo Fotovoltaica.....	32
2.5 Funcionamiento de una Instalación de Bombeo Fotovoltaica	33
Capítulo 3. <i>Estado de la Cuestión</i>	35
3.1 Tecnología Hidráulica	37
3.2 Tecnología Solar.....	40
3.2.1 Tipos de Energía Solar.....	40
3.2.2 Energía Solar Fotovoltaica en España	42
3.3 Tecnología de Bombeo Solar.....	45
3.3.1 Aplicaciones de un Sistema de Bombeo Solar	46
Capítulo 4. <i>Definición del Trabajo</i>.....	47
4.1 Motivación	49
4.2 Justificación y Objetivos	49

4.2.1 Renovación de Instalaciones Desde un Punto de Vista Técnico	50
4.2.2 Renovación de Instalaciones en el Mercado Actual	51
4.3 Metodología	51
Capítulo 5. Situación Actual.....	53
5.1 Finca Cerro Tablado	55
5.2 Localización	56
5.3 Instalación de Partida.....	57
5.3.1 Bomba Actual	58
5.3.2 Tuberías Actuales.....	59
5.3.3 Depósitos Actuales.....	60
Capítulo 6. Dimensionamiento de la Futura Instalación.....	61
6.1 Dimensionamiento Hídrico	63
6.1.1 Determinación de Las Necesidades de Caudal	63
6.1.2 Determinación de las Necesidades de Altura.....	66
6.2 Dimensionado del Motor	72
6.3 Dimensionado del Controlador.....	72
6.4 Dimensionamiento Solar	74
6.4.1 Cálculo de la Radiación Solar Disponible	74
6.4.2 Manejo de las Horas de Sol Pico	77
6.4.3 Dimensionamiento de los Paneles Fotovoltaicos.....	80
Capítulo 7. Estudio Económico.....	85
7.1 Activo Fijo	87
7.2 Inversión Total	87
7.3 Evolución Temporal del Dinero.....	88
7.4 Índices de Rentabilidad	89
7.5 Conclusiones del Estudio Económico	89
Capítulo 8. Conclusiones.....	91
9. Bibliografía	99

10. ANEXOS	101
ANEXO I – RADIACIÓN SOLAR.....	103
ANEXO II – Ficha Técnica de la Bomba.....	111
ANEXO III – OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	113
1. Descripción de los Objetivos de Desarrollo Sostenible	113
2. Alienación de este Proyecto con los ODS	119
12. DOCUMENTO N° 2: PLANOS	124
13. DOCUMENTO N° 3: PRESUPUESTOS	132

Índice de figuras

<i>Ilustración 1: Instalación de bombeo solar fotovoltaico.....</i>	<i>9</i>
<i>Ilustración 2: Solar pumping system.....</i>	<i>13</i>
<i>Ilustración 3: Diseño de “El libro del conocimiento de dispositivos mecánicos ingeniosos”.....</i>	<i>13</i>
<i>Ilustración 4: Adaptación del diseño de Al Jazari.....</i>	<i>13</i>
<i>Ilustración 5: Tornillo de Arquímedes.....</i>	<i>14</i>
<i>Ilustración 6: Diseños de Denis Papin.....</i>	<i>15</i>
<i>Ilustración 7: Defensa de Arquímedes.....</i>	<i>16</i>
<i>Ilustración 8: Quema de naves romanas.....</i>	<i>16</i>
<i>Ilustración 9: Bomba eólica de las Great Plains.....</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 10: Evolución de los precios de los paneles solares.....</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 11: Distribución de agua en la Tierra.....</i>	<i>23</i>
<i>Ilustración 12: Uso del agua en el s.XX.....</i>	<i>23</i>
<i>Ilustración 13: Distribución del agua subterránea.....</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 14: Curvas de una bomba</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 15: Módulo fotovoltaico.....</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 16: Curva característica de un panel fotovoltaico.....</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 17: Curvas características en función de la Irradiancia.....</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 18: Curvas características en función de la temperatura.....</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 19: Instalación de bombeo fotovoltaica.....</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 20: Clasificación de bombas.....</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 21: Bomba de superficie.....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 22: Bomba sumergible.....</i>	<i>39</i>

<i>Ilustración 23: Central solar térmica.....</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 24: Distribución de la radiación solar directa en España.....</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 25: Distribución de la radiación solar directa en Europa.....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 26: Producción de energía solar en Europa.....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 27: Estimación de la evolución del coste de producir energía según fuente....</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 28: Finca Cerro Tablado.....</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 29: Localización de la finca Cerro Tablado.....</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 30: Prados de Cerro Tablado.....</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 31: Bomba actual.....</i>	<i>58</i>
<i>Ilustración 32: Depósito horizontal con cunas.....</i>	<i>60</i>
<i>Ilustración 33: Depósito vertical con patas metálicas.....</i>	<i>60</i>
<i>Ilustración 34: Volumen de agua necesario cada mes en función de la irradiación disponible en la finca.....</i>	<i>65</i>
<i>Ilustración 35: Punto de funcionamiento de una bomba.....</i>	<i>66</i>
<i>Ilustración 36: Curvas características generales.....</i>	<i>70</i>
<i>Ilustración 37: Instalación de una bomba sumergible.....</i>	<i>71</i>
<i>Ilustración 38: Conjunto motor-bomba PS4000 C-SJ3-32.....</i>	<i>71</i>
<i>Ilustración 39: Geometría del Sol.....</i>	<i>75</i>
<i>Ilustración 40: Geometría del Sol II.....</i>	<i>75</i>
<i>Ilustración 41: Ejemplo de cálculo de radiación solar disponible.....</i>	<i>76</i>
<i>Ilustración 42: Horas Solares Pico.....</i>	<i>77</i>
<i>Ilustración 43: Potencia solar a lo largo del día.....</i>	<i>77</i>
<i>Ilustración 44: Potencia solar a lo largo de un día nublado.....</i>	<i>78</i>
<i>Ilustración 45: Representación de datos de irradiación del año 2016 en Cerro Tablado....</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 46: Representación del número de módulos en función del modelo.....</i>	<i>82</i>

<i>Ilustración 47: Panel fotovoltaico Lorentz.....</i>	<i>83</i>
<i>Ilustración 48: Logo empresa Lorentz.....</i>	<i>94</i>
<i>Ilustración 49: Distribución del caudal estacional.....</i>	<i>95</i>
<i>Ilustración 50: Radiación solar en Cerro Tablado entre 2005 y 2016.....</i>	<i>96</i>

Índice de tablas

Tabla 1: Valores de Operación Estándar.....	31
Tabla 2: Condiciones Normales de Operación.....	31
Tabla 3: Comparación de instalaciones de bombeo según la fuente de energía empleada....	45
Tabla 4: Cronograma.....	52
Tabla 5: Consumo de agua diario y mensual.....	63
Tabla 6: Caudales propulsados por la bomba para los meses de 2015.....	64
Tabla 7: Coeficientes de pérdidas secundarias.....	69
Tabla 8: Modelos de controladores Lorentz.....	73
Tabla 9: Distribución de irradiación mensual y diaria media del año 2015.....	79
Tabla 10: Diferentes módulos solares Lorentz.....	81
Tabla 11: Cálculo del número de módulos necesarios para cada modelo.....	82
Tabla 12: Localización del estudio y ángulo óptimo de los paneles para los años 2005-2016.....	105
Tabla 13: Radiación mensual recibida para un panel inclinado 40° y para un panel inclinado el ángulo óptimo durante los años 2005-2016.....	105
Tabla 14: Presupuesto de los componentes de la instalación.....	135
Tabla 15: Presupuesto de la instalación de los componentes.....	135

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN



1.1 CONTEXTO HISTÓRICO DE LA INGENIERÍA HIDRÁULICA

La ingeniería hidráulica es la rama de la ingeniería civil que se ha ocupado de la proyección y ejecución de obras en relación con el agua desde la antigüedad. El largo recorrido de esta ciencia es un indicador de la importancia que ha tenido para el ser humano, desde las primeras civilizaciones hasta nuestros días.

El arqueólogo y filólogo australiano Vere Gordon Childe, en 1985, define la evolución de la civilización como el flujo de un río, el cual, a su paso, va recibiendo afluentes o influencias de todas las sociedades gracias al intercambio entre ellas. Este río avanza gracias a los estímulos sociales, ideológicos y tecnológicos; es decir, por separado, las sociedades han ido desarrollando soluciones particulares para los problemas o necesidades que les han surgido, pero estas soluciones, con el paso del tiempo, han acabado convergiendo en el flujo principal de este río.

Esta forma de aproximarse a los hechos y de estudiar la historia es muy conveniente para el objetivo de este documento sobre bombas hidráulicas, ya que éstas han respondido a la necesidad de elevar agua, adversidad con la que se ha confrontado el ser humano desde la antigüedad: a lo largo de toda la historia se han presentado diversas necesidades ante la sociedad, una de esas necesidades atemporales que ha tenido presente el ser humano ha sido la de controlar los recursos hídricos, esenciales para la supervivencia.

La expansión de las primeras civilizaciones apareció con la creación de las ciudades cuya base estuvo en el comercio, actividad que hubo como consecuencia de que la ganadería y agricultura tuvieran excedentes. Estos excedentes solo fueron posibles gracias a la implementación de máquinas y estructuras hidráulicas, por todo ello, dichas máquinas han sido elementos clave en el avance del metafórico río.

La historia de la relación entre la ciencia y el agua se remonta al antiguo Egipto, donde la ciencia exacta más antigua, la geometría, nació como herramienta para solucionar problemas catastrales relacionados con las inundaciones del río Nilo. Esa historia cuenta también cómo se dejó de ver esa fuerza de la naturaleza como un agente externo y se la empezó a tener en cuenta como posible motor de trabajo, siendo este uno de los puntos de inflexión de esa historia donde una serie de personas realizaron descubrimientos y aplicaciones que le cambiaron la vida radicalmente a la gente con la que convivieron.

Una de las personas que hicieron un gran aporte en el ámbito de la hidrología al metafórico río mencionado con anterioridad fue Al Jazari, un conocido ingeniero e inventor islámico que vivió entre los años 1136 y 1206 en Turquía. Al Jazari vivó durante la llamada Edad de Oro del islam, una época en la que, al mismo tiempo que se preservaba el legado clásico, se contribuyó enormemente en aspectos como las artes, agricultura, economía, filosofía o la navegación creando una cultura musulmana única que tuvo una influencia primordial en el resto de los continentes. Este importante ingeniero merece una mención en este documento debido a sus destacadas realizaciones en el ámbito científico, que junto con sus dotes de artista y dibujante se pueden observar en su obra “*El libro del conocimiento de dispositivos mecánicos ingeniosos*”, donde aparece la descripción de más de cien dispositivos mecánicos y cómo construirlos.

Dentro de las originales ideas que tuvo Al Jazari, son de especial importancia para este informe los diseños en los que la hidráulica adquiría el papel de elemento motriz, ya que Al Jazari es a quien se le atribuye la idealización y la construcción de la primera bomba hidráulica de la historia. Si bien es cierto que la fuerza del movimiento del agua se llevaba aprovechando para mover las aspas de los molinos hidráulicos desde el siglo primero a.C., Al Jazari fue el primero en construir lo equivalente a una bomba de succión. El preciso diseño, del que se puede observar un dibujo sacado del libro mencionado anteriormente en la *Ilustración 3*, aprovechaba el movimiento transmitido del río a las cucharas de una rueda que hacían mover un eje; es decir, transformaba la cantidad de movimiento o momento lineal del agua en energía mecánica de rotación del eje. Hasta este punto el diseño común de un molino hidráulico, y aquí es donde hizo Al Jazari su original aporte: añadió un sistema de engranajes que hizo posible transformar el movimiento de rotación del eje en el movimiento lineal de un émbolo de forma que pudo crear un bombeo de agua corriente por un tubo con el que fue capaz de abastecer a las mezquitas y hospitales de Diyarbakir, ciudad al oeste de Turquía a orillas del río Tigris.

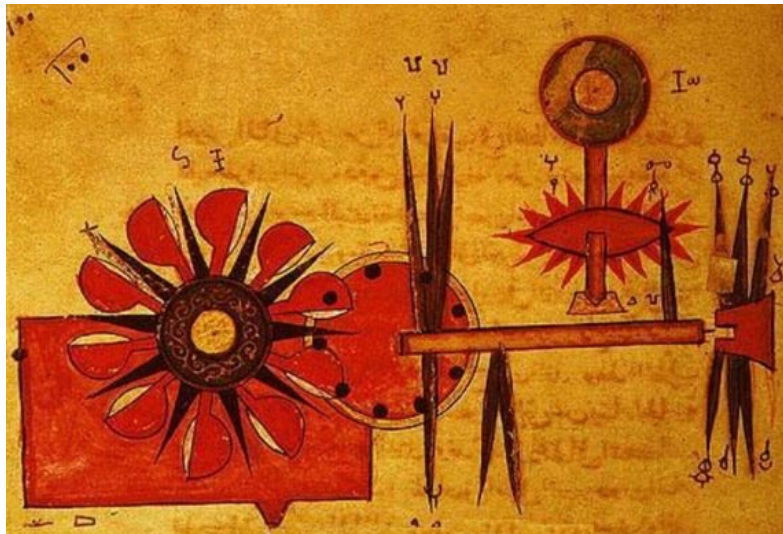


Ilustración 3: Diseño de “El libro del conocimiento de dispositivos mecánicos ingeniosos”

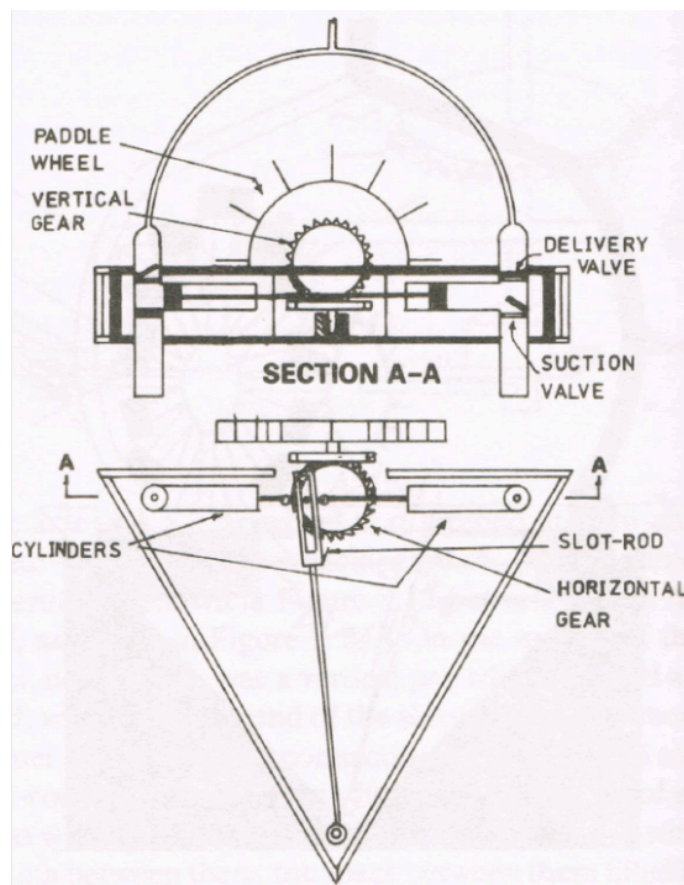


Ilustración 4: Adaptación del diseño de Al Jazari

En la *Ilustración 4*, podemos observar una adaptación que hizo un científico llamado D. Hill en 1996 con el objetivo de aclarar el diseño de Al Jazari debido a la complejidad del mismo.

Después de las innovaciones que hizo Al Jazari en el campo de las bombas, los avances fueron surgiendo y desarrollándose a la par que lo iba haciendo la sociedad. Durante la revolución científica hubo progresos en los diseños de máquinas hidráulicas gravitatorias, que eran las únicas que existían antes de la aportación de Al Jazari. Estas máquinas hidráulicas gravitatorias, entre las que cabe destacar el tornillo de Arquímedes que aparece representado en la *Ilustración 5* eran máquinas que conseguían elevar una gran cantidad de fluido pero a una altura muy pequeña, de forma que, si se quería trabajar con alturas considerables había que colocar varios elementos en serie haciendo de la instalación algo muy poco rentable.

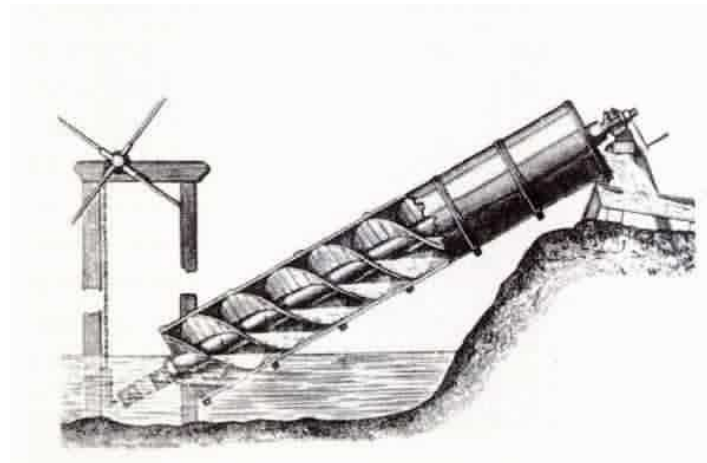


Ilustración 5: Tornillo de Arquímedes

Otra de las personas que realizaron una mencionable aportación al mundo de las bombas hidráulicas fue el físico e inventor francés Denis Papin, quien trabajó investigando sobre las primeras bombas centrífugas, como la que aparece en la *Ilustración 6*. Papin fue capaz de crear un vórtice forzado en una caja circular, donde empleaba un rodete de álabes rectos.

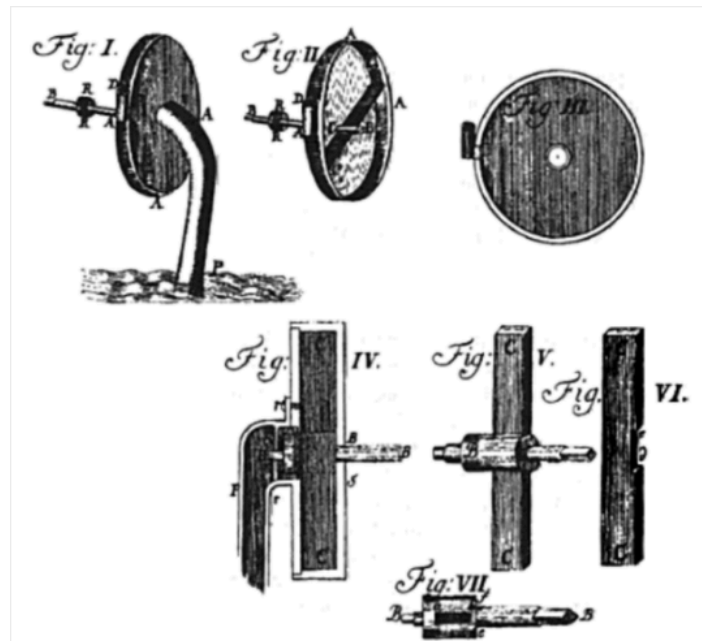


Ilustración 6: Diseños de Denis Papin

Los prototipos de Denis Papin no despertaron interés entre la nobleza inglesa, lo que supuso que su trabajo no siguiera adelante.

La última etapa de desarrollo de los diseños de bombas fue la etapa de la ciencia moderna y el capitalismo industrial, producida por la Revolución Industrial. El científico Combs, siguiendo los diseños de Papin, desarrolló unas bombas de álabes curvos que supuso un gran avance en el ámbito de las bombas centrífugas. A este avance le siguieron otros como la optimización del diseño de la voluta, del diseño de los escalonamientos, etc., hasta que en 1851 John Appold logró construir una bomba con una curvatura de álabes innovadora que le permitió trabajar con un rendimiento de casi el 70%, valor tres veces mayor que los conseguidos hasta ese momento.

1.2 CONTEXTO HISTÓRICO DE LA INGENIERÍA SOLAR

El sol ha estado ligado a la historia de una forma imprescindible, ya que su existencia es la que hizo posible el desarrollo de la vida y los ciclos de agua necesarios para la misma. Es por ello, que el sol siempre se ha considerado un elemento esencial y muchas de las culturas primitivas desarrollaron numerosas religiones que se basaban en la adoración a este astro, como ocurría en Grecia, el imperio Inca y Azteca y, por supuesto, en Egipto y Mesopotamia.

El sol ha estado presente, podría decirse, de la misma manera desde el inicio. Es la forma en la que la humanidad lo ha tratado y valorado y las estrategias que se han desarrollado para su aprovechamiento energético lo que ha experimentado una gran evolución.

Las primeras de estas técnicas son las llamadas pasivas que, por su simplicidad, son las más sencillas de llevar a cabo. En este contexto de aprovechamiento de energía, ya en el año 400 a.C., los griegos diseñaban sus viviendas con el requisito de aprovechar la luz solar. Fue en el Imperio Romano donde se empezó a utilizar por primera vez vidrio en las ventanas con el objetivo de preservar el calor proveniente del sol dentro de las casas y aportar luz a las mismas. Con la misma filosofía, los romanos construyeron los primeros invernaderos que hicieron posible el crecimiento en Roma de plantas cuyas semillas provenían de zonas del imperio mucho más alejadas.

La primera referencia histórica que se puede encontrar del uso del poder y la energía del sol de una forma diferente de la pasiva data 250 a.C., con la aparición del físico, ingeniero, inventor, astrónomo y matemático griego Arquímedes. Este genio griego, conocedor del alcance del poder de la energía solar, utilizaba espejos para concentrar la luz en objetos específicos de forma que conseguía que adquirieran temperaturas muy altas, llegando incluso hasta calcinarlos. Un ejemplo de esta técnica se puede observar en la *Ilustración 7* y la *Ilustración 8*, donde aparece Arquímedes, encargado de defender la ciudad de Siracusa durante el sitio romano a la ciudad en el siglo III, empleando sus espejos para hacer arder las naves enemigas.



Ilustración 7: Defensa de Arquímedes

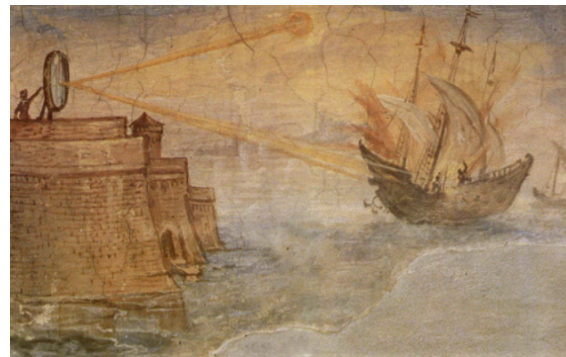


Ilustración 8: Quema de naves romanas

Fue en 1792, cuando el químico francés Lavoisier, fascinado por los relatos del sitio de Siracusa, les encontró a los espejos de Arquímedes otra aplicación más productiva cuando creó el “horno solar”. Este artilugio consistía en dos lentes que concentraban la radiación solar en un foco, alcanzando unas temperaturas tan elevadas que hacían posible la fundición de metales. Con este empleo de los espejos, se puede dar por comenzada la época donde se desarrolló la energía solar con fines prácticos en la que personajes como Mouchot, John Ericsson o Clarence Jemp hicieron aportaciones destacables al campo de la energía solar hasta que, en 1911, Frank Schuman fundó su compañía “Sun Power Co” y fue capaz de construir dos plantas solares, una en EE. UU. y otra en Egipto, generando 20kW y 90kW respectivamente.

Con el paso del tiempo, el ritmo de vida de los habitantes del planeta ha cambiado de forma drástica, especialmente en el último siglo, y con ello, las exigencias energéticas. Es por ello por lo que el auténtico desarrollo de las tecnologías de energía solar no se dio hasta el siglo XX. Llegado este punto hay que hacer distinción entre los dos tipos de energía solar: fotovoltaica y térmica. Las diferencias entre las mismas serán expuestas más adelante en el documento, pero cabe mencionar el desarrollo que tuvo cada una hasta la situación actual.

En concreto, la energía solar térmica no experimentó un desarrollo destacable hasta que en 1973 se produjo una guerra entre Israel y la República Árabe Unida en la que países extranjeros intervinieron ofreciendo apoyo armamentístico. El posicionamiento de ciertas naciones extranjeras en el bando de Israel indignó a los países árabes productores de petróleo y su respuesta fue producir un bloqueo y embargo de esta materia prima a dichas naciones, lo que supuso que el valor del petróleo aumentara durante el conflicto en un 300%. De esta forma, muchos países de occidente se dieron cuenta de la importante dependencia que tenían de los países orientales productores de petróleo y decidieron dar un impulso a otras fuentes de energía, entre ellas la solar térmica.

El desarrollo de la energía solar, en cambio, ha ido avanzando a lo largo de estos últimos tres siglos de forma más pausada. El denominado efecto fotovoltaico fue descubierto en 1838 por Alexandre Edmond Becquerel, que experimentó cómo aumentaba la corriente de electrodos de una pila electrolítica cuando la exponía al sol. En 1873, el ingeniero inglés Willoughby Smith descubrió que este efecto también se daba en sólidos, en su caso en el Selenio. A pesar de las evidencias de estos avances, el trasfondo teórico de este fenómeno no se pudo comprender y por tanto no se pudo explotar esta tecnología hasta que Albert Einstein lo expuso en 1905. Este trasfondo teórico sirvió para impulsar el desarrollo de esta tecnología, que fue creciendo despacio a partir de ese momento. La primera célula solar, desarrollada en los laboratorios de investigación de la corporación Bell en 1954, tenía un rendimiento del 6% y el resto del desarrollo de placas fotovoltaicas ha estado sobretodo relacionado con la tecnología espacial, debido al alto precio de las mismas. El recibimiento de las células fotovoltaicas no fue generalizado hasta que, hacia 1970, su precio cayó un 80% mientras que el de los combustibles fósiles no dejaba de crecer.

Para entender la importancia que ha tenido la ingeniería solar a lo largo de la historia y cómo se proyecta en el momento actual no se puede pasar por alto mencionar las energías renovables puesto que es una cuestión que atañe a toda la sociedad y tiene una relación directa con este proyecto.

La ingeniería solar es una de las ramas de la ingeniería energética, que es la encargada del estudio tanto de las fuentes de energía renovables como de las no renovables y combina las ciencias de las matemáticas, física, química, economía y medioambiente para desarrollar tecnologías que nos permitan tener las fuentes de energía más eficientes de forma sostenible.

El proceso para construir una infraestructura energética óptima pasa de forma indiscutible por el uso de energías renovables y por tanto para comprender entero este proyecto hay que comenzar por presentarlas: Las energías renovables pueden entenderse como fuentes de energía prácticamente inagotables que presentan indudables ventajas medioambientales en comparación con otras formas de energía más convencionales. Un elemento crítico para el desarrollo de las energías renovables lo constituye el carácter disperso que, por su propia naturaleza, tienen. Por tanto, el desarrollo de energías renovables está ligado a la capacidad de innovación y de difusión tecnológica que permita aprovechar ese gran potencial teórico de los recursos de una manera competitiva respecto a otro tipo de energías.

Dentro de las energías renovables, en esta introducción hay que hacerle una mención especial a la energía solar, entendiendo como tal a la energía que consiste en el aprovechamiento de una fuente natural como es el sol para la producción de energía. La generación de esta energía procede de las reacciones de fusión nuclear propias del sol y queda contenida en la radiación solar que viaja hacia la Tierra en forma de radiación electromagnética, donde finalmente puede ser aprovechada para la producción de energía útil para las personas. Para poder entender mejor lo aprovechable que es la energía solar se estudiarán los tipos de tecnología solar más adelante en este documento.

1.3 CONTEXTO HISTÓRICO DEL BOMBEO SOLAR

Este apartado es donde confluyen los dos anteriores puesto que trata sobre la sinergia de las tecnologías expuestas anteriormente con el objetivo de conseguir un bombeo eficiente alimentado a base de energía limpia.

Como ya se ha comentado con anterioridad, la obtención de agua de un río o del subsuelo ha sido un factor clave para la supervivencia de muchas sociedades a lo largo de la historia, especialmente para las que estaban situadas en climas áridos o lejos de ríos y lagos. Con el paso del tiempo esta necesidad de conseguir agua no ha desaparecido, pero si que ha cambiado de forma, por ejemplo, dejó de ser un problema tan importante el de irrigación y pasó a cobrar más relevancia la obtención de agua a lo largo de la instalación ferroviaria para poder abastecer de agua las locomotoras de vapor. Entre 1860 y 1900 en Estados Unidos, debido a la expansión del ferrocarril, el problema hídrico cobró mucha importancia ya que las locomotoras de vapor necesitaban de grandes cantidades de agua para funcionar y tenían que parar cada cierto tiempo para repostar. La solución que se tuvo esta vez para superar el problema hídrico fueron las bombas eólicas como las que aparecen en la *Ilustración 9*, basadas en diseños de bombas gravitatorias mencionadas anteriormente.

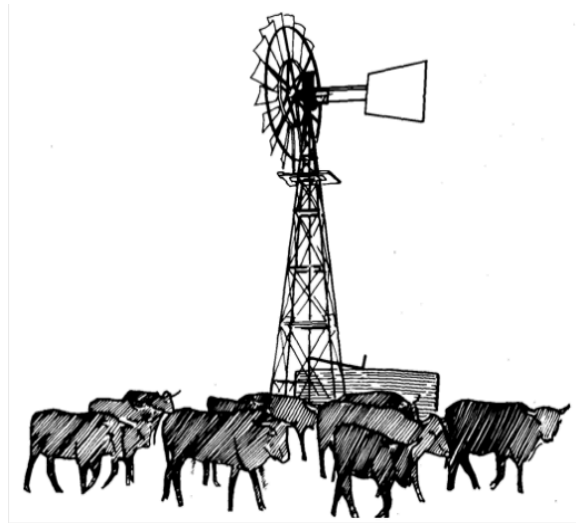


Ilustración 9: Bomba eólica de las Great Plains

Como se ha demostrado, con el paso del tiempo, van surgiendo problemas hídricos nuevos que necesitan de soluciones innovadoras. Si bien es cierto que desde que apareció el uso de la electricidad se han hecho numerosos avances técnicos que han facilitado el acceso al agua, no es la solución definitiva y se tiene que seguir trabajando para hacer llegar soluciones allá donde no llega la red eléctrica general.

Actualmente existen dos grandes problemas:

- Necesidad de abastecimiento de agua en zonas de difícil acceso a la red eléctrica.
- Necesidad de reducción de los consumos en zonas conectadas a la red eléctrica, debido a su fuerte dependencia creada en torno a los combustibles fósiles.

La solución óptima para cubrir esas necesidades consiste en la utilización de paneles fotovoltaicos para el bombeo de agua subterránea, una propuesta atractiva basada en el empleo de una fuente de energía autóctona y renovable.

La situación actual del bombeo solar fotovoltaico ha mejorado drásticamente gracias a los avances tanto en el ámbito hidráulico como en el solar. Las instalaciones contemporáneas de bombeo solar tienen una alta eficiencia y una gran capacidad de adaptarse a cualquier necesidad de bombeo de agua gracias a la amplia oferta de mercado.

Los resultados de esta mejora en tecnología solar se pueden observar en la *Ilustración 10*. Los precios de los paneles han bajado un 85% desde 2007 (hablando en producción €/W), lo que ha hecho que las instalaciones que emplean la energía solar como fuente sean cada vez más rentables, ventaja que suma con el resto mencionadas anteriormente sobre el bombeo solar fotovoltaico.

En la actualidad, por menos de 1€ invertido en paneles, se obtiene 1 W de potencia de origen fotovoltaico.

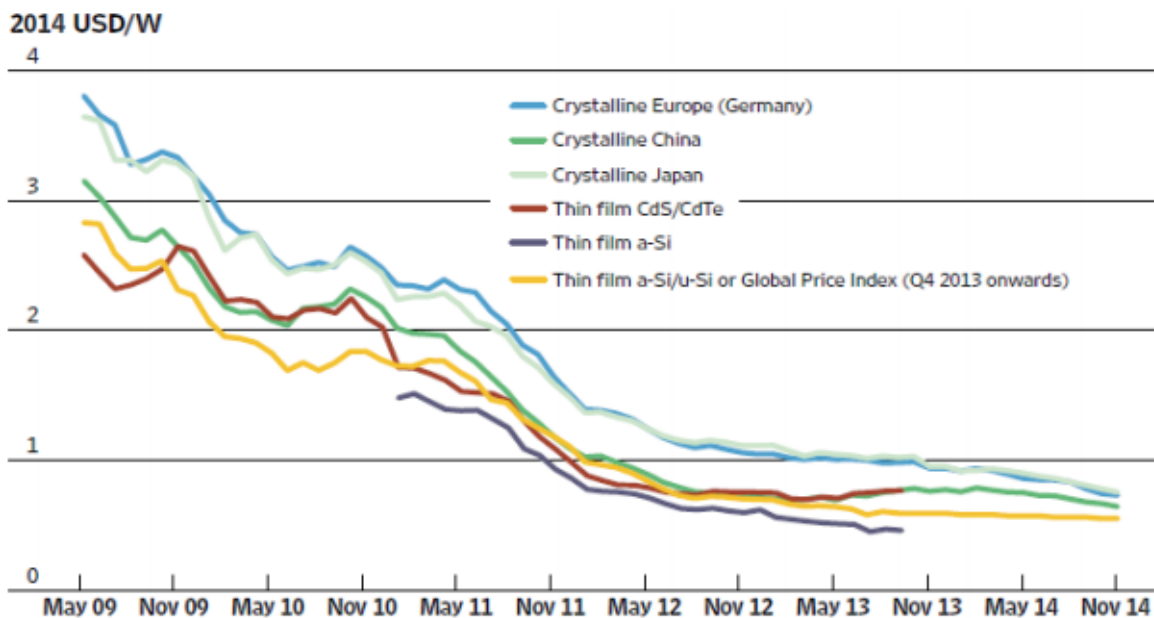


Ilustración 10: Evolución de los precios de los paneles solares

Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS



2.1 PROCEDENCIA DEL AGUA

La hidrosfera, según las ciencias de la Tierra, es el sistema material constituido por el agua que se encuentra en el planeta y que le otorga una característica que le hace no tener par, ya que es el único del sistema solar con agua líquida de forma permanente.

En el planeta, la distribución del agua sigue los gráficos que aparecen en la *Ilustración 11*. Como se puede observar, a pesar de las grandes cantidades de agua que hay, para abastecer a la población se emplea normalmente el agua dulce disponible en ríos, lagos y embalses; es decir, el 1% del 2,5%.

En el gráfico que aparece en la *Ilustración 12* podemos observar los datos recogidos sobre el uso del agua a lo largo del siglo XX y la primera década del XXI, y como conclusiones se puede obtener que el sector que más agua extrae es el agrícola.

Además, entre 1950 y 1960, tras el final de la segunda guerra mundial se implantó un modelo industrializador del desarrollo, lo que supuso un aumento de la población de un 450% y un aumento de extracción de agua de casi un 750% solo en el último siglo.

Todos estos hechos actuales sobre el consumo del agua son indicadores de que hay que cambiar el modelo de producción y de consumición existente ya que esos índices de crecimiento no son sostenibles.

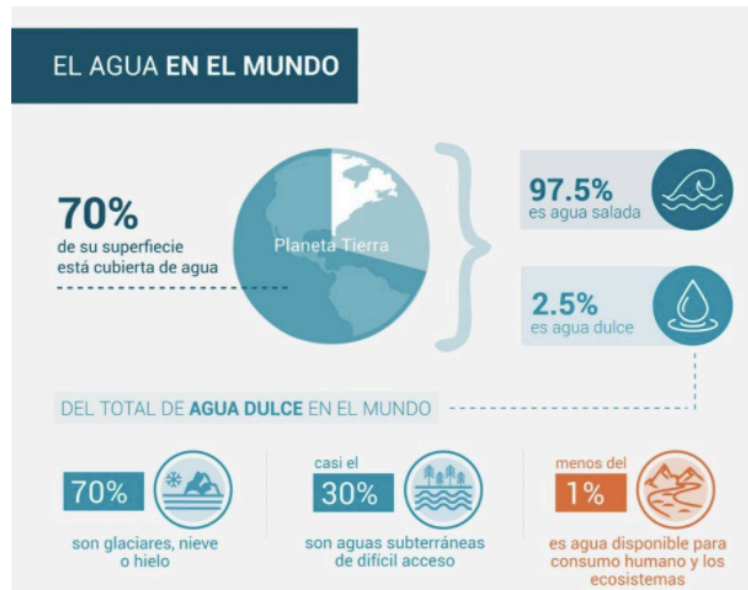


Ilustración 11: Distribución de agua en la Tierra

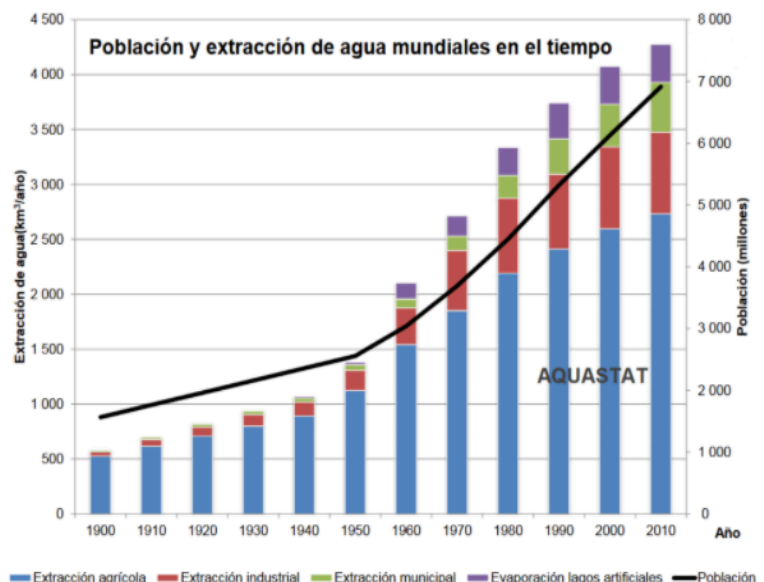
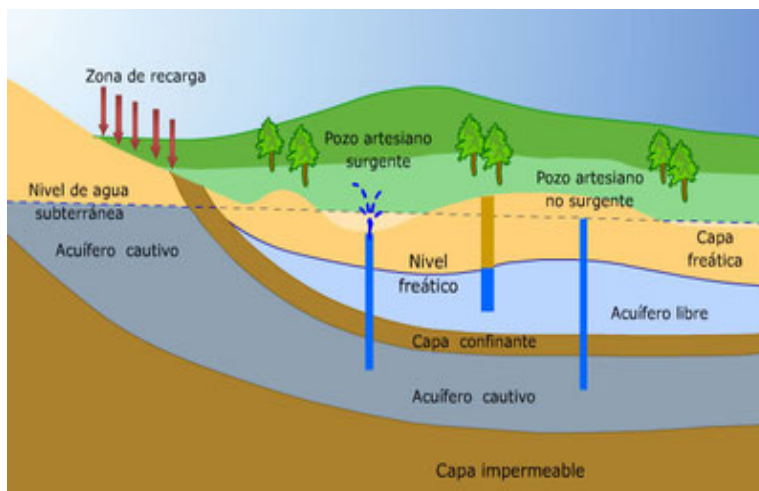


Ilustración 12: Uso del agua en el s.XX

Este proyecto está basado en tecnología que utiliza aguas subterráneas para el abastecimiento de agricultura y ganadería, evitando un exceso de consumo de los ríos y embalses. Toda el agua dulce de la superficie proviene de la lluvia, y cuando esta toca el suelo pueden producirse tres fenómenos:

- Evotranspiración: corresponde a la porción de agua que vuelve a la atmósfera.
- Escorrentía: agua que fluye por la superficie y acaba formando arroyos o ríos.
- Percolación: agua que absorbe el suelo, que una vez llega al nivel freático se infiltra y se acumula en acuíferos subterráneos, esta agua puede ser bombeada a la superficie para su uso.

La fracción en la que se produce cada fenómeno depende de numerosos factores como el clima, el tipo de suelo, la vegetación, etc. Como se puede observar en la *Ilustración 11* la proporción de aguas subterráneas es muchísimo mayor a la del resto de agua disponible para consumo y esto se debe a que es agua que se recarga regularmente por la pluviosidad y se va acumulando con el paso del tiempo.



La disposición del agua subterránea es comúnmente como aparece en la *Ilustración 13*. El agua está retenida en el terreno y se mantiene hasta una altura llamada nivel freático. Este nivel es la capa superior del acuífero, de forma que por debajo queda el agua almacenada en el acuífero libre.

Ilustración 13: Distribución del agua subterránea

Las bombas solares aprovechan la energía solar para poder aportarle la energía suficiente a una cantidad de agua subterránea para que fluya hasta a la superficie. En este caso, el agua sube por una instalación de tuberías que se construye en un pozo, siendo un pozo una excavación realizada en el terreno que alcanza el nivel freático.

2.2 CONCEPTOS DE LAS BOMBAS HIDRÁULICAS

Las bombas son el elemento destinado a la impulsión y elevación del fluido, con ese fin, absorben el fluido dentro de sí mismas y lo propulsan transmitiéndole parte de la energía que consumen de la red.

Los primeros conceptos que hay que interiorizar para comprender todo ámbito de las bombas hidráulicas son el caudal y la altura. El caudal es la cantidad de fluido por unidad de tiempo que atraviesa la bomba y por tanto la cantidad de fluido que es capaz de transportar en un determinado periodo de tiempo. La altura manométrica es una forma de medir la energía que le transfiere la bomba al fluido expresada en m.c.a (equivalente a la presión que ejerce una columna de agua pura de un metro sobre la gravedad terrestre). Ambas magnitudes que proporciona la bomba varían con la velocidad de giro de esta.

2.2.1 COMPONENTES DE LAS BOMBAS HIDRÁULICAS

Los parámetros más importantes que hay que conocer de las mismas son:

- Entrada y salida: las bombas poseen una brida de entrada y otra de salida que es por donde aspiran y expulsan el fluido.
- Rodete o rotor: es el elemento motor situado entre las bridas de entrada y salida que, cuando la bomba está en funcionamiento, está girando a altas velocidades para transferirle energía cinética al fluido. Estos componentes pueden estar formados por álabes, aspas, etc.
- Sistema de estanqueidad: es el conjunto de elementos que reduce las fugas y mantiene cierta presión interna en el cuerpo de la bomba. Este sistema puede estar compuesto por sellos, retenedores, anillos, cierres laberínticos o mecánicos, etc., teniendo cada opción sus ventajas e inconvenientes.
- Eje impulsor: es el eje que transmite movimiento al rodete. Esta expuesto a diferentes esfuerzos según el tipo de bomba y las direcciones que toma el fluido, por ello es importante saber dimensionarlo y equilibrarlo correctamente.
- Panel de control: es el cuadro donde aparecen los interruptores o botones con los que se manda encender la bomba o para realizar su parada, entre otras cosas.
- Motor: es el dispositivo que le transmite el movimiento al eje.

2.2.2 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UNA BOMBA HIDRÁULICA

Curvas de la bomba: el fabricante proporciona la información del régimen de trabajo de una bomba con una serie de curvas. En la Ilustración 14 podemos ver un ejemplo de dichas curvas:

- La curva de altura $H(Q)$ que proporciona la bomba indica la cantidad de energía que puede aportar la bomba al fluido en forma de altura manométrica.
- La curva de rendimiento $\eta(Q)$ representa, para cada caudal, la potencia que la bomba transmite al fluido entre la que consume esta. Se observa que suelen tener un punto de máximo de rendimiento, también llamado punto de diseño, que es el punto para el cual la bomba está pensada que funcione en la instalación.
- La curva de potencia $P(Q)$ indica la potencia que le transmite la bomba al fluido para cada caudal.
- La curva $NPSH_R$ representa el indicador de cavitación de la bomba, que como se puede observar, la posibilidad de cavitación aumenta con el caudal. El punto de cavitación se da cuando en $NPSH_R$ de la bomba coincide con el $NPSH_d$ de la instalación, y es un problema que se tiene que evitar desde la fase de diseño, ya que es el punto en el que la presión cae por debajo de la presión de vapor y comienzan a producirse burbujas que explotan repentinamente y producen daños graves en la instalación.

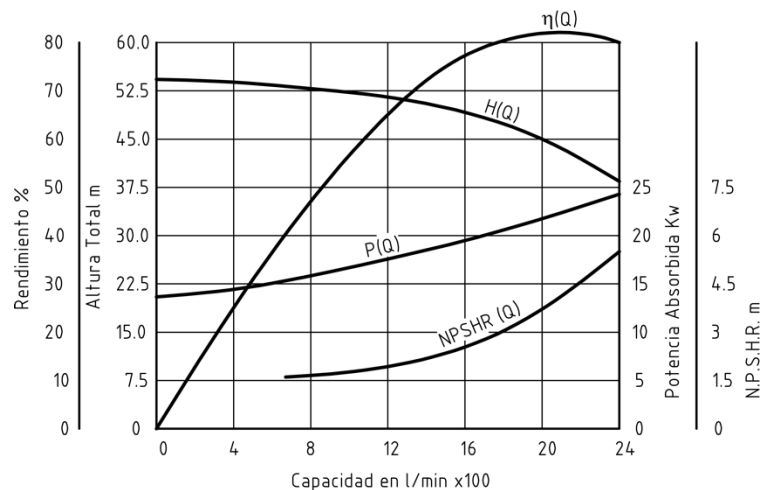


Ilustración 14: Curvas de una bomba

Conocer los distintos componentes de una bomba, así como su funcionamiento es indispensable a la hora de decidir cual es la solución que mejor se adapta al servicio que queremos conseguir, ya que, de otra forma, se podrían cometer errores que dejen la bomba inutilizable y hagan que se pierda la inversión realizada.

2.3 CONCEPTOS DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Para comprender el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos y cómo se obtiene electricidad a partir de los mismos, es muy importante el concepto de las células fotovoltaicas ya que son la piedra angular de este tipo de sistemas.

2.3.1 COMPONENTES DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

El módulo fotovoltaico, que es el dispositivo que se puede adquirir en el mercado, consiste en una asociación de células fotovoltaicas de una forma determinada (serie/paralelo). Los módulos fotovoltaicos también se pueden asociar entre sí para formar las instalaciones. La asociación de las células fotovoltaicas determina los valores de corriente y voltaje que ésta proporciona. El conjunto de células lleva un encapsulado que lo protege de los agentes exteriores.

Se puede observar en la *Ilustración 15* una sección transversal de un módulo fotovoltaico que esquematiza las diferentes partes del mismo.

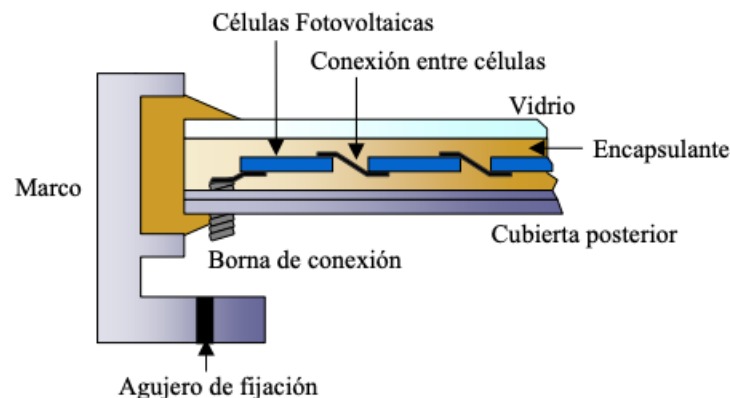


Ilustración 15: Módulo fotovoltaico

- Cubierta Frontal: en la imagen aparece denominada como vidrio puesto que es una capa que tiene que transmitir correctamente el rango de longitudes de onda con la que trabaja la célula [350-1200] nanómetros. Además, este elemento tiene que dar rigidez al módulo y protegerlo del agua ya que en el supuesto caso de que penetrara agua en el sistema ésta corroería los contactos metálicos y reduciría considerablemente la vida útil del módulo. Los materiales de los que puede estar fabricado este componente son acrílicos, polímeros y cristal, siendo el más común el cristal templado con bajo contenido en hierro.

- Encapsulante: elemento que aporta adhesión entre los componentes del módulo, mantiene unidos las células solares, la superficie frontal y la posterior. Por la función que cumple también tiene que ser impermeable al agua y tener resistencia a los cambios de temperatura y a la abrasión. El material más común con el que se confecciona este elemento es el termoplástico etil-vinil-acetato (EVA).
- Cubierta posterior: esta cubierta, como la superior, ha de ser impermeable y tener baja resistividad térmica. Puede suele estar compuesta por una película de resina Tedlar, que es el nombre comercial de fluoruro de polivinilo.
- Conectores de las células: son las cintas de interconexión eléctrica, hechas normalmente de aluminio o acero inoxidable.

La vida de este tipo de módulos ronda los 20 años, y están diseñados para sobrellevar condiciones climatológicas adversas. Para garantizar esta fiabilidad existen diferentes ensayos para testar las diferentes cualidades eléctricas y físicas, además, existen normativas nacionales e internacionales que, aunque no sean obligatorias para sacar un producto al mercado, son un buen indicador de la calidad que ofrece el fabricante.

2.3.2 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

Igual que en las bombas, en los paneles fotovoltaicos los fabricantes también ponen a disposición del cliente curvas de sus productos para que puedan estudiar sus regímenes de trabajo. En la *Ilustración 16* podemos observar la curva característica corriente-tensión de un panel general, en ella podemos observar los distintos puntos de combinación de intensidad y voltaje en los que podrá trabajar la placa bajo unas determinadas condiciones ambientales.

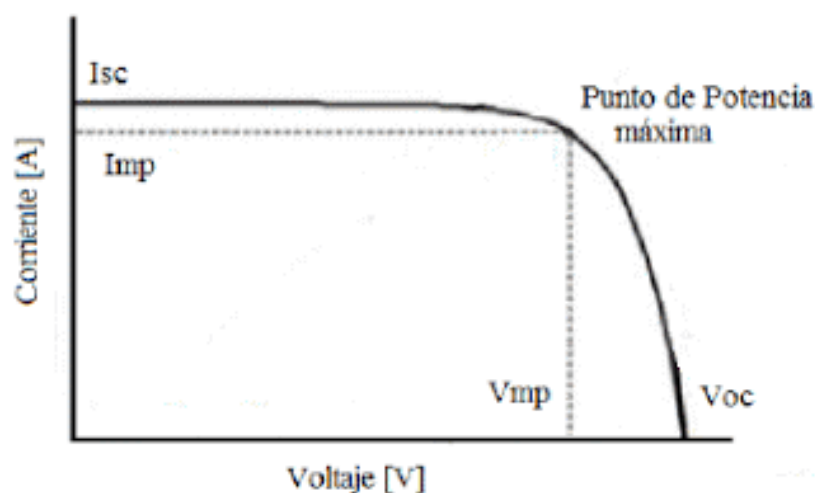


Ilustración 16: Curva característica de un panel fotovoltaico

- Corriente de cortocircuito (I_{CC} o I_{SC} en notación internacional): es la máxima corriente que generará el panel bajo las condiciones de irradiación y temperatura definidas.
- Tensión de vacío (V_0 o V_{OC} en notación internacional): es la máxima diferencia de potencial que generará el panel bajo las condiciones de irradiación y temperatura definidas.
- Potencia máxima (P_{max}): máxima potencia que producirá el dispositivo.
- Tensión e intensidad en el punto de máxima potencia (V_{mp} e I_{mp}): son los valores de voltaje e intensidad que conjuntamente desarrollan la máxima potencia del panel.
- Factor de llenado (FF en notación internacional): es un indicador de la calidad del dispositivo fotovoltaico, siendo mayor la calidad cuanto mayor sea el factor de llenado.

2.3.3 EFECTOS DE LA VARIACIÓN DE CONDICIONES AMBIENTALES

Las curvas características que ofrecen los fabricantes de placas solares están siempre definidas en función de unas condiciones ambientales determinadas, pero la placa solar en cuestión no va a estar trabajando en esas condiciones durante toda su vida útil, si no que van a cambiar con el transcurso de cada día de la misma. Por ello es interesante estudiar los efectos que tiene la variación de dichas condiciones en lo que produce el generador.

1. Efecto de la Irradiancia.

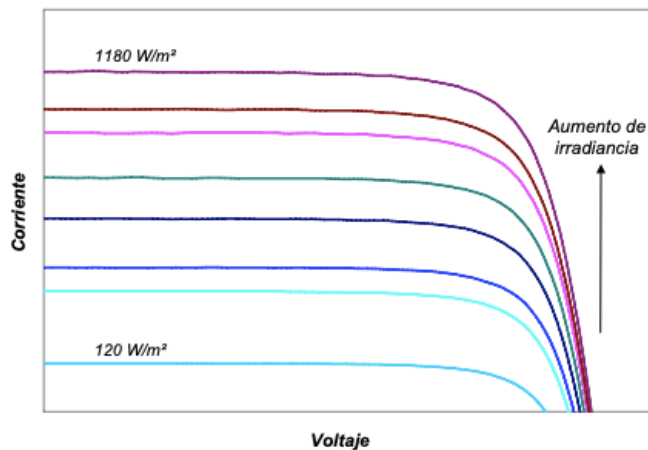


Ilustración 17: Curvas características en función de la Irradiancia

La variación de la intensidad lumínica afecta especialmente a la corriente producida por las células, por ello es mejor estudiar ambas variables por separado. La relación entre ambas se aparece en la *Ilustración 17*, se puede comprobar que la intensidad de cortocircuito es directamente proporcional a la luz recibida, como cabía esperar, una placa solar produce más corriente cuanto más le da el sol. La ecuación que rige el comportamiento de las variables de la gráfica es la *Ecuación 1*:

$$I_{SC2} = I_{SC1} \cdot \frac{E_2}{E_1}$$

Ecuación 1

Esta ecuación simplifica el comportamiento de la corriente de cortocircuito en función de la irradiancia para una temperatura constante. Aunque sencilla, esta fórmula es muy precisa ya que el error que se comete al tener por constante la temperatura es prácticamente nulo.

2. Efecto de la Variación de Temperatura.

Mientras que la variación de luz incidente afectaba especialmente a la corriente, la variación de la temperatura tiene mayor influencia en los valores de voltaje. La evidencia está representada en la *Ilustración 18*, donde se dibujan las diferentes curvas características de una misma célula fotovoltaica en función de la variación de temperatura.

Las gráficas, igual que en el apartado anterior, se han obtenido aislando las dos variables y haciendo constante la irradiancia recibida.

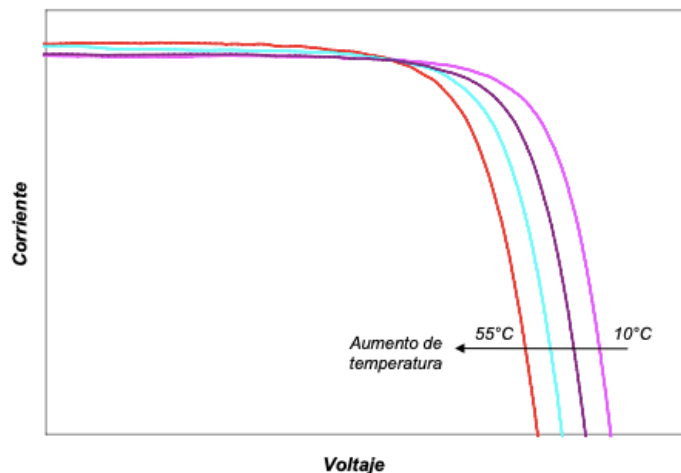


Ilustración 18: Curvas características en función de la temperatura

3. Efecto de la variación espectral de la luz

Por último, otro factor que produce variaciones a la salida del generador es el espectro de luz que recibe la célula fotovoltaica. Este espectro de luz varía con la hora del día y la época del año. Para aproximar la salida en cada momento del año a partir de los datos que ofrece el fabricante existen factores de espectro obtenidos experimentalmente. Estas correcciones suelen ser pequeñas y se suelen hacer únicamente cuando se requiere de alta precisión.

2.3.4 CONDICIONES DE OPERACIÓN

El comportamiento de todas las células fotovoltaicas depende de las condiciones ambientales del punto de trabajo y para poder comparar las células de diferentes fabricantes se acordaron unas condiciones estándar de operación, de forma que todos los fabricantes pudieran dar los datos de funcionamiento de sus productos respecto de la misma referencia.

Tabla 1: Valores de Operación Estándar

Parámetro	Valor estándar
Incidencia	1000 W/m ²
Distribución espectral	AM 1,5
Incidencia	Normal
Temperatura	25 °C

A pesar de la buena idea de unificar condiciones de medida para facilitar la comparación al cliente, se falló en la elección de los valores dado que han resultado ser atípicos y difíciles de conseguir. Es por ello por lo que se ha definido otro acuerdo con nuevos valores llamado Condiciones Nominales de Operación, cuyos valores se expresan en la *Tabla 2* Tabla 2: Condiciones Normales de Operación. Un cliente tiene que saber en que sistema se está expresando el catálogo del producto que quiere comprar puesto que se le puede presentar cualquiera de las dos.

Tabla 2: Condiciones Normales de Operación

Parámetro	Valor estándar
Incidencia	800 W/m ²
Distribución espectral	AM 1,5
Incidencia	Normal
Temperatura	20 °C

2.4 COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN DE BOMBEO FOTOVOLTAICA

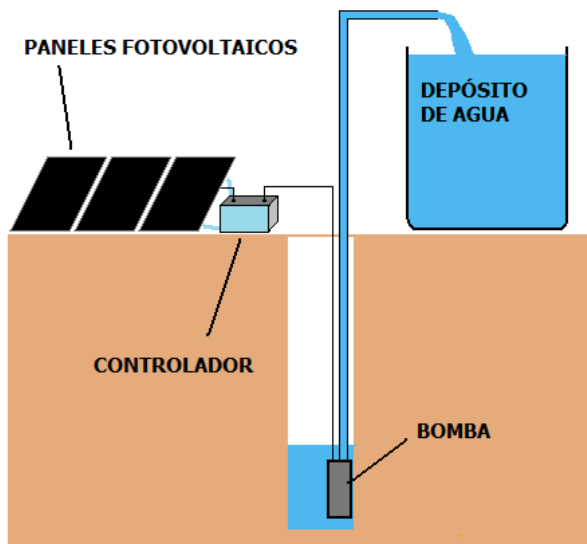


Ilustración 19: Instalación de bombeo fotovoltaica

Los elementos que componen una instalación fotovoltaica que van a ser explicados a continuación son los que aparecen en el esquema de la *Ilustración 19*.

1. Paneles Fotovoltaicos: También denominados paneles solares, son los elementos de la instalación dotados de la capacidad de transformar la radiación solar en energía eléctrica. Son componentes formados por células fotovoltaicas, que son las que producen electricidad a partir de luz por el efecto fotoeléctrico gracias a las propiedades de los materiales con los que están construidas.

2. Controlador: es un elemento que se coloca entre la fuente de energía y la máquina eléctrica para actuar como

un dispositivo optimizador de potencia. Los optimizadores de potencia son dispositivos encargados de reducir las pérdidas del sistema solar fotovoltaico, aumentando la eficiencia del conjunto. Además de mejorar el rendimiento de la placa solar en sí misma, también controlan la tensión y la intensidad que emiten a la bomba, magnitudes de las que depende directamente la potencia que esta consume, de forma que siempre se aproveche al máximo la potencia generada por los paneles.

3. Bomba: Este es el elemento mecánico que es capaz de aportar altura al fluido que transcurre por él, impulsándolo hasta el lugar deseado. Existen diferentes tipos de bombas, cada una con sus ventajas e inconvenientes, que serán expuestos más adelante en este documento.
4. Batería: Componente encargado de almacenar la energía eléctrica excedente producida por los paneles los días soleados, con el objetivo de guardar para el momento en el que la bomba la necesite y las placas solares no puedan producir la suficiente. Colocar una batería en la instalación es opcional, puesto que para las instalaciones de bombeo fotovoltaicas no son necesarias si se realiza un correcto dimensionamiento del resto de los elementos, además son los componentes que más mantenimiento requieren y son el más probable punto de fallo de este tipo de instalaciones.

2.5 FUNCIONAMIENTO DE UNA INSTALACIÓN DE BOMBEO FOTOVOLTAICA

El funcionamiento de un sistema de bombeo fotovoltaico no es demasiado complicado en comparación para las ventajas que tiene respecto al resto.

Como hemos explicado anteriormente, el modelo de instalación que incluye una batería conlleva por ese motivo ciertos problemas que pueden ser evitados con el correcto dimensionamiento del resto de elementos, por ello, en este documento se tratará solo la opción de diseño que excluye la batería de su instalación.

Al no disponer de una batería, el flujo que pasa a través de la bomba varía a lo largo del día dependiendo de la intensidad de la radiación solar que llega a los paneles, siguiendo el ciclo solar a lo largo del día. De esta forma, el flujo será pequeño durante las primeras horas matinales e irá aumentando conforme se vayan acercando las horas centrales del día, cuando la radiación es máxima. Una vez superado ese momento, el flujo disminuirá paulatinamente hasta hacerse nulo al anochecer. Es por este motivo también, por el que una de las variables más importantes a la hora de diseñar una instalación solar es la inclinación de los paneles. La inclinación de las placas solares debe diseñarse para poder absorber la mayor parte de radiación solar a lo largo del día.

Otro de los factores más relevantes a la hora de diseñar la instalación es tener claro la cantidad de agua necesaria diariamente para abastecer todas las necesidades. Desconocer estas medidas puede provocar un sobredimensionamiento, con el sobrecoste que implica, o una insuficiencia, lo que implicaría que el trabajo y el desembolso hechos hasta ese momento hayan sido en vano. Este factor tiene especial relevancia en este tipo de instalaciones porque la radiación solar es la que es, y si no se ha conseguido agua suficiente al final del día no se puede hacer que la bomba funcione durante más tiempo.

Un elemento que hay que tener en cuenta es la profundidad del pozo para las diferentes estaciones del año, ya que la instalación tendrá que ser la misma tanto para la época de lluvias como para la de escasez de agua. Esta variable interviene en la elección de la potencia de la bomba porque hay que diseñarlas para la etapa de escasez, que es cuando el nivel de agua está más bajo y por tanto menos energía tiene el fluido en el tubo de aspiración, lo que significa que la bomba tendrá que transmitirle más energía al fluido para poder obtener los mismos resultados que en la época lluviosa. Por todo ello se debe estudiar la capa freática a lo largo del año en función de clima de la región donde se piensa hacer la instalación y los periodos cíclicos de sequía.

Otra de las medidas que hay tomar antes de realizar la instalación para poder aprovechar toda su vida útil es estudiar la capacidad del acuífero y su capacidad de recarga. Es importante asegurarse de que el acuífero donde se piensa hacer a excavación del pozo tiene la capacidad de recarga suficiente para extraer del mismo una cantidad de agua regularmente. Si no se asegura esta afirmación es posible que el acuífero termine por agotarse, dejando inutilizable la instalación entera.

Se puede concluir que, a pesar de que la instalación en si de bombeo solar no sea muy complicada, hay que tener en cuenta numerosos factores naturales para los que es recomendable la consulta a expertos en materia y el apoyo en sondeos e inspecciones.

Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN



3.1 TECNOLOGÍA HIDRÁULICA

Este apartado está dedicado al estudio del mercado actual de las bombas hidráulicas con el objetivo de barajar todas las opciones posibles para, al final, poder seleccionar la que mejor se adapte a las necesidades del problema que abarca este proyecto.

Antes de pasar a comprobar la amplia oferta de bombas de agua en el mercado hay que estudiar los diferentes tipos que existen para poder elegir el que más convenga.

Una clasificación de las bombas actualmente podría esquematizarse como en la *Ilustración 20*, de forma que los tipos de bombas que quedan son los siguientes:

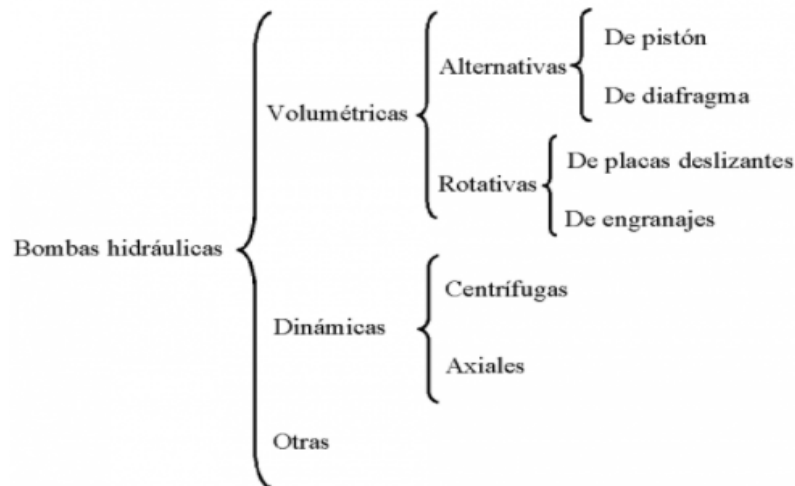


Ilustración 20: Clasificación de bombas

- Volumétricas: son máquinas de desplazamiento positivo en las que el flujo se produce por la variación de volumen de una cámara. Este tipo de bombas se emplea en sistemas de bombeo fotovoltaico de pozos de poca profundidad debido a su sistema impulsor de agua. Dentro de este tipo encontraremos bombas de superficie o sumergibles, siendo las últimas más apropiadas para trabajar con pozos profundos.
- Dinámicas o Turbomáquinas: son las bombas en las que el intercambio de energía se produce mediante la variación del momento cinético del fluido. Para este estudio interesa profundizar más en el tipo de bombas centrífugas. Este tipo de bombas es el ideal para caudales mayores, aunque no es recomendable emplearlas en instalaciones con tubos de aspiración de más de 5 metros, por lo que para extraer agua de un pozo no es el tipo de bomba más indicado.

Como se ha mencionado antes, las bombas volumétricas son las adecuadas para bombear pequeños caudales de pozos muy profundos, aunque su característica par-velocidad no es la ideal para una bomba que está conectada a un generador fotovoltaico. La curva par-velocidad de las bombas volumétricas nos indica que necesitan un par prácticamente constante y por tanto una corriente constante, algo improbable de conseguir con un generador fotovoltaico donde la corriente que generan depende de la irradiación en cada momento.

Una solución que se plantea al problema mencionado en este tipo de instalaciones es corresponder el par de operación de la bomba con la corriente eléctrica del generador en el punto de irradiación máxima, de forma que, cuando se vaya reduciendo el nivel de irradiación con el transcurso del día, bajará la corriente del generador y entonces se disminuirá el caudal bombeado hasta que la bomba requiera menos corriente. Como la curva par-velocidad de una bomba volumétrica es relativamente plana, esta solución será válida hasta que la corriente generada descienda hasta un nivel crítico. Por tanto, para prevenir que ocurra esto y que la bomba pueda estar funcionando la mayor parte del día, hay que escoger una curva par-velocidad en la que la corriente crítica esté muy por debajo de la corriente máxima generada por la placa solar. Esta solución implica, en consecuencia, que se pierde o se sacrifica parte de la potencia del generador produciendo unos rendimientos relativamente bajos, pero a cambio se gana una bomba con posibilidad de trabajar durante más horas a lo largo del día.

Dentro del grupo de bombas de desplazamiento positivo se encuentran los diferentes tipos: bombas de pistón, bombas de diafragma y bombas de cavidad progresiva o helicoidales. Las bombas más importantes son las de diafragma, que tienen membranas fabricadas normalmente con caucho y materiales sintéticos de propiedades flexibles y resistentes, de forma que el agua se impulsa por medio de dichas membranas. Según los fabricantes, estos diafragmas pueden trabajar en continuo durante dos o tres años sin necesitar reemplazo, y para cuando lo requieran ofrecen juegos de membranas de sustitución a precios asequibles. Este tipo de bombas tienen una vida útil de 5 años y aunque su adquisición sea económica hay que tener en cuenta el coste de los paquetes de reemplazo.

Existe otra clasificación dentro de las bombas en función de su disposición de la instalación: pueden ser sumergibles, flotantes o de superficie.

Las bombas flotantes disponen de un flotador que las mantiene en la superficie del agua y que permite su instalación en ríos, lagos y pozos de gran tamaño. Este tipo de bomba proporciona alto caudal para baja altura.

Las bombas de superficie se suelen instalar al nivel del suelo para facilitar su mantenimiento y su profundidad de succión no debe superar los 10 metros.

Las bombas sumergibles suelen emplearse para obtener caudales bajos a poca altura, estando situadas en pozos profundos de diámetros reducidos.

Las bombas anteriormente descritas aparecen en las imágenes siguientes.

En la *Ilustración 21* se puede apreciar una bomba de superficie en funcionamiento extrayendo agua de un lago.

En la *Ilustración 22* podemos observar varios modelos de bombas sumergibles, que tienen un tamaño mayor o menor dependiendo de la potencia de la bomba y del tamaño del pozo.



Ilustración 21: Bomba de superficie



Ilustración 22: Bomba sumergible

3.2 **TECNOLOGÍA SOLAR**

En este documento ya se ha comentado la importancia que tiene la energía solar como fuente de energía renovable y, por tanto, este apartado se ha realizado con el objetivo de profundizar más en el estudio de su situación actual.

3.2.1 TIPOS DE ENERGÍA SOLAR

3.2.1.1 *Energía solar térmica*

La energía solar térmica es la rama de la energía solar que busca concentrar la energía proveniente del sol mediante unos dispositivos llamados colectores para hacerla más intensa y poder transmitirla a fluidos que, se calientan para poder hacer trabajar las centrales de ciclo combinado (ciclo de Bryton y de ciclo de Rankine) tal y como podemos observar en el esquema de la *Ilustración 23*.

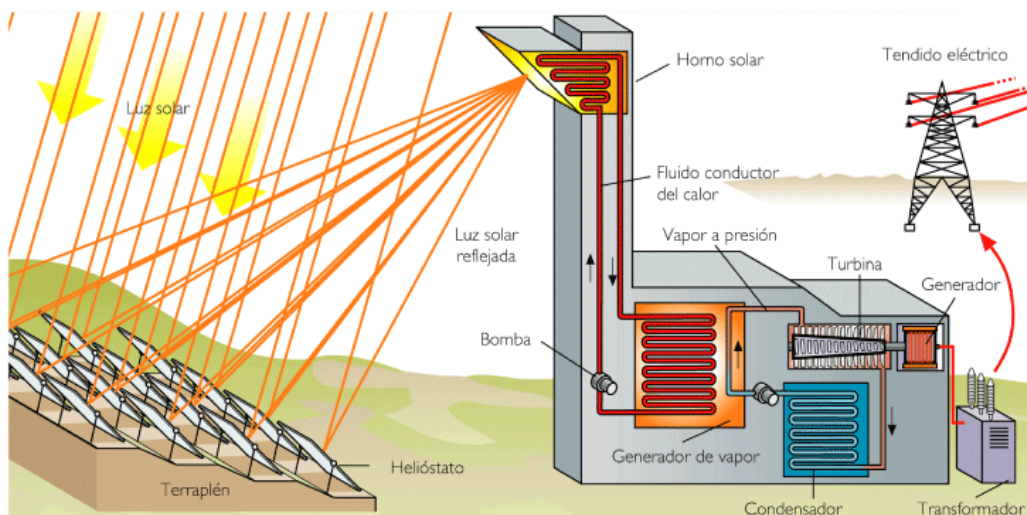


Ilustración 23: Central solar térmica

3.2.1.2 *Energía solar pasiva*

Esta rama de la energía solar consiste en aprovechar la radiación solar sin requerir ningún dispositivo adicional. La esencia de esta forma de energía se basa, más que en la generación, en el aprovechamiento de esta. Su objetivo es emplear correctamente las propiedades de los distintos materiales y hacer un uso inteligente de los mismos proporcionando aislamientos y demás elementos de la llamada arquitectura climática para reducir la necesidad de climatizar edificios y, por tanto, hacerlos más eficientes.

3.2.1.3 Energía solar fotovoltaica

Esta rama de la energía solar es con diferencia la más estudiada y empleada de las tres, además es la más interesante desde el punto de vista de este proyecto.

En el grado actual de desarrollo, la energía solar fotovoltaica puede dividirse en tres grupos principales:

- Aplicaciones conectadas a la red, que incluyen grandes centrales de potencia, centrales fotovoltaicas y pequeñas instalaciones asociadas a consumidores domésticos o industrias.
- Aplicaciones singulares dedicadas a la alimentación energética de objetos particulares.
- Aplicaciones más tradicionales dedicadas al suministro eléctrico en emplazamientos de difícil acceso para la red eléctrica convencional o en áreas con déficit de abastecimiento.

Pese a ser una de las energías renovables de aparición más reciente, la energía solar fotovoltaica se ha convertido en una fuente insustituible. Su importancia es tal que ya no podría imaginarse un satélite artificial sin sus correspondientes paneles solares o se ha introducido de tal manera en decenas de aplicaciones que ya nadie repara en las células solares que alimentan calculadoras, relojes o juguetes.

Sin embargo, donde la energía solar fotovoltaica ha conocido un desarrollo más destacado ha sido en la electrificación de viviendas, granjas y caseríos a menudo en emplazamientos aislados cuyo servicio de abastecimiento eléctrico es muchas veces imposible por otros medios.

Como el resto de las energías renovables, la energía solar se caracteriza por presentar un impacto ambiental prácticamente inexistente y por ser inagotable a escala humana. Adicionalmente, este recurso presenta una calidad de energía muy elevada y tiene la ventaja de no precisar de ningún suministro exterior (combustible) y de la ausencia total de ruidos en los procesos energéticos.

La energía solar fotovoltaica es un tipo de energía solar basada en la aplicación de denominado efecto fotovoltaico que se produce cuando la luz incide sobre materiales semiconductores de manera que se genera un flujo de electrones en el interior del material y, en condiciones adecuadas, una diferencia de potencial que puede ser aprovechada como fuente de energía. Debido a su sencillez, fiabilidad y operatividad, este tipo de energía se viene empleando para la generación eléctrica en el mismo lugar de la demanda cubriendo pequeños consumos y, sobre todo, como se ha mencionado anteriormente, para cubrir consumos en lugares aislados.

3.2.2 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN ESPAÑA

La energía procedente de la radiación solar absorbida por la Tierra en un año es equivalente a 15-20 veces la energía almacenada en todas las reservas de combustibles fósiles en el mundo. Si se pudiese aprovechar tan solo el 0,005% de dicha radiación, se obtendría más energía útil en un año que la que se consigue quemando petróleo, carbón y gas.

En este apartado del documento se pretende analizar brevemente el potencial del territorio español para la instalación y desarrollo de la energía solar.

España tiene una superficie de 505990 km², aunque no toda podría ser usada para el fin energético ya que, para ello, es necesario que se cumplan ciertos requisitos. En primer lugar, aunque existen diferentes tipos de radiación, la empleada para la producción de energía es la llamada radiación directa, que es la que corresponde a los rayos solares que inciden perpendicularmente en la superficie terrestre.

En el mapa de la *Ilustración 24*, puede observarse los niveles de radiación directa sobre España, donde se puede comprobar el enorme potencial del país para seguir avanzando en la consolidación de este tipo de energía. Según la leyenda del mapa, la zona más adecuada para construir instalaciones totales es la de color rojo oscuro.

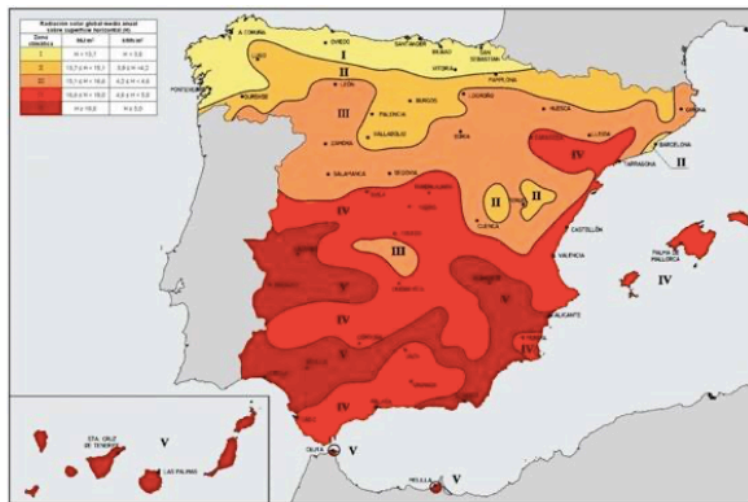


Ilustración 24: Distribución de la radiación solar directa en España

Para comprender mejor la capacidad que tiene España como potencia internacional en términos de energía solar se puede contemplar la distribución de la radiación solar en Europa, representada en la *Ilustración 25*. También habría que comparar la *Ilustración 25* con la *Ilustración 26*, donde se puede apreciar que aunque España sea el país Europeo que recibe más irradiación solar, actualmente, no está ni entre los tres primeros de producción de energía. Aunque como se puede ver en la segunda imagen, también es cierto que factores como la descarbonización del sector energético hacen que las predicciones sean favorables para el sistema español de generación energética.

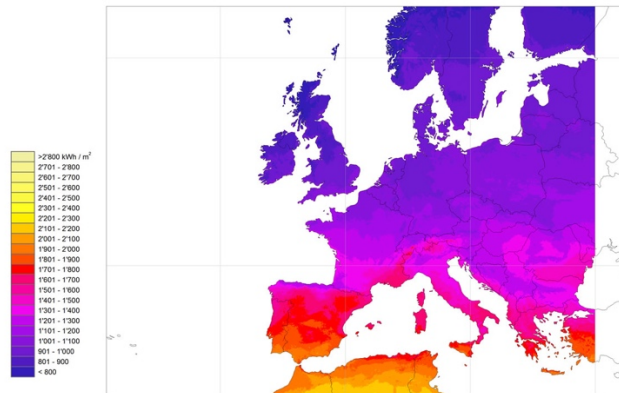


Ilustración 25: Distribución de la radiación solar directa en Europa

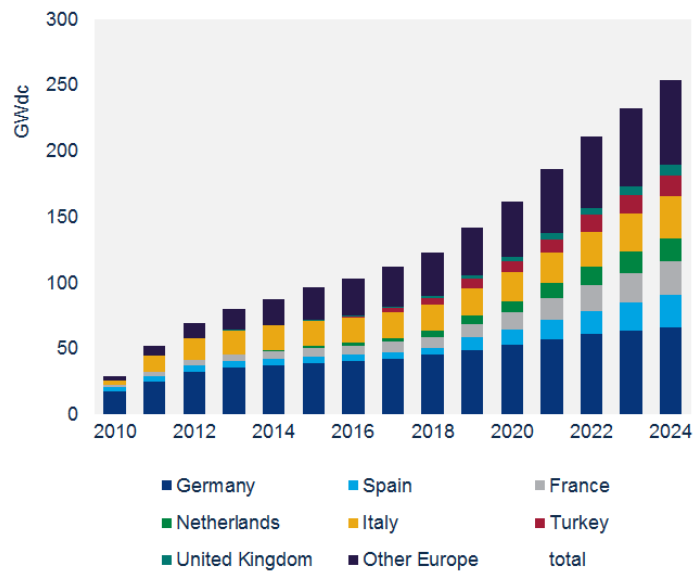


Ilustración 26: Producción de energía solar en Europa

España ha presentado una gran evolución en lo respectivo a la producción de energías renovables en los últimos años. Con el Decreto 2366/1994 se empezó a fomentar que las compañías de distribución de energía compraran energía procedente de plantas de generación renovables. Actualmente, las energías renovables están reguladas por el “Programa de Energías Renovables 2011-2020” (PER 2011-20) dirigido por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE) y aprobado por acuerdo del Consejo de Ministros del 11 de noviembre de 2011, estableciendo objetivos acordes con la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo que se creó con el objetivo de alcanzar la cuota mínima del 20% de energía de energía procedente de fuentes renovables en el consumo final bruto de la Unión Europea. Este Decreto establece una cifra similar para España además de otra cuota mínima del 10% de energía procedente de fuentes renovables en el consumo de energía del sector del transporte.

En este aspecto, los avances de España la conducen hasta la fase de desarrollo, una vez ya completada la de lanzamiento del proyecto, lo que significa que el país experimentó una crecida de la presencia de energías renovables desde el 6,3% correspondiente al año 2004 hasta el 13,9% del 2018.

Con el fin de contribuir a la consolidación e integración de este tipo de energías, existen ciertas medidas que se llevan a cabo desde las administraciones, entre las que se encuentran la simplificación de los trámites burocráticos para las instalaciones de energías renovables y para los proyectos de I+D+i relacionados con las mismas, la autorización de construcción de plantas de generación más pequeñas que las habituales o la adaptación del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión de España (REBT).

Para concluir con el tema de las energías renovables en España, es importante mencionar el impacto económico de las mismas para el país. El Programa de Energías Renovables (PER) estima un impacto considerable que se verá incrementado por la reducción progresiva de los costes de este tipo de producción de energía.

Para entender la situación económica de estas energías, en el gráfico a continuación, en la *Ilustración 27*, se muestra la evolución de los precios de las mismas en comparación con la estimación de precio de generación eléctrica del mercado diario. De esta manera, se entiende que las energías renovables tendrán un precio competitivo cuando su curva cruce con la curva discontinua que representa esa estimación de precio de generación eléctrica, lo que corresponde a los años 2023-24 para el caso de la energía solar fotovoltaica.

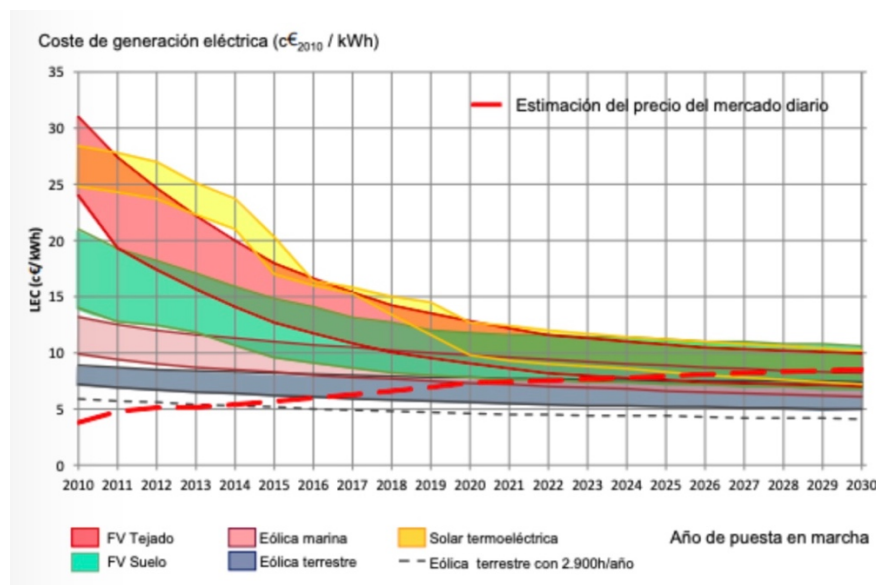


Ilustración 27: Estimación de la evolución del coste de producir energía según fuente

3.3 TECNOLOGÍA DE BOMBEO SOLAR

El éxito de este tipo de tecnologías está justificado por la gran rentabilidad que ofrecen y por la durabilidad y la fiabilidad que tienen sus instalaciones. Además, proporcionan una gran versatilidad ya que pueden adaptarse a una gran variedad de necesidades de bombeo.

Como ya se ha comentado con anterioridad en este documento, la energía solar es un tipo de energía fluctuante, pero los objetivos de este proyecto se adaptan correctamente a este inconveniente ya que, al igual que la irradiación, la necesidad de abastecimiento varía a lo largo del día y del año. Coincide que, tanto la ganadería como la agricultura que abarca este proyecto, necesitan más cantidad de agua cuando más potencia fotovoltaica hay disponible.

El bombeo solar de agua es una actividad ideal para aplicarla en sistemas aislados que ha demostrado ser efectiva desde sus inicios y que indudablemente se encuentra en una etapa de desarrollo y crecimiento. Existen estudios que han demostrado que el bombeo fotovoltaico puede ser competitivo en el mercado actual, enfrentándose a la tecnología eólica y a la tecnología tradicional del diésel, especialmente en instalaciones de tamaño no muy grande que trabajen en el intervalo de [200-1500] m⁴/día (estas unidades, aunque puedan parecer extrañas, son muy útiles para expresar el tamaño del ciclo hidráulico ya que representan un volumen de agua {m³} multiplicado por la altura que se le proporciona {m}, durante un determinado espacio de tiempo). Las evidencias de la competitividad están expuestas de forma resumida en la *Tabla 3*.

Tabla 3: Comparación de instalaciones de bombeo según la fuente de energía empleada

Tipo de sistema	Ventajas	Inconvenientes
Manual	Bajo costo con fácil mantenimiento de una tecnología simple.	Bajo caudal. Consume tiempo y energía del operario, baja productividad
Solar	Bajo mantenimiento de un sistema de larga vida útil. Versátil, adaptable a cada necesidad particular.	Coste inicial moderadamente alto. Producción dependiente de la radiación solar.
Diésel	Inversión inicial moderada. Instalación portátil. Mucha trayectoria y experiencia en el mercado	Mantenimiento complicado. Combustible costoso. No es una tecnología limpia ni silenciosa.

Aunque cabe mencionar que los valores indicadores de este mercado varían día a día aumentando el margen de competitividad para los sistemas de bombeo fotovoltaicos debido a una adición de factores:

- Subida de precios gradual de los combustibles fósiles causada por su escasez y porque la dificultad para extraerlos es cada vez mayor. Además de las restricciones legales que se van imponiendo a su uso.
- Descenso del coste de los módulos fotovoltaicos, lo que causa que haya disponibilidad de sistemas de mayor potencia a menor precio.

3.3.1 APLICACIONES DE UN SISTEMA DE BOMBEO SOLAR

Las aplicaciones más comunes de los sistemas de bombeo solar son:

1. Aplicaciones agrícolas.

Este es el empleo más extendido de los sistemas de bombeo fotovoltaico ya que, igual que la radiación solar, la necesidad de agua para cultivos tiene una gran variación estacional. Esta necesidad durante el año puede variar desde los 100m³/ha/día en los meses de verano hasta unos volúmenes próximos a cero en los meses lluviosos.

2. Aplicaciones ganaderas o en zonas rurales.

El abastecimiento de agua para consumo humano en zonas rurales o consumo de animales de granja tiene una característica de demanda más constante a lo largo del año en comparación con la de la agricultura. En este caso los consumos en animales de granja pueden oscilar entre 50 litros/día para un caballo o 0.1 litros/día para un ave de corral, mientras que los consumos humanos dependen de la localización, las actividades y el estilo de vida, pudiéndose estimar entre 20 y 40 litros/día cada persona.

Capítulo 4. DEFINICIÓN DEL TRABAJO



4.1 MOTIVACIÓN

Este proyecto, que tiene como base una ciencia mecánica (más específicamente hidráulica y de máquinas eléctricas) incluye, además, unas pinceladas de economía y planificación de inversión en cuanto a que tiene un trasfondo de comparación de viabilidad de proyectos, de análisis de ciclos de vida, etc. Todo ello conforma y aporta una mezcla de los aspectos, para mí, más atractivos de las obras que puede realizar un ingeniero y de las que, con el tiempo, puede sentirse más orgulloso.

Otro de los aspectos que hace de éste el proyecto más interesante de todo el grado y, por tanto, el ideal para concluirlo es que tiene aplicación real. El hecho de que no se trate del “problema número 7” de la hoja de ejercicios, sino que sea una búsqueda de una solución real, tangible, hace que todo el proceso resulte mucho más atractivo a un alumno que lleva haciendo problemas dentro de un aula desde niño. La puesta en el papel de ingeniero que “sale” al mundo real, analiza carencias y propone soluciones que, gracias a sus años de preparación, sabe que son viables y eficientes, supone un gran estímulo y algo así como la razón que da sentido a esos años de esfuerzo que, por fin, dan lugar a sus frutos.

Estas ideas precursoras junto con las siguientes, que se expondrán en el apartado *Parte I4.2 Justificación*, muestran razones lógicas y subjetivas que animan a emprender un proyecto de esta naturaleza y a las que se suma el sentimiento que tengo de pertenencia al lugar donde se inspira la renovación, el centro ecuestre Cerro Tablado.

Esta finca representa mucho para mí en lo personal porque ha sido, y sigue siendo, el lugar en el que llevo invirtiendo mi tiempo ocioso desde hace varios años. Además, las personas que lo forman y por las que funciona son muy especiales, por lo que considero que la realización de este proyecto es una forma original en la que puedo mostrar mi agradecimiento por todo lo que significa para mí su centro y lo que he vivido en él.

4.2 JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

En lo relacionado con la motivación objetiva para la realización del proyecto, en primer lugar, es importante destacar el papel de los trabajos y proyectos de renovación en el futuro próximo. Una idea cautivadora que supone una razón para dar viabilidad a este proyecto es que éste se basa en la renovación, ya que pretende llevar a cabo una especie de metamorfosis en instalaciones que ya están en funcionamiento, con el objetivo de obtener los mismos resultados de forma más eficiente y limpia basándose en las innovadoras tecnologías que salen al mercado cada día.

El motivo por el que esto es tan importante y el consiguiente deseo de llevar a cabo este proyecto se produjo por la idea de que, en la actualidad, quizá haya ya construidas más instalaciones de las que en un futuro se van a construir. Esta realidad implica que la mayoría de las oportunidades de mercado se hallarán en la renovación de las instalaciones ya existentes. Esta razón, a la larga, no solo se alinea con los objetivos de reducir costes, sino que, además, el hecho de comenzar un proceso de transformación de viejas instalaciones por otras nuevas provocará que tengamos, en general, una industria más eficiente y competitiva, a la par que sostenible y, por tanto, respetuosa con el medioambiente.

4.2.1 RENOVACIÓN DE INSTALACIONES DESDE UN PUNTO DE VISTA TÉCNICO

La primera característica que presenta un proyecto como el que se describe en este documento es que el objetivo de optimizar la instalación se puede alcanzar de una manera más sencilla (o como poco, menos costosa en el ámbito económico) que una que haya que empezar sin ningún precedente. Esto significa que, en un caso como éste, la optimización supone, primero, un estudio de la instalación y, después, un proceso de propuesta de mejoras y de estudio de mercado comparativo con lo ya existente hasta llegar a concretar cuál o cuáles son los elementos por mejorar y por cuál o cuáles se deberían sustituir. Algo muy diferente al proceso que se tendría que realizar para la construcción de una instalación nueva en la que no haya nada que pueda aprovecharse, lo que implicaría más gastos que en el caso primero.

Por tanto, la opción de la renovación de la instalación presenta ciertas ventajas claras frente a una nueva construcción, entre las que se encuentran: la rapidez de ejecución, el factor económico (teniendo en cuenta no sólo el ahorro en inversión para llevar a cabo el proyecto sino también las subvenciones y ayudas que existen para proyectos de este tipo al introducir una forma de energía renovable) y la conservación del patrimonio arquitectónico ya existente.

En este caso concreto en el que se necesita el cambio de la forma de extracción de agua incidiendo en la importancia de la actualización de las energías motoras hacia alternativas más sostenibles, es claro que la renovación supone una inversión de mucho menor riesgo que la del cambio total de la instalación, lo que supondría un ahorro inicial. Además, debido a la antigüedad y poca eficiencia de las bombas y de la forma de energía que se usa actualmente para lograr su funcionamiento (diésel), lo que supondría la realización de este proyecto sería una independencia de energía proporcionada por terceros, al introducir una tecnología solar que permite el autoconsumo, además de la sustitución de la vieja bomba por una nueva que aportaría un rendimiento significativamente superior y, por tanto, una reducción de la potencia demandada.

En particular, las ventajas que presenta la solución propuesta de bombeo solar son: el ahorro energético ya mencionado, el ahorro en mantenimiento en comparación con los generadores de diésel (que están sometidos a unas condiciones que provocan su alto coste en mantenimiento y reparaciones), la alta eficiencia en pozos con poco poder de recuperación (como se ha comentado en la descripción de la tecnología del bombeo solar, éste se caracteriza por la extracción constante de agua pero a un ritmo sostenible, lo que es ideal para pozos con pocos poder de recuperación) y, por último, la posibilidad de establecer una instalación completamente autónoma y motorizada realizada mediante válvulas y que permitiría un ahorro de tiempo y esfuerzo por parte del personal trabajador.

4.2.2 RENOVACIÓN DE INSTALACIONES EN EL MERCADO ACTUAL

En la actualidad, el negocio de la renovación de instalaciones, del que bien podría formar parte este proyecto que se está tratando, es mucho más estable y constante que el de la obra nueva, ya que la opción de la rehabilitación es necesaria tanto en tiempos económicamente favorables como en los más críticos.

Entre las razones para motivar a la rehabilitación energética como la que se propone en este caso, está, principalmente, el ahorro que supone, en primer lugar, el abono coste de la renovación frente a otras opciones y, en segundo lugar, el ahorro en consumo de energía derivado de la nueva instalación. De esta manera, se estima que se pueda ahorrar entre un 20% y un 50% en el consumo de energía y entre un 10% y un 30% en emisiones de CO₂, lo que significa que la inversión inicial podría ser recuperada en los primeros años.

Sin embargo, los beneficios económicos que se obtendrían no son la única razón por la que decidirse por la rehabilitación energética ya que, también, hay que tener en cuenta el impacto positivo en el medioambiente y en la contribución al freno del cambio climático al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Una instalación como la propuesta, alimentada con una energía renovable, supondría también una ventaja para la economía nacional ya que se conseguiría reducir el gasto en importación de recursos energéticos. En el caso de España, el porcentaje de energía que se importa es del 80%, una cifra muy elevada que provoca gran dependencia económica del exterior. Para ilustrar el problema que esto supone, hay que tener en cuenta que, por cada dólar extra en el precio del barril de petróleo, España tiene que abonar 600.000.000€ más, algo insostenible y a lo que la alternativa de las energías renovables y otras formas de autoconsumo viene a paliar. Adicionalmente, el consumo de energía “no limpias” supone multas por parte de la Unión Europea por el incumplimiento de los estándares de contaminación y emisiones.

4.3 METODOLOGÍA

Como se ha introducido anteriormente, para un caso como el que nos ocupa en el que el objetivo principal es la renovación de una instalación para su mejora y optimización, se debe seguir una metodología con unos pasos claros y definidos.

En primer lugar, podría decirse que previamente al inicio del proyecto en sí mismo, estuvo la detección del problema. El lugar donde se plantea la renovación es un lugar que visito asiduamente, por lo que fue fácil localizar la potencial mejora que se podía llevar a cabo. La finca, además de la actividad ecuestre y el cuidado de otras muchas especies de animales, se ocupa de amplias plantaciones de árboles y cultivos, por lo que la duda de cómo se realizaría el riego de aquella hacienda o cómo llegaría el agua hasta los establos surgió de inmediato. Después de este proceso de detección en el que parecía que había un proyecto que podría desarrollarse, el siguiente paso fue la comunicación de la idea al dueño de la finca. De la primera reunión, se pudieron obtener los datos necesarios para confirmar que la renovación no era sólo una opción sino prácticamente una necesidad. Por un lado, hubo un recorrido en el que el dueño pudo mostrar las bombas y explicar que el agua que extraían procedía de un pozo cercano, lo que sirvió para imaginar la instalación al completo y, por otro, reveló que,

en su día, la elección de la bomba no había sido fruto de ningún proceso de reflexión o metodología en concreto, por lo que en este proyecto se podría llevar a cabo uno que, claramente, iba a mejorar la situación existente.

Ya con la decisión de arrancar el proyecto, y dada la naturaleza del mismo, se determinó que la metodología que había que seguir para hallar una bomba que sustituyera a la existente era el análisis comparativo.

Sobre este método cabe destacar que su objetivo principal es el de maximizar resultados y que se quiere conseguir mediante el estudio de semejanzas y diferencias entre varias alternativas o casos. Conociendo, gracias a esa primera reunión, las medidas y datos necesarios acerca de la instalación, se podía calcular las condiciones de operación de la bomba y, por tanto, los requisitos que se buscan para la nueva que la sustituya. A continuación, era el momento de evaluar las ofertas del mercado de manera que, teniendo en cuenta que cubrieran esos requisitos básicos, se pudieran introducir mejoras que podrían ser en el funcionamiento, en el ahorro de costes o en la reducción de agentes contaminantes. Relacionado con este último punto más relacionado con el cuidado del medioambiente, durante ese proceso de investigación, apareció una alternativa que no se había barajado desde el principio pero que, muy rápido, se convirtió en la preferida: bombas alimentadas por radiación solar mediante placas fotovoltaicas. Esta opción, además de introducir la dimensión de sostenibilidad al proyecto, es ideal para el lugar en el que se quiere realizar la renovación por lo que se ha expuesto en el apartado *Justificación y Objetivos*, así que, en seguida, hubo otra reunión con el dueño de la finca para exponerle los avances y presentarle esta nueva alternativa y su justificación, idea que aceptó con entusiasmo por las mejoras que suponían para su centro.

A continuación, se presenta un cronograma del proyecto en el que se facilita la presentación de los diferentes hitos y tareas que se han llevado a cabo para la consecución del mismo.

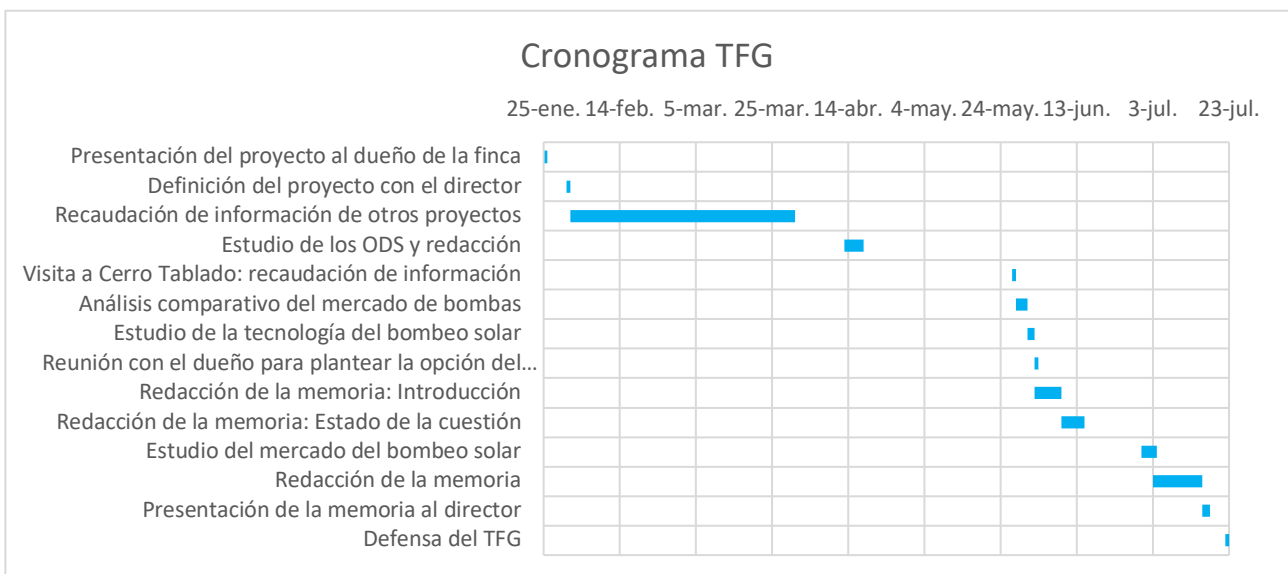


Tabla 4: Cronograma

Capítulo 5. SITUACIÓN ACTUAL



5.1 FINCA CERRO TABLADO

La instalación hidráulica en la que se pretendía trabajar desde el principio se encuentra en la finca ecuestre y granja Cerro Tablado. Es una finca que se encuentra enclavada en el entorno natural del curso medio del río Guadarrama, en el término municipal de Villanueva del Pardillo, Madrid. La *Ilustración 28* ofrece una vista panorámica de las instalaciones de la finca.



Ilustración 28: Finca Cerro Tablado

Este centro está dedicado especialmente al mundo ecuestre, se imparten clases de doma clásica y salto además de ofrecer pupilaje y otro tipo de cuidados. Pero sus limitaciones se extienden más allá del ámbito equino. Esta finca de 18 hectáreas está dedicada también, en parte, a la agricultura: se labra un agro o huerta de 1400 m². Además, se trabaja con una gran variedad de árboles: fresnos, chopos, abedules, pino negro, pinsapos, abetos, tejos, encinas y robles.

Como se ha comentado en el apartado *4.1 Motivación*, Cerro Tablado es un centro que posee gran valor sentimental, motivo por el que se le ha elegido para realizar este proyecto de reacondicionamiento de instalaciones hidráulicas, de forma que puedan reducir sus gastos. Otro de los motivos de este proyecto es que reduzcan también su huella de carbono, algo que les resulta muy interesante ya que se alinea con su ideología ecológica.

5.2 LOCALIZACIÓN

La localización de la de esta finca de abundantes espacios naturales es la siguiente:

- Municipio: Villanueva del Pardillo
- Provincia: Madrid
- Comunidad autónoma: Comunidad Madrid
- Coordenadas geográficas:
 - Latitud: 40°30'34.8"N
 - Longitud: 3°59'25.9"W
 - Altitud: 672m



Ilustración 29: Localización de la finca Cerro Tablado

La situación de la finca se encuentra un poco alejada del núcleo urbano más próximo, lo que dificulta mucho la conexión a la red general. Dicha conexión tendría que ser a través de otras fincas privadas, las cuales no se han mostrado muy por la labor de colaborar hasta ahora. Es por esto por lo que toda la energía eléctrica de la finca se obtiene a partir de unos grupos generadores que funcionan con combustible fósil.

5.3 INSTALACIÓN DE PARTIDA

La instalación actual está dedicada a extraer agua de un pozo y llenar dos depósitos situados en la parte más alta de la finca, desde donde se ha tomado la fotografía de la *Ilustración 28*.

Normalmente, cuando los depósitos se encuentran bajo el nivel mínimo se acciona la bomba, que comienza a llenarlos y no para de trabajar hasta que los depósitos están colmados, en ese momento la bomba se apaga hasta que se vuelva a tener que emplear para llenar los depósitos. Este proceso se repite aproximadamente una vez por semana en invierno y una vez cada tres días en verano, debido a la diferencia de necesidad de abastecimiento que tienen tanto los animales como el campo en las distintas estaciones.

Como se ha mencionado antes, existen dos depósitos cerrados, el primero está dedicado a abastecer de agua a los animales y el segundo está asignado a la irrigación. El segundo dispone de una bomba complementaria responsable de que haya suficiente presión en el sistema de riego para poder abastecer la huerta, mientras que el primer depósito alimenta directamente los bebederos de los animales. El primer depósito no necesita de una bomba para distribuir el agua en su instalación ya que la presión interior a la que está sometido es suficiente para hacer llegar el agua a los bebederos automáticos de las cuadras, de los prados (donde están los caballos sueltos como se puede apreciar en la *Ilustración 30*) y de las jaulas.



Ilustración 30: Prados de Cerro Tablado

5.3.1 BOMBA ACTUAL

La bomba que está actualmente funcionando en la instalación se puede apreciar en la *Ilustración 31*.

Esta bomba está acoplada a un motor de corriente alterna que consume diésel para su funcionamiento.

La adquisición de la bomba fue a través de amistades y por tanto no hay posibilidad de acceder a ninguna ficha técnica ni comprobar ningún dato oficial.



Ilustración 31: Bomba actual

A pesar de todo, se han podido comprobar y contrastar suficientes datos del funcionamiento de la bomba para poder hacer el estudio que se pretendía hacer para este proyecto.

Un dato importante para el estudio comparativo del proyecto es que la bomba se adquirió tras ser usada en una obra, lo que significa que para sustituirla no hay que tener en cuenta ningún tipo de amortización, es como si ya estuviera amortizada.

Los datos que se han podido contrastar de la bomba son los siguientes:

- Empresa: Suárez Maquinaria S.L.
- Marca: Volvo
- Referencia: 0242865/13
- Potencia: 500 KVA
- Consumo: aproximadamente 7000 € anuales en combustible.

Estos datos serán suficientes para realizar el análisis comparativo y para poder encontrar la instalación de bombeo solar que mejor se adapte a las necesidades de la finca. El dato imprescindible es el consumo, ya que sin él no se podría discernir si merece la pena hacer la inversión en la instalación de bombeo solar fotovoltaico o no.

Otros datos como el caudal que se bombea, el rendimiento con el que lo hace o el régimen de funcionamiento de la bomba no son estrictamente necesarios para este proyecto, pero sí que serían interesantes para otro tipo de propuestas de mejora, como por ejemplo tratar de controlar la velocidad de giro con un dispositivo variador de frecuencia que hiciera que la bomba siempre funcione en un punto cercano al punto de máximo de rendimiento o de diseño.

5.3.2 TUBERÍAS ACTUALES

Otro elemento importante que hay que tener en cuenta son las tuberías actuales. El tamaño de las tuberías de PVC que hay en funcionamiento ahora mismo es:

- 23 centímetros de diámetro la tubería desde el pozo a la bomba.
- 63 milímetros de diámetro la tubería desde la bomba al depósito.

Según la nueva instalación, habrá que decidir si es necesario cambiar las tuberías por otras de mayor tamaño, con el coste extra que eso conlleva, o seguir trabajando con las actuales.

Lo ideal sería poder emplear el mismo sistema de tuberías para no tener que adquirir otras nuevas, con el desembolso que implica la compra y la instalación de las mismas.

Empleando la herramienta llamada Epanet, software para el análisis de sistemas de distribución de agua potable, se han diseñado unos planos esquemáticos de la instalación

5.3.3 DEPÓSITOS ACTUALES

De los dos depósitos que se han comentado en la descripción de la instalación, el responsable de abastecer a los animales es un depósito vertical con patas metálicas de 50.000 litros, mientras que, el que está encargado de la irrigación del campo es un depósito horizontal con cunas que tiene una capacidad de 30.000 litros. Un ejemplo de este tipo de depósitos son los que aparecen en la *Ilustración 32* y la *Ilustración 33*.



Ilustración 32: Depósito horizontal con cunas



Ilustración 33: Depósito vertical con patas metálicas

Capítulo 6. DIMENSIONAMIENTO DE LA FUTURA INSTALACIÓN



6.1 DIMENSIONAMIENTO HÍDRICO

6.1.1 DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES DE CAUDAL

Una vez se conozca la radiación solar disponible en la zona, hay que comprobar las necesidades de caudal y de altura de la instalación para poder dimensionar la bomba correctamente.

Para el caso de estudio, se trata de conocer el caudal de impulsión de la bomba teniendo en cuenta que los datos de donde se parte son estacionales. Estas necesidades, que ya se han comentado en el apartado 5.3 *Instalación de Partida*, se pueden reunir como en la *Tabla 5*.

Tabla 5: Consumo de agua diario y mensual

Estación	Días sin rellenar depósito	Volumen de agua al día (m ³)	Volumen de agua al mes (m ³)
Invierno y Otoño	7	11,43	355
Primavera	5	16	480
Verano	3	26,67	800

Para la realización de los cálculos de la tabla anterior se ha hecho la simplificación de contar con un solo depósito hipotético del tamaño de la suma de los dos depósitos reales, de una capacidad total de 80.000 litros.

Las necesidades hídricas provienen de datos proporcionados por la finca, indicando cada cuanto tienen que rellenar los depósitos actuales en función de la estación, ya que las necesidades de irrigación de la huerta y de abastecimiento de agua para los animales varían sustancialmente con la época del año.

El caudal que la instalación requiere en un determinado período de tiempo es uno de los aspectos más importantes para el dimensionamiento de la bomba, puesto que definirá su punto de trabajo y habrá que escoger la bomba en función de este. Puesto que existe una necesidad de caudal que varía con las estaciones habrá que comparar el caso crítico de cada estación para poder dimensionar la bomba para que funcione todo el año.

$$Q_i(m^3) = \frac{\text{Caudal Mes}_i (m^3)}{HSP_i} \quad i \in \{\text{Ene, Feb, Mar ...}\} \quad \text{Ecuación 2}$$

Para poder obtener los resultados de la *Tabla 6* se le aplica a cada mes una demanda de agua mensual en función de la época del año (columna Q (m^3/mes)), después se emplea la *Ecuación 2* con los datos de la *Tabla 5* y los datos de irradiación en la finca cuya obtención y valores aparecen en el apartado 6.4.1 *Cálculo de la Radiación Solar Disponible*. El resultado que se obtiene (columna Q ($m^3/\text{día}$)) representa el caudal que tiene que aportar la bomba cada mes durante sus horas de trabajo; es decir, durante las horas en las que los paneles pueden generar suficiente potencia como para hacer trabajar la bomba.

Como cabía esperar, la irradiación del sol varía según la época del año, pero como se puede observar en la tabla, la necesidad de abastecimiento de agua varía también una forma tan similar que al final, el caudal que tiene que aportar la bomba por hora es prácticamente el mismo. Por esta razón la aplicación de la tecnología fotovoltaica tiene tan buenos resultados en el bombeo solar, porque las restricciones de una van de la mano de las necesidades de la otra.

Tabla 6: Caudales propulsados por la bomba para los meses de 2015

Año	Mes	Días	HSP/Mes	Q (m^3/mes)	Q (m^3/h)
2015	Enero	31	150,85	355	2,35
2015	Febrero	28	127,91	355	2,78
2015	Marzo	31	167,47	480	2,89
2015	Abril	30	186,89	480	2,57
2015	Mayo	31	220,9	480	2,17
2015	Junio	30	212,91	480	2,25
2015	Julio	31	232,1	800	3,45
2015	Agosto	31	224,7	800	3,56
2015	Septiembre	30	193,31	480	2,48
2015	Octubre	31	141,96	355	2,50
2015	Noviembre	30	143,6	355	2,47
2015	Diciembre	31	123,83	355	2,87

Para poder visualizar más fácilmente lo que pretenden representar los datos de *Tabla 5* se ha realizado un gráfico que representa, para los datos del año 2015, en una serie la cantidad de radiación solar aprovechable por la bomba, y en la otra serie, el caudal necesario para cada mes según su variación estacional.

En la tabla misma se podía sacar la conclusión de que el mes crítico era agosto, por requerir una cantidad de litros por hora de agua mayor que el resto de los meses, pero en la gráfica de la *Ilustración 34* se puede comprobar visualmente que este mes, a pesar de tener mucha radiación disponible, también tiene una necesidad hídrica elevada y que es el mes que más justa lleva esa relación.

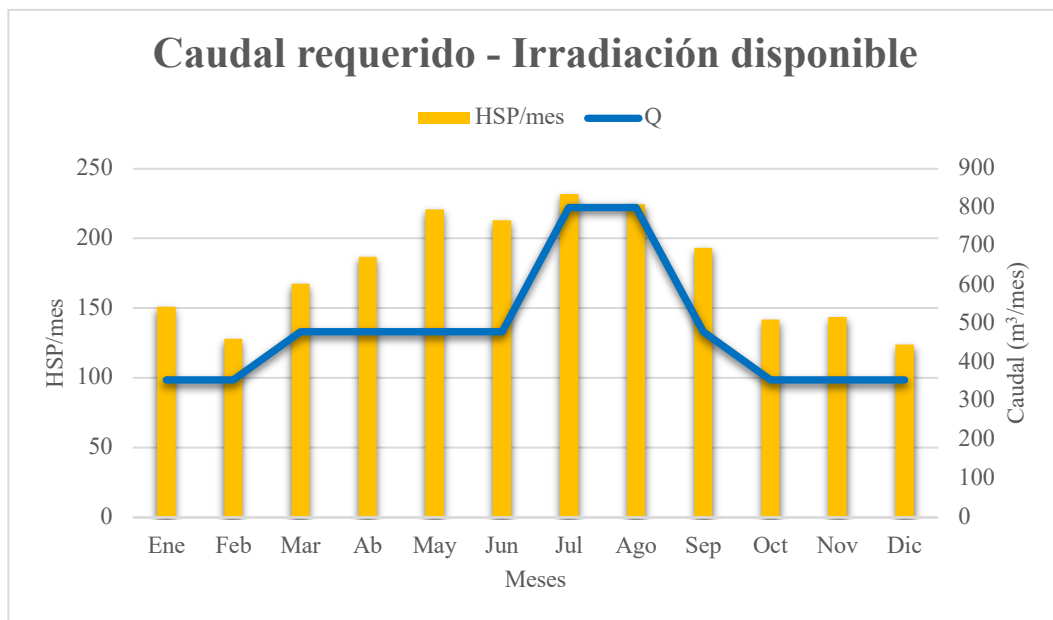


Ilustración 34: Volumen de agua necesario cada mes en función de la irradiación disponible en la finca

Como conclusión entonces, se puede obtener que la situación crítica se da en el mes de agosto, en la que se le exige a la bomba la propulsión de $3,56 \text{ m}^3/\text{h}$ durante las 7,25 HSP del día. Es por ello por lo que ese valor de caudal es el que se va a emplear en el dimensionado de la bomba.

6.1.2 DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES DE ALTURA

Como ya se ha explicado antes en el apartado 2.2.2 *Curvas Características de una Bomba Hidráulica*, cada bomba tiene una curva característica que representa su comportamiento, simbolizando cada punto de la curva un punto de funcionamiento definido por un caudal y una altura manométrica. Si bien cada bomba tiene su curva característica, cada instalación también tiene la suya, y el punto de trabajo está siempre definido por el corte entre ambas como se puede apreciar en la *Ilustración 35*.

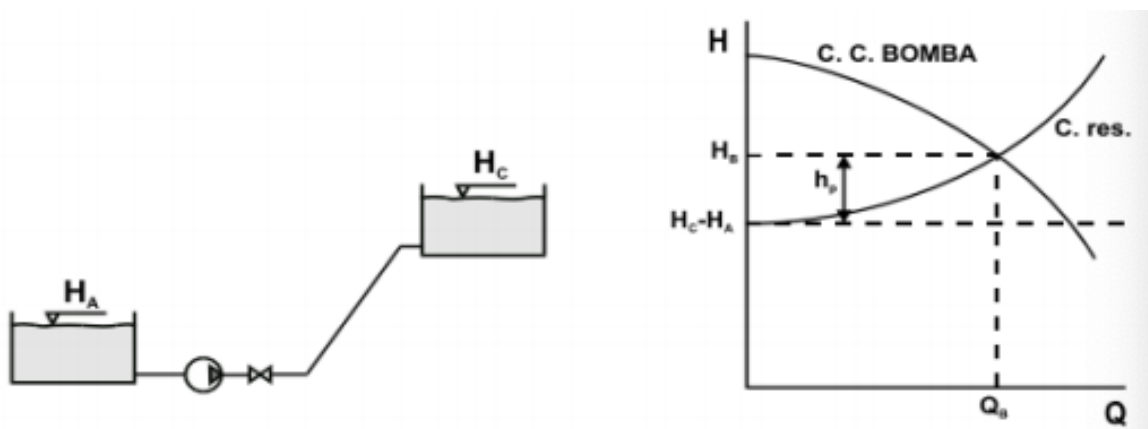


Ilustración 35: Punto de funcionamiento de una bomba

Para terminar de definir la bomba hace falta conocer la altura que le aporta la bomba al fluido para el caudal que necesita la instalación, y eso se determina con la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{P_A}{\rho \cdot g} + \frac{v_A^2}{2 \cdot g} + z_A + H_{Bomba} = \frac{P_C}{\rho \cdot g} + \frac{v_C^2}{2 \cdot g} + z_C + H_{pérdidas} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

- P son las presiones expresadas en Pascales.
- v son las velocidades expresadas en m/s.
- z son las alturas de los depósitos expresadas en metros.
- ρ y g son la densidad del fluido y la aceleración de la gravedad respectivamente.

Para poder aplicar la ecuación de Bernoulli a la instalación en cuestión hay que estudiar bien los datos de la misma, cuyo esquema se puede apreciar en el *Plano 01* del *DOCUMENTO N° 2: PLANOS*. Los datos de la instalación son:

- $P_A = 0$ aplicando el método de presiones relativas, como el pozo está abierto a superficie, la presión es nula.
- $z_A = 0$ se coloca el origen de coordenadas en la superficie libre del pozo.
- $v_A = 0$ en la superficie libre del pozo el fluido está estático.
- H_{Bomba} será la altura proporcionada por la bomba.
- $P_C = 0$ la presión, a pesar de ser un depósito cerrado, se considerará nula para facilitar los cálculos.
- $z_C = 130$ altura del segundo depósito.
- $v_C = 0$ ídem punto A.
- $H_{Pérdidas}$ El valor de este elemento de la ecuación tiene cierta dificultad y por ello requiere de un apartado aparte para su cálculo.

Por tanto, aplicando la *Ecuación 3* a la instalación, obtenemos que la altura que proporcione la bomba para el caudal definido en el apartado anterior tiene que ser relativamente superior a 130 metros.

6.1.2.1 Cálculo de las pérdidas hidráulicas en la instalación

Las pérdidas de carga se producen en todas y cada una de las instalaciones debido a que se trabaja con un fluido no ideal. El efecto de estas pérdidas se refleja en pérdidas de presión. Nunca tomarán forma de pérdida de velocidad ya que la velocidad sólo depende del caudal y la sección de la tubería, nunca de las pérdidas.

En las instalaciones se pueden dar dos tipos de pérdidas:

1. Pérdidas por rozamiento: es el tipo de pérdidas que se dan en una tubería debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que lo conduce.
2. Pérdidas secundarias: este tipo de pérdidas son debidas a circunstancias peculiares como puede ser la entrada a un depósito, el paso por una válvula, un estrechamiento, etc.

- Pérdidas por rozamiento.

Antes de ponerse a calcular las pérdidas por viscosidad hace falta saber si el flujo es lineal o turbulento:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$Re = \frac{1000 \cdot \frac{3,56}{3600} \cdot 63 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot (63 \cdot 10^{-3})^2} \cdot \frac{4}{0,001} = 19.985,59$$

Existen diferentes criterios sobre cuándo acaba la zona de flujo lineal y cuándo comienza la del flujo turbulento, pero de todos ellos se puede extraer la conclusión común de que a partir de un Reynolds de 4.000 el flujo es turbulento y por tanto las tuberías de la instalación son recorridas por flujo turbulento.

Las pérdidas de carga con altos números de Reynolds dependen de un coeficiente de fricción f o λ , el cual se puede hallar con la fórmula de Colebrook:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \right) \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

- λ es el factor de fricción, incógnita de la ecuación.
- k es la rugosidad relativa, que para una tubería de PVC tiene el valor de 0,0015 mm.
- D es el diámetro de la tubería.
- Re es el número de Reynolds calculado anteriormente.

El resultado que se obtiene de aplicar la *Ecuación 5* con los datos de la instalación es que los coeficientes de fricción de la tubería pozo-bomba y bomba-depósito respectivamente tienen un valor de $f_1 = 0,025902$ $f_2 = 0,025935$.

Una vez obtenido el coeficiente de fricción, las pérdidas se calculan con la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ecuación 6}$$

- Pérdidas secundarias.

$$h_v = K \left(\frac{c^2}{2g} \right) \quad \text{Ecuación 7}$$

Las pérdidas de carga secundarias o localizadas son las debidas a elementos singulares de la tubería como pueden ser entradas a depósito, codos, válvulas, etc. Donde:

- h_v es la pérdida hidráulica en elemento específico.
- K es un coeficiente determinado cuyo valor depende del elemento.
- c es la velocidad del fluido antes o después del elemento, dependiendo del caso.
- g es la aceleración de la gravedad.

Los coeficientes K que existen en la instalación aparecen con sus respectivos valores en la *Tabla 7*:

Tabla 7: Coeficientes de pérdidas secundarias

Tipo de singularidad	Coeficiente K	Denominación en la ecuación
Emboque	0,5	K_1
Codo 90°	1,1	K_2
Válvula abierta	0,1	K_3
Entrada a depósito	1	K_4

Con todo ello, la suma de todas las pérdidas en la instalación será igual a suma de la *Ecuación 6* y la *Ecuación 7*.

$$H_{Pérdidas} = \frac{v_1^2}{2 \cdot g} \cdot f_1 \cdot \frac{L_1}{D_1} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \cdot (K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + f_2 \cdot \frac{L_2}{D_2})$$

El resultado de la suma de todas las pérdidas de la instalación es $H_{Pérdidas} = 0,23$ m.

**Los cálculos de las pérdidas de carga se han realizado empleando el caso crítico de mayor caudal, en el que las pérdidas son las mayores de todo el año.*

6.1.2.2 Determinación de la Potencia nominal de la bomba

Conociendo ahora el caudal y la altura de la bomba se puede estimar la potencia que consumirá en su punto de trabajo con la fórmula siguiente:

$$Pot_e = \frac{\rho g Q H}{\eta_B \cdot \eta_M} \quad \text{Ecuación 8}$$

Suponiendo un rendimiento hipotético del conjunto motor-bomba del 60% aproximadamente, queda una potencia consumida de $Pot_e = 2,5$ kW.

Esta es una aproximación que se hace para poder discernir entre las diferentes opciones de bombas que ofrecen las empresas.

6.1.2.3 Determinación del tipo de bomba

En el apartado 3.1 *Tecnología Hidráulica* se comentaron los tipos de bomba que se suelen emplear para este modelo de instalaciones y este apartado estará dedicado a la elección del tipo de bomba que más le conviene a la instalación en cuestión.

Normalmente, para este tipo de instalaciones, las empresas suelen ofrecer dos tipos diferentes de bombas: centrífugas y de desplazamiento positivo.

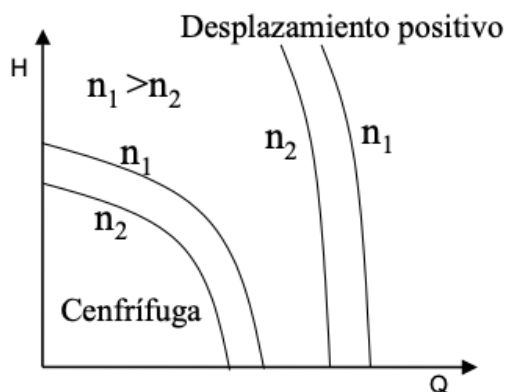


Ilustración 36: Curvas características generales

En la gráfica de la Ilustración 36 se puede observar una comparación entre los tipos de bombas mencionados antes. Lo más característico de las curvas de las bombas de desplazamiento positivo es que proporcionan un caudal prácticamente constante que depende de la velocidad de la bomba, pero no de la altura que proporciona la bomba. En cambio, las bombas centrífugas tienen unas curvas altura-caudal variable.

Además, según los catálogos puestos a disposición por los fabricantes, los puntos de máximo rendimiento (también llamados puntos de diseño) de las bombas centrífugas se encuentran en puntos de trabajo de alto caudal y poca altura, mientras que los puntos de diseño de las bombas de desplazamiento positivo representan puntos de caudales pequeños y alturas mayores.

Como conclusión se puede sacar que las bombas de desplazamiento positivo están diseñadas para propulsar caudales menores a grandes alturas y por tanto son las adecuadas para trabajar en las condiciones de la instalación de estudio.

6.1.2.4 Elección de la bomba

Debido a la profundidad del pozo y el régimen de trabajo necesario, se ha decidido que la bomba tiene que ser de desplazamiento positivo y por tanto se estudiarán las diferentes opciones que ofrece la empresa Lorentz para bombas sumergibles helicoidales como la de la *Ilustración 37*, en la que se puede ver la instalación de una de estas bombas por operarios de la empresa.

Tras estudiar todas las gamas de bombas que ofrece Lorentz, se ha llegado a la conclusión de que el modelo que satisface las necesidades de altura y caudal es el llamado *PS4000 C-SJ3-32*, cuya ficha técnica se incluye en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** En esa ficha técnica se puede observar que el caudal máximo es de 4,2 m³/h, el cual es válido para todos los meses del año e incluso deja un poco de margen viable por si se da alguna época con irradiación baja. Además, se puede comprobar también que la altura que proporciona este modelo cubre las necesidades de superar la altura del pozo y llegar a llenar depósito.



Ilustración 37: Instalación de una bomba sumergible helicoidal Lorentz



Ilustración 38: Conjunto motor-bomba PS4000 C-SJ3-32

6.2 DIMENSIONADO DEL MOTOR

El motor recomendado por la empresa es el *Motor ECDRIVE4000-C* cuya ficha técnica también aparece en el *ANEXO II – Ficha Técnica de la Bomba*. Es un motor sin escobillas fabricado con materiales de alta calidad como el acero inoxidable *AISI 306* y sin elementos electrónicos con el objetivo de reducir al máximo la necesidad de mantenimiento

6.3 DIMENSIONADO DEL CONTROLADOR

Conociendo la potencia que consumirá la bomba se puede dimensionar el controlador

En la *Tabla 8; Error! No se encuentra el origen de la referencia.* aparecen los datos de los controladores que oferta la empresa Lorentz, dado que ya se conoce la potencia máxima del conjunto motor-bomba, se puede elegir el controlador ideal para la instalación. Puesto que es necesario que el controlador pueda administrar la cantidad de potencia para que la bomba y el motor trabajen alrededor de su punto de diseño, se ha elegido el controlador *PS2-4000*.

El controlador es un elemento de gran importancia para la eficiencia del sistema y por ello hay que prestar especial atención a la hora de dimensionarlo.

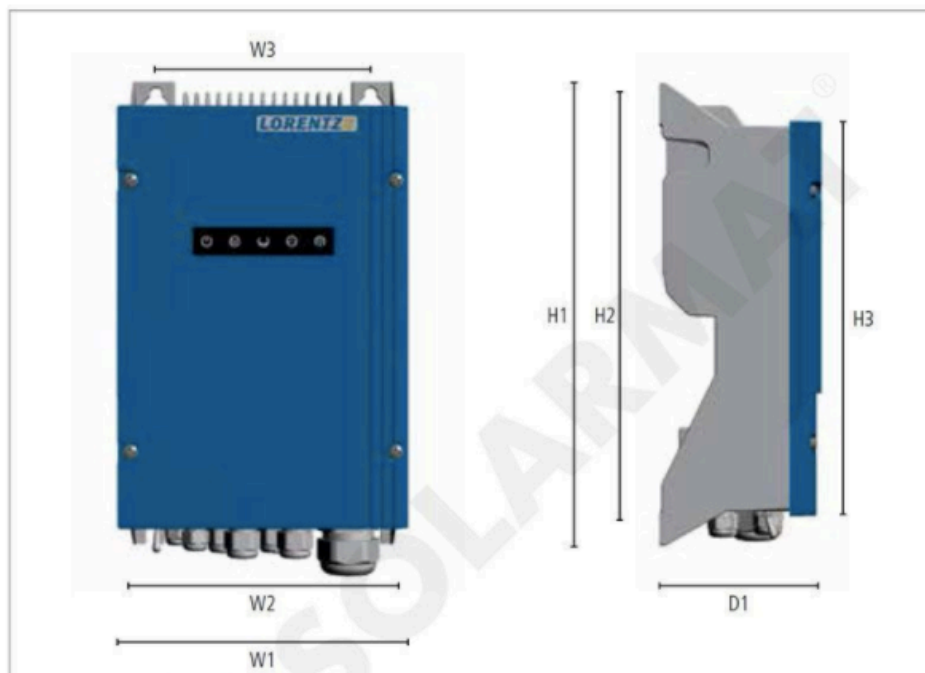
El controlador que se ha seleccionado *PS2-4000* de Lorentz es el encargado de transformar de forma digital la corriente proveniente de los paneles solares para hacer funcionar el motor de la bomba. El aspecto que le hace ser uno de los elementos más relevantes de la instalación es su función de analizar constantemente la entrada de energía solar y computando esos datos para poder optimizar el sistema en conjunto, haciendo que la bomba sea capaz de extraer la máxima cantidad de agua posible.

El funcionamiento de este controlador se basa en el seguimiento MPP (seguimiento del punto de máxima potencia), método que emplea una serie de algoritmos electrónicos específicos del sistema de bombeo que le permite al controlador variar la velocidad de trabajo del sistema para que pueda bombear en todo momento la máxima cantidad de agua en función de la energía solar disponible en cada momento.

Además, la tecnología Lorentz ha dotado a la gama *PS2* de controladores con unas destacables prestaciones tecnológicas. Los controladores *PS2* permiten la configuración y monitorización mediante Bluetooth, concediendo la posibilidad de comunicación remota para conocer el estado e historial de bombeo. Se puede, por tanto, realizar un seguimiento real del estado de la instalación mediante un Smartphone a través de la aplicación PumpScanner. Una utilidad directa que se le puede dar a este sistema en la instalación de estudio es, por ejemplo, controlar el llenado de los dos tanques para saber cuándo actuar sobre la válvula para que deje de llenar un tanque y comience a llenar otro.

Tabla 8: Modelos de controladores Lorentz

Modelo	PS2-150	PS2-200	PS2-600	PS2-1800	PS2-4000
Potencia (máx.)	300 W	300 W	700 W	1800 W	4000 W
Tensión de entrada (máx.) Voc CC	50 V	100 V	150 V	200 V	375 V
Corriente de entrada (máx.)	22 A	11 A	13 A	14 A	14 A
Tensión de salida PWM 3 fases	4 - 36 V	10 - 60V	10 - 60V	30 - 130 V	60 - 240V
Eficiencia	Máx. 98 %				
Temperatura ambiente	-10 ... 50 °C				
Carcasa	Carcasa exterior IP 68 (NEMA 6P) Cubierta de aluminio de fundición a presión revestida de pintura electrostática Carcasa de aluminio de fundición a presión con disipador de calor integrado				



Dimensiones en mm [pulgadas]							Peso en kg [libras]
W1	W2	W3	H1	H2	H3	D1	
207	170	164	352	333	300	124	4,5
[8,15]	[6,69]	[6,46]	[13,86]	[13,11]	[11,81]	[4,88]	[9,9]

6.4 DIMENSIONAMIENTO SOLAR

Este apartado está dedicado al estudio del emplazamiento y sus características con el objetivo de determinar cual es la opción de mercado que mejor se adapta a las necesidades del problema.

6.4.1 CÁLCULO DE LA RADIACIÓN SOLAR DISPONIBLE

El sol produce una cantidad de energía constante que, al llegar a la atmósfera, pierde parte de su potencia debido a diferentes factores. Existe una constante solar llamada potencia radiante que tiene el valor de 1367 W/m^2 que es lo que en teoría debería llegar a la superficie terrestre, pero debido a fenómenos atmosféricos, a la distancia entre la Tierra y el Sol, a la actividad humana y a otros tantos motivos más, este valor se reduce y varía dependiendo del momento y el lugar. Por este motivo, para poder efectuar una instalación solar hace falta estudiar bien el lugar donde plante hacer.

Para determinar la potencia solar que llega a la finca se ha empleado una herramienta proporcionada por la Comisión Europea llamada *Photovoltaic Geographical Information System*. Introduciendo unas coordenadas en la aplicación, ésta devuelve los datos irradiación y de temperatura en ese lugar durante los años desde el 2005 hasta el 2016. El estudio que se ha hecho con esta herramienta ha concluido que a lo largo de los años las magnitudes ambientales medidas han permanecido relativamente constantes y próximas a los valores del año 2016, cuyos valores aparecen en el *ANEXO I – RADIACIÓN SOLAR*

Para poder llevar a cabo la construcción de la instalación correctamente no solo es necesario conocer la irradiación recibida en el lugar, es igual de importante conocer la cantidad de luz que incide sobre cada plano geométrico, para saber con qué inclinación hay que colocar los paneles; es decir, hay que tener en cuenta la geometría solar.

Diseñar la inclinación de los paneles solares en base a la geometría solar se hace mediante al azimut. El azimut solar es el ángulo que se forma entre la dirección sur y la proyección de la luz del sol en el plano horizontal, como viene indicado en la *Ilustración 39* con el ángulo φ . También hay que tener en cuenta para el diseño de la inclinación de los paneles el ángulo cenital, representado en la *Ilustración 39* como θ , que indica el ángulo de la radiación sol respecto a la dirección vertical. El ángulo cenital indica la cantidad de atmósfera que atraviesa la radiación antes de llegar a la placa, de forma que cuanto mayor sea el ángulo cenital mayor será la masa de aire a atravesar por la radiación (como aparece en la *Ilustración 40*, donde AM significa masa de aire) y por tanto, mayor cantidad de energía se pierde por el camino.

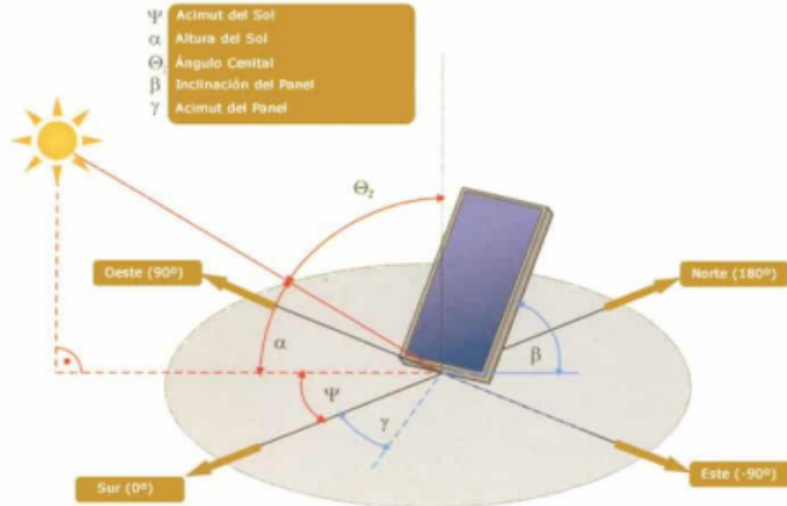


Ilustración 39: Geometría del Sol

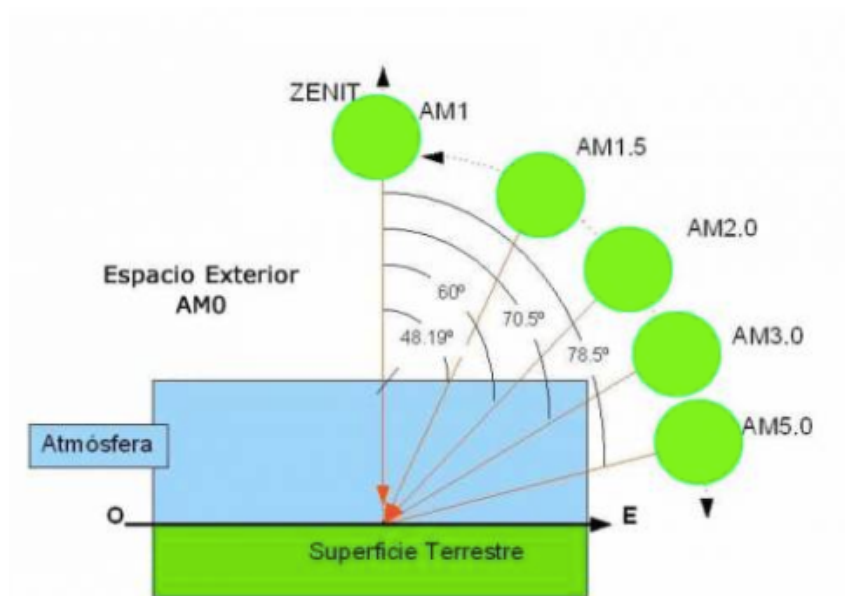


Ilustración 40: Geometría del Sol II

Como se puede observar, la elección de la inclinación de los paneles sigue una ciencia un tanto compleja. Hay que pensar diseñar para un ángulo cenital lo suficientemente pequeño para aprovechar la radiación con menor AM, pero también tiene que ser lo suficientemente amplio como para abarcar un intervalo de funcionamiento amplio. Además, hay ejecutar un diseño que produzca un azimut solar adecuado para todas las estaciones del año, buscando siempre una buena perpendicularidad media a la radiación solar.

En la *Ilustración 41* se puede observar un ejemplo de cómo calcular los ángulos con los que situar los paneles con una latitud determinada (según la latitud de la zona el círculo de los porcentajes de radiación cambia). Suponiendo que se ha diseñado para un azimut de 45° (representado con la línea discontinua entre las direcciones sur y oeste) y una inclinación de 30° (representado por el tercer círculo concéntrico más pequeño), queda una irradiación natural recibida del 90% (obtenida en el cruce entre la línea discontinua y el tercer círculo).

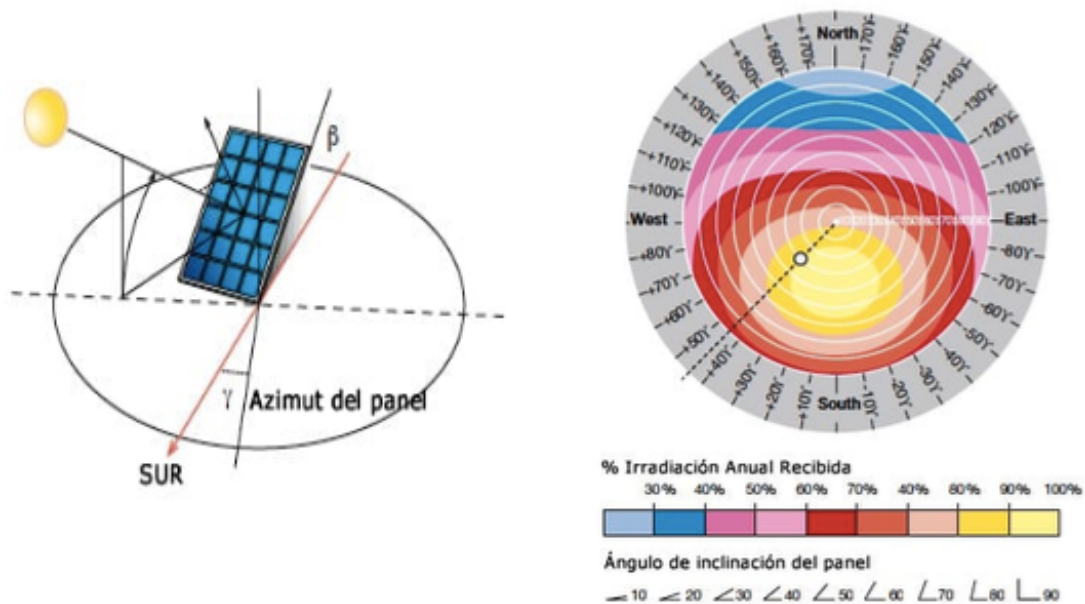


Ilustración 41: Ejemplo de cálculo de radiación solar disponible

6.4.2 MANEJO DE LAS HORAS DE SOL PICO

Este concepto de la radiación solar es clave para el diseño de una instalación fotovoltaica y hay que tener claro como emplearlas. Las horas de sol pico ocurren en un intervalo de tiempo como el que se puede observar en la y se caracterizan por ser las horas que reciben más de 1kW/m^2 , de forma que, si se cumplen el resto de los valores de operación estándar, un sistema fotovoltaico generaría su potencia pico. Por tanto, calcular la potencia generada por un panel de forma aproximada es tan fácil como multiplicar el número de HSP (Horas Solares Pico) por la potencia pico del panel.



Ilustración 42: Horas Solares Pico

Para la puesta en práctica hay conocer bien el sistema que se desea instalar. El caso que se está estudiando en este proyecto es el caso de un sistema aislado y toda la instalación tiene que estar pensada como tal. Al ser un sistema aislado, la bomba solo trabajará durante las horas de sol, siempre y cuando los paneles suministren la suficiente potencia para hacerla funcionar, por eso es tan importante el estudio de las HSP a lo largo del año a la hora de dimensionar la bomba y los paneles.

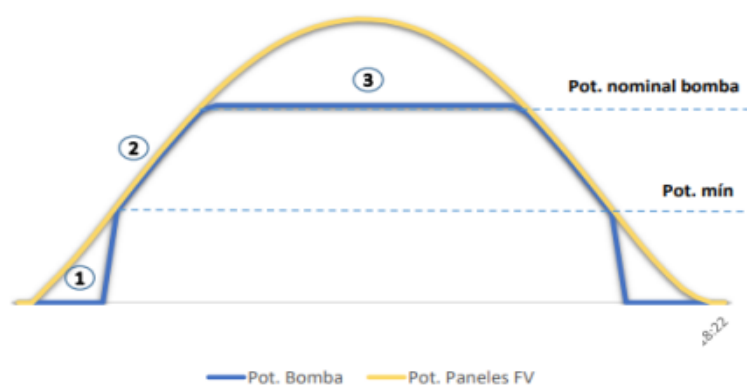


Ilustración 43: Potencia solar a lo largo del día

En la *Ilustración 43* puede observarse cómo varía la potencia generada por los paneles a lo largo del día, siguiendo un ciclo exacto al solar. La potencia de la bomba sigue otro ritmo, que se puede resumir en tres fases diferentes según vienen numeradas en la figura:

- Primera Fase: la bomba se encuentra parada porque es demasiado temprano y no llega suficiente irradiación a los paneles para que éstos abastezcan a la bomba.
- Segunda Fase: los paneles absorben suficiente luz como para generar la potencia mínima para poder arrancar la bomba, comienza una fase en la que la potencia de la bomba va creciendo hasta llegar a su potencia de trabajo.
- Tercera Fase: se entra en la franja horaria de irradiación máxima, donde los paneles generan más potencia de la nominal de la bomba mientras que la bomba trabaja a pleno funcionamiento consumiendo constante su potencia nominal.

El que aparece representado en la *Ilustración 50* es un caso ideal, válido para un día soleado, algo que no se corresponde para cualquier día del año y por tanto no representa una idea válida en la que basar los cálculos de dimensionamiento. Para realizar el dimensionamiento hay que tener en cuenta la potencia que los paneles podrían desarrollar en un día nublado y el régimen de la bomba para dicho ejemplo, el cual se ha representado en la *Ilustración 44*.

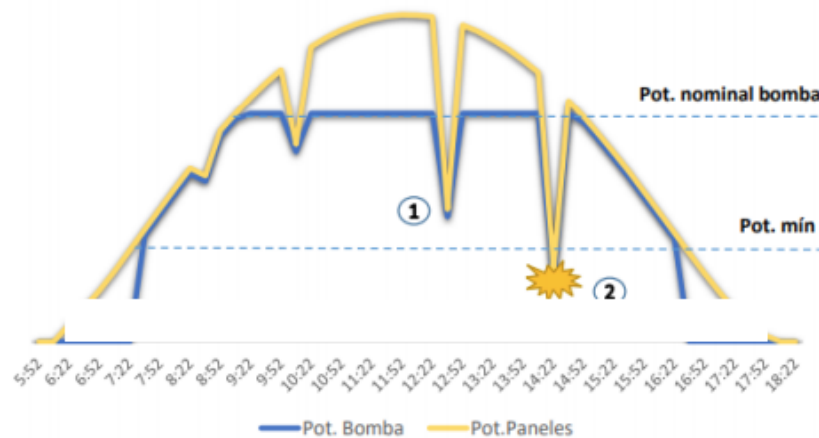


Ilustración 44: Potencia solar a lo largo de un día nublado

Como se puede observar en la figura anterior, para el cálculo de tiempo para el que la bomba esté operativa, no solo hay que tener en cuenta el principio y el final del día, hay que contar con que una nube puede aparecer y bajar la frecuencia de la bomba llegando incluso hasta a pararla si la generación de los paneles cae por debajo de la potencia mínima.

6.4.2.1 Horas de Sol Pico en Cerro Tablado

Empleando la herramienta *Photovoltaic Geographical Information System* se han obtenido los datos de la *Tabla 9*, que recoge los datos mensuales y diarios medios de irradiación en la finca Cerro Tablado.

Estos datos están expresados en HSP que, como se ha explicado antes, es parte del método de cálculo de generación y consumo de potencias en la instalación puesto que representan el número de horas al día o al mes en las que el sol transmite a las placas 1kWh/m^2 o más y, por tanto, el número de horas en las que los paneles están generando su potencia nominal.

Tabla 9: Distribución de irradiación mensual y diaria media del año 2015

Año	Mes	Días	HSP/Mes	HSP/Día
2015	Enero	31	150,85	4,87
2015	Febrero	28	127,91	4,57
2015	Marzo	31	167,47	5,40
2015	Abril	30	186,89	6,23
2015	Mayo	31	220,9	7,13
2015	Junio	30	212,91	7,10
2015	Julio	31	232,1	7,49
2015	Agosto	31	224,7	7,25
2015	Septiembre	30	193,31	6,44
2015	Octubre	31	141,96	4,58
2015	Noviembre	30	143,6	4,79
2015	Diciembre	31	123,83	3,99

6.4.3 DIMENSIONAMIENTO DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS

6.4.3.1 Inclinación de los Paneles Fotovoltaicos

Teniendo en cuenta todos los conceptos tratados hasta ahora y utilizando la herramienta fotovoltaica de la Comisión Europea anteriormente mencionada, se procede al dimensionamiento de los paneles fotovoltaicos.

En el *ANEXO I – RADIACIÓN SOLAR* aparecen los conjuntos de datos recogidos en la *Tabla 9* y la *Tabla 12*, que son el resultado de emplear la herramienta *Photovoltaic Geographical Information System*. La aplicación devuelve los datos de la radiación recibida mensualmente durante los años del 2005 al 2016 en dos columnas diferentes, cada una para una inclinación de los paneles. La primera columna representa los datos para una inclinación que introduce el usuario (40°, por ejemplo), mientras que la segunda columna simboliza los datos para la inclinación óptima (la inclinación óptima resultante es 35°). La inclinación óptima la elige la herramienta en función de los datos que maneja y representa la inclinación con la que se deberían haber construido los paneles para aprovechar de la mejor forma la radiación solar en esas coordenadas determinadas. Un ejemplo gráfico para el año 2016 en específico está representado en la *Ilustración 45*, donde se aprecian las diferencias entre el ángulo de ejemplo y el de 35° elegido por la aplicación.

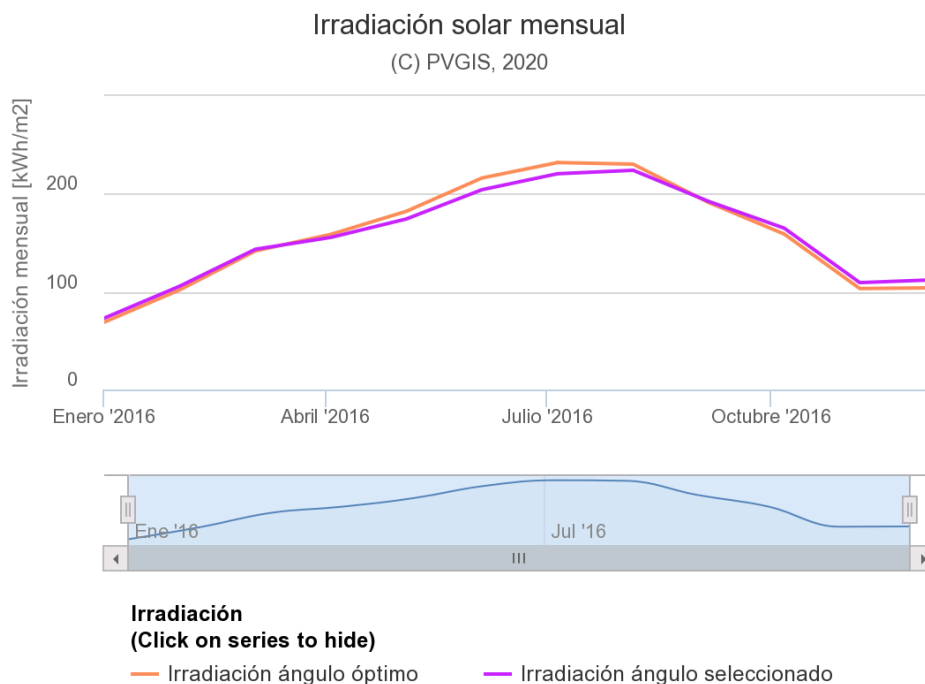


Ilustración 45: Representación de datos de irradiación del año 2016 en Cerro Tablado

6.4.3.2 Número de Paneles Fotovoltaicos

El número de paneles fotovoltaicos requeridos por la instalación va en función de la potencia que requiera la bomba para propulsar cierto caudal a una determinada altura, entre otros parámetros de la instalación que tratarán en los próximos capítulos.

Los módulos fotovoltaicos, cuyas propiedades se explicaron en el apartado 2.3.1 *Componentes de Los Sistemas Fotovoltaicos*, están relacionados estrechamente con el variador de frecuencia y esa relación está regida por las siguientes restricciones:

- El número de módulos se determinará por el cociente de tensión del variador entre la tensión de los módulos.
- La potencia generada por los módulos será igual al número de módulos multiplicado por la potencia que genera cada uno.
- La potencia total generada debe superar la demandada.
- Las tensiones de los módulos no deben superar la tensión del variador.
- La intensidad de los módulos no debe superar la del variador.

Tabla 10: Diferentes módulos solares Lorentz

Modelo	Wp (W)	Amperios pico (A)	Voltios pico (V)	Nº Células
LC100-M36	100	5,72	23	36
LC150-P36	150	8,5	22,7	36
LC155-P36	155	8,57	23,6	36
LC205-M72	205	5,9	45,8	72
LC250-P60	250	8,81	37,6	60
LC260-P60	260	8,83	37,9	60
LC300-P72	300	8,8	45,1	72

En la *Tabla 10* aparecen reunidos los datos de los módulos solares que ofrece la empresa Lorentz con sus respectivas características. Para tomar la decisión del número de módulos diferentes hay que tener presente el pliego de condiciones mencionadas antes. Hay que averiguar el número de módulos necesarios que cumplan con las dos siguientes condiciones en concreto:

- La tensión de los módulos tiene que alcanzar la tensión del variador (Para el caso del variador *PS2-4000* la tensión a alcanzar es 375V).
- La potencia generada por los módulos tiene que superar la demanda (Para el caso del conjunto motor-bomba *PS4000 C-SJ3-32* la potencia nominal es 4,5 kW)

Se ha empleado la *Tabla 11* para averiguar el número de módulos necesarios para el sistema de bombeo solar. Las dos condiciones mencionadas antes corresponden a las columnas segunda y tercera, que representan el número de módulos para cada modelo necesarios para cumplir con dichas condiciones. La más restrictiva es la condición de la potencia y es la que se acaba imponiendo.

Tabla 11: Cálculo del número de módulos necesarios para cada modelo

Modelo	Nº Módulos que cumplen V	Nº Módulos que cumplen P	Nº Módulos Necesarios
LC100-M36	16,30	45,00	45
LC150-P36	16,52	30,00	30
LC155-P36	15,89	29,03	29
LC205-M72	8,19	21,95	22
LC250-P60	9,97	18,00	18
LC260-P60	9,89	17,31	17
LC300-P72	8,31	15,00	15

Con el objetivo de averiguar cuál es la solución óptima para la instalación se ha dibujado la gráfica de la *Ilustración 46*, donde se representa el número de módulos para cada modelo frente a el tipo de modelo. El eje x está representado de tal forma que a medida que se avanza en esa dirección va aumentando el precio de cada modelo de forma proporcional (siendo el modelo LC100-M36 el más barato y LC300-P72 el más caro). Por ese motivo, se elige la opción de adquirir 18 módulos del modelo *LC250-P60* porque se encuentra en el codo de la gráfica, lo que indica que es donde se encuentra el equilibrio entre número de módulos y precio.

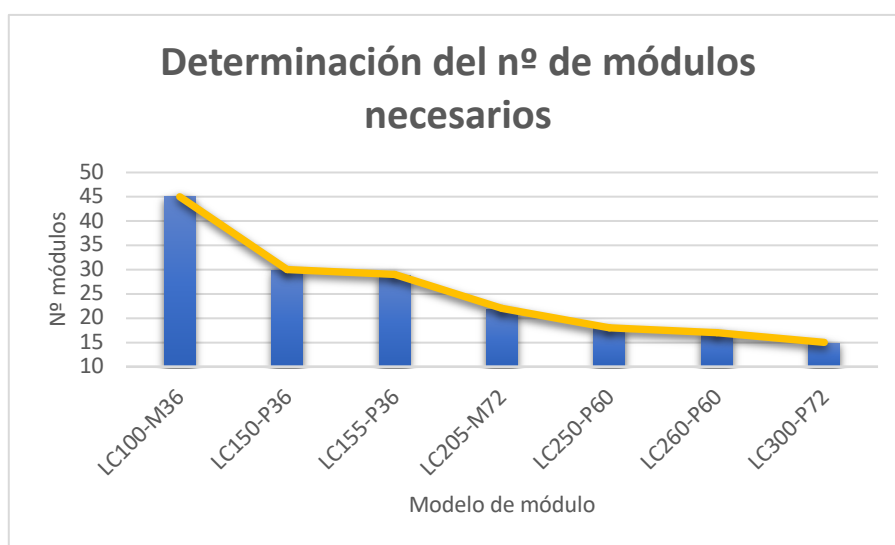
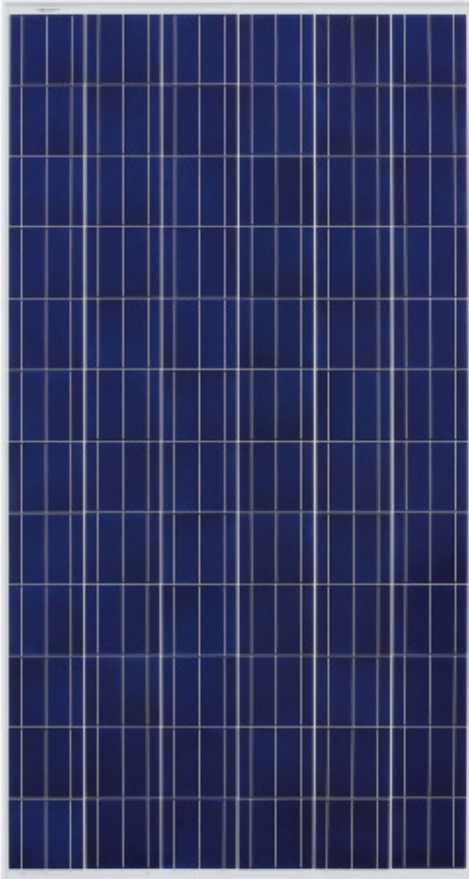


Ilustración 46: Representación del número de módulos en función del modelo



La conclusión que se obtiene de este apartado es que se ha decidido obtener, para la generación de energía eléctrica de la instalación hidráulica de la finca, paneles solares formados por 18 módulos del modelo *LC250-P60* con 60 células fotovoltaicas cada uno.

La eficiencia de los módulos es del 15,27% y los datos técnicos de la *Tabla 10* están expresados para condiciones estándar.

Estos módulos de alta calidad han conseguido certificaciones ISO y aprobaciones de organismos como CE e IEC, además, la empresa respalda esta calidad con una garantía de 25 años.

Sus dimensiones son:

- Longitud: 1650 mm.
- Ancho 992 mm.
- Espesor 35 mm.
- Superficie 1,64 m².

Ilustración 47: Panel fotovoltaico Lorentz

Capítulo 7. ESTUDIO ECONÓMICO



7.1 ACTIVO FIJO

1. Costes Directos

- Costes emplazamiento: coste de los componentes + coste de mano de obra de su instalación.
CE = 10921,47 €.
- Costes de no emplazamiento: para este proyecto en el que el terreno y las instalaciones son previas al proyecto, los costes de no emplazamiento son nulos.
CNE = 0.

$$CD = CE + CNE = 10.921,47 \text{ €}.$$

2. Costes Indirectos

$$CI = 0,25 \cdot CD = 2.730,37 \text{ €}.$$

7.2 INVERSIÓN TOTAL

1. Inversión

$$INV = CD + CI = 13.651,84 \text{ €}.$$

2. Subvención

En lo que respecta a las ayudas económicas, en España, se ofrecen subvenciones por inversión en instalaciones de autoconsumo de energía eléctrica ya que contribuyen a la consecución del Objetivo 7 de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, como se explica en el *ANEXO III – OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE*. Dentro de estas subvenciones, pueden encontrarse dos categorías principales: por un lado, las que se dan sobre el precio de la instalación, que dependen de la comunidad y cuya cuantía alcanza desde los 3000€ hasta los 4500€ y, por otro, las que se dan sobre impuestos del Estado, que se otorgan a nivel municipal aplicando sobre el IBI y que suelen estar valoradas en unos 1500€. En el caso específico de la Comunidad de Madrid, donde se plantea la implementación de esta instalación, las subvenciones descritas en primer lugar, cubrirían hasta el 30% del presupuesto total. Por otro lado, las descritas en segundo lugar, se aplican en un 50% sobre el IBI de 3 años.

Es decir, aplicando estas reducciones para el caso de la finca de Cerro Tablado, según el Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid número 292 del viernes 7 de diciembre de 2018, concediéndose la ayuda correspondiente al Plan de Impulso de Instalaciones de Autoconsumo Fotovoltaico de la Comunidad de Madrid, “se recibirá un incentivo que ascenderá al 30 por 100 del importe suma de la compra de materiales y el coste de instalación”. Lo que supone una financiación de 4095,55 €. Para el caso del IBI,

como se ha mencionado, la reducción correspondiente por la instalación de paneles solares en la Comunidad de Madrid es de un 50% que se aplicará durante los primeros 3 años.

$$\text{Subv} = 4095,55 \text{ €.}$$

3. Inversión total

Teniendo en cuenta que, para este proyecto, no se tienen que añadir costes intangibles y de I+D+i la cantidad de la inversión total será igual a la cantidad de la inversión menos la reducción proporcionada por la subvención.

$$\text{INV}_T = \text{INV} - \text{Subv} = 9.556,29 \text{ €.}$$

Debido que la vida útil de los componentes de la instalación es de aproximadamente 25 años, se ha elegido este periodo de tiempo como el periodo de amortización tal que $N = 25$ años.

7.3 EVOLUCIÓN TEMPORAL DEL DINERO

Para el estudio de la evolución temporal del dinero se empleará WACC (coste promedio ponderado de capital), que representa el promedio entre el coste de la deuda y el de fondos propios.

$$\text{WACC} = C_d \alpha_d (1-t) + C_p (1-\alpha_d) \quad \text{Ecuación 9}$$

Para el caso de estudio, la inversión se realizará íntegramente por los dueños de la finca sin contar con inversiones externas, lo que implica que el coeficiente α_d es nulo, lo que implica que el coste de la deuda (C_d) también es nulo y el valor del WACC solo depende de los fondos propios (C_p).

7.4 ÍNDICES DE RENTABILIDAD

1. Margen Bruto (MB):

- Ingresos (V):
 $V = 0$
- Pagos (P): se tomarán como pagos la cantidad negativa de dinero ahorrada en diésel al no tener que aportar combustible a la nueva instalación.
 $P = -7000 \text{ €/año.}$

$$MB = V - P = 7000 \text{ €/año.}$$

2. Margen Neto (MN):

$$MN = MB - INV_T / N = 6617,75 \text{ €/año.}$$

3. Valor Actual Neto (VAN):

$$VAN = MB \cdot N - INV_T = 165.443,71 \text{ €}$$

4. Tasa Interna de Retorno (TIR):

$$\frac{TIR}{1 - \frac{1}{(1 + TIR)^N}} = \frac{MB}{INV_T}$$

$$TIR = 73,25\%$$

5. Período de Recuperación (PR):

$$PR = INV_T / MB = 1,3652 \text{ años}$$

7.5 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO ECONÓMICO

Las conclusiones de este estudio económico pueden analizarse a partir de los resultados obtenidos de los índices de rentabilidad. El VAN, al resultar mayor que cero, indica que el proyecto es rentable. Por otro lado, el PR, que es significativamente menor a la vida útil de la instalación, confirma la viabilidad económica del proyecto.

Capítulo 8. CONCLUSIONES



El objetivo original de este proyecto contemplaba la idea de estudiar la situación actual de la instalación hidráulica del centro ecuestre Cerro Tablado, con el propósito de formalizar una propuesta de mejora que incluyera el planteamiento de sustituir la bomba actual por otra más moderna y eficiente, basándose el proyecto en el estudio de la instalación y el mercado hidráulico para encontrar dicha bomba.

Tras las primeras visitas a la instalación y un primer estudio del mercado de ámbito hidráulico se llegó a la conclusión de que el tipo de instalación que mejor se adaptaba a las necesidades de Cerro Tablado era una instalación de bombeo solar fotovoltaico.

Las ventajas y desventajas de una instalación de bombeo solar fotovoltaico son las siguientes:

- Ventajas:
 - Instalaciones muy rentables a medio y corto plazo.
 - No existe dependencia de la red general eléctrica ni de otro combustible.
 - Elevada eficiencia y fiabilidad.
 - Larga vida útil.
 - Baja necesidad de mantenimiento.
 - Tecnología limpia y sin ruidos.
 - Alto grado de automatización.
 - Aptitud para ayudas y subvenciones.
- Inconvenientes:
 - Dependencia de las condiciones meteorológicas y del sol.
 - Requieren una gran inversión inicial.
 - Desconfianza e incertidumbre hacia energía renovable.

Como se puede observar, el número de ventajas eclipsa al número de inconvenientes, especialmente cuando las razones que fundamentan los inconvenientes son fácilmente desmontables:

- El problema de la dependencia del sol no se aplica al caso de instalaciones de bombeo fotovoltaicos ya que coincide la época de máxima irradiación con la de máxima necesidad de agua y viceversa.
- Para el caso de estudio, la inversión inicial no representa un obstáculo tan grande ya que es de la misma magnitud que el gasto en combustible.
- La desconfianza en las renovables está infundada, el mercado de renovables es capaz de competir con el de las energías tradicionales.

Además de las ventajas expuestas anteriormente, el planteamiento de una instalación solar fotovoltaica es el más adecuado para la finca Cerro Tablado por otras tantas razones más:

- La conexión de la finca a la red general eléctrica es complicada y costosa, por ese motivo, una solución que pueda funcionar aislada de la red, permitiendo el autoconsumo, supone una gran ventaja.

- La bomba que está en funcionamiento actualmente en la instalación de la finca es una bomba que no está dimensionada para el trabajo que realiza. Fue una bomba adquirida de segunda mano de otra instalación en la que realizaba un trabajo totalmente diferente y que, por tanto, trabaja actualmente en un punto de rendimiento bajo consumiendo excesivo combustible.
- Por último, emplea una tecnología alimentada por energías renovables, limpia y eficiente, factores que constituyen de la misma una propuesta muy atractiva para la finca porque se alinea con sus ideales ecológicos.

Una vez tomada la decisión de basar la propuesta de mejora en una instalación de bombeo solar fotovoltaico se procedió a realizar un estudio para comprobar qué es lo mejor que ofertaban los fabricantes en este ámbito. El resultado de este análisis comparativo entre los distintos fabricantes del mercado fue la elección de la empresa Lorentz.

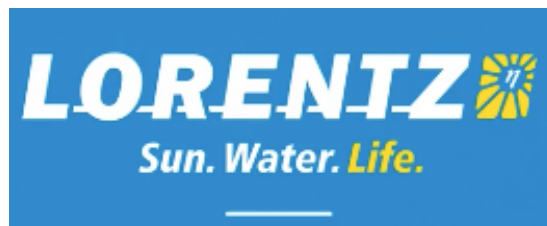


Ilustración 48: Logo empresa Lorentz

Lorentz es una empresa cuya base está en Hamburgo, Alemania. Esta empresa se dedica exclusivamente al diseño y la fabricación de sistemas de bombeo fotovoltaico de alta calidad desde el año 2000.

Una de las razones por las que se eligió esta empresa, además de por su fiable tecnología alemana para fabricar bombas, es por sus controladores. El controlador toma la energía eléctrica generada por los paneles y la convierte en una señal para accionar el motor de la bomba. La ventaja de que todos los componentes de la instalación estén diseñados por Lorentz es que el controlador sabe exactamente cómo se tiene que comportar en todas las condiciones, y por tanto ofrece una instalación con rendimientos excepcionales. Además, el controlador tiene varias salidas y entradas, de forma que se pueden conectar diferentes componentes para aumentar la seguridad y la eficiencia de la instalación. Otra característica clave del controlador Lorentz es que registra todos los datos de forma que el usuario puede acceder a ellos a través de una App desarrollada para Smartphone, ofreciendo así, la posibilidad de monitorizar y gestionar dichos datos de una forma remota y sencilla.

Una vez tomada la decisión de implantar una instalación de bombeo solar fotovoltaico, se pasó a la etapa de dimensionado, comenzando por la bomba.

1. Dimensionado de la Bomba

El correcto dimensionado de una bomba comienza por determinar el punto de trabajo dentro de la instalación, caracterizado por una altura y un caudal.

- Cálculo de la altura:

La altura que tenía que proporcionar la bomba se calculó empleando la Ec. De Bernoulli, que empleaba los parámetros de profundidad del pozo, altura del depósito, pérdidas primarias y pérdidas secundarias.

El resultado que se obtuvo fue que la bomba tiene que proporcionar una altura de 130 metros.

- Cálculo del caudal:

El caudal que tiene que propulsar la bomba está definido como un caudal estacional ya que las necesidades de abastecimiento dependen de la época del año. Esa variación de la necesidad de agua a lo largo del año se puede observar representada en el gráfico de la *Ilustración 49*.



Ilustración 49: Distribución del caudal estacional

El caudal por hora, que es el parámetro que realmente define la bomba, que tendría que proporcionar la bomba queda definido en función del número de horas de sol al día.

2. Dimensionado de los paneles

Para poder dimensionar toda la instalación se hizo un estudio de la radiación recibida en la finca Cerro Tablado a lo largo del año, empleando la herramienta *Photovoltaic Geographical Information System*. Esta herramienta tiene almacenados datos solares desde 2005 a 2016, los cuales aparecen representados en la siguiente imagen.

Se escogieron los datos de 2015 para trabajar con ellos y poder dimensionar los elementos de la instalación. El resultado que se obtuvo fue que el mes crítico, por su elevada demanda, es agosto, y como se puede observar en la gráfica, los datos del año 2015 son extrapolables a cualquier año.

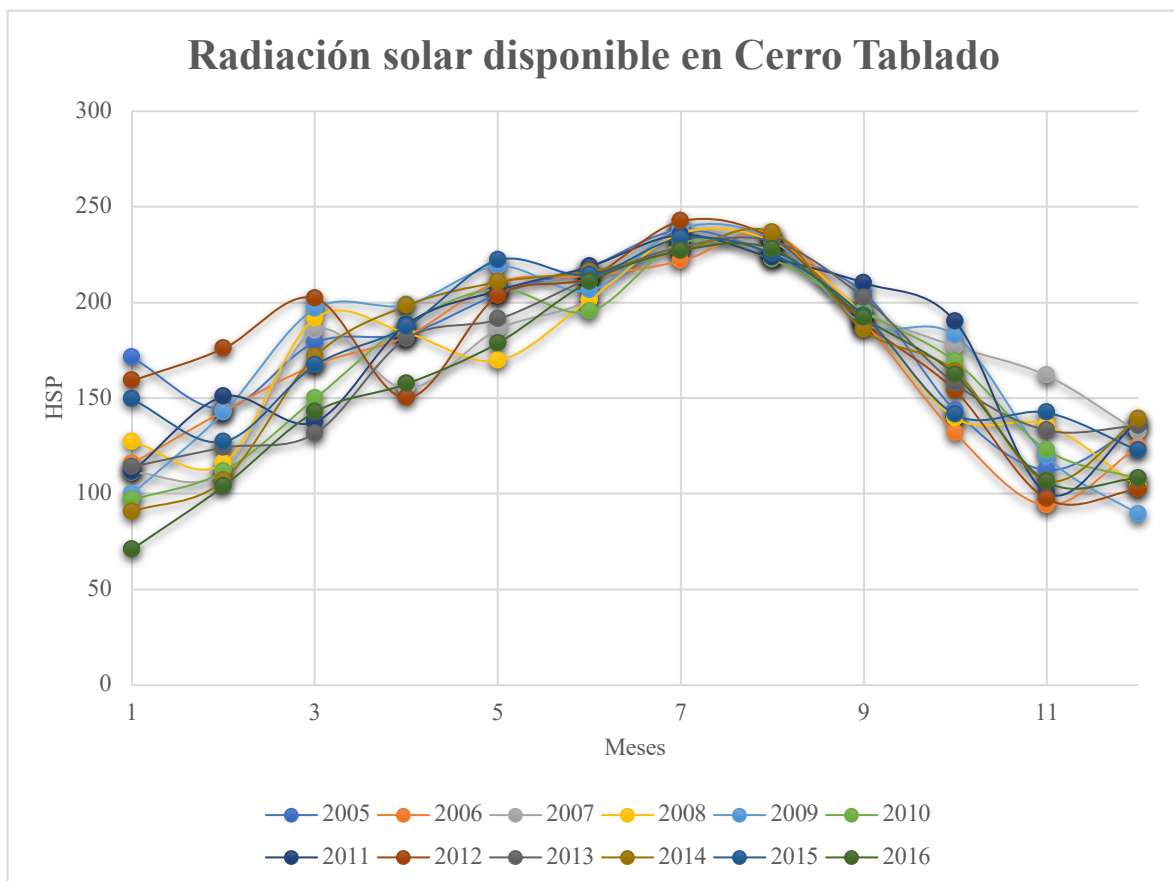


Ilustración 50: Radiación solar en Cerro Tablado entre 2005 y 2016

Empleando estos datos de radiación solar disponible en la finca se llegó a la conclusión de que, con las 7,25 HSP diarias de media en agosto, la bomba tiene que bombear un caudal de 3,56 m³/h, y que para alimentarla hay que colocar 18 paneles de 60 células fotovoltaicas del modelo *LC250-P60* con una inclinación de 35° respecto la horizontal. Con los datos obtenidos de radiación diaria se pudo terminar de dimensionar la bomba y la decisión final fue que la opción que mejor se adapta a las características necesarias es el modelo *PS4000 C-SJ3-32*.

3. Estudio económico

Para comprobar la viabilidad del proyecto se ha realizado un estudio económico basado en escrutar los índices de viabilidad comunes: VAR, TIR y PR.

Como cabía esperar con una instalación de bombeo solar fotovoltaico, los resultados de este estudio son muy favorables, pronosticando que la inversión de la instalación se recuperaría en menos de un año y medio.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [EQCO15] Equipo comunicación, “Al-Jazari, inventor de la ingeniería hidráulica”, EAIC formación y consultoría, agosto 2015.
- [SKIN14] Skinner, S., “Hydraulic Fluid Power – A Historical Timeline”, Steve Skinner Presentations, 2014.
- [MAYS08] Mays, L., “A very brief history of hydraulic technology during antiquity”, Environ Fluid Mech, 2008.
- [HILL96] Hill, D., “A history of Engineering in Classical and Medieval Times”, Routledge, 1996.
- [BERN79] Bernal, J. B., “Historia social de la Ciencia 1”, Ediciones Península, 1979.
- [CARB19] Carbonell, M., “Historia de la energía solar”, HogarSense, 2019.
- [HERN96] Hernández C., Martínez I., Olmos V., “Energía solar fotovoltaica”, Cinco Días, IDAE, Madrid, 1996.
- [MART94] Martínez I., Olmos V., Artigas J., “Energías Renovables en España”, Cinco Días, IDEA, Madrid, 1994.
- [YEPE16] Yepes, V., “Clasificación de las bombas hidráulicas”, Universitat Politècnica de València, 2016.
- [DOMI13] Domingo, J., “Aplicaciones fotovoltaicas en edificios”, Universidad de Jaén, 2013.
- [SANC19] Sánchez, P., “España, el segundo mercado fotovoltaico de Europa durante los próximos 5 años”, PV Magazine, 2019.

- [ALON19] Alonso, J.A., “Radiación, Geometría, Recorrido óptico, Irradiancia y HSP, SunFields, 2019.
- [POLI17] Universidad Politécnica de Madrid, “Gráficos Significativos energía solar fotovoltaica”, Instituto de Energía Solar, Madrid, 2017
- [BARQ2019] Barqueros, A., “Optimización de sistemas de bombeo solar directo”, Trabajo fin de grado, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, 2019.
- [ALON19] Alonso M., Chenlo F., “Sistemas de Bombeo Fotovoltaico”, Departamento de Energías Renovables del CIEMAT, 2019.

ANEXOS



ANEXO I – RADIACIÓN SOLAR



PVGIS-5 base de datos de irradiación geoespacial

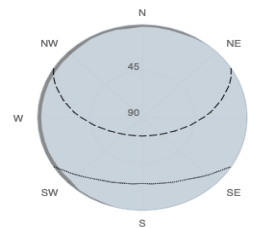
Datos proporcionados

Latitud/Longitud: 40.503, -3.979
 Horizonte: Calculado
 Base de datos: PVGIS-SARAH
 Año inicial: 2016
 Año final: 2016

Variables incluidas en este informe:

Irradiación global horizontal: No
 Irradiación directa normal: Si
 Irradiación global con el ángulo óptimo: No
 Irradiación global con el ángulo °: No
 Ratio difusa/global: Si
 Temperatura media: Si

Perfil del horizonte:



■ Altura del horizonte
 - - Elevación solar, Junio
 - - Elevación solar, Diciembre

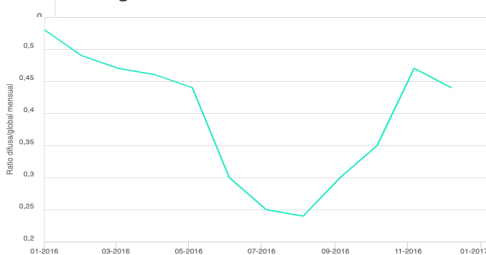
Direct Normal Irradiation

Mes	2016
Enero	58.87
Febrero	84.82
Marzo	120.06
Abril	134.01
Mayo	160.9
Junio	236.46
Julio	266.32
Agosto	257.9
Septiembre	191.05
Octubre	153.35
Noviembre	91.97
Diciembre	103.03

Irradiación solar mensual



Ratio difusa a global medio mensual



Month	2016
Enero	0.53
Febrero	0.49
Marzo	0.47
Abril	0.46
Mayo	0.44
Junio	0.3
Julio	0.25
Agosto	0.24
Septiembre	0.3
Octubre	0.35
Noviembre	0.47
Diciembre	0.44

PVGIS ©Unión Europea, 2001-2020.

Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.

Datos mensuales de irradiación 2020/07/11



Temperatura media mensual



Temperatura media mensual

Month	2016
Enero	6.2
Febrero	5.2
Marzo	6.2
Abril	9.4
Mayo	13.7
Junio	21.1
Julio	25.9
Agosto	25.6
Septiembre	20.8
Octubre	14.8
Noviembre	7.4
Diciembre	5.3

PVGIS ©Unión Europea, 2001-2020.
Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged,
save where otherwise stated.

Joint
Research
Centre

Datos mensuales de irradiación 2020/07/11

Tabla 12: Localización del estudio y ángulo óptimo de los paneles para los años 2005-2016

Magnitud	Valor
Latitud (°)	40.503
Longintus (°)	-3.979
Base de datos de radiación	PVGIS-SARAH
Ángulo de inclinación óptimo (°)	35

Tabla 13: Radiación mensual recibida para un panel inclinado 40° y para un panel inclinado el ángulo óptimo durante los años 2005-2016

Año	Mes	H(i_opt)_m	H(i)_m
2005	Ene	171.34	178.34
2005	Feb	144.6	148.27
2005	Mar	179.05	180.32
2005	Abr	183.5	181.18
2005	May	204.23	199.13
2005	Jun	218.63	211.58
2005	Jul	237.81	230.65
2005	Ago	225.49	221.74
2005	Sep	205.14	205.39
2005	Oct	143.44	145.46
2005	Nov	112.47	115.81
2005	Dic	135.28	141.16
2006	Ene	115.75	119.71
2006	Feb	143.14	146.68
2006	Mar	167.39	168.41
2006	Abr	182.33	180.2
2006	May	210.63	205.5
2006	Jun	214.05	207.48
2006	Jul	221.66	215.28
2006	Ago	235.97	232.05
2006	Sep	189.81	189.8
2006	Oct	131.69	133.64
2006	Nov	94.04	96.68
2006	Dic	124.6	129.81

2007	Ene	111.15	115.0
2007	Feb	111.57	113.68
2007	Mar	185.4	186.85
2007	Abr	154.98	153.04
2007	May	185.92	181.45
2007	Jun	201.41	195.25
2007	Jul	237.06	230.02
2007	Ago	226.22	222.44
2007	Sep	195.3	195.33
2007	Oct	177.08	180.56
2007	Nov	161.81	167.57
2007	Dic	132.31	137.88
2008	Ene	127.25	131.83
2008	Feb	115.93	118.34
2008	Mar	191.75	193.3
2008	Abr	184.1	182.11
2008	May	169.65	165.66
2008	Jun	201.5	195.4
2008	Jul	236.0	229.1
2008	Ago	231.82	228.01
2008	Sep	193.43	193.55
2008	Oct	139.63	141.75
2008	Nov	135.9	140.36
2008	Dic	103.76	107.85
2009	Ene	99.84	103.06
2009	Feb	142.4	145.7
2009	Mar	196.68	198.13
2009	Abr	198.75	196.76
2009	May	218.96	213.6
2009	Jun	206.31	200.02
2009	Jul	238.87	231.71
2009	Ago	232.8	229.1
2009	Sep	188.65	188.65
2009	Oct	182.68	186.13
2009	Nov	119.38	122.94
2009	Dic	89.37	92.72
2010	Ene	96.84	99.69

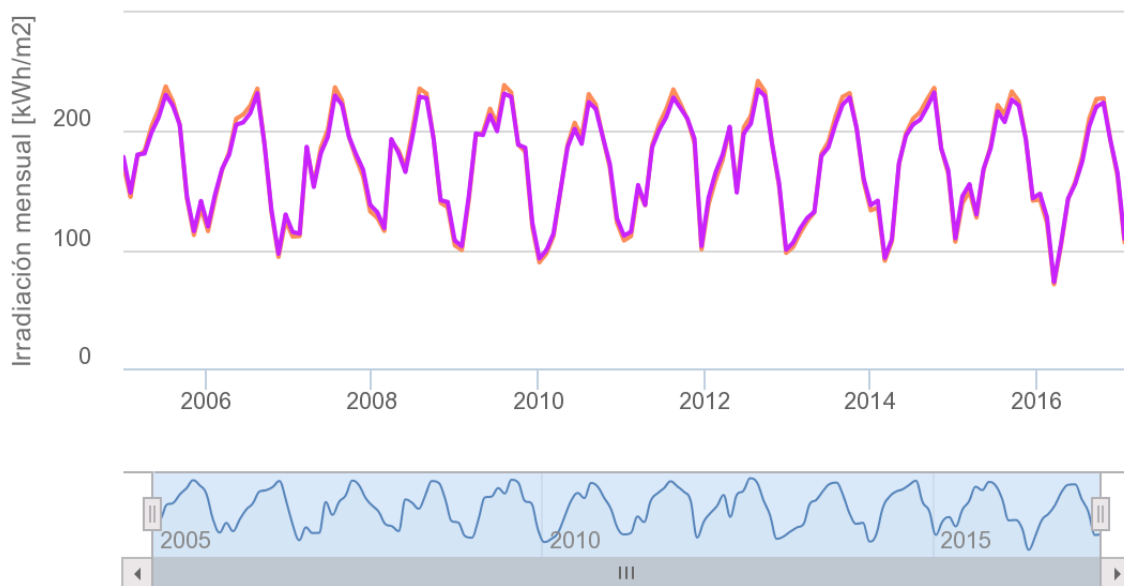
2010	Feb	111.55	113.79
2010	Mar	149.72	150.4
2010	Abr	188.66	186.64
2010	May	207.1	201.9
2010	Jun	195.27	189.43
2010	Jul	231.29	224.45
2010	Ago	222.57	218.93
2010	Sep	194.95	195.14
2010	Oct	169.13	172.28
2010	Nov	122.9	126.65
2010	Dic	107.81	111.93
2011	Ene	111.51	115.26
2011	Feb	150.76	154.62
2011	Mar	137.55	137.87
2011	Abr	188.45	186.51
2011	May	206.24	201.29
2011	Jun	218.68	211.84
2011	Jul	235.28	228.4
2011	Ago	223.36	219.67
2011	Sep	210.24	210.57
2011	Oct	190.08	193.77
2011	Nov	100.41	103.21
2011	Dic	138.22	144.08
2012	Ene	159.07	165.42
2012	Feb	175.92	180.51
2012	Mar	202.23	203.79
2012	Abr	150.06	148.34
2012	May	203.41	198.31
2012	Jun	213.03	206.4
2012	Jul	242.48	235.25
2012	Ago	233.49	229.69
2012	Sep	189.73	189.67
2012	Oct	153.82	156.22
2012	Nov	97.36	99.99
2012	Dic	102.33	106.11
2013	Ene	114.14	118.07
2013	Feb	124.13	126.92

2013	Mar	131.52	132.03
2013	Abr	181.14	179.1
2013	May	191.2	186.49
2013	Jun	212.4	205.82
2013	Jul	229.08	222.4
2013	Ago	232.17	228.46
2013	Sep	202.55	202.61
2013	Oct	157.48	160.1
2013	Nov	133.21	137.64
2013	Dic	135.59	141.44
2014	Ene	90.76	93.26
2014	Feb	106.98	109.06
2014	Mar	171.74	172.95
2014	Abr	198.3	196.26
2014	May	210.66	205.67
2014	Jun	216.16	209.67
2014	Jul	226.96	220.29
2014	Ago	236.58	232.67
2014	Sep	185.54	185.44
2014	Oct	164.04	167.0
2014	Nov	106.85	109.76
2014	Dic	139.07	145.17
2015	Ene	149.41	155.35
2015	Feb	127.25	129.89
2015	Mar	167.14	168.26
2015	Abr	187.25	185.35
2015	May	222.12	216.64
2015	Jun	214.3	207.78
2015	Jul	233.58	226.66
2015	Ago	225.44	221.79
2015	Sep	193.19	193.33
2015	Oct	141.43	143.46
2015	Nov	142.4	147.35
2015	Dic	122.65	127.53
2016	Ene	70.95	72.96
2016	Feb	103.92	105.67
2016	Mar	142.77	143.37

2016	Abr	157.44	155.51
2016	May	178.75	174.38
2016	Jun	210.81	204.29
2016	Jul	227.18	220.6
2016	Ago	227.94	224.13
2016	Sep	192.15	192.29
2016	Oct	162.17	164.95
2016	Nov	106.31	109.25
2016	Dic	108.13	112.16

Irradiación solar mensual

(C) PVGIS, 2020



Irradiación (Click on series to hide)

— Irradiación ángulo óptimo

— Irradiación ángulo seleccionado

ANEXO II – FICHA TÉCNICA DE LA BOMBA

LORENTZ

PS4000 C-SJ3-32

Sistema de bomba inmersa para pozos de 4"

Gama de sistemas

Altura	max. 160 m
Flujo	max. 4,2 m ³ /h

Datos técnicos

Controlador PS4000

- Entradas de control para protección contra operación en seco, control remoto, etc.
- Protegido contra polaridad reversa, sobre carga y temperatura excesiva
- MPPT (Maximum Power Point Tracking) integrado

Potencia	max. 4,0 kW
Voltaje de entrada	max. 375 V
Óptimo Vmp*	> 238 V
Corriente motor	max. 15 A
Eficiencia	max. 98 %
Temp. del ambiente	-30... 50 °C
Modo de protección	IP54

Motor ECDRIVE 4000-C

- Motor CD sin escobillas - libre de mantenimiento
- Llenada de agua
- Materiales Premium, acero inoxidable: AISI 304/316
- Sin elementos electrónicos en el motor

Potencia nominal	3,5 kW
Eficiencia	max. 92 %
Revoluciones motor	900...3.300 rpm
Clase de aislamiento	F
Modo de protección	IP68
Inmersión	max. 250 m

Cabeza de bomba PE C-SJ3-32

- Válvula no retorno
- Materiales Premium, acero inoxidable: AISI 304

Unidad de bomba PU C-SJ3-32 (Motor, Cabeza de bomba)

Diámetro de perforación	min. 4,0 in
Temperatura del agua	max. 50 °C

Normas



2006/42/EC, 2004/108/EC, 2006/95/EC

Meets the requirements of:
IEC/EN 61702:1995,
IEC/EN 62253 Ed.1

El logo refleja la aprobación que ha sido garantizada para este producto familiar. Los productos son ordenados con la aprobaciones específicas que el mercado requiera.

*Vmp: Voltaje máximo de carga bajo STC



BERNT LORENTZ GmbH & Co. KG
Kroegerskoppel 7, 24558 Henstedt-Ulzburg, Germany,
Tel +49 (0)4193 7548-0, Fax -29, www.lorentz.de



Creado por LORENTZ COMPASS 3.0.10.84

Todas las especificaciones e información están dadas con buenas intenciones. Los errores son posibles y los productos pueden estar sujetos a cambios sin ninguna notificación. Las fotografías pueden diferenciarse de los productos actuales dependiendo de los requerimientos y regulaciones del mercado local.

Distribuidor CodeSolar.com Tel: +593 (0) 98-4989688

Sun. Water. Life.

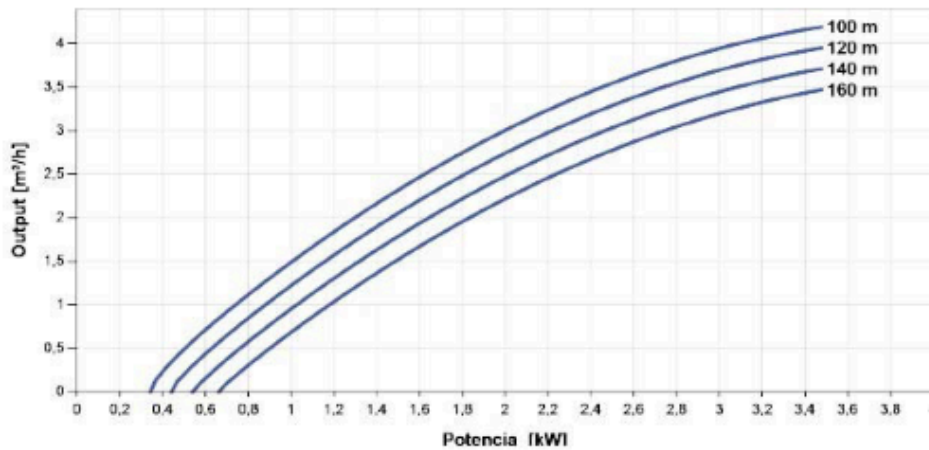
LORENTZ

PS4000 C-SJ3-32

Sistema de bomba inmersa para pozos de 4"

Plantilla de datos de la bomba

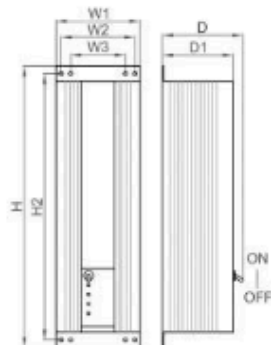
Vmp* > 238 V



Dimensiones y pesos

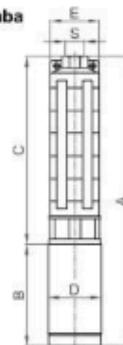
Controlador

H = 595 mm
H2 = 563 mm
W1 = 178 mm
W2 = 156 mm
W3 = 116 mm
D = 165 mm
D1 = 150 mm



Unidad de bomba

A = 1,088 mm
B = 245 mm
C = 843 mm
D = 96 mm
E = 98 mm
S = 1,25 in



	Peso neto
Controlador	9,0 kg
Unidad de bomba	20 kg
Motor	10 kg
Cabeza de bomba	9,5 kg

*Vmp: Voltaje máximo de carga bajo STC

BERNT LORENTZ GmbH & Co. KG
Kroegerskoppel 7, 24558 Henstedt-Ulzburg, Germany,
Tel +49 (0)4193 7548-0, Fax -29, www.lorenz.de

Creado por LORENTZ COMPASS 3.0.10.84

Todas las especificaciones e información están dadas con buenas intenciones. Los errores son posibles y los productos pueden estar sujetos a cambios sin ninguna notificación. Las fotografías pueden diferenciar de los productos actuales dependiendo de los requerimientos y regularizaciones del mercado local.

Distribuidor CodeSolar.com Tel: +593 (0) 98-4989688

Sun. Water. Life.

ANEXO III – OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

1. DESCRIPCIÓN DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) nacieron en el seno de la Cumbre de Desarrollo que tuvo lugar en septiembre de 2015, cuando jefes de Estado y de Gobierno de los países que componen la Organización de las Naciones Unidas (ONU) se reunieron para elaborar un plan de acción para los próximos años a favor de las personas, el planeta y la prosperidad del mismo basándose en el progreso sostenible.

Para la consecución de su objetivo, diseñaron la Agenda 2030 que entró en vigor el 1 de noviembre de 2016 y cuyo título oficial es “*Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*”, dentro de la cual se pueden encontrar los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible además de 169 metas propuestas.

La base para establecer estos objetivos estuvo en los Objetivos del Milenio (ODM), que fueron también promovidos por la ONU y fijados en el año 2000. En este caso, se trataba de ocho propósitos que nacieron con el ánimo de afrontar los mayores problemas de la humanidad.

A diferencia de los Objetivos del Milenio, los Objetivos de Desarrollo Sostenible incluyen nuevos temas y se centran más en aspectos como el cambio climático, la innovación, el progreso económico, la inclusión social y el consumo responsable. Además, los primeros objetivos fueron diseñados para dirigirlos a los países más pobres mientras que los actuales son para aplicación en todos los del mundo.

A continuación, se analizan brevemente los Objetivos de Desarrollo Sostenible que, en conjunto, buscan asegurar el desarrollo social y económico de toda la humanidad además de fomentar la paz mundial y la igualdad de oportunidades.

1. Erradicar la pobreza en todas sus formas.

Este primer punto cubre diferentes aspectos ya que la pobreza es, no sólo un problema en sí mismo sino también la raíz de muchos otros. Por ello, las personas en situación de pobreza no sólo sufren precariedad en la vivienda o en el acceso a alimentos o agua, sino que, además, se ven discriminados por su falta de recursos. Existen 10 indicadores de pobreza que son útiles para valorar el Índice de Pobreza Multidimensional (IPM) y que permiten la clasificación de la pobreza, no sólo por su grado, sino por aspectos básicos en los que esta pobreza crea carencias. Estos diez parámetros, por tanto, se agrupan en tres campos

principales, que son: educación, asistencia sanitaria/salud y calidad de vida de forma que, tras analizarlos, se considera *pobre* a aquella persona que no tiene acceso a, al menos, el 30% de los mismo, En el primer grupo, se analiza no sólo la escolarización de los niños; esto es, si asisten o no a la escuela, sino también si algún miembro de la familia ha completado, al menos, cinco años de escolaridad. El segundo grupo, se ocupa de la mortalidad infantil, comprobando si algún niño ha muerto en la familia y de la nutrición, valorando si algún miembro de la familia está desnutrido. Por último, en el último grupo se analizan diferentes aspectos relacionados con el bienestar social y que son: el acceso en el hogar a electricidad, a un baño con condiciones de salubridad suficiente, a agua potable (que pueda accederse a ella sin tener que caminar más de 30 minutos), a un suelo que no tenga suciedad (que no sea de arena, tierra o estiércol), a combustible de hogar (que no se cocine por necesidad con leña, carbón o estiércol) y a bienes (considerando dentro de éstos: radio, televisión, bicicleta o moto).

La pobreza se ha reducido en un 50% desde el año 2000; sin embargo, actualmente, aún existen 1.300.000.000 de personas pobres y un 46% de ellas de manera “severa”.

2. Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.

En primer lugar, con este punto, se hace referencia a la posibilidad de las personas a acceder a alimentos; es decir, el término *seguridad alimentaria* se refiere a la situación en la que, en un hogar, se asegura en todo momento, el acceso a alimentos en calidad y cantidad suficiente como para tener una vida activa y saludable, atendiendo a una nutrición correcta que permita el desarrollo de las personas, su movimiento y el mantenimiento de sus condiciones internas. Algunos de los obstáculos que se encuentra para garantizar la seguridad alimentaria son: la escasez de agua, la degradación de los suelos, la contaminación atmosférica, el cambio climático, la explosión demográfica y problemas de gobernanta. Es por ello, que en este punto, además, se incluye el fomento de la agricultura sostenible. Este término se refiere a una explotación e los campos que se realice de forma inteligente, con una gestión óptima y sostenible de los recursos naturales que evite la utilización de productos sintéticos que no pueden garantizar la estabilidad y durabilidad en buen estado de los suelos. De esta manera, se busca la obtención de alimentos de elevada calidad nutritiva y sin presencia de agentes perjudiciales para la salud. Adicionalmente, el fomento de este tipo de agricultura, conlleva el impulso de cultivos que pueden reactivar la economía en ciertas zonas marginadas y que garanticen el acceso a alimentos en todo el mundo.

3. Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades.

Según la OMS, el concepto *salud* se refiere a “un estado de bienestar físico, mental y social, con capacidad de funcionamiento, y no sólo la ausencia de afecciones o enfermedades”, por lo que este punto abarca muchos de los demás, al pretender el bienestar de las personas. Adicionalmente, se incluye la preocupación por la alta mortalidad materna y neonatal que deriva de la propagación de enfermedades infecciones y de una deficitaria salud reproductiva.

Por ello, para cubrir los objetivos de este apartado, se deben impulsar iniciativas para erradicar ciertas enfermedades, para dotar de financiación a los sistemas de salud y asegurar el acceso a servicios médicos para todos.

4. Educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida de todos.

Con la adición del término *inclusivo*, se pretende alcanzar un modelo de educación en el que se vean incluidos todos los niños, jóvenes y adultos centrándose, sobre todo, en garantizarlo para aquellos grupos vulnerables a la marginalidad y exclusión social en los que, actualmente, se sufren graves índices de analfabetismo. Este modelo conlleva un proceso transformador orientado a asegurar una educación de calidad a todas las personas por igual y adaptada a las necesidades de cada uno. Las medidas llevadas a cabo para alcanzar este objetivo brindarían la oportunidad a muchas personas en situación de exclusión para la inserción o reinserción en la sociedad. Para acabar con este problema, se debería impulsar la mejora de estado de las escuelas, así como el fomento de la escolarización para conseguir que los más de 265.000.000 de niños que se encuentran fuera de un sistema educativo, logren un acceso al mismo.

5. Igualdad de género.

Es fundamental garantizar la no discriminación por razón de género asegurando las mismas oportunidades y mismo tratamiento en todos los aspectos de la vida. A nivel global, y centrándose en casos más extremos, esto conlleva la erradicación del tráfico sexual y la violencia contra la mujer; sin embargo, también incluye el fin de los problemas de acceso de mujeres a adquisición de propiedades, crédito, toma de decisiones políticas y económicas y empleo con el fin de acabar con la existente feminización de la pobreza que provoca que haya predominancia de mujeres en los índices de pobreza.

6. Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

Como se ha dicho anteriormente, la no disponibilidad de agua compromete la seguridad alimentaria que quiere alcanzarse. La gestión sostenible de los recursos hídricos es fundamental para ello. Por ejemplo, en sectores como la agricultura es de gran necesidad ya que, según la UNESCO, menos del 20% del agua de riego alcanza el cultivo mientras que el resto se desperdicia o está contaminada por sustancias tóxicas. Por otra parte, el fomento de sistemas de regadío para cultivos en zonas en desarrollo como África, en la que sólo un 7% de la superficie de cultivos es de regadío, contribuirían a su actividad económica, seguridad alimentaria y progreso.

Además, otro uso fundamental del agua que debe asegurarse es el doméstico, que incluye la garantía del acceso al agua para el consumo de las personas, así como para la higiene básica. Algo que cabe destacar acerca de este asunto es que, ya en los Objetivos del Milenio, se fijaba la meta de que el 88% de la población pudiera tener acceso a fuentes de agua potable mejoradas, lo que suponía una clara mejora respecto a la situación de 1990, cuando tan sólo el 76% de las personas tenía este acceso. Actualmente, los datos informan de que ya el 91% de la población mundial tiene acceso a una fuente de agua potable mejorada, lo que deja a 663.000.000 de personas sin acceso a alguna de ellas.

Continuando con las metas que ya se propusieron con los Objetivos del Milenio y que también se incluyen en este punto, está la de ampliar el acceso de la población a saneamiento básico pasando del 54% existente al 68% en 2015. Actualmente, con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, se pretende continuar con el avance y lograr el acceso universal a agua potable, saneamiento e higiene.

7. Acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos.

La primera dimensión que quiere abarcar este objetivo es la de *energía asequible*, lo que conlleva acabar con la actual situación en la que, más de 300.000.000 de personas en el mundo se ven obligados a usar combustibles de hogar que resultan nocivos para su salud y que supone que cada año se alcance la cifra de 1.500.000 de muertes como consecuencia de la contaminación del aire debida al uso de ese tipo de combustibles.

La segunda cualidad que se busca para la energía es *fiable*, lo que implica, ya no sólo acabar con la situación del 20% de la población mundial que no tiene acceso a electricidad, sino también con la de un porcentaje aún mayor de personas que tienen que sufrir continuamente cortes de electricidad. Para dar solución a este problema, se debe garantizar una buena gestión e inversión en infraestructura energética.

La razón por la que incluir la cualidad de *sostenible* se entiende cuando se toma en cuenta el crecimiento de la población en partes del mundo en desarrollo va a continuar, lo que conlleva una oleada del consumo y, por tanto, de demanda de energía que debe suplirse. La manera en la que debe generarse la energía debe asegurar que se cubran todas las necesidades de consumo y que progresen las condiciones de vida de las personas; sin embargo, para ello, también habría que buscar que se hiciera de una forma sostenible de manera que la cantidad de energía generada debería ser mucho mayor que los desechos y la contaminación resultantes. Es decir, el progreso y crecimiento de la población no tiene que ser una excusa para el descuido del medioambiente y la producción de energía en cualquier condición. Por ejemplo, el carbón que tan presente ha estado en el sector energético y que, actualmente, aún genera el 40% de la electricidad mundial, no es sostenible ya que, además de no ser renovable, su índice de conversión masa-energía es muy bajo.

Por último, a lo que se quiere referir con el término *moderno* es a que esta energía tendría que estar, idealmente, destinada a las necesidades “modernas” que incluyen un transporte automatizado y tecnología de la información.

8. Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos.

En algunos países, se da la situación de que el hecho de tener empleo no garantiza la ausencia de pobreza o garantiza una vida digna. Este objetivo busca, principalmente, conseguir que todas las personas puedan acceder a un empleo de calidad que garantice un nivel de vida decente. Según la Organización Internacional del Trabajo (OIT): “El rebájalas decente es esencial para el bienestar de las personas. Además de generar un ingreso, facilita el progreso social y económico y fortalece a las personas, a sus familias y a la comunidad”. Actualmente, en una escala global, se estima que, entre los años 2016 y 2030, para garantizar que las personas en edad laboral puedan mantener un ritmo de crecimiento adecuado, se necesitan 470.000.000 de empleos.

Por otra parte, lo que persigue este punto es la abolición de prácticas consideradas contrarias al trabajo decente; es decir, la esclavitud, el trabajo infantil, la explotación y acoso laboral o la economía sumergida.

9. Industria, innovación e infraestructuras.

Estos elementos resultan imprescindibles para la economía de un país que busca el progreso. En especial, la inversión en infraestructuras es un factor esencial para la consecución de una industria más productiva y menos contaminante ya que se sabe que en países con menores ingresos, las limitaciones en materia de infraestructura afectan a la productividad de las empresas en alrededor del 40%. Por otro lado, se precisa mayor reconocimiento y fomento al I+D+i, cuya inversión, a nivel mundial, aumentó de un 1,5% en el 2000 hasta un 1,7% en 2015 y se mantuvo similar en los siguientes años. Sin embargo, esta cifra para regiones en desarrollo no logra alcanzar el 1%. A este respecto, uno de los avances que se quiere conseguir es el de acceso a infraestructuras de comunicaciones, que dejó una cifra en 2019 que representaba que el 96,5% de la población tenía cobertura de red de, al menos, 2G.

10. Reducción de las desigualdades en y entre los países.

Analizando los ingresos del 10% más rico de la población, los datos revelan que estos suman hasta el 40% de los ingresos totales a nivel mundial. Mientras tanto, el 10% más pobre, apenas alcanza el 5% de ese total. Esto, como fuente de desigualdad, supone la necesidad de adoptar políticas que den mayor poder y bienestar económico a esta fracción inferior. El fin de las desigualdades conlleva, además de promover la inclusión económica de todos, reajustar la regulación de los mercados favoreciendo las exportaciones de los países más pobre y reduciendo los aranceles y fomentar la asistencia para el desarrollo.

11. Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.

En la actualidad, la transformación de las ciudades y el porcentaje de la población que se traslada hasta ellas es innegablemente creciente. Según se estima, para 2030 habrá 5.000.000.000 de personas que vivirán en ciudades y, para 2050 se espera que dos tercios de la población mundial residan en centros urbanos. Todo esto significa que el escenario en el que tendrán que verse cumplidos los objetivos propuestos, por lo que reto que supone cumplirlos pasa por asegurar que estas ciudades puedan ser espacios seguros, inclusivos y sostenibles. Todo esto implica que, en las ciudades ya asentadas, se debe mejorar la situación de los barrios marginales, proporcionar un sistema de transporte seguro y eficiente, reducir el impacto ambiental incidiendo en la calidad del aire y la gestión de sólidos urbanos y salvaguardar el patrimonio cultural. Al mismo tiempo, los países menos adelantados deberían recibir ayudas financieras y técnicas para construir edificios sostenibles utilizando materiales locales.

12. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.

Mientras casi 2.000.000.000 de personas en el mundo sufren desnutrición, el mismo número de personas padecen sobrepeso y cada año se desperdician 1.300.000.000 de toneladas de alimentos. Además de esta clara desigualdad, el modelo de producción y consumo actual

lleva a cuentas otras cifras como el 22% que representa las emisiones totales de gases de efecto invernadero y que es debido al sector alimentario.

Dicho esto, este objetivo se resume en buscar la reducción de la huella ecológica planteando una transformación necesaria de los modelos de producción y consumo de bienes y recursos naturales, así como de la forma en la que se eliminan los desechos tóxicos. Para lograrlo, se debería reducir los desperdicios producidos por cada persona en un 50%. Gestos que podrían ayudar a la consecución de este objetivo, son, por ejemplo, el fomento del uso de bombillas de bajo consumo que lograrían un ahorro mundial total de US\$ 120.000.000.000.

13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

Este objetivo, junto con otras alianzas específicas en las que se trata el tema del cambio climático -como el Acuerdo de París aprobado en 2015 en el que se acordó mantener el aumento global de temperatura de este siglo por debajo de los 2°C- buscan frenar el calentamiento global que ha provocado el registro del año 2019 como el segundo más caluroso de la historia, así como unos niveles de CO₂ de récord. El cambio climático altera, no sólo al medioambiente de forma independiente, sino a todas las personas. Por ejemplo, según el Grupo Gubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, por cada grado que aumenta la temperatura, se reduce en un 5% la producción de cereales. Además, como es sabido, es imprescindible frenar el calentamiento global para lograr detener el deshielo de los polos y las inundaciones y consecuencias catastróficas que tendría para la vida tal y como se conoce.

14. Conservar y utilizar de una forma sostenible los océanos, mares y recursos marinos para el desarrollo.

Aspectos que se deben tener en cuenta para conseguir este objetivo son la sobrepesca y la contaminación de los mares que, no son sólo fuente de vida y están presentes en el 75% de la superficie terrestre, sino también esenciales para el comercio y el transporte: 3.000.000.000 de personas dependen de la biodiversidad marina-costera para su sustento y el valor de mercado de sus recursos y su industria de estima en US\$ 3.000.000.000.000 por año, equivalente al 5% del PIB mundial.

Adicionalmente, los océanos absorben alrededor del 30% del CO₂ de origen antropológico y son el hábitat de casi 200.000 especies identificadas que podrían llegar a ser millones incluyendo las que no lo están.

15. Gestionar de forma sostenible los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de la biodiversidad.

Los bosques, agentes imprescindibles para frenar el cambio climático, están presentes en más del 30% de la superficie terrestre. La desertificación es un fenómeno que significa la degradación de los suelos fértiles, de que provoca que pierdan total o parcialmente su potencial de producción y que se da como consecuencia de la deforestación y la sobrexplotación de los acuíferos. La protección de los bosques resulta esencial, ya que, además de cubrir más del 30% de la superficie de la Tierra, albergan al 80% de todas las especies terrestres y alrededor de 1.600.000.000 de personas dependen de ellos para su sustento. Adicionalmente, las soluciones climáticas relacionadas con la protección de la

naturaleza contribuirían en las reducciones de CO₂ propuestas para el 2030 en alrededor de un tercio de las mismas.

16. Promover sociedades justas, pacíficas e inclusivas.

Actualmente, se da la situación en la que, mientras en algunas regiones se puede vivir con la seguridad de que, en ellas, se garantiza la paz y prosperidad, otras sufren un continuo estado de inestabilidad, conflictos y violencia. Esta situación está inevitablemente relacionada con el retraso en el crecimiento económico, lo que no hace más que empeorar la situación. En estas regiones, fenómenos como la violencia sexual, el maltrato infantil, la explotación y los delitos son hechos generalizados y con los que, sus habitantes, se ven obligados a convivir. Para la consecución de este objetivo, es imprescindible fortalecer el Estado de Derecho y reafirmar los Derechos Humanos Fundamentales, así como reducir el comercio ilícito de armas y fomentar la participación de países en desarrollo en instituciones de gobernabilidad mundial.

17. Revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible.

Por último, este último punto pone la responsabilidad de la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en las instituciones y entidades de poder, cuyos tratos y alianzas son esenciales para la puesta en marcha y funcionamiento de estos objetivos. Para ello, se han establecido varios campos en los que las instituciones y países deben colaborar: finanzas, por las que tiene que existir una movilización de los recursos económicos e inversiones hacia países menos adelantados; tecnologías, promoviendo la expansión de las mismas de una forma sostenible y su divulgación en países en desarrollo; comercio, aumentando las exportaciones de países en desarrollo y promoviendo un modelo de comercio basado en normas equitativas y no discriminatorias y, finalmente, cuestiones sistémicas, respetando la independencia de cada país para que tome sus propias decisiones con el fin de alcanzar los objetivos propuestos, así como fomentar las alianzas entre ellos con el mismo fin.

2. ALIENACIÓN DE ESTE PROYECTO CON LOS ODS

Se ha podido apreciar durante la descripción de cada uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible que, aunque es necesario explicarlos independientemente por la evidente importancia que tienen por separado, también es fácil concluir que muchos de ellos están estrechamente relacionados entre sí y que, la consecución de uno de ellos no es posible sin los demás y viceversa.

Por esa razón, con la situación de este proyecto respecto a los objetivos ocurre algo similar y, aunque parezca que está más relacionado con uno en concreto, a continuación, se verá cómo, además, influye en otros.

Este proyecto, que trata de la extracción de agua mediante bombas hidráulicas alimentadas con energía solar fotovoltaica, está claramente en consonancia con el objetivo que busca formas de energía asequibles y no contaminantes. Los elementos que conforman la

instalación que se describe en este documento, permiten su construcción y puesta en marcha en muchos lugares en los que, solamente gracias a ella, se brindaría la oportunidad de acceso a agua (Objetivo 6) de una forma sostenible y accesible (Objetivo 7). Como se ha expuesto en el apartado *Energías renovables*, la energía solar fotovoltaica es una opción ideal para lugares de difícil acceso para las redes de distribución de energía convencionales, por lo que la solución propuesta en este proyecto resulta óptima para esos casos. De hecho, ayudaría a reducir la existente disparidad entre zonas urbanas y rurales entre las que existe una diferencia porcentual entre las zonas urbanas que tienen un 12% de mayor acceso a fuentes de agua frente a las rurales. Todas estas medidas que incluyen la utilización de formas de energía renovables y que buscan la sostenibilidad en la obtención de recursos, influyen lógicamente en la consecución del Objetivo 13, que se preocupa por la detención del cambio climático.

Por otro lado, volviendo a la solución que se propone en este proyecto, se debe encontrar en ella la oportunidad de aplicación en lugares donde actualmente el acceso al agua es inviable. Por tanto, la implementación de una instalación así en lugares como ese no sólo contribuiría al necesario acceso de los hogares a agua, sino que también podría ser precursora de actividades para las que el agua es necesaria, como la agricultura. De esta manera, una instalación como la propuesta sería la oportunidad para la puesta en práctica de agricultura sostenible (Objetivo 2) en esas zonas en las que, antes de esa construcción, no hubiera sido siquiera imaginable. A continuación, el establecimiento de este tipo de actividad agrícola podría servir de sustento a muchas personas que, gracias a ella, podrían tener acceso a alimentos y por tanto a la consecuente mejora de su salud (Objetivo 3) a la vez que podrían tener nuevos ingresos, siendo el primer paso de un crecimiento económico en esa zona que, gracias a ella, podría ser experimentado (Objetivo 8). Por último, dado que lo esperado para cualquier actividad económica de esta época es un modelo de negocio sostenible, esta actividad agrícola descrita anteriormente perseguiría los objetivos de producción y consumo responsables (Objetivo 8) ya que, como se ha dado a entender previamente, podría servir, primero, como fuente de alimento de familias y personas cercanas a la plantación y, más tarde, en caso de excedentes, como producto de comercio.

De esta manera, se crearían plantaciones locales controladas -esto es, no sobrexplotadas- alimentadas a través de una forma de energía sostenible que serviría para dar acceso a alimentos a personas del entorno y que, además, se convertiría en fuente de ingresos con los excedentes, lo cual evitaría que se crearan desperdicios; es decir, con este proyecto como impulsor, se podría cubrir 7 de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible propuestos por la ONU.

Dimensión ODS	Objetivo	Papel	Alienación con el proyecto
Biosfera	6. Disponibilidad y gestión sostenible del agua y saneamiento.	Protagonista	Tecnología de bombeo solar que permitiría la obtención de agua mediante una fuente de energía más accesible que otras convencionales como diésel.
	13. Acción por el clima.	Secundario	Ya que se sustituyen los combustibles por una energía renovable, la solar, se produce un impacto positivo en el medioambiente.
	7. Energía asequible, fiable, sostenible y moderna.	Protagonista	En consonancia con el Objetivo 6, los paneles solares brindarían la oportunidad y acceso a energía en zonas en las que la distribución de otro tipo de energía no es tan sencilla.
Sociedad	2. Fin del hambre, seguridad alimentaria y agricultura sostenible.	Secundario	Como consecuencia del nuevo acceso al agua, se podrían iniciar cultivos cuyos frutos sirvieran para nutrir a los habitantes más cercanos,
	3. Salud y bienestar.	Secundario	Gracias a la nueva nutrición, mejoría la calidad de vida y, por tanto, la salud de los usuarios del cultivo.
	8. Trabajo decente y crecimiento económico.	Secundario	Estos cultivos brindarían oportunidades de trabajo de forma que potenciarían la economía familiar y, por consiguiente, la del lugar.
Economía	12. Producción y consumo responsables.	Secundario	Este modelo en el que los habitantes más cercanos pudieran beneficiarse de los alimentos producidos, además de conseguir un trabajo, dan lugar a un

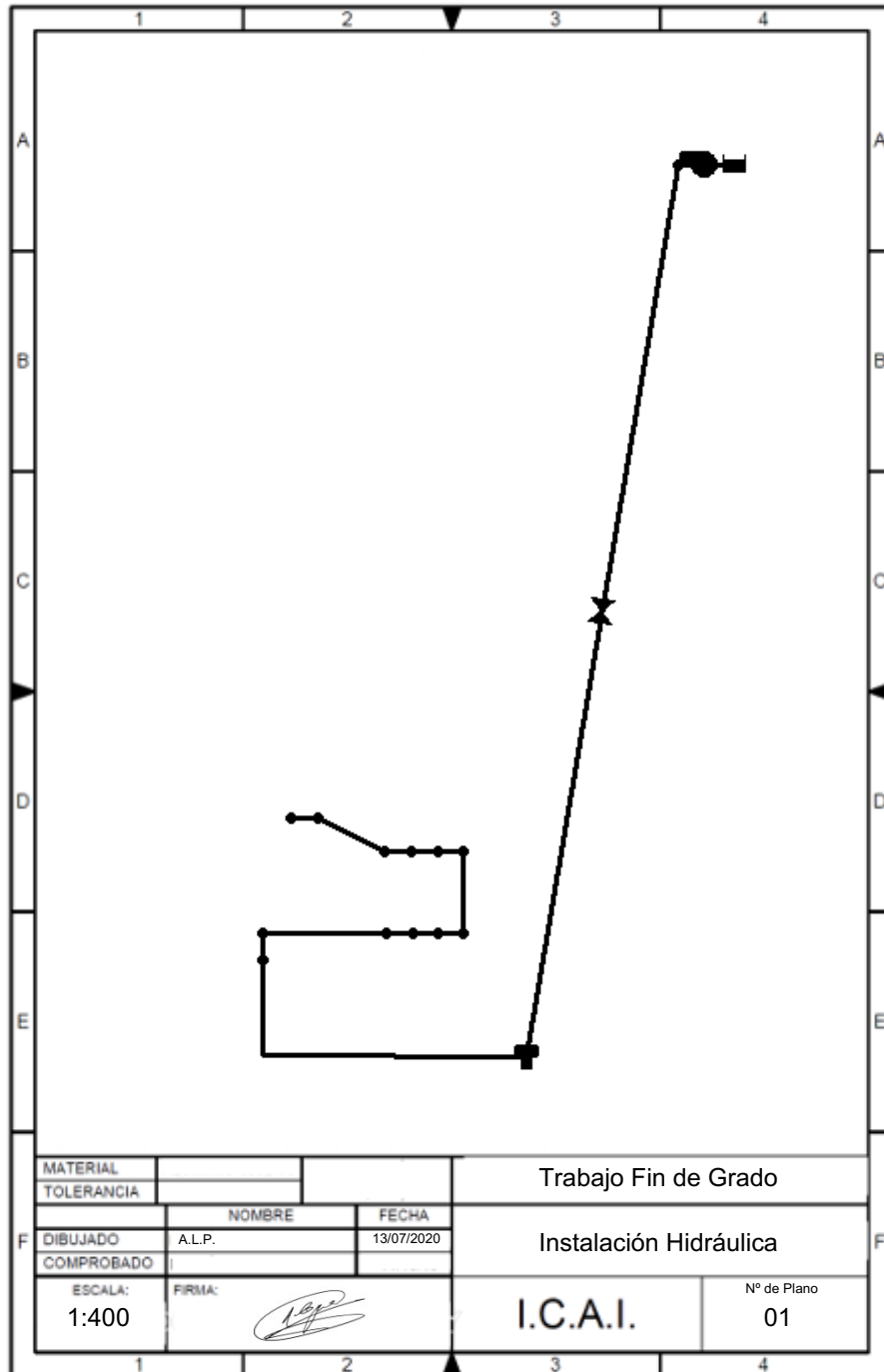
			sistema de producción y consumo responsable.
--	--	--	--

DOCUMENTO N° 2: PLANOS

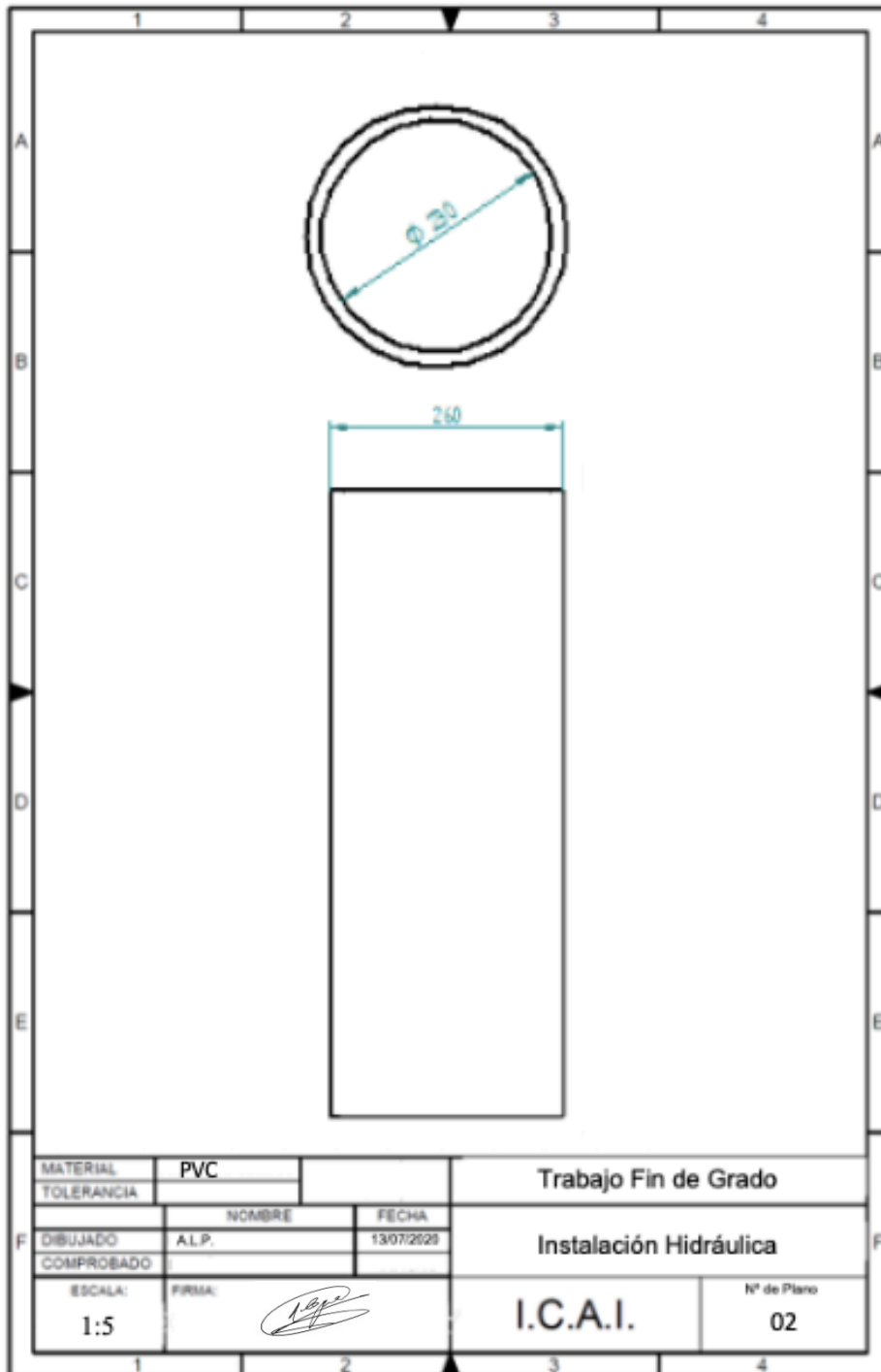


ÍNDICE DE PLANOS

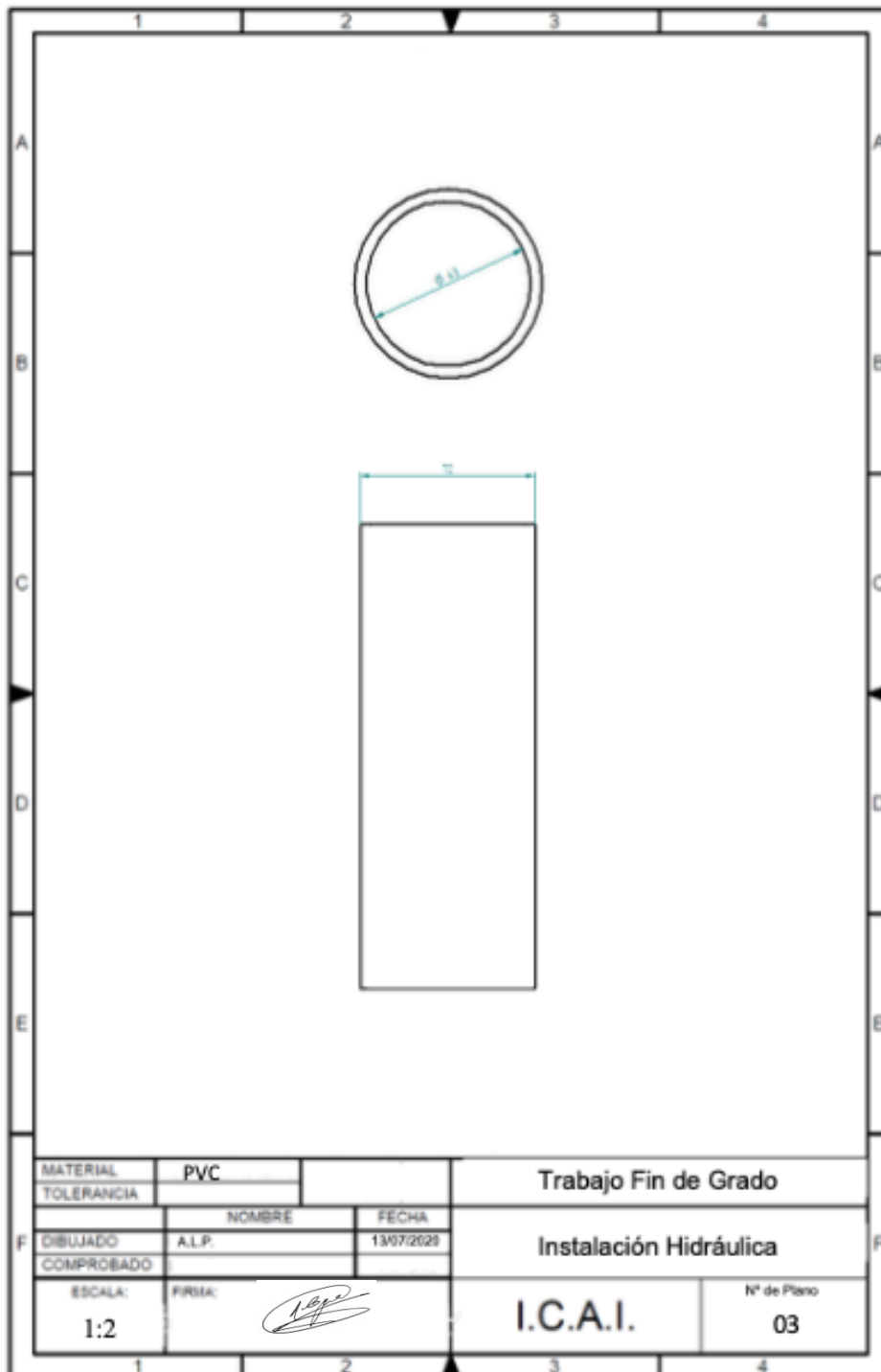
1. <i>Plano 01: Instalación Cerro Tablado.....</i>	<i>127</i>
2. <i>Plano 02: Tubería que conecta el pozo con la bomba.....</i>	<i>128</i>
3. <i>Plano 03: Tubería que conecta la bomba con el depósito.....</i>	<i>129</i>
4. <i>Plano 04: Sonda Well Probe.....</i>	<i>130</i>
5. <i>Plano 05: Sensor flotador de depósito lleno.....</i>	<i>131</i>



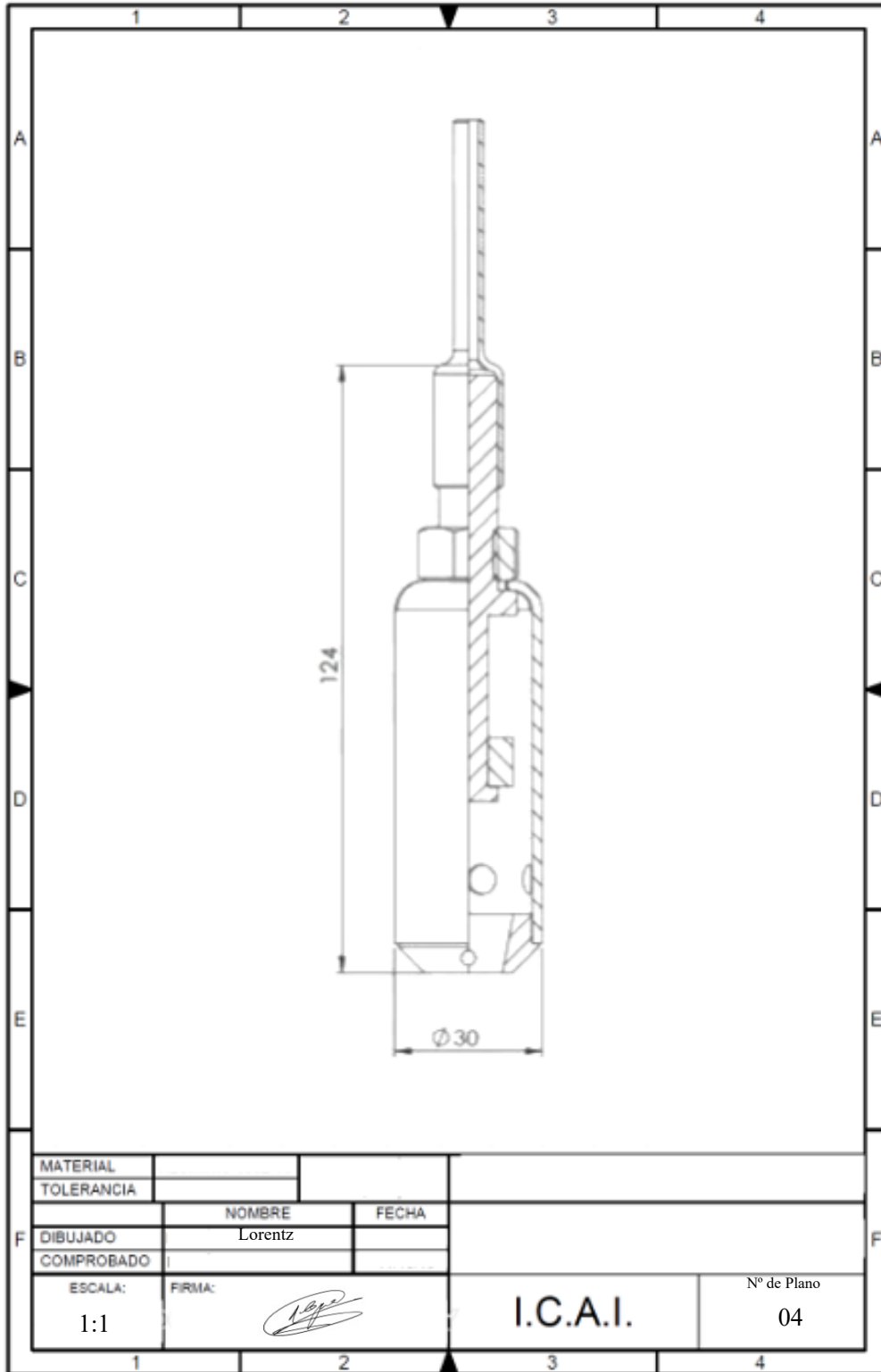
Plano 01: Instalación Cerro Tablado



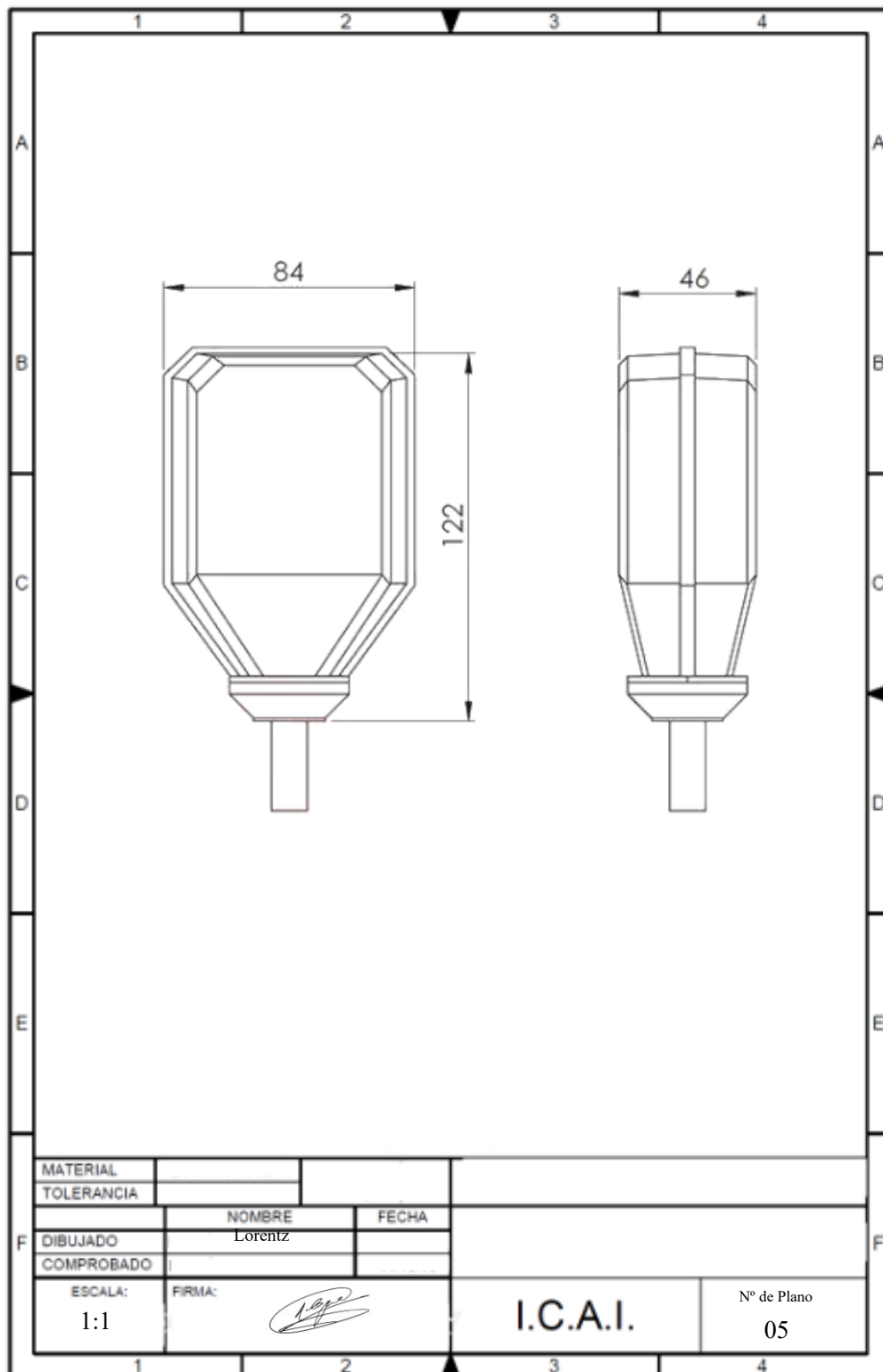
Plano 02: Tubería que conecta el pozo con la bomba



Plano 03: Tubería que conecta la bomba con el depósito



Plano 04: Sonda Well Probe



Plano 05: Sensor flotador de depósito lleno

DOCUMENTO N° 3: PRESUPUESTOS



1. Presupuesto

El presupuesto de un proyecto es una de las principales etapas dentro de la gestión de proyectos dedicada a organizar y estimar los gastos y recursos financieros en los que se necesita incurrir para para que el proyecto salga adelante. El presupuesto es la piedra angular en la que se basan las decisiones que determinan si se invierte en determinado proyecto o no.

En el caso de este proyecto, el presupuesto se basa fundamentalmente en el coste de la adquisición del kit de bombeo solar y del resto de componentes complementarios, así como el coste de la adquisición del conjunto.

Además de los componentes principales de la bomba, entendiendo por los mismos el conjunto motor-bomba, el controlador y los paneles, se ha tomado la decisión de adquirir otros componentes complementarios que influyen en la instalación aumentando su eficacia o seguridad. Los componentes son los siguientes:

- Sun Switch Light-Sensor: es un complemento que viene incluido cuando se adquiere un controlador de gama superior como es el *PS2-4000*. Es un sensor de luz que se coloca junto a los módulos y se alimenta de lo que estos producen. Su función es indicarle al controlador cuándo los paneles generan suficiente potencia como para arrancar la bomba.
- Sonda Well Pobe: esta sonda es un sensor de pozo seco que protege a la bomba de trabajar cuando el nivel del pozo baja excesivamente. Posee un flotador mecánico que sube cuando se sumerge en agua y acciona un interruptor, haciendo contacto en un circuito que permite el funcionamiento de la bomba. Cuando el nivel del pozo desciende por debajo de la sonda y el flotador baja, se abre el interruptor y se detiene la bomba impidiendo que se causen daños irreparables en la misma.
- Sensor Float Switch: este sensor de depósito lleno se emplea para detectar el nivel de agua en el depósito. Tiene un flotador mecánico que abre el circuito de la bomba cuando el nivel del depósito alcanza el valor máximo, impidiendo que la bomba continúe funcionando, y que lo cierra cuando vuelve a valores por debajo del máximo, permitiendo el funcionamiento de la bomba. De esta forma se evitan desbordamientos de los depósitos. Además, puede configurarse para mandar señales a la aplicación PumpScanner mencionada con anterioridad.
- Protector de sobretensiones: es un sistema que se instala en el controlador que protege al sistema de sobreimpulsos y picos de tensión, fenómenos que resultan dañinos para los componentes electrónicos.
- Estructura soporte paneles: estructura donde se colocan los paneles pudiendo regular el ángulo de inclinación.
- Conectores MC4: conexión y cableado que conectan los paneles solares con el controlador.

2. Coste de los componentes

Tabla 14: Presupuesto de los componentes de la instalación

Componente	Número	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
Bomba Lorentz PS4000 C-SJ3-32	1	2528,9	2528,9
Controlador Lorentz PS2-4000	1	1785,76	1785,76
Sun Switch Light-Sensor	1	0	0
Sonda Well Probe	1	75,42	75,42
Sensor Float Switch	2	24,4	48,8
Protector de Sobretensiones	1	25,51	25,51
Módulos Solares	18	121	2178
Estructura Soporte Paneles	2	322,26	644,52
Conectores MC4	1	4,76	4,76
Tuberías	14	0	0
Metro Cable Solar	10	2,98	29,8
Total			7321,47

3. Coste de la instalación de los componentes

Tabla 15: Presupuesto de la instalación de los componentes

Concepto	N° de horas	Precio por hora	Precio Total
Operario 1	40	45	1800
Operario 2	40	45	1800
Total			3600

El coste total de los componentes y su correspondiente instalación asciende a 10921,47 €.