



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Diseño de finca con sistema de bombeo autosostenible para
cultivo

Autor: Alejandro Teclesmayer Berlanga
Director: Iñigo Sanz Fernández

Madrid
Julio de 2023

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título Diseño de finca con sistema de bombeo autosostenible para cultivo en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2022/2023 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.: Alejandro Teclesmayer Berlanga Fecha: 29 /06 / 2023



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Iñigo Sanz Fernández Fecha: 30/ 06/ 2023

**SANZ
FERNANDEZ
IÑIGO -
52367115W**

Firmado digitalmente
por SANZ FERNANDEZ
IÑIGO - 52367115W
Fecha: 2023.06.30
08:14:30 +02'00'

DISEÑO DE FINCA CON SISTEMA DE BOMBEO AUTOSOSTENIBLE PARA CULTIVO

Autor: Teclesmayer Berlanga, Alejandro.

Director: Sanz Fernández, Iñigo.

Entidad Colaboradora: ICAI - Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

El trabajo de fin de grado que se plantea a continuación busca analizar la posibilidad de mejoras de eficiencia en los sistemas de riego en la agricultura. Para lograrlo se debe proceder al estudio del sector y mediante la ayuda del director del proyecto, buscar una solución viable que permita aumentar el rendimiento de las instalaciones de riego agrícolas.

Este proyecto consiste principalmente en el diseño de un sistema que permita obtener el agua necesaria para el riego de un cultivo de manera que proponga una solución sostenible y eficiente. La idea de este proyecto parte de un estudio detallado de la contaminación en el sector agrícola, se llega a la conclusión de que es un sector altamente contaminante y que se debe renovar para funcionar mediante energías limpias. Por otro lado, se encuentra el problema de la escasez de agua en diversas zonas de España y el peligro que supone para la actividad agrícola, por lo que el proyecto se diseña para poder mejorar la eficiencia en el uso del agua y poder implementarlo en zonas con problemas de sequías. Por último, el problema que se debe resolver, añadido a los anteriores, es el alto coste del gasto energético en el sector. Este supone uno de los principales gastos y se llega a la conclusión de que el proyecto debe procurar reducir el gasto energético para lograr su viabilidad.

Por tanto, una vez se han determinado las motivaciones del proyecto, se deben seleccionar el emplazamiento y la actividad a la que va a estar destinado este. En primer lugar, se escoge el cultivo de fresas, se toma esta decisión debido a que es uno de los principales frutos producidos en el país y sitúa a España como uno de los máximos productores a nivel mundial. Para la elección de la ubicación del proyecto se estudia el cultivo y sus necesidades climatológicas, en el que se llega a la conclusión de que necesita una cantidad de horas de luz diarias cercana a 12, además requiere una temperatura media elevada durante el año, por último, es uno de los frutos que mayor cantidad de agua requiere para su correcto crecimiento, situándose la cifra en 7.000 metros cúbicos de agua por hectárea al año.

Analizadas las necesidades de cultivo, se concluye que el lugar que mejor se adapta a las características de la fresa es el sur de España y en concreto se escoge la provincia de Huelva. Esto se debe a que es la provincia con más horas de sol al año y una temperatura media anual alta, pero por otro lado cuenta con una gran cantidad de masas de agua superficiales y subterráneas que permiten que tenga capacidad hídrica para albergar el cultivo de un fruto como la fresa que tiene necesidades altas. Para determinar el sitio exacto del emplazamiento se analizan las masas de aguas subterráneas que hay en la provincia y su disponibilidad,

concluyendo que el lugar idóneo es el municipio de Cartaya desde el que se tiene acceso a la Masa de Agua Subterránea de Cartaya y Lepe. El motivo principal por el que se pretende acceder a esta masa de agua es para la implantación de un pozo que permita abastecer el cultivo de fresas.

Por último, se debe elegir el tamaño del terreno de cultivo. Para ello se tiene en cuenta las necesidades de la fresa y se estudia que fuentes de abastecimiento se pueden aprovechar para cumplir con los requerimientos del cultivo. Se llega a la conclusión de que mediante un pozo de uso menor de agua (menos de 7.000 metros cúbicos extraídos al año), añadido al agua obtenida de las precipitaciones en Cartaya, se puede llegar a abastecer 2 hectáreas de cultivo.

Una vez determinados los datos de partida del proyecto se procede al diseño de la instalación, como se ha mencionado previamente el objetivo es el diseño de una instalación de riego que permita reducir el consumo energético, aumentar la eficiencia en el uso de recursos hídricos y que sea alimentado por energías no contaminantes. Para lograr estos objetivos se diseña una instalación que a su vez consta de cuatro sistemas: sistema de riego, sistema de almacenamiento de agua, sistema de captación y sistema fotovoltaico. A continuación, se procede a desarrollar el funcionamiento de cada uno de los sistemas:

Sistema de riego: conocidas las necesidades hídricas de la fresa, se procede a estudiar los distintos métodos de riego posibles para el cultivo. Se escoge un sistema de riego por goteo, este método consiste en el uso de pequeños caudales de agua que mediante el uso de tuberías con goteros permiten regar cada una de las plantas de manera que todas reciban la misma cantidad de agua. El principal beneficio de este método es que permite el ahorro de agua y el uso de esta de una manera altamente eficiente, ya que el agua se deposita directamente sobre la raíz de la planta.

Para dimensionar la red, se decide disponer las plantas en hileras, con una separación entre plantas de 50 cm y una separación entre hileras de 1 metro. De esta manera, dadas las dimensiones del terreno, se diseña un sistema de riego con un canal principal con mayor sección, del que derivan las cintas de riego por goteo con separación de 1 metro entre ellas. De esta manera se logra la plantación de 40.000 plantas de fresas en el terreno de cultivo.

Para el canal principal, se emplea una tubería de polietileno de 225 milímetros de diámetro, se escoge este material debido a su gran resistencia y bajo coste. Las cintas de riego también son de polietileno y cuentan con goteros integrados autocompensantes que permiten mantener la presión constante a lo largo de la tubería, logrando así el mismo caudal por todos los goteros.

El cálculo de la instalación de riego se realiza analizando todos los puntos de riego y localizando cual es el que más energía necesita para que el agua llegue hasta ahí. Para un caudal de riego de 1,678 l/h (dentro del intervalo recomendado para el riego por goteo) se llega a la conclusión de que se necesita una altura de 9,27 metros.

Para lograr esa altura, dado que el proyecto está comprometido con reducir el gasto energético, se opta por un sistema de riego por gravedad que aproveche la elevación de un depósito en altura para aprovechar la energía potencial del agua y lograr así que llegue a todos los puntos.

Sistema de almacenamiento: el diseño de la instalación por tanto cuenta con un depósito que debe estar a la altura necesaria para que el agua llegue a todos los puntos, dados los resultados

de la instalación de riego se escoge una altura de 10 metros, por tanto, se debe encontrar un punto con la suficiente elevación o lograrlo mediante una estructura que aguante el peso del depósito. Una de las principales ventajas de este sistema es que simplifica la instalación al no ser necesario el uso de otro sistema de bombeo para llevar el agua del depósito hasta el sistema de riego. Esto permite un ahorro energético y a la vez un ahorro en el coste de la instalación, por menor necesidad de equipos.

Para dimensionar el depósito se deben tener en cuenta las necesidades de riego del cultivo, realizado el estudio se concluye que se riega dos días por semana durante todo el año. Esto implica una necesidad de 67 metros cúbicos de agua para cada día de riego. Dado que es una cantidad elevada de agua, se considera que el depósito debe tener capacidad para un único día de riego y por tanto se rellenará también dos veces por semana. La capacidad del depósito seleccionado es de 70 metros cúbicos y el material escogido es el poliéster que permite el almacenamiento de agua protegiéndola de contaminantes externos. No obstante, se recomienda que la ubicación del depósito pueda tener protección contra fenómenos meteorológicos o contar con sombra para que el agua se mantenga en la temperatura adecuada.

Para lograr elevar el agua hasta la altura del depósito se deberá contar con un grupo de bombeo que aporte al fluido la energía necesaria para llegar desde el pozo.

Sistema de captación: para obtener el agua necesaria para el cultivo se procede a la perforación de un pozo en el terreno que permita el acceso a la Masa de Agua Subterránea de Cartaya y Lepe, el estudio previo de esta masa de agua revela que es apta para el consumo humano en tareas como el riego, pero no para el uso doméstico debido al alto contenido de nitratos y sales por la proximidad de Cartaya a la costa. Para el diseño del sistema de captación se tiene en cuenta que, aunque el agua es apta para el riego, se debe realizar un control frecuente de la cantidad de nitratos en el agua ya que una concentración elevada de estos puede causar daños en el cultivo.

Cartaya está situada a una altura sobre el nivel del mar de 19 metros, por tanto, para el cálculo de la instalación se considera que un pozo con profundidad de 20 metros es suficiente para tener acceso a las aguas subterráneas. Dada que esta profundidad es considerable, se opta por el uso de una bomba sumergible que evita el riesgo de cavitación en la extracción del agua. Además, como se ha mencionado previamente, el objetivo es que la energía necesaria para alimentar la bomba sea suministrada por paneles fotovoltaicos. Esto implica que las horas de bombeo deben ser las de mayor radiación solar y se diseña el sistema para maximizar el rendimiento de la instalación.

Para el cálculo de la instalación se tiene en cuenta que, dado el itinerario con el que se ha diseñado la instalación, el caudal de bombeo es de 9,32 l/s, y el agua debe lograr llegar desde el pozo hasta el depósito. De esta manera, se concluye que la altura suministrada por la bomba debe ser de 33,54 metros, así como la potencia hidráulica necesaria es de 3058,34 W. Una vez conocidas las necesidades, se escoge una bomba de achique de la marca Sulzer, en concreto el modelo XJ 50HD 50z, que es un modelo de bomba sumergible que debe ser alimentado a través de corriente alterna.

Por otro lado, se emplean tuberías de PVC de diámetro 80 milímetros para el sistema de captación, se selecciona este material debido a su ligero peso, y su elevada resistencia a la corrosión, así como su capacidad de aguantar presiones elevadas.

El sistema de captación debe estar conectado al sistema fotovoltaico, que deberá aportar la potencia de accionamiento de la bomba que es de 5,77 kW.

Sistema fotovoltaico: En primer lugar, se estudia la radiación solar en el emplazamiento para diseñar la orientación e inclinación de los paneles de tal manera que se maximice su rendimiento, en este caso se deben orientar hacia el sur y la inclinación óptima para aumentar la eficiencia a lo largo del año es de 35°.

Para lograr cubrir el gasto energético del sistema de captación se diseña un sistema con 18 paneles fotovoltaicos de 400 Wp monocristales, de esta manera se obtiene una potencia instalada de 7,2 kW que aporta un margen de seguridad en el caso de que la radiación solar no sea óptima en las horas de bombeo. Se escogen paneles de la marca Peimar y modelo SM400M de 72 celdas.

Los paneles se sitúan sobre la caseta de protección del pozo, al tener una cubierta plana, será necesario el uso de estructuras de aluminio que logren la inclinación correcta de los paneles. Para optimizar el espacio, se disponen los paneles en 2 hileras de 9 paneles cada una y con la separación suficiente para no provocar sombras que provoquen una pérdida de rendimiento de los paneles.

Por otro lado, dado que los paneles fotovoltaicos generan energía a través de corriente continua, será necesario el uso de inversores para transformarla en alterna y poder alimentar de esa manera la bomba. Se emplean 2 inversores de 3kWac de la marca Huawei y modelo SUN2000-3KTL-L1.

Mediante el diseño y la implantación del sistema fotovoltaico se logra cubrir el 85,6% del consumo de la bomba con autoconsumo. De esta manera se logra que solo se obtengan 166,7 kWh al año de la red, además todo el excedente generado por los paneles se vuelca a la red suponiendo una fuente de ingreso.

El proyecto satisface de esta manera los objetivos mencionados al principio del resumen, y de manera efectiva. Mediante este sistema se busca proponer un modelo sostenible en la agricultura, que permita abastecer el cultivo sin poner en riesgo el medioambiente y los ecosistemas cercanos. Se demuestra que se puede obtener el agua suficiente para satisfacer las necesidades de la plantación y lograr un uso de manera eficiente, este sistema es viable en zonas de escasez de agua ya que permite un mejor aprovechamiento de los recursos que puede evitar el agotamiento de las reservas naturales. Por otro lado, mediante el uso de depósitos elevados se puede ahorrar gasto energético en los sistemas de riego, la combinación de este sistema con la generación fotovoltaica provoca un aumento de la eficiencia energética y una gran reducción en la contaminación.

Los sistemas agrícolas deben reducir las emisiones y este proyecto sirve como un modelo sostenible en la actividad. No obstante, el uso de este modelo está condicionado a la cercanía de masas de agua y la instalación de un pozo en el área de cultivo, por ello se estudian posibles ampliaciones del sistema que puedan aportar una gran cantidad de agua de manera que tampoco comprometan la sostenibilidad del ecosistema. En primer lugar, se analiza la viabilidad de un sistema de captación de aguas pluviales, esta solución permite recoger grandes cantidades de agua proveniente de la lluvia que se puede emplear para regar plantaciones. En segundo lugar,

se estudia el tratamiento de aguas residuales para el riego de cultivo, a través de la depuración de las aguas fecales se puede obtener agua apta para el consumo para riego y puede suponer una posibilidad viable en poblaciones cercanas a áreas de cultivo.

Por último, se estudia la viabilidad económica del proyecto analizando los costes de producción y los ingresos obtenidos en cada ejercicio. En este estudio se llega a la conclusión de que la inversión inicial necesaria para construir la instalación se recupera en un corto periodo de tiempo, esto se logra debido a que la eficiencia del sistema permite reducir el consumo y se añade que el diseño de la instalación se realiza de tal forma que requiere un menor mantenimiento. De esta manera, se consigue reducir los gastos anuales y generar un mayor margen de beneficios.

En la inversión necesaria para la puesta en marcha del proyecto se tiene en cuenta el coste de todos los sistemas que conforman la instalación, añadido al coste de la mano de obra para su construcción, el terreno se supone que es propiedad del agricultor. El presupuesto total del proyecto asciende a 111.334,45 €.

DESIGN OF A FARM WITH SELF-SUSTAINING PUMPING SYSTEM FOR CULTIVATION

ABSTRACT

The following undergraduate thesis aims to analyze the possibility of efficiency improvements in irrigation systems in agriculture. To achieve this, it is necessary to study the sector and, with the assistance of the project supervisor, seek a viable solution to increase the performance of agricultural irrigation facilities.

This project primarily involves designing a system that allows obtaining the necessary water for crop irrigation while proposing a sustainable and efficient solution. The idea for this project stems from a detailed study of pollution in the agricultural sector, leading to the conclusion that it is a highly polluting industry that needs to transition to clean energy sources. Additionally, there is the issue of water scarcity in various areas of Spain, posing a threat to agricultural activities. Therefore, the project is designed to improve water efficiency and be implementable in drought-prone regions. Lastly, the high cost of energy consumption in the sector is another challenge that needs to be addressed. It represents one of the main expenses, and reducing energy consumption is deemed necessary for the project's feasibility.

Thus, once the project's motivations have been determined, the location and the intended activity must be established. Firstly, strawberry cultivation is chosen due to it being one of the main fruits produced in the country, positioning Spain as one of the top global producers. To determine the project's location, the cultivation and its climatic requirements are studied. It is concluded that strawberries need approximately 12 hours of daily sunlight and a high average temperature throughout the year. Furthermore, it is one of the fruits that require the most water for proper growth, with an estimate of 7,000 cubic meters of water per hectare per year.

Considering the cultivation requirements, it is concluded that the southern region of Spain, specifically the province of Huelva, is the most suitable location. This is because it has the highest number of sunlight hours per year and a high annual average temperature. Additionally, it possesses a significant amount of surface and underground water bodies, providing the necessary water capacity for a high-demand fruit like strawberries. To determine the exact site for the project, the province's underground water bodies and their availability are analyzed. As a result, the municipality of Cartaya is selected, as it provides access to the Cartaya and Lepe Underground Water Body. The main purpose of accessing this water body is to establish a well that can supply water for strawberry cultivation.

Finally, the size of the cultivation land must be chosen. To do this, the needs of the strawberry are taken into account, and potential water sources that can be utilized to meet the crop's requirements are studied. It is concluded that by using a low water-use well (extracting less than 7,000 cubic meters per year) and the precipitation in Cartaya, it is possible to supply irrigation for 2 hectares of cultivation.

Once the project's initial data is determined, the design of the installation proceeds. As mentioned earlier, the objective is to design an irrigation system that reduces energy consumption, increases efficiency in water resource utilization, and is powered by non-polluting energy sources. To achieve these goals, the installation is designed to consist of four systems: the irrigation system, water storage system, collection system, and photovoltaic system. The operation of each system is then developed as follows:

Irrigation System: Given the water requirements of the strawberry, different irrigation methods for the crop are studied. A drip irrigation system is chosen, which involves the use of small water flows delivered through pipes with emitters that allow each plant to receive the same amount of water. The main benefit of this method is that it saves water and uses it highly efficiently as the water is directly deposited onto the root area.

To dimension the network, the plants are arranged in rows with a spacing of 50 cm between plants and a spacing of 1 meter between rows. Accordingly, considering the dimensions of the land, an irrigation system is designed with a main canal of larger section, from which drip irrigation tapes are derived with a 1-meter spacing between them. This design allows for the planting of 40,000 strawberry plants on the cultivation land.

For the main canal, a 225-millimeter diameter polyethylene pipe is used, chosen for its high strength and low cost. The drip irrigation tapes are also made of polyethylene and have self-compensating integrated emitters that maintain constant pressure along the tubing, ensuring the same flow rate for all emitters.

The calculation of the irrigation system is performed by analyzing all the irrigation points and determining which point requires the most energy for the water to reach it. For an irrigation flow rate of 1,678 L/h (within the recommended range for drip irrigation), it is concluded that a height of 9.27 meters is required.

To achieve that height and considering the project's commitment to reducing energy consumption, a gravity irrigation system is chosen, utilizing the elevation of a high-level water reservoir to harness the potential energy of the water and ensure its distribution to all points.

Storage System: The design of the installation includes a reservoir that must be positioned at the necessary height for water distribution to all points. Based on the results of the irrigation system design, a height of 10 meters is chosen. Therefore, a location with sufficient elevation must be found, or a structure capable of supporting the weight of the reservoir needs to be constructed. One of the main advantages of this system is that it simplifies the installation by eliminating the need for another pumping system to transport water from the reservoir to the irrigation system. This results in energy savings and reduces installation costs by reducing the need for additional equipment.

To size the reservoir, the irrigation needs of the crop must be taken into account. Based on the study, it is concluded that the crop is irrigated two days per week throughout the year. This implies a requirement of 67 cubic meters of water for each irrigation day. Since this is a substantial amount of water, it is considered that the reservoir should have capacity for a single day of irrigation, and therefore, it will also be refilled twice a week. The selected capacity for the reservoir is 70 cubic meters, and the chosen material is polyester, which allows for water storage while protecting it from external contaminants. However, it is recommended that the

reservoir's location be protected against weather phenomena or have shade to maintain the water at the appropriate temperature.

To elevate the water to the reservoir's height, a pumping system will be required to provide the necessary energy for the water to reach from the well.

Collection System: To obtain the necessary water for the crop, a well is drilled in the land to access the groundwater of Cartaya and Lepe. The preliminary study of this groundwater reveals that it is suitable for human consumption in tasks such as irrigation but not for domestic use due to high nitrate and salt content due to Cartaya's proximity to the coast. When designing the collection system, it is considered that although the water is suitable for irrigation, frequent monitoring of nitrate levels in the water must be carried out, as a high concentration of nitrates can damage the crop.

Cartaya is located at an elevation of 19 meters above sea level; therefore, for the installation calculation, it is considered that a well with a depth of 20 meters is sufficient to access the groundwater. Since this depth is considerable, a submersible pump is chosen to avoid the risk of cavitation during water extraction. Additionally, as mentioned earlier, the goal is for the energy needed to power the pump to be supplied by photovoltaic panels. This implies that the pumping hours should coincide with the highest solar radiation, and the system is designed to maximize the installation's performance.

For the installation calculation, it is taken into account that the pumping flow rate is 9.32 L/s, and the water must reach from the well to the reservoir. Consequently, it is concluded that the height provided by the pump should be 33.54 meters, and the required hydraulic power is 3058.34 W. Once the requirements are known, a Sulzer drainage pump is chosen, specifically the XJ 50HD 50z model, which is a submersible pump that must be powered by alternating current.

On the other hand, PVC pipes with an 80-millimeter diameter are used for the collection system. This material is selected due to its lightweight, high corrosion resistance, and ability to withstand high pressures.

The collection system must be connected to the photovoltaic system, which will provide the driving power for the pump, totaling 5.77 kW.

Photovoltaic System: Firstly, the solar radiation at the site is studied to design the orientation and tilt of the panels in a way that maximizes their performance. In this case, they should be oriented towards the south, and the optimal tilt to increase efficiency throughout the year is 35 degrees.

To cover the energy consumption of the collection system, a system is designed with 18 photovoltaic panels of 400 Wp each, resulting in an installed power of 7.2 kW, providing a safety margin in case solar radiation is not optimal during pumping hours. Peimar panels of the SM400M model with 72 cells are chosen.

The panels are placed on the well protection shed, which has a flat roof. To achieve the correct tilt of the panels, aluminum structures are used. To optimize space, the panels are arranged in

2 rows of 9 panels each, with sufficient spacing to avoid shading that could cause a loss in panel performance.

Since photovoltaic panels generate direct current (DC), inverters are necessary to transform it into alternating current (AC) to power the pump. Two 3 kW AC inverters from Huawei, model SUN2000-3KTL-L1, are used.

Through the design and implementation of the photovoltaic system, 85.6% of the pump's consumption is covered through self-consumption. This means that only 166.7 kWh per year need to be obtained from the grid, and any surplus energy generated by the panels is fed back into the grid, serving as a source of income.

In this way, the project effectively satisfies the objectives mentioned at the beginning of the summary. The aim is to propose a sustainable model in agriculture that allows for crop supply without jeopardizing the environment and nearby ecosystems. It demonstrates that it is possible to obtain sufficient water to meet the plantation's needs and achieve efficient usage. This system is viable in water-scarce areas as it allows for better resource utilization, thus avoiding the depletion of natural reserves. Furthermore, by using elevated reservoirs, energy consumption in irrigation systems can be reduced. The combination of this system with photovoltaic generation increases energy efficiency and significantly reduces pollution.

Agricultural systems must reduce emissions, and this project serves as a sustainable model in the field. However, the use of this model is dependent on the proximity of water bodies and the installation of a well in the cultivation area. Therefore, possible system expansions are being studied to provide a large amount of water without compromising ecosystem sustainability. Firstly, the viability of a rainwater harvesting system is analyzed. This solution allows for collecting significant amounts of water from rainfall, which can be used for irrigation purposes. Secondly, the treatment of wastewater for crop irrigation is explored. By purifying wastewater, it is possible to obtain water suitable for irrigation, which could be a viable option in populations near cultivation areas.

Finally, the economic feasibility of the project is studied by analyzing the production costs and the income generated in each period. This study concludes that the initial investment required to build the installation is recovered in a short period of time. This is achieved because the system's efficiency allows for reduced consumption, and the installation design is such that it requires less maintenance. In this way, annual expenses are reduced, resulting in a higher profit margin.

The investment necessary to implement the project takes into account the cost of all the systems that make up the installation, in addition to the labor cost for construction. It is assumed that the land is owned by the farmer. The total budget for the project amounts to €111,334.45.



Documento I

Memoria

Índice de tablas

Tabla 1 Datos climatología Huelva Fuente:Weather Spark.....	27
Tabla 2 Estado de las masas subterráneas de la Demarcación Hidrográfica de Tinto, Odiel y Piedras Fuente: Consejería de medioambiente y ordenación del territorio de la Junta de Andalucía	35
Tabla 3 Tecnologías de separación Fuente: Moddle ETAP Asignatura Ingeniería Medioambiental	36
Tabla 4 Comparativa riego por goteo vs riego por microaspersión fuente: Propia	44
Tabla 5 Estándares de calidad del efluente según el Real Decreto 509/1996 Fuente: Asignatura Ingeniería Medioambiental	57
Tabla 6 Cronograma del proyecto Fuente: Propia	62
Tabla 7 Cálculo del número de hectáreas de cultivo Fuente: Propia	74
Tabla 8 Cálculo diámetro tubería para bombeo Fuente: propia.....	78
Tabla 9: Rugosidad absoluta de materiales Fuente: https://www.pirobloc.com/blog-es/calculo-perdidas-carga/	82
Tabla 10 Cálculo de pérdidas primarias en la instalación de bombeo Fuente: Propia.....	83
Tabla 11 Factor K en singularidades Fuente: Asignatura Mecánica de fluidos.....	84
Tabla 12 Cálculo de pérdidas secundarias en la instalación de bombeo Fuente: Propia.....	84
Tabla 13 Dimensionado instalación de riego Fuente: Propia	88

Tabla 14 Cálculo de pérdidas secundarias en canal principal de instalación de riego Fuente: Propia	93
Tabla 15 Cálculo de pérdidas secundarias en cinta de riego de instalación de riego Fuente: Propia	94
Tabla 16 Balance energético instalación fotovoltaica Fuente PVsyst	100
Tabla 17 Tubrerías PE para canal principal Fuente: https://www.tuberiasplasticasreunidas.com/pdf/tuberia-de-polietileno-riego-con-o-sin-goteros-abastecimiento-presion.pdf	102
Tabla 18 Cintas de riego por goteo PE con gotero autocompensante Fuente: https://www.tuberiasplasticasreunidas.com/pdf/tuberia-de-polietileno-riego-con-o-sin-goteros-abastecimiento-presion.pdf	103
Tabla 19 Datos XJ 50 HD 50 HZ Fuente: Absel 6	106
Tabla 20 Ficha técnica Peimar 400W x 72 cel. Monoc Fuente: https://www.clientes.grupoelektra.es/catalogo/producto/679646/1	108
Tabla 21 Datos Inversor SUN2000-3KTL-L1 Fuente: https://autosolar.es/inversores-hibridos/inversor-huawei-sun2000-3ktl-l1-3000w?gclid=CjwKCAjwvpCkBhB4EiwAujULMgzm_ahT8Gb9qEqxBD3pMoUEm4QGTC9UG4tTm7SJ5VI21mxODSdvchoC_4UQAvD_BwE&gclid=aw.ds	109
Tabla 22 Resumen cálculos.....	111
Tabla 23 Resumen estudio viabilidad económica.....	118

Índice de gráficos

Gráfico 1 Estructura de costes de la renta agraria Fuente: https://www.lavanguardia.com/economia/20220206/8037626/crisis-energetica-dispara-coste- produccion-agricola-ganadera.html	24
Gráfico 2 Cavitación de una bomba Fuente: Asignatura Turbomáquinas	76
Gráfico 3 Dibujo lineal del horizonte para inclinación de 35° Fuente: PVsyst	96
Gráfico 4 Resultados simulación fotovoltaica Fuente: PVsyst	99
Gráfico 5 Diagrama de pérdidas de la instalación fotovoltaica Fuente: PVsyst	101
Gráfico 6 Curvas características de la bomba XJ 50 HD 50 Hz Fuente: Absel 6.....	107

Índice de figuras

Ilustración	1	Plantación	fresas	Fuente:							
https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.infoagro.com%2Fdocumentos%2Fel_cultivo_fresa.asp&psig=AOvVaw225pY-c_qjIBeQVznnzJzR&ust=1677575894679000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjRxqFwoTCLiow6uvtf0CFQAAAAAdAAAAABA1											
				26							
Ilustración	2	Mapa	de	Cartaya	Fuente:						
https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/sima/ficha.htm?mun=21021											
					27						
Ilustración	3	Masas	de	Agua	superficial	y	subterranea	Huelva	Fuente:		
https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/documents/20151/426466/isa_top.pdf											
									29		
Ilustración	4	Masas	de	agua	de	Cartaya	Fuente:	Junta	de	Andalucía	30
Ilustración	5	Modelo	Triple	Bottom	Line	Fuente:	Asignatura	Ingeniería	Medioambiental	32	
Ilustración	6	ODS	Fuente:	ONU	32						
Ilustración	7	Bomba	desplazamiento	positivo	Fuente:	Asignatura	Turbomáquinas	38			
Ilustración	8	Energía	potencial	almacenada	en	un	depósito	Fuente:	Asignatura	Turbomáquinas	42
Ilustración	9	Esquema	Bombeo	solar	(AC)	Fuente:	https://cpmsolar.com/2019/10/01/sistemas-solares-para-bombas-de-agua/	48			
Ilustración	10	Sistema	de	captación	de	agua	pluvial	Fuente:	https://rotoplascentroamerica.com/conoce-como-funciona-un-sistema-de-captacion-de-agua/	56	

Ilustración 11 Esquema general de una depuradora Fuente: Asignatura Ingeniería Medioambiental	58
Ilustración 12 Precipitaciones anuales en Huelva Fuente: https://es.weatherspark.com/y/33224/Clima-promedio-en-Huelva-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o	73
Ilustración 13 Instalación Parte 1 Fuente: Propia	76
Ilustración 14 Instalación Parte 2 Fuente: Propia	86
Ilustración 15 Análisis punto crítico Fuente: Propia.....	89
Ilustración 16 Orientación óptima de los paneles solares en Huelva Fuente: PVsyst	95
Ilustración 17 Consumo energético día de riego Fuente: PVsyst	97
Ilustración 18 Electroválvula para sistema de riego RPE ¾” 24 V Fuente: https://riegopro.com/electrovalvula-riego/24v-electricas-ac/electrovalvulas-rpe/electrovalvula-rpe-34-24v-segunda-serie-con-apertura-manual-y-autolimpieza	104
Ilustración 19 Programador de riego Hunter Eco-Logic Fuente: https://riegopro.com/programador-de-riego/electricos-hunter/programador-de-riego-hunter-eco-logic-interior	104
Ilustración 20 Depósito almacenamiento de agua Vican Fuente: https://www.poliestervican.com/producto.php?id=1	105
Ilustración 21 Inversor Huawei SUN2000-3KTL-L1 Fuente: https://autosolar.es/inversores-hibridos/inversor-huawei-sun2000-3ktl-l1-3000w?gclsrc=aw.ds&gclid=CjwKCAjwvpCkBhB4EiwAujULMgzm_ahT8Gb9qEqxBD3pMoUEm4QGTC9UG4tTm7SJ5Vl21mxODSdvchoC_4UQAvD_BwE&gclsrc=aw.ds	109
Ilustración 22 Esquema instalación fotovoltaica Fuente: PVsyst	110

Índice de ecuaciones

Ecuación 1 Cálculo precipitaciones	73
Ecuación 2 Cálculo NPSHd	75
Ecuación 3 Cálculo del caudal de bombeo	77
Ecuación 4 Cálculo de velocidad en sección circular	78
Ecuación 5 Ecuación de Bernoulli para instalaciones de bombeo	79
Ecuación 6 Cálculo de pérdidas primarias	80
Ecuación 7 Cálculo del factor de fricción para flujo laminar	80
Ecuación 8 Cálculo del factor de fricción para flujo turbulento	80
Ecuación 9 Número de Reynolds	81
Ecuación 10 Simplificación de la Ley de Colebrook.....	82
Ecuación 11 Cálculo de pérdidas de carga secundarias	83
Ecuación 12 Potencia hidráulica en una bomba.....	85
Ecuación 13 Cálculo del caudal de riego	87
Ecuación 14 Cálculo del caudal de goteo	87
Ecuación 15 Cálculo del caudal en cada hilera.....	88
Ecuación 16 Cálculo de velocidad en instalación de riego	88

Ecuación 17 Ecuación de Bernoulli entre depósito y salida	89
Ecuación 18 Cálculo del número de Reynolds en instalación de riego	91
Ecuación 19 Cálculo del factor de fricción en instalación de riego.....	91
Ecuación 20 Cálculo de pérdidas primarias en instalación de riego.....	92
Ecuación 21 Cálculo de pérdidas secundarias en la instalación de riego	94
Ecuación 22 Cálculo de altura del depósito	94
Ecuación 23 Cálculo de inclinación de paneles fotovoltaicos	95
Ecuación 24 Cálculo de potencia de accionamiento	96
Ecuación 25 Cálculo del gasto energético diario	97
Ecuación 26 Cálculo del gasto energético semanal	97
Ecuación 27 Cálculo del gasto energético anual.....	98
Ecuación 28 Cálculo de potencia instalada.....	98

Capítulo I

Memoria Descriptiva

Índice Capítulo I

1. Introducción	24
1.1 Cultivo	25
1.2 Localización.....	26
1.3 Recursos Hídricos	28
2. Objetivos del proyecto	30
3. Alineación con los ODS.....	31
4. Estado de la cuestión	34
4.1 Sistema de captación.....	34
4.2 Sistema de almacenamiento de agua	41
4.3 Sistema de riego.....	44
4.4 Sistema fotovoltaico	47
5. Solución escogida.....	50
6. Futuros desarrollos	53
6.1 Sistema de captación de aguas pluviales	53
6.2 Tratamiento de aguas residuales	56
7. Motivación	60
8. Metodología	61
9. Mantenimiento del sistema.....	62
10. Conclusiones	67

1. Introducción

Este proyecto busca la implantación de un sistema que permita abastecer de agua una finca de cultivo de tal forma que le permita hacerlo de manera sostenible y eficiente energéticamente. Para lograr este objetivo se debe diseñar un proceso por el que se logre la obtención de agua sin comprometer el ecosistema, a la vez que un equipo que permita llevarla hasta el lugar de cultivo. Una vez el agua sea almacenada en el lugar del cultivo, se deberá diseñar un sistema de distribución para que pueda abastecer todo el terreno agrícola.

Por otro lado, este proyecto tiene un gran compromiso con la sostenibilidad por lo que el gasto energético del sistema estará cubierto por un sistema de producción de energía renovable.

La escasez de agua y la crisis energética son dos de las principales preocupaciones del sector de la agricultura en España, la importancia de encontrar nuevas formas de abastecimiento para las plantaciones de manera que no agoten las reservas de agua es de vital importancia. También la necesidad de encontrar un modelo sostenible para la producción agrícola es bastante grande por dos razones: La primera es que el precio de la electricidad ha aumentado más de un 200% en los últimos dos años y el gasto energético supone el segundo mayor coste en la actividad agraria.

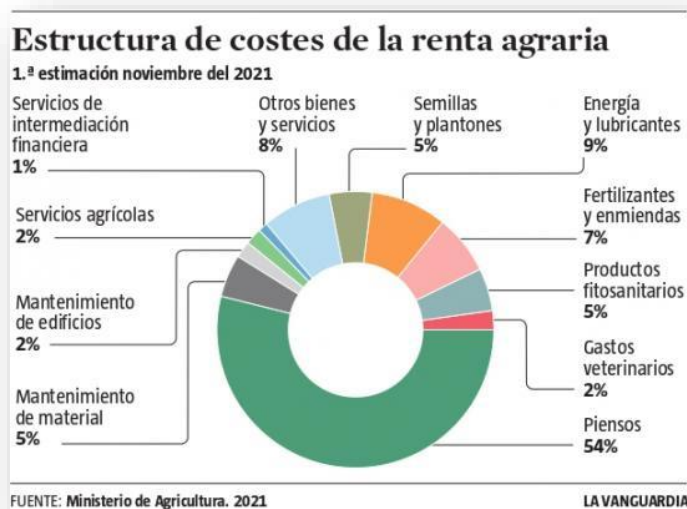


Gráfico 1 Estructura de costes de la renta agraria Fuente: <https://www.lavanguardia.com/economia/20220206/8037626/crisis-energetica-dispara-coste-produccion-agricola-ganadera.html>

La segunda razón es que el sector agrícola debe adoptar medidas para reducir las emisiones, ya que los gases que se desprenden en la actividad son una fuente de contaminación importante. A esto se suma que gran parte del sector no suministra sus sistemas mediante energías limpias

y al ser cada vez mayor la cantidad de maquinaria empleada en la agricultura, mayor es la contaminación de esta.

Por ello un modelo que permita combatir la escasez de agua y tanto los costes energéticos como la contaminación en el sector agrario, es necesario que se comience a implementar de manera más habitual. Este proyecto busca encontrar una de las posibilidades de modelo que permita adaptar la agricultura a los tiempos futuros.

1.1 Cultivo

El cultivo seleccionado es la fresa, se trata de una planta semiperenne, de porte rastrero y herbácea. Se deben cumplir ciertos requerimientos para su correcta plantación y crecimiento, entre ellos se debe cumplir una temperatura media anual entre los 15-20 °C, ya que por debajo de ese rango daría lugar a frutos deformados por el frío y por encima de esas temperaturas pueden darse cosechas con maduración demasiado temprana.

La humedad relativa debe oscilar entre el 65% - 70% para un crecimiento óptimo y evitar así enfermedades y daños en la producción. Por otro lado, es importante que el lugar de cultivo cuente con suelos arenosos con buena capacidad de drenaje y aireación, y un alto contenido de materia orgánica. Por último, el ph del terreno no debe estar muy alejado del rango de 6-7.

Para su correcto crecimiento, la fresa necesita una media de 12 horas de luz diarias, por lo que es importante que el lugar seleccionado para su plantación tenga un gran número de horas de sol al año.

La plantación de fresas requiere alrededor de 7000 metros cúbicos por hectárea anuales de agua, y una frecuencia de riego de 2 veces por semana, aumentando quizás en verano a 3 y disminuyendo en invierno a 1.

La técnica de cultivo más empleada es la solarización, se emplean caballones separados entre si 25-30 cm y permitiendo una separación entre plantas de 25-30 cm también. Es común la utilización de túneles como sistemas de protección que permiten obtener la precocidad deseada de la cosecha. (Infoagro, s.f.)



Ilustración 1 Plantación fresas Fuente:

https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.infoagro.com%2Fdocumentos%2Fel_cultivo_fresa.asp&psig=AOvVaw225pY-c_qjIBeQVznnzJzR&ust=1677575894679000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjRxqFwoTCLiow6uvtf0CFQAAAAAdAAAAABAI

1.2 Localización

España es uno de los principales productores de fresa a nivel mundial. Es el sexto país que más toneladas de fresa produce anualmente, y supone un 4 % de la producción total. Sin embargo, los países que se sitúan por delante cuentan con mucha más superficie de plantación, por lo que España realmente es el segundo país con mayor rendimiento (kg/hectárea) solo por detrás de Estados Unidos.

La producción anual en España es de 344.679 toneladas y cuenta con más de 7032 hectáreas de plantación de fresas. En 2021, se convirtió en el primer exportador a nivel mundial con un 24,48% de las exportaciones. Además, la industria sigue creciendo y el valor de las exportaciones creció un 27% con respecto al año anterior, siendo el valor de estas de 853,42 millones de dólares estadounidenses. (Tridge, s.f.)

El lugar escogido para el desarrollo del proyecto es la provincia de Huelva en Andalucía. Es el primer productor a nivel nacional con más del 90%, también es líder europeo con un tercio de la producción total y es el máximo exportador a nivel mundial. (HuelvaInformación, s.f.)

La producción de fresas genera más de mil millones de euros anualmente a la provincia de Huelva, siendo uno de los principales motores de su economía. Solo esta actividad supone un 8% del PIB de toda Andalucía. Además genera más de 80.000 puestos de trabajo cada temporada.

La principal razón por la que Huelva es líder en la producción de fresa es porque su climatología se adapta perfectamente a los requerimientos de la fresa. Ya que Huelva es además la provincia de España con más horas de luz anuales lo que permite que durante gran parte del año haya más de 12 horas diarias de luz, algo que es fundamental en el crecimiento de la fresa. Sin embargo, también cuenta con un gran número de días de lluvia anuales, una media de 52, que diferencian esta provincia frente a otras regiones del sur de España que tienen un clima más seco y por tanto menos propicio para la agricultura debido a la falta de lluvias. (Data, s.f.)

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura	8-16 °C	8-17 °C	10-19 °C	12- 21°C	15-24 °C	18-28 °C	20-31 °C	20-30 °C	19-28 °C	15-24 °C	11-19 °C	9-16 °C
Horas de luz	9,9 h	10,8 h	12 h	13,2 h	14,2 h	14,7 h	14,4 h	13,5 h	12,4 h	11,2 h	10,2 h	9,6 h
Lluvia	48,6 mm	38,1 mm	32,2 mm	36 mm	20,9 mm	6 mm	1,5 mm	2,7 mm	15,2 mm	54,7 mm	68,8 mm	69,8 mm
Energía solar por m ²	2,7 kWh	3,7 kWh	5,0 kWh	6,3 kWh	7,3 kWh	8,1 kWh	8,1 kWh	7,2 kWh	5,7 kWh	4 kWh	2,9 kWh	2,4 kWh
Humedad	76%	69%	66%	63%	54%	48%	44%	46%	58%	69%	72%	77%

Tabla 1 Datos climatología Huelva Fuente:Weather Spark

Por tanto, la localización de la finca de cultivo será la provincia de Huelva. En concreto el terreno se sitúa en Cartaya, población situada al suroeste de la provincia tiene una extensión de 224 km² y está a una altura media sobre el nivel del mar de 19 m. Es además una zona cercana a la costa pero que cuenta con acceso al agua del Río Piedras lo que lo convierte en un territorio muy interesante para el cultivo.

Cuenta con más de 189 hectáreas dedicadas a cultivos herbáceos siendo el principal cultivo de regadío la fresa y el fresón. Aunque también predominan otro tipo de cultivo como el haba, el guisante o el altramuz. Siendo la principal actividad económica la agricultura, ganadería, pesca y silvicultura.

Se escoge esta localización debido a que su cercanía a la costa le permite tener una temperatura estable durante todo el año, añadido a que al estar situada en la riberas del Río Piedras tiene la suficiente cantidad de agua. Por último, es una zona dedicada a la agricultura que cuenta con grandes superficies dedicadas a la plantación de fresas.

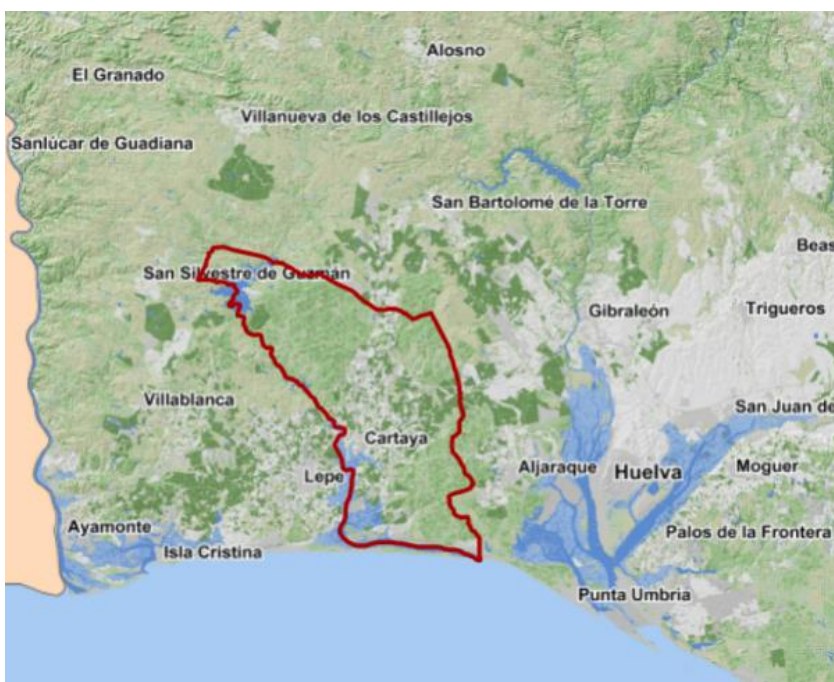


Ilustración 2 Mapa de Cartaya Fuente: <https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/sima/ficha.htm?mun=21021>

1.3 Recursos Hídricos

Una vez definida la localización en la que se va a desarrollar el proyecto, es preciso que el terreno de cultivo pueda contar con los recursos necesarios para su correcto crecimiento, el más importante es el agua, y a continuación se estudia la capacidad de obtención de agua en la localización del proyecto.

Andalucía cuenta con cuatro demarcaciones hidrográficas definidas por la Ley de Aguas:

- Guadalquivir
- Mediterránea Andaluza
- Guadalete y Barbate
- Tinto, Odiel y Piedra

La zona en la que se sitúa Huelva y más en concreto Cartaya, es la del Tinto, Odiel y Piedra y está gestionada por la Comunidad Autónoma de Andalucía. Cuenta con más de 4769 km² de superficie y una precipitación anual de 619 mm. La aportación anual de agua de esta demarcación es de 706 hm³.

Esta cantidad de agua proviene de masas superficiales y masas subterráneas. Son 68 masas de aguas superficiales por solo 4 masas de agua subterráneas. Dentro de la aportación anual de agua 96 hm³ provienen de recursos renovables. Y hay 70 hm³ anuales de recursos disponibles. La suma de la capacidad de todos los embalses de la demarcación es de 229 hm³.

Las 4 masas de aguas subterráneas abarcan una superficie de 1510 km². Y de los 70 hm³ de recursos renovables almacenados en masa de aguas subterráneas únicamente se extraen 30 siendo el índice medio de explotación de 0,4. En la provincia de Huelva un 75% de los municipios cuentan con captación, siendo el segundo con mayor porcentaje en Andalucía solo por detrás de Almería.

La masa de agua subterránea de Cartaya es una de las 4 principales masas de esta demarcación y supone una gran fuente de suministro para el sector agrícola de la zona. (Andalucía, 2015/2021)

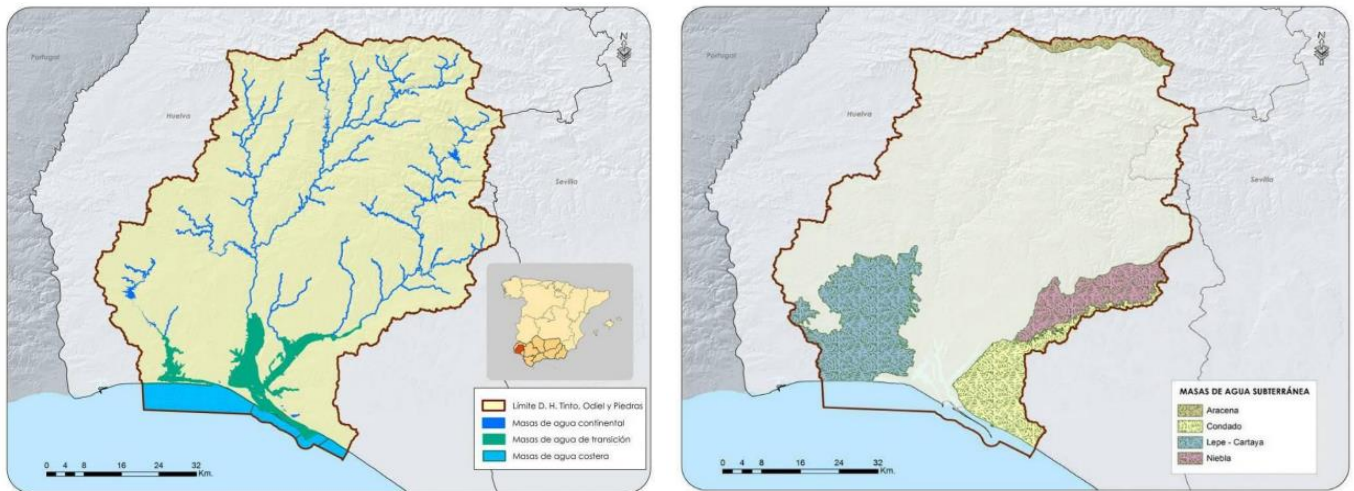
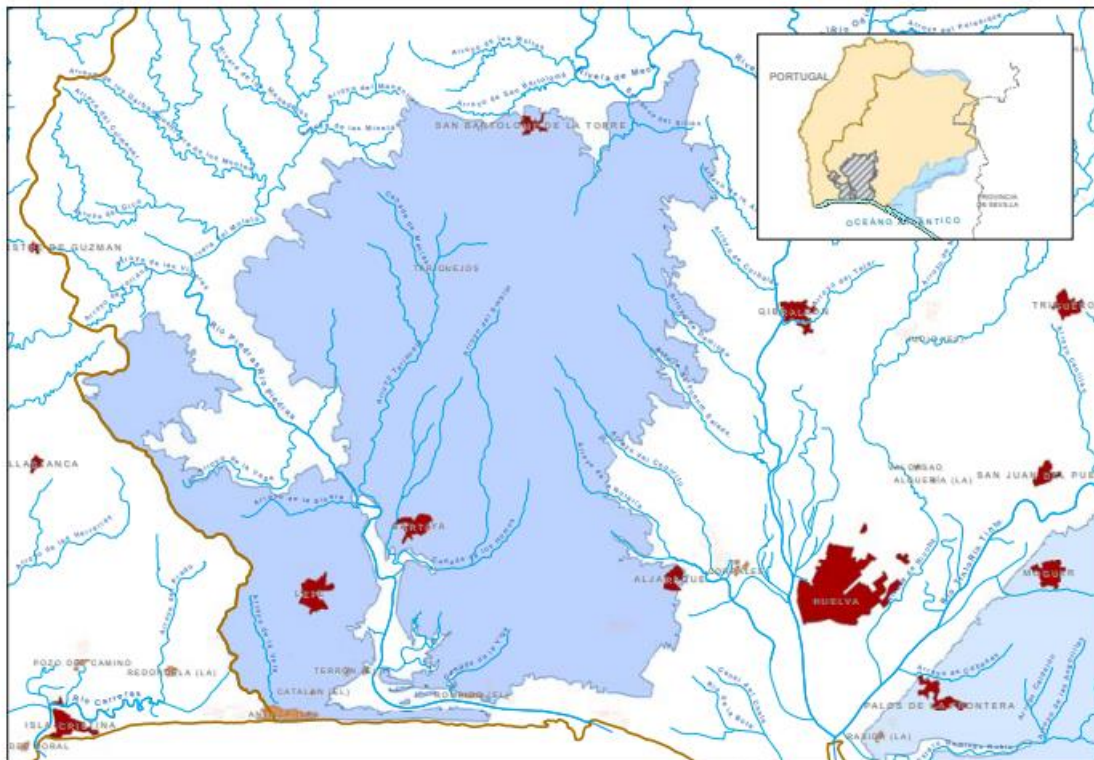


Ilustración 3 Masas de Agua superficial y subterránea Huelva Fuente:
https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/documents/20151/426466/isa_top.pdf

Es importante la disponibilidad de estos recursos hídricos a la hora de tomar la decisión sobre la ubicación del proyecto, es por ello por lo que la ubicación seleccionada es el término municipal de Cartaya, que tiene acceso tanto a aguas superficiales por su proximidad al Río Piedras como a las masas de agua subterráneas al oeste de la provincia. El agua superficial en esta región se considera agua de transición ya que es un punto intermedio entre el agua de costa y el agua del interior. Por ello es importante tener en consideración a la hora de elegir el equipo necesario para la instalación, que es un entorno que no tiene la corrosión de las zonas costeras, pero tampoco se considera lo suficientemente alejado de la costa como para pensar que es un clima continental.

La alimentación principal de la masa de agua de Cartaya proviene de infiltración directa del agua de lluvia e infiltración indirecta de la escorrentía superficial. En total suman $59 \text{ hm}^3/\text{año}$ a lo que hay que sumarle otros $4 \text{ hm}^3/\text{año}$ por retornos de riego. Se dedican una media de $19 \text{ hm}^3/\text{año}$ a abastecimiento y bombeo para riego. (Andalucía, 2015/2021)

En cuanto a la calidad del agua, se consideran aptas para el consumo humano y para fines agrícolas, aunque no son aptas para el abastecimiento urbano debido al alto contenido de nitratos. Se consideran aguas con facies bicarbonatadas cloruradas cálcico-sódicas.



SUPERFICIE | **473 km²**

Ilustración 4 Masas de agua de Cartaya Fuente: Junta de Andalucía

El objetivo del proyecto para el abastecimiento de agua es la instalación de un pozo de captación que pueda obtener agua de esta masa de agua subterránea y que, junto con las precipitaciones, puedan cubrir gran parte de la demanda del cultivo.

2. Objetivos del proyecto

Este proyecto busca aportar una solución sostenible a los problemas de abastecimiento en las fincas de cultivo. El objetivo principal es el diseño e implantación de un sistema de riego que sea sostenible y que además suponga un ahorro energético para los agricultores. Además, se deben de cumplir los siguientes objetivos:

1. Estudio del terreno y condiciones climáticas: el lugar de la realización del proyecto debe cumplir con las necesidades climáticas del cultivo seleccionado, así como contar con acceso a recursos naturales suficientes para el correcto crecimiento de este. Es por

ello que se debe realizar un estudio previo de manera exhaustiva en el que se garanticen estos requerimientos.

2. Diseño de sistema de captación de agua: el objetivo es abastecer un cultivo que necesita gran cantidad de agua sin depender completamente de la red de distribución. Debido a que en la provincia de Huelva hay problemas de abastecimiento y es importante la implantación de sistemas para obtener agua de otra forma. Para ello se diseñará una instalación que mediante un sistema de bombeo permita cubrir las necesidades hídricas del cultivo con agua perteneciente mayoritariamente a las masas subterráneas situadas en el lugar del proyecto.
3. Diseño de sistema de riego que permita ahorro de agua y de energía: el sistema de riego por aspersión es frecuentemente el que se emplea en las fincas de cultivo y supone un gasto elevado de agua, así como un mayor gasto energético que los sistemas de riego por goteo. Es por esto por lo que otro de los objetivos es la implantación de un sistema de goteo que no necesite un alto consumo de energía para abastecer la totalidad del cultivo.
4. Sistema de producción energética en la finca: el ahorro energético en los sistemas de riego debe ir acompañado de una aportación energética por parte de la propia finca. Por ello mediante paneles solares, la finca puede ser autosuficiente en las horas de luz. Cubriendo así gran parte del gasto energético que tiene la instalación.

3. Alineación con los ODS

Como se ha mencionado previamente este proyecto tiene un compromiso elevado con la sostenibilidad sirviendo de ejemplo para la industria, de un sistema de abastecimiento que garantiza utilización de fuentes renovables y una reducción de emisiones contaminantes.

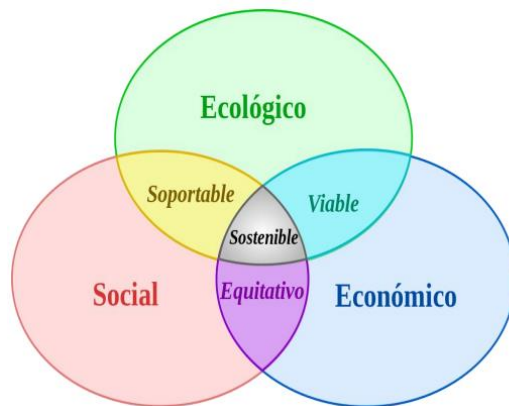


Ilustración 5 Modelo Triple Bottom Line Fuente: Asignatura Ingeniería Medioambiental

El compromiso con la sostenibilidad se debe a que el proyecto obtiene una solución a un problema social que es la sobreexplotación de los recursos naturales en zonas del Sur de España, por otro lado, busca ser un proyecto viable económicamente que no suponga un aumento excesivo en la inversión con respecto a un sistema de cultivo convencional. Y por último como se ha mencionado se logra reemplazar fuentes agotables por otras renovables, es decir es un proyecto ecológico.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible los adoptaron los principales líderes mundiales en 2015 como parte de una nueva agenda con el objetivo de asegurar la prosperidad, proteger el planeta y erradicar la pobreza. Para ello se deben cumplir unos objetivos específicos en los próximos 15 años. (Naciones Unidas, s.f.)



Ilustración 6 ODS Fuente: ONU

El proyecto busca cumplir con algunos de estos objetivos entre los que destacan:

6- Agua limpia y saneamiento: Con el objetivo de una mejor calidad del agua en la vivienda, se deberá analizar el agua y en caso de no ser apta para consumo humano, separar el circuito para cultivo del de consumo doméstico.

7- Energía asequible y no contaminante: el gasto energético que supone una instalación de riego convencional añadido al funcionamiento de un sistema de captación es elevado. Anteriormente se ha explicado que el objetivo de este proyecto es la obtención de un sistema que evite un gasto energético elevado (mediante el uso del sistema de riego por goteo) añadido a una fuente de energía no contaminante como es la solar. El uso de paneles solares como fuente principal de energía permite a su vez reducir los costes debido a que será necesaria una menor aportación de la red.

9- Industria, innovación e infraestructura: mediante la implantación de este sistema se busca crear un modelo autosuficiente y sostenible que permita al sector agrícola adaptarse a las necesidades del planeta en el corto plazo. Estas necesidades recogen la reducción en el uso de fuentes no renovables como el agua, y la implantación de sistemas que funcionan con energía verde.

12- Producción y consumo responsable: Según la Agenda 2030 el objetivo es fomentar el uso eficiente de los recursos y la energía, y la construcción de infraestructuras sostenibles. Para lograrlo es necesario una reconversión de las industrias hacia modelos que permitan continuar realizando su actividad, pero de una manera menos contaminante. Este proyecto asume el coste de la inversión necesaria para la transición hacia un modelo sostenible, pero a su vez demuestra que el beneficio aumenta. Es por ello por lo que la inversión inicial en este proyecto se recuperará en un plazo de tiempo corto, demostrando la viabilidad de la conversión a infraestructuras sostenibles.

13- Acción por el clima: La reducción de la huella de carbono es necesaria en el sector agrícola, es una de las industrias más contaminantes y no debería serlo ya que interacciona directamente con el medio natural. Es preciso encontrar modelos que ayuden a reducir las emisiones, mediante este proyecto una parte de estas emisiones son reducidas a través de la sustitución de fuentes contaminantes de energía por otras limpias. Sin embargo, este proyecto se centra en el sistema de captación y riego que es solo una parte del sector de la agricultura, es importante que se aporten soluciones para reducir la contaminación también en otras áreas como el uso de fertilizantes, la gestión del estiércol y la quema de residuos agrícolas.

15- Vida de ecosistemas terrestres: el deterioro del medio natural por parte de la industria está en continuo crecimiento, en el caso de Huelva ocurre que la sequía es cada vez mayor y eso afecta tanto a la flora como a la fauna de toda la provincia. Este problema lo comparten cada vez más lugares en el mundo y es necesario que se encuentren soluciones. El uso de sistemas de riego que requieran menor cantidad de agua se adopta como medida necesaria en el cultivo de fresas. La fresa es de los frutos que más agua necesita y esto quiere decir que este tipo de instalaciones se pueden aplicar a la gran mayoría de cultivos. Por otro lado, se evita depender completamente de la red de distribución de agua lo que permite poder realizar la actividad sin comprometer las reservas de agua de la comarca.

4. Estado de la cuestión

Se busca solucionar un problema de escasez de agua y elevado gasto energético en fincas de cultivo, para ello se debe tener en cuenta las condiciones que se han nombrado previamente tanto climatológicas, hídricas... Además, se debe encontrar una solución que no comprometa el medio natural y que disminuya la contaminación en el sector.

Las principales cuestiones que se deben tener en cuenta para el planteamiento del problema son:

- Climatología: Temperatura media alta todo el año, escasez de lluvias y gran número de horas de sol.
- Recursos hídricos limitados y objetivo de optimizar su uso para no comprometer el ecosistema.
- Necesidad de personal cualificado para la construcción e instalación del sistema debido a su complejidad.
- Selección de equipos y mantenimiento de la instalación practicado por personal cualificado.

4.1 Sistema de captación

Para la obtención de agua el objetivo es la instalación de un pozo que permita acceder a las masas de agua subterránea situadas en Cartaya. Al ser una masa que tiene influencia por parte de las aguas marinas debido a la proximidad de esta zona a la costa, tiene un alto contenido en sales disueltas y se considera un agua en mal estado químico. El objetivo de este proyecto es la obtención de agua para cultivo por lo que, aunque será necesario un control de las sales disueltas, se puede aprovechar esta agua para el riego de las fresas. Sin embargo, se encuentra en un buen estado cuantitativo por lo que la instalación del pozo de captación es viable.

Código Masa	Nombre Masa	Estado Cuantitativo	Estado Químico	Estado global	OMA
30593	NIEBLA	BUENO	MALO	MALO	EXCEPCIONES EN PLAZO: BUEN ESTADO EN 2021
30594	LEPE-CARTAYA	BUENO	MALO	MALO	EXCEPCIONES EN PLAZO: BUEN ESTADO EN 2021
30595	CONDADO	BUENO	MALO	MALO	EXCEPCIONES EN PLAZO: BUEN ESTADO EN 2021
440001	ARACENA	BUENO	BUENO	BUENO	BUEN ESTADO EN 2015

Tabla 2 Estado de las masas subterráneas de la Demarcación Hidrográfica de Tinto, Odiel y Piedras Fuente: Consejería de medioambiente y ordenación del territorio de la Junta de Andalucía

Una vez se ha determinado la masa de agua a la que se quiere acceder es preciso contar con datos relevantes sobre esta como la calidad del agua y el nivel freático. Como se ha mencionado previamente es un agua con contenido de nitratos. Se descarta por esta razón el abastecimiento urbano ya que sería necesario que el agua fuese tratada en una Estación de Tratamiento de Agua Potable reduciendo la cantidad de sales. Sin embargo, aunque esta agua es considerada apta para el cultivo es conveniente realizar pruebas regularmente para controlar la cantidad de nitratos en el agua, así como en el cultivo.

Un alto contenido de nitratos en el agua puede causar problemas tanto en la producción del cultivo como en su calidad. Estos compuestos se acumulan en los tejidos de las plantas y provocan una reducción en su crecimiento y su producción lo que puede llevar en casos extremos a la muerte de las plantas. Una forma de detectar la presencia de nitratos en el cultivo es por la apariencia amarillenta de las hojas de este.

Al ser agua destinada a la agricultura no es necesario que sea previamente tratada en una ETAP, sin embargo, requiere una serie de medidas preventivas para garantizar que el contenido de sales no sea demasiado elevado:

- **Reducir y controlar el uso de fertilizantes:** los fertilizantes contienen una gran variedad de componentes químicos que constituyen los nutrientes para el cultivo, entre estos compuestos destacan el nitrógeno, el fósforo y el potasio. El peligro del uso de estos productos reside en que una vez el cultivo obtiene la cantidad de nutrientes necesaria, deja de absorber el fertilizante y el exceso puede filtrarse a través del suelo y contaminar el agua. La fuente de contaminación más común es el nitrato que mediante filtración o escorrentía llega a las aguas subterráneas.
- **Técnicas de cultivo adecuadas:** Existen diversas prácticas de cultivo que permiten reducir la cantidad de nitratos que absorben las plantas. Entre ellas está la plantación de cultivos resistentes a estos compuestos, sin embargo, la fresa es un fruto que necesita de estas sales para su correcto crecimiento. Otra opción que es muy utilizada es la rotación de cultivos, que consiste en la plantación de distintos tipos de cultivos de manera secuencial en la misma parcela. De esta manera se mejora la salud del suelo ya que se optimizan los nutrientes que se encuentran en

él y se combaten plagas y malezas. También se deben considerar técnicas de cultivo como la Labranza 0 o Siembra directa, son prácticas que pretenden evitar el arado del suelo para lograr que no pierda sus propiedades y su consistencia y consiguiendo así una mayor protección de este.

- **Manejo de desechos orgánicos de manera adecuada:** Otra fuente principal de contaminación de nitratos es la oxidación del amoníaco procedente de los desechos de los animales. El suelo puede ser afectado seriamente si el estiércol tiene un alto contenido en nutrientes como los nitratos, potasio, fósforo...
- **Filtro en sistema de captación:** Un método muy efectivo para reducir la cantidad de sales disueltas en el agua es la aplicación de un tratamiento. La posibilidad de aplicar un tratamiento estándar de una Estación de Tratamiento de Agua Potable para eliminar las sales se debe a que procesos como la aireación permiten precipitar el exceso de sales y eliminar compuestos como el amoníaco. Este proceso consiste en la pulverización del agua o el uso de cascadas. Por otro lado, la filtración mediante carbón activado del agua a través de un medio poroso logra retener tanto partículas en suspensión como microorganismos asociados a estas partículas.

Sin embargo, el método más común para la eliminación de nitratos en este tipo de estaciones es la Osmosis Inversa, consiste en un método avanzado de potabilización que no pertenece al tratamiento estándar. La tecnología de filtración por membranas permite la separación de partículas disueltas, sedimentables o coloidales a través de distintas formas, entre sus ventajas entra la necesidad de un tratamiento químico mínimo, la posibilidad de reutilizar la membrana y que requiere poco espacio para su instalación.

TECNOLOGÍA DE SEPARACIÓN	ELECTRODIÁLISIS							
	OSMOSIS INVERSA							
TAMAÑO (µm)	NANOFILTRACIÓN				ULTRAFILTRACIÓN			
	MICROFILTRACIÓN				FILTRACIÓN			
	0,0001	0,001	0,01	0,1	1	10	100	
	DISUELTOS		COLOIDES			EN SUSPENSIÓN		
	NO DECANTAN						DECANTAN	
DESCRIPCIÓN	IÓNES		MOLÉCULAS		MACROMOLÉCULAS		PARTÍCULAS	
ELEMENTOS RETENIDOS	IÓN METÁLICO		SILICE COLOIDAL		VIRUS		BACTERIAS	
	SALES						GIARDIA	
	HERBICIDA							
	PLAGUICIDA						CRYPTOSPORIDIUM	

Nota: EDR sólo elimina partículas con carga. No es una barrera para los microorganismos.

Tabla 3 Tecnologías de separación Fuente: Moddle ETAP Asignatura Ingeniería Medioambiental

Por último, la opción más extrema para la separación del agua de las sales es la electrodiálisis, este proceso consiste en la aplicación de corriente continua para lograr una separación electroquímica. Se elimina la sal del flujo a través de la separación de los iones mediante el uso de una membrana de intercambio iónico

selectiva. La ventaja de este proceso es que al ser continuo permite tratar grandes volúmenes de agua.

El uso de estos sistemas de filtración es efectivo en la separación del agua de las sales, pero requiere un mayor coste debido en gran medida a su mantenimiento. Además, pueden afectar al flujo del agua a través del pozo lo que aumenta el gasto energético de la instalación.

Un pozo de captación de aguas subterráneas puede por tanto contar con un filtro para evitar el paso de partículas contaminantes. Sin embargo, hay otros elementos que deben estar presentes en el sistema de captación. En primer lugar, el revestimiento es un tubo de PVC o metal que evita la entrada de contaminantes en el agua, además de proteger las paredes del pozo y evitar que este colapse. Otro elemento que protege al pozo de la entrada de contaminantes es el sello sanitario, este consiste en una capa impermeable formada por concreto o arcilla que retiene las filtraciones y se coloca en la parte superior del pozo. Mediante un empaque de grava que está distribuido a lo largo de todo el pozo, se puede rellenar el espacio entre el filtro y la pared del pozo.

En la parte superior del pozo se encuentran otra serie de elementos como el cabezal, estructura que permite el acceso al interior del pozo y cuenta con un árbol de válvulas y medidores que permiten controlar la presión de este.

La tubería de descarga consiste en el elemento que permite distribuir el agua del pozo al depósito, se controla mediante válvulas el flujo del agua en el pozo y en esta tubería.

Normalmente se emplea una caja o caseta de protección para proteger el pozo de las condiciones climáticas u otros factores como la corrosión, permite un funcionamiento correcto del sistema de captación y ayuda a prolongar su vida útil.

Por último, el elemento principal del sistema de captación es la bomba hidráulica, es una máquina de fluido de carácter generador que permite transformar la energía mecánica en energía hidráulica. De esta manera aporta la energía suficiente al fluido para poder transportarlo a lo largo de la instalación, existen distintos tipos de bombas hidráulicas:

- **Desplazamiento positivo o volumétrica:** consisten en una cámara de volumen variable que aporta energía de presión al fluido mediante la compresión de esta. Entre sus múltiples ventajas destaca la posibilidad de bombear a grandes presiones y con un elevado rendimiento en ese rango. Además, son autocebantes, es decir, aumentan su eficiencia mediante la introducción del fluido en la cámara antes del inicio del proceso de bombeo. Otra gran ventaja es la posibilidad de que el caudal y la presión sean independientes, muy utilizado en el campo de las transmisiones.

El campo de aplicación de las máquinas de desplazamiento positivo incluye aquellas industrias que necesitan una transferencia controlada y con alta precisión de los líquidos, y más aún cuando estos son viscosos o incluso corrosivos y sensibles. Este tipo de bomba es muy empleado en la industria petroquímica para la transferencia de productos refinados y productos

químicos o el petróleo crudo. Otro campo de aplicación es el tratamiento de aguas ya que estas bombas se emplean en plantas de aguas residuales para el manejo de fangos y lodos. Por último, también pueden llegar a ser empleadas en sistemas de refrigeración y calefacción con el objetivo de transportar líquidos calientes y fríos a través del sistema de climatización.

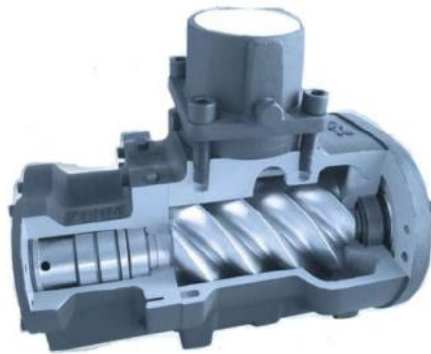


Ilustración 7 Bomba desplazamiento positivo Fuente: Asignatura Turbomáquinas

- **Turbomáquinas:** son consideradas máquinas de intercambio de cantidad de movimiento ya que aportan energía al fluido a través de la variación del momento cinético en el rodete. En comparación con las bombas de desplazamiento positivo estas máquinas tienen un funcionamiento más simple a nivel mecánico ya que cuentan con un accionamiento directo (sin transmisión) que permite una mayor velocidad de rotación. Otra de sus ventajas con respecto al anterior tipo de bomba es que trabaja mediante flujo continuo. Además, las máquinas rotodinámicas carecen de vibraciones si están bien equilibradas lo que aumenta su rendimiento. Por último, otra gran ventaja es que cuentan con una potencia específica elevada.

Existe una gran variedad de parámetros que permiten clasificar este tipo de máquinas y ayuda a seleccionar mejor el tipo de bomba que requiere una aplicación determinada:

1.- Según la dirección del flujo:

- Bombas radiales: el flujo entra por el eje central y es expulsado hacia afuera en dirección perpendicular al eje (dirección radial).
- Bombas axiales: el fluido entra también en la dirección del eje y fluye paralelo a esa dirección. Se emplean cuando se necesita un alto flujo, pero a bajas presiones.
- Bombas diagonales: es el punto medio entre las bombas axiales y las radiales ya que el fluido se mueve en dirección diagonal en el impulsor, lo que permite un flujo más eficiente y uniforme trabajando a bajas y medias presiones.

2.- Según el número de escalonamientos:

- Bombas simples de 1 escalonamiento: incluyen un único rodete.
- Bombas compuestas de múltiples escalonamientos: montaje en serie de varios rodetes, es muy común el uso de numerosos rodetes diagonales en serie en las bombas verticales utilizadas en los pozos profundos.

3.- Según el número de flujos:

- Bombas de simple aspiración: bomba con una única entrada y salida, es el tipo de bomba más común.
- Bombas de doble aspiración: el fluido es succionado a través de dos entradas y es descargado a través de una única salida. Este tipo de bomba tiene la ventaja de reducir prácticamente a cero el empuje axial si las admisiones están situadas en disposición opuesta.

4.- Según la posición del eje:

- Bombas de eje horizontal: tiene diversos usos, entre ellos el abastecimiento de agua, sistemas de alcantarillado e incluso en la industria química
- Bombas de eje vertical: son ideales para el bombeo de agua desde pozos profundos.
- Bombas de eje inclinado: son adecuadas para bombear agua desde un punto más bajo a uno más alto en terrenos irregulares o irrigación de laderas.

5.- Según la presión o altura suministrada:

- Bomba de baja presión: de 20 a 25 metros de columna de agua.
- Bomba de media presión: entre 20 y 60 metros de columna de agua.
- Bomba de alta presión: mayor de 60 metros de columna de agua.

Por otro lado, es importante tener en cuenta los elementos que componen una bomba rotodinámica:

- Eje: es el elemento que permite transmitir la potencia mecánica al rodete desde el motor.

- Rodete: es el componente principal y se encarga de transmitir energía cinética al fluido y aumentar su presión mediante el uso de álabes, generalmente curvados. Tiene forma de disco y gira alrededor del eje central dentro de la bomba.
- Sistema difusor: es el encargado de recoger el fluido a la salida del rodete y conducirlo hasta la salida de la bomba, su función principal es disminuir la energía cinética del fluido y aumentar su presión. Esto es posible mediante un aumento de sección a lo largo del sistema ya que implica una disminución de la velocidad para el mismo caudal. Mediante la aplicación de la ecuación de Bernoulli se puede concluir que cuanto menor velocidad lleve el fluido, para una misma altura geométrica habrá mayor presión estática. Algunos ejemplos de sistemas difusores son:
 - o Caja espiral: también es conocida como voluta y es una estructura en forma de espiral que rodea la bomba permitiendo la pérdida de aceleración del fluido de manera gradual.
 - o Corona directriz: consiste en una estructura redonda formada por álabes fijos que se sitúa a la salida del rodete habitualmente. Su función es conducir el fluido a la salida del rodete y mediante sus álabes ensanchar la sección de paso del fluido logrando el efecto difusor. Normalmente, los álabes de la corona directriz están orientados en dirección contraria a los del rodete para evitar el choque a la salida de este y disminuir de esta manera las pérdidas.
 - o Cono difusor: elemento que se puede combinar con los dos anteriores ya que se puede situar a continuación de la caja espiral y consiste en una estructura cónica que aumenta su sección gradualmente, amplificando de esta manera el efecto de difusión del fluido a la salida de la bomba.
- Carcasa: este elemento es el soporte estructural de la máquina y rodea a la bomba ejerciendo de barrera de presión entre el exterior y el interior de esta.
- Cojinetes: son los soportes del eje de transmisión y son elementos que se deben tener en cuenta ya que una excesiva vibración de la bomba puede generar daños en esta estructura.
- Bridas de entrada y salida: establecen los límites de la bomba en la instalación y su función es conectar el sistema de impulsión a las tuberías de admisión e impulsión.
- Sistema de estanqueidad: permiten mantener la estanqueidad de la barrera de presión y reducir las pérdidas volumétricas, relacionadas con el caudal que es impulsado en el rodete pero que no llega a ser suministrado por la bomba. Existen distintos tipos de cierres:
 - o Prensaestopas o empaquetadura: material compresible que reduce el juego entre el eje y la carcasa, evita las fugas y el rozamiento, aunque inevitablemente existe una fricción con el eje. Ejemplo: cuerda enrollada.

- Cierre mecánico: consiste en un cúmulo de juntas tóricas o cartuchos que reducen totalmente las fugas, además no tiene desgaste incluso a velocidades y presiones altas.
- Cierre laberintico: están relacionadas con las pérdidas interiores o caudal de recirculación. Se logra mediante la disposición de una serie de laberintos en el conducto que seguiría el caudal de fuga logrando aumentar la resistencia hidráulica y reducir al mínimo el flujo que escapa.

4.2 Sistema de almacenamiento de agua

Un sistema de riego por gravedad permite emplear como suministro para el riego un tanque de agua elevado. Este sistema logra tener un mayor control y flexibilidad sobre la disposición de agua. No obstante, implica la necesidad de construir un depósito adecuado añadido a la necesidad de mantenerlo.

Como se ha mencionado una de las grandes ventajas es que permite tener controlada la disponibilidad y la cantidad de agua que se emplea en el riego, sin embargo, tiene más ventajas como es el hecho de no depender de una fuente de agua natural. Esto es un gran beneficio ya que si el área de cultivo se sitúa en zonas donde el acceso a estas fuentes es limitado o intermitente durante el año, permite almacenar el agua y acceder a ella cuando sea necesario. Además, permite una mayor libertad a la hora de escoger el lugar donde se ubica el cultivo debido a que al poder almacenar el agua, no existe la restricción de tener que situar la zona de cultivo en un lugar cercano a una fuente natural de agua.

Por otro lado, el riego por gravedad desde un depósito de almacenamiento tiene ciertas limitaciones. En primer lugar, es necesario el cálculo de las necesidades hídricas de la instalación para el diseño del depósito, además se debe dimensionar para contar con un margen en caso de que no se pudiera acceder a la fuente de alimentación del depósito debido a circunstancias externas. Otra limitación es que el diseño de la instalación de bombeo y el sistema de captación se verá afectado por la ubicación y las dimensiones del depósito. Por último, se debe tener en cuenta que el sistema de riego también estará afectado por la capacidad y el tamaño del sistema de almacenamiento.

El principio fundamental para el uso de este sistema es el aprovechamiento hidráulico, es decir, se considera el depósito lo suficientemente grande para considerar que toda el agua está en reposo (no tiene energía cinética) y por tanto únicamente cuenta con energía potencial. Esta energía potencial se debe a la diferencia de altura geodésica entre los puntos que corresponden al nivel del depósito y la salida de este. Por tanto, la energía de la que se dispone para regar la finca depende de la altura del depósito y del nivel de este. Dicha energía se encuentra almacenada en el depósito y a la salida de este se convierte en energía cinética con la presión necesaria para que llegue a todo el sistema.

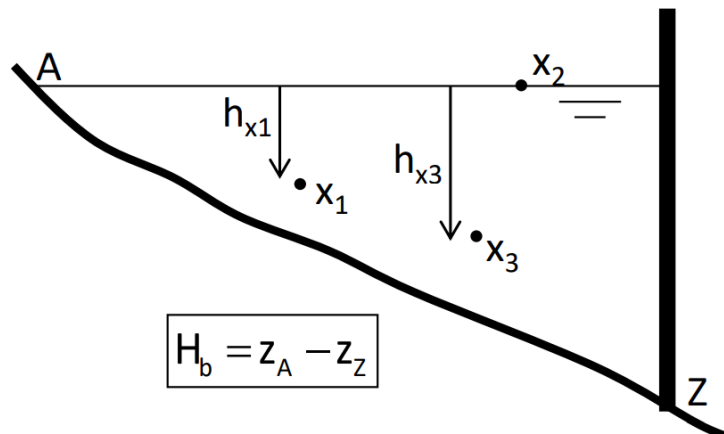


Ilustración 8 Energía potencial almacenada en un depósito Fuente: Asignatura Turbomáquinas

Por tanto, para el diseño del depósito se deben de tener en cuenta 2 factores:

1. El volumen de agua que debe almacenar: este dato viene dado por las necesidades hídricas de la plantación, por el número de días a la semana que se vaya a regar y por último por el número de días a la semana que se vaya a bombear. Es decir, se debe planificar si el depósito almacena el agua de un solo día de riego y por tanto se bombean tantos días como se riega o si se almacena la cantidad necesaria para varios días de riego, reduciendo así los días de bombeo.
2. La altura a la que debe llegar el depósito: como se ha explicado previamente, el nivel del agua en el depósito (que viene dado por la altura de este) determina la energía almacenada para el riego. Sin embargo, aunque este dato se obtiene del cálculo de la instalación de riego, a mayor altura del depósito más potencia de bombeo será necesaria para hacer llegar el agua del pozo hasta el tanque. Por tanto, se debe tener en cuenta que, aunque la instalación está dividida en 3 partes: captación, almacenamiento y riego, el cálculo de cada una de ellas afecta a las demás y se deben tener en cuenta todos los sistemas a la hora del cálculo de la instalación.

No obstante, los factores mencionados indican el diseño del depósito en cuanto a sus dimensiones se refiere, pero se deben tener otros factores en cuenta para su construcción:

- Resistencia estructural: a medida que aumenta la capacidad y la altura del depósito este aumenta su peso y por tanto se debe diseñar la estructura para que aguante. Por otro lado, se deben tener en cuenta cargas adicionales como la posible aparición de sólidos en el agua bombeada. Es por ello por lo que la selección en

los materiales y la técnica de construcción deben asegurar su resistencia y estabilidad en plazo largo de tiempo.

- Impermeabilidad: el sistema de almacenamiento debe garantizar estar completamente sellado en su interior. El depósito debe ser hermético e impedir que el agua se filtre ocasionando pérdidas. Para la construcción de un depósito impermeable se recomienda el uso de materiales como el acero galvanizado, concreto, geomembranas, poliéster o láminas de polietileno.
- Fácil acceso para mantenimiento y limpieza: se deben tener en cuenta factores como la accesibilidad, el depósito debe contar con una boca de acceso para lograr un llenado y vaciado rápido. Además, se tiene en cuenta que para la eliminación de sedimentos y garantizar la seguridad del agua, un depósito debe contar con dispositivos de limpieza que eviten obstrucciones y garanticen la calidad del agua. Por último, dependiendo del uso del agua almacenada se debe considerar el uso de sistemas de filtración a la entrada o salida del depósito para protegerlo de materiales no deseados y controlar de esta manera el agua de riego.
- Temperatura del agua: un factor importante a considerar es que el agua almacenada debe mantenerse a una determinada temperatura. En el caso del agua para riego este intervalo de temperaturas es bastante amplio, sin embargo, no se recomienda que el agua supere temperaturas alrededor de 30°-35° ya que puede provocar daños en el cultivo y desarrollar microorganismos en el agua. Tampoco es recomendado el agua a bajas temperaturas, por lo que se considera que el agua debe mantenerse a temperatura ambiente para no causar daños. Para lograr que el depósito mantenga la temperatura durante todo el año, se recomienda su construcción empleando materiales considerados aislantes térmicos. Destacan el hormigón, aceros galvanizados y aceros inoxidables, fibra de vidrio reforzada o polietileno de alta densidad. Por último, en el caso de tener altas temperaturas en el ambiente (como puede ocurrir en verano) la instalación de aislamiento adicional que proteja el depósito de la exposición directa al sol. Este tipo de aislamiento incluye cubiertas o paneles para dar sombra al depósito.

En cuanto a la estructura del sistema de almacenamiento, se diseña el depósito con una entrada a través de la que se introduce el agua del sistema de captación, en esta entrada se debe considerar el uso de sistemas de filtración (filtros de arena o filtros por gravedad) o sistemas de desinfección (cloración o desinfección por ozono) si el agua requiere una calidad determinada.

Las salidas del depósito deben contar con una salida principal que se puede ubicar en la parte inferior del depósito o en el lateral y a través de la cual se permite el flujo del agua desde el depósito al sistema de riego. Esta salida deberá contar con válvulas de control o compuertas que permitan controlar el flujo y regularlo. En segundo lugar, se pueden instalar tuberías secundarias para distribuir el agua hacia distintas áreas de riego en el caso de contar con una finca de gran tamaño y depende de la ubicación del depósito. Por último, el depósito debe tener un sistema de drenaje cuya función es eliminar el exceso de agua. Este sistema permite evitar que el depósito desborde en periodos en los que se detiene el riego o en el caso de periodos de

grandes lluvias. Además, permite evacuar de manera rápida el depósito de cara a realizar operaciones de mantenimiento o limpieza.

La conexión con el sistema de captación y con el sistema de riego se debe diseñar teniendo en cuenta la presión y el caudal del agua, por otro lado, se tienen en cuenta factores como el impacto medioambiental, la durabilidad y el precio.

4.3 Sistema de riego

En el cultivo de la fresa se practican varios métodos para el riego de la plantación, los tres más utilizados se describen a continuación:

1. **Riego por goteo:** sistema que consiste en el riego mediante la aplicación de gotas de agua directamente en la raíz de la planta. Se considera un método eficiente ya que riega todas las plantas por igual. Este método es adecuado para el cultivo de fresas ya que evita un mojado excesivo de la fruta.
2. **Riego por aspersión:** no es el sistema más utilizado en el cultivo de fresa, no obstante, puede ser empleado cuando se cultiva en zonas que requieren enfriamiento adicional. Se debe tener especial cuidado en no mojar en exceso la fruta ya que aumenta el riesgo de enfermedades.
3. **Riego por microaspersión:** esta técnica es similar a la del riego por aspersión, la única diferencia es que cuenta con emisores de menor tamaño que permiten rociar gotas muy finas de agua. Dispersan el agua uniformemente y de manera controlada lo que genera algo similar a una lluvia ligera sobre el cultivo. Se emplea para el cultivo de fresas en áreas con mucho viento o que estén a campo abierto.

Riego por goteo	Riego por microaspersión
Ahorro de agua y energía	Distribución más amplia del agua
Mayor eficacia del riego	Mantiene humedad relativa
Reducción de enfermedades	Menor inversión inicial
Mayor control sobre el riego	Menor mantenimiento

Tabla 4 Comparativa riego por goteo vs riego por microaspersión fuente: Propia

Como se ha mencionado en anteriores capítulos, el objetivo de este proyecto es conseguir un modelo de riego que sea eficiente y permita ahorro de agua, así como un ahorro de energía y es por ello, por lo que se emplea un sistema de riego por goteo, asumiendo así su elevada inversión inicial y su mayor coste por mantenimiento.

El riego por goteo suministra pequeñas cantidades de agua en la raíz de la planta, la principal ventaja de este método es que evita la evaporización y añadido a que no se pierde agua por causa del viento. Por otro lado, su alta eficiencia implica una menor lixiviación de nutrientes, es decir, evita la pérdida de nutrientes de las plantas, este fenómeno se da ocasionalmente con otros métodos de riego al regar con una determinada presión ya que arrastra estos nutrientes de las plantas y puede impedir un correcto desarrollo y crecimiento de estas.

Este método reduce la humedad excesiva en la planta, reduciendo así la propagación de ciertas enfermedades. Además, es un método especialmente sensible a la calidad del agua, se debe tener en cuenta en el diseño que si el agua tiene un contenido alto en sales, materia orgánica o sedimentos puede llegar a obstruir los emisores reduciendo así la eficacia del sistema. Es preciso medir este tipo de componentes en el agua y el uso de filtros o tratamientos en el caso de que fuera necesario para evitar que el sistema colapse.

A continuación, se describe brevemente las partes que debe tener un sistema de riego por goteo:

- Cinta de goteo: es el método más utilizado para el riego de la fresa, se caracteriza por distribuir de manera uniforme el agua a lo largo de su longitud y con precisión. Otra gran ventaja es su facilidad de manejo e instalación, se puede colocar muy próximo a la planta de fresa y asegurándose de que los orificios estén orientados correctamente, se riega de una forma efectiva. Es importante destacar que existen dos tipos de sistemas en las cintas de riego por goteo:
 - Autocompensantes: son aquellas que se han diseñado para mantener uniformemente distribuida el agua a lo largo de toda la cinta de riego. Mediante una membrana compensa las diferencias de presión a lo largo de la tubería, logrando de esta manera que el caudal se mantenga constante.
 - No autocompensantes: al no contar con mecanismos que garanticen la distribución uniforme del agua, no se ajusta el flujo de agua en función de la presión lo que puede llevar a que no todas las plantas reciban la misma cantidad de agua. Este efecto se puede compensar mediante la introducción en el sistema de reguladores de presión que se encargan de mantener la presión constante en todo el sistema, minimizando de esta manera las variaciones en el flujo de agua.
- Tuberías principales: son aquellas con un diámetro mayor que las cintas de riego y se encargan de llevar el agua desde la fuente hacia estas cintas. Dependiendo del tipo de malla puede ser una única tubería principal que se ramifique o varias líneas principales.
- Válvulas de control: se utilizan para controlar el caudal de agua en la instalación, existen válvulas manuales que debe manejar un operario y válvulas automáticas que pueden activarse mediante temporizadores o sensores de presión y humedad.

- Dispositivos de control de presión: la función principal de estos dispositivos es lograr mantener una presión constante en el sistema de riego, existen distintos tipos:
 - Reguladores de presión: se suelen instalar en la línea principal y su objetivo es mantener la presión del agua constante, logrando de esta manera un riego uniforme.
 - Filtros de presión: su función es proteger los emisores de goteo de obstrucciones y variaciones bruscas de presión.
 - Válvulas de control de presión: se instalan en puntos estratégicos del sistema y permiten monitorear la presión en tiempo real. Esto ayuda al operario a poder realizar ajustes en el sistema para lograr que la presión se mantenga constante.

- Programador de riego: este dispositivo se conecta a la válvula de control y permite establecer un riego eficiente, fijando el horario del riego y su duración.

- Filtros: de la misma manera que en el sistema de almacenamiento y el sistema de captación, en el sistema de riego es habitual el uso de filtros para garantizar que el agua que llega al cultivo tiene una calidad determinada. Existen distintas posibilidades en el uso de filtros:
 - Filtros de malla: consiste en una malla fina, de materiales como acero inoxidable o nylon, que atrapa las partículas suspendidas.
 - Filtro de disco: están formados por discos ranurados en los que las partículas más grandes no logran pasar debido al tamaño de la ranura.
 - Filtros de arena: en este caso el medio filtrante es un lecho de arena que impide el paso de las partículas en suspensión. Este filtro tiene mayores requisitos de lavado y limpieza.

4.4 Sistema fotovoltaico

El objetivo de este proyecto es lograr el funcionamiento de la bomba mediante energía solar, este sistema es conocido como bombeo solar y se basa en la utilización de paneles fotovoltaicos para la conversión de la energía solar en energía eléctrica y lograr alimentar la bomba.

Existen distintos tipos de modelos de bombeo solar, y se les puede clasificar en función de diversos parámetros. En primer lugar, se debe diferenciar según si existe almacenamiento de energía.

- Bombeo solar con batería: existen casos en los que se emplean baterías para almacenar la energía generada por los paneles fotovoltaicos. La principal ventaja de este sistema es que permite mayor libertad en el horario de bombeo, pudiendo realizarlo durante la noche o incluso en días nublados. Otra gran ventaja de este sistema es que permite un bombeo de agua continuado, es decir, si las condiciones solares durante el bombeo son insuficientes permite a la bomba seguir funcionando de manera constante lo que aumenta su fiabilidad. No obstante, cuenta con desventajas como un gran costo adicional debido a su inversión inicial y su mantenimiento y sustitución. Además, el proceso de carga y descarga de la batería produce pérdidas e implica un menor rendimiento de la instalación.
- Bombeo solar directo o sin batería: este sistema funciona sin almacenamiento de energía, por tanto, se debe bombear en las horas de máxima producción solar. La principal desventaja de este sistema es que en días nublados y por la noche no se puede bombear. Esto implica que se debe dimensionar el sistema para que en condiciones de bajo rendimiento del sistema fotovoltaico no se interrumpa el riego. El bombeo solar directo tiene ventajas también, es más eficiente debido a que evita el proceso de carga y descarga de la batería y cada unidad de energía solar captada produce mayor bombeo. Por último, este sistema requiere una menor inversión inicial y tiene menos requisitos de mantenimiento.

Otro parámetro que determina el tipo de bombeo solar es la corriente con la que funciona la bomba. Los paneles fotovoltaicos transforman la energía fotovoltaica en energía eléctrica de corriente continua por lo que dependiendo de la corriente con la que funciona la bomba se deberán introducir elementos intermedios en la instalación.

- Bombeo solar con corriente alterna: al tener distinto tipo de corriente es necesario el uso de un inversor para transformar la corriente continua producida en los paneles, en corriente alterna para la alimentación de la bomba. Este sistema tiene más pérdidas que el bombeo con corriente continua debido al paso por el inversor. Además, puede resultar más caro debido al mantenimiento adicional del inversor.
- Bombeo solar con corriente continua: este sistema permite reducir la cantidad de paneles instalados debido a que la bomba trabaja en una tensión similar a los paneles y no se necesitan variadores o inversores, lo que aumenta la eficiencia. El

principal problema de este sistema es que tiene una capacidad de bombeo limitada, tienen una menor capacidad de presión y caudal por lo que puede ser un condicionante en proyectos que requieren una mayor capacidad de bombeo.

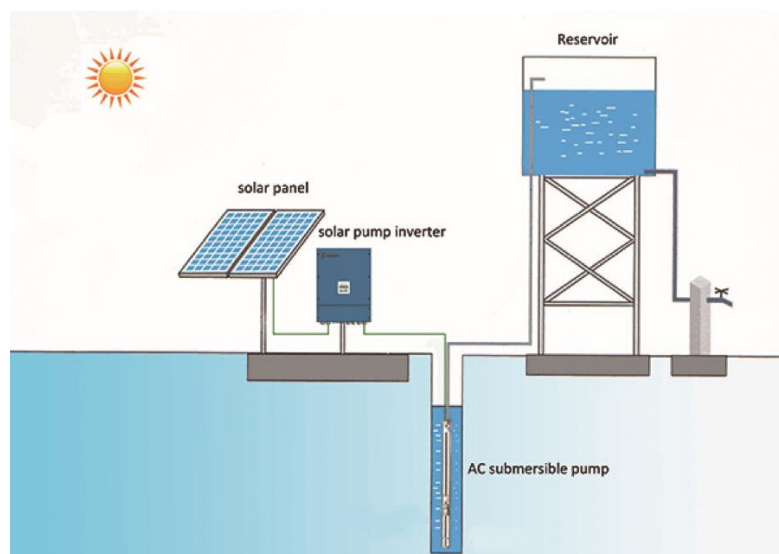


Ilustración 9 Esquema Bombeo solar (AC) Fuente: <https://cpmsolar.com/2019/10/01/sistemas-solares-para-bombas-de-agua/>

Dependiendo del tipo de bombeo son necesarios distintos elementos a introducir en la instalación. A continuación, se describen los siguientes:

- **Paneles solares:** son los que transforman la energía solar en energía eléctrica, están formados por un número de células solares que producen energía cuando se exponen a la radiación solar. Hay dos aspectos que se deben tener en cuenta en la instalación de los paneles solares:
 - **1. Potencia generada:** una vez calculado el sistema de captación, se conoce la potencia de accionamiento de la bomba, es necesario colocar los suficientes paneles para cubrir esa potencia. Además, se debe tener en cuenta tanto el rendimiento de la bomba como el rendimiento de los paneles.
 - **2. Orientación e inclinación de los paneles:** es de gran importancia para maximizar la eficiencia del sistema situar los paneles en una orientación que permita aprovechar al máximo la radiación solar durante el día. En el hemisferio norte del planeta, esta orientación debe ser hacia el sur. De esta manera se asegura que reciben la máxima cantidad de luz durante el día ya que el sol se mueve de este a oeste a lo

largo del día y su posición más elevada en el cielo se encuentra en la posición sur. Por otro lado, para calcular la inclinación de los paneles se debe tener en cuenta la latitud del emplazamiento y el periodo en el que interesa maximizar la producción de energía fotovoltaica.

- Controlador de carga: es el encargado de regular el flujo de energía entre los paneles y la bomba, además de proteger el sistema de sobrecargas o descargas. Su objetivo es maximizar el rendimiento de los paneles y puede regular también el funcionamiento de la bomba. El controlador permite que la bomba funcione en momentos en los que la radiación solar disminuye mediante la variación de la velocidad de giro de esta. (Atersa, s.f.)
- Inversor: en el caso de la utilización de una bomba alimentada con corriente alterna, es necesario la utilización de este dispositivo que es capaz de convertir la energía de corriente continua a corriente alterna. No obstante, en el caso de la utilización de una bomba alimentada con corriente continua podría ser necesaria la utilización de un inversor si estuviera conectada también a la fuente de alimentación de la red eléctrica, ya que esta es alterna. La capacidad del inversor debe ser adecuada para garantizar las demandas de energía de la bomba.
- Otros accesorios: existe la posibilidad de situar accesorios como un medidor de nivel en el depósito conectado al sistema de bombeo y al fotovoltaico con el objetivo de accionarlo cuando esté por debajo de un volumen determinado. Además, el sistema fotovoltaico puede estar conectado a la red para verter la energía sobrante.

Para la selección del equipo se deberán tener en cuenta las posibilidades descritas anteriormente, y se deberán analizar en función de los datos del problema y las condiciones del emplazamiento. Por otro lado, se debe calcular el número de horas que se desea bombear para obtener el mayor rendimiento fotovoltaico y seleccionar en que tramo del día se sitúan esas horas.

5. Solución escogida

Una vez se ha procedido al desarrollo de los cálculos (se encuentra en el capítulo siguiente), se procede al dimensionamiento de la instalación y se obtiene la solución que se describe a continuación.

En primer lugar, se procede a la elección del sistema de riego, como se ha mencionado anteriormente se busca optimizar el consumo de agua y reducir el gasto energético y por estas razones se escoge un sistema de riego por goteo. La principal característica de este sistema es que se emplean caudales pequeños para el riego, pero de tal manera que llegue a todas las plantas la misma cantidad de agua y de manera efectiva al gotear sobre la raíz. Este sistema permite que se pueda abastecer mayor superficie de cultivo debido al óptimo uso de los recursos hídricos y es por ello por lo que el área de plantación será de 2 hectáreas. Esto se logra debido a que a través de un pozo de uso menor (captación anual menor o igual a 7000 metros cúbicos), añadido a las precipitaciones anuales en la zona de Cartaya, se logra obtener el agua necesaria para abastecer dos hectáreas de cultivo.

El marco de plantación para la fresa se escoge de tal manera que su disposición sea en hileras con separación entre ellas de 1 metro, mientras que la separación entre las plantas de cada hilera sea de 50 centímetros. Esto permite dimensionar el sistema de riego ya que se diseña de tal manera que haya una tubería de mayor sección que es el canal principal, estará conectado directamente al depósito de almacenamiento. Al canal principal se conectan las cintas de riego por goteo que serán tuberías de menor diámetro con orificios para el goteo. Al ser dos hectáreas de cultivo, se dimensiona el canal principal para que tenga una longitud de 200 metros, mientras que las cintas de riego serán de 100 metros de largo y con orificios de goteo cada 50 centímetros. El uso de cintas de riego autocompensantes evita tener que emplear reguladores de presión, ya que de esta manera se garantiza presión uniforme a lo largo de la tubería y se puede garantizar que todos los orificios riegan con el mismo caudal. De esta forma, se logra que todas las plantas reciban la misma cantidad de agua.

- Canal principal: Tubería PE, Diámetro interior 200 mm, Longitud 200 metros.
- Cintas de riego por goteo: 200x Tuberías PE baja densidad, Diámetro interior 16 mm, orificios cada 50 mm y autocompensantes. Longitud: 100 metros.
- Equipo adicional: Electroválvula y programador de riego

La disposición seleccionada del cultivo permite plantar 40.000 fresas permitiendo satisfacer sus necesidades de riego anuales con un caudal de 1,678 l/h. Esto se debe a que se decide regar dos días a la semana el cultivo, además el riego por goteo dura una hora, logrando así este caudal de riego que se establece dentro de los límites recomendados.

Se ha mencionado en apartados anteriores, que el objetivo para lograr el funcionamiento de la instalación es el uso de la técnica de riego por gravedad, mediante un depósito de agua en altura. El cálculo de la instalación de riego indica que la altura necesaria del depósito para lograr que el agua tenga la energía necesaria para llegar a todos los puntos es de 10 metros. Por tanto, se emplea un depósito con capacidad para 70 metros cúbicos, que pueda albergar la cantidad de agua necesaria para un día de riego, y que se deberá colocar en un punto con la suficiente altura.

- Depósito de almacenamiento de agua:
 - o Capacidad: 70.000 l
 - o Diámetro: 3 m
 - o Altura: 3,2 m
 - o Largo: 10,53 m

El sistema de captación se diseña para lograr transportar el agua desde un pozo, abastecido por la masa de agua subterránea de Cartaya, hasta el depósito mencionado previamente a una altura de 10 metros. Dado que el agua de esta masa subterránea de agua es considerada apta para el cultivo (y el agua del pozo se emplea únicamente para riego), no se precisa el uso de sistemas avanzados de filtración en esta parte de la instalación. En cuanto a la instalación del sistema, se cuenta con los siguientes elementos en el pozo:

- Tubería de extracción: Diámetro interior 80 mm, Material: PVC.
- Válvula de control: en los cálculos se considera una válvula de globo.
- Caseta de protección: protege el sistema y permite la conexión con sistema fotovoltaico
- Sensor de nivel: da la información de la cantidad de agua en el pozo.
- Bomba hidráulica

Se escoge una bomba sumergida debido a que la altura de impulsión es elevada y se evita de esta manera el riesgo de cavitación. Debido a la altura sobre el nivel del mar del emplazamiento (19 m) se estima que el pozo debe ser de 20 metros de profundidad. Por tanto, la bomba debe proporcionar la energía necesaria para subir el agua a 30 metros de altura, añadido a las pérdidas de carga que sufra en la instalación.

Del apartado de cálculos hidráulicos se obtiene que la altura que debe proporcionar la bomba es de 33,54 metros y por otro lado la potencia hidráulica que se debe obtener es de 3058,34 W. Por tanto, la bomba escogida es una bomba de achique sumergible XJ 50 HD 50 Hz con las siguientes características:

- Bomba de eje vertical
- 1 escalonamiento
- Motor trifásico 50 Hz
- Impulsor: Rodete de canal
- Sistema de estanqueidad: cierre mecánico
- Alta presión

El sistema de bombeo por tanto debe lograr conducir el agua desde el pozo hasta el depósito, para lograrlo se debe alimentar la bomba con energía para accionarla. Se escoge un modelo de bombeo solar mediante el que la energía es suministrada por paneles fotovoltaicos que aprovechando las horas de sol obtengan, mediante la radiación solar, la energía demandada por la bomba.

Para el diseño del sistema fotovoltaico se parte del dato de la potencia hidráulica que debe proporcionar la bomba, además se tiene en cuenta el rendimiento de esta para el punto de diseño de la instalación, esto implica que la potencia necesaria para accionar la bomba es de 5500 W. Esta potencia debe ser cubierta por los paneles y se diseña el sistema para contar con un margen de seguridad en casos de días menos soleados. También se tiene en consideración que la bomba debe ser alimentada por corriente alterna, esto implica la necesidad de usar un inversor para transformar la energía que viene de los paneles (corriente continua) en corriente alterna. Otro beneficio del uso de un inversor es que el excedente producido por los paneles fotovoltaicos puede ser volcado a la red en las horas en las que no haya consumo energético de la bomba. La instalación fotovoltaica queda de la siguiente manera:

- 18x Paneles fotovoltaicos 400Wp, Monocristal
- 2x Inversor DC/AC 3 KVAR

La potencia instalada en el sistema fotovoltaico es de 7200 W y se logra de esta manera que a lo largo del año el 85,6% de la energía consumida por la bomba sea mediante autoconsumo. A través de un estudio del lugar del emplazamiento se llega a la conclusión que debido a la latitud de Cartaya la inclinación óptima de los paneles es de 35° con respecto al plano horizontal y al estar situado en el hemisferio norte del planeta, se deberán orientar hacia el sur.

A modo de conclusión, el sistema diseñado se resume en una instalación de riego por goteo para el cultivo de dos hectáreas de fresas, en la que se logra el riego uniforme del cultivo mediante un depósito en altura que garantiza la energía suficiente para que todas las plantas reciban el mismo caudal y con presión uniforme. Por otro lado, se logra abastecer el depósito de almacenamiento de agua mediante el diseño de un sistema de captación que aprovecha las aguas subterráneas del emplazamiento que, mediante una bomba sumergida, impulsa el agua desde el pozo perforado hasta el depósito. Por último, la energía necesaria para que funcione el sistema se produce a través de una instalación fotovoltaica diseñada para cubrir la mayor parte de la demanda del sistema.

6. Futuros desarrollos

En la ejecución de este proyecto se ha diseñado un sistema válido para el riego de una finca de cultivo. No obstante, es posible que este sistema no sea válido en todo tipo de emplazamientos ya que se debe tener en cuenta que se necesitan unas condiciones climatológicas concretas. Existe la posibilidad de una ampliación del proyecto que permita su consecución en zonas geográficas con climatología distinta.

También se puede tener en cuenta para ampliar la zona de cultivo, ya que la cantidad de agua que se puede extraer de un sistema de captación es limitada, así como la dotación para riego en los distintos municipios. Por tanto, en el caso de que se busque el abastecimiento de grandes superficies de cultivo es necesario el estudio de otras soluciones que permitan aumentar la capacidad de riego.

6.1 Sistema de captación de aguas pluviales

Se ha mencionado en distintas ocasiones a lo largo del proyecto el elevado consumo de agua de un cultivo como la fresa, además la posibilidad de contar con una masa de agua subterránea cercana a la ubicación de la finca no está garantizada. Es por ello por lo que el diseño de un sistema que permita obtener agua de la lluvia que pueda ser empleada para el riego del cultivo es interesante para obtener el agua necesaria.

El objetivo de un sistema de captación de aguas pluviales es el de recolectar y almacenar el agua de la lluvia para poder utilizarla de distintas maneras. Dependiendo de la utilización que se le quiera dar al agua recolectada, consistirá en un sistema más o menos complejo. Los elementos necesarios para la instalación de un sistema de captación de agua pluvial se describen a continuación:

- Superficie de captación: se debe diseñar un área de un tamaño determinado que permita recolectar agua de lluvia sin que se pierda o se filtre. Existen multitud de posibilidades y en la mayoría de los casos se aprovecha una superficie ya construida para realizar esta tarea. Un buen ejemplo es el tejado de un edificio, en el que mediante la construcción de pequeños muros se puede retener un gran volumen de agua aprovechable. No obstante, se puede utilizar los canalones de patios y jardines para recolectar agua de lluvia o incluso áreas pavimentadas como plazas o calles.
- Bajantes y canaletas: el objetivo principal de este elemento es conducir el agua recolectada en la superficie de captación hacia un sistema de almacenamiento o directamente a la zona de riego. Se instalan en los bordes de esta superficie en el caso de los tejados, y permiten bajar el agua hacia la zona de cultivo. Como se ha

mencionado previamente también existe la posibilidad de conducir mediante un sistema de canales el agua de los patios y jardines para su aprovechamiento.

- Sistema de filtración: el agua de la lluvia puede contener distintos tipos de contaminantes y se deben de tener en cuenta para el diseño del sistema de filtración. El principal problema de estos contaminantes es que afectan a la calidad del agua, pero también puede provocar daños en el sistema por obstrucción o deterioro de los materiales. Con el objetivo de reducir el mantenimiento del sistema y evitar que se deteriore su eficiencia se deben tener en cuenta los siguientes contaminantes:
 - Sólidos y partículas: esto se debe a que el agua de la lluvia puede arrastrar arena o polvo presente en la superficie de captación o incluso en el ambiente.
 - Contaminantes en la atmósfera: en su caída, el agua de la lluvia puede recoger contaminantes como gases o compuestos químicos entre los que puede haber óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de azufre (SOx) y compuestos orgánicos volátiles (COV). Estas partículas pueden haber sido emitidas en distintos procesos fuentes de contaminación industriales o fuentes de contaminación móviles como por ejemplo el transporte.
 - Contaminantes químicos: en zonas de cultivo el agua de lluvia puede absorber herbicidas y pesticidas en su descenso. También existe la posibilidad de que absorba metales pesados o hidrocarburos dependiendo de la actividad humana que se realice en las proximidades y que puedan ser fuentes de contaminación.
 - Compuestos orgánicos: el agua de la lluvia puede arrastrar consigo materia como hojas, excrementos y polen. El problema de estos compuestos es que al descomponerse vierten nutrientes en el agua como fosfatos y nitratos que pueden llegar a provocar el desarrollo de algas en el agua.

- Sistema de almacenamiento (si fuera necesario): a la hora de realizar el diseño se deben tener distintas variantes, y se debe estudiar de manera exhaustiva cada una de ellas. El objetivo de este sistema es almacenar el agua recolectada para su posterior uso. Este almacenamiento se puede realizar en el mismo depósito que el empleado para el sistema de captación o en un depósito independiente. En el diseño del sistema se deben de tener en cuenta todas las posibilidades:
 1. Diseño sin sistema de almacenamiento: en este caso el agua se conduce directamente desde la superficie de captación a través de canales hasta el sistema de riego por goteo. El inconveniente de este sistema es que el agua

se tendría que retener mediante válvulas hasta que fuera necesario su uso y podría empeorar su calidad al estar expuesta o incluso evaporarse.

2. Diseño con sistema de almacenamiento:

- a. Único depósito para sistema de captación subterránea y pluvial: es decir, en este caso el agua recolectada durante la lluvia se conduce a través de los canales hacia el depósito ya existente en la finca en el cual se almacena el agua extraída del pozo. La principal ventaja de este sistema es que permite una menor inversión y únicamente habría que diseñar el sistema de canalización. Sin embargo, tiene el inconveniente de que el depósito debe estar dimensionado para contener mayor cantidad de agua y contar con la posibilidad de lluvias extremas para no desbordar.
 - b. Depósito independiente para el sistema de captación pluvial: de esta manera se evita el problema descrito anteriormente, aunque requiere una mayor inversión inicial. Este depósito se conectaría directamente con el sistema de riego por goteo, el problema reside en la ubicación del depósito y sus dimensiones, ya que existen dos posibilidades de diseño. La primera es la de un depósito en altura que permita regar por gravedad, no obstante, al ser un recolector de lluvias no puede ser muy alto ya que el agua de la lluvia se recoge en un tejado o jardín y se debe conducir hacia el depósito. La segunda opción es un depósito a nivel de la superficie que cuente con una bomba para lograr darle la presión necesaria al sistema, permitiendo así el riego.
- Sistema de bombeo y distribución: como se ha mencionado en el apartado anterior dependiendo de la configuración escogida será necesario diseñar un sistema de distribución que cuente o no con una bomba para garantizar el correcto desplazamiento del agua. Además, se pueden tener en cuenta otros usos que se le quiera dar al agua pluvial como el lavado de vehículos o descargas de agua residual.
 - Sistemas de tratamiento adicionales: en el caso de este proyecto, el agua captada en este sistema se emplea únicamente para riego de cultivo, por tanto, no requiere una calidad del agua demasiado elevada. Aun así, se recomienda el análisis del agua captada ya que puede contener distintas sustancias perjudiciales para el cultivo y puede que requieran un proceso de desinfección o filtración más complejo.



Ilustración 10 Sistema de captación de agua pluvial Fuente:
<https://rotoplascentroamerica.com/conoce-como-funciona-un-sistema-de-captacion-de-agua/>

6.2 Tratamiento de aguas residuales

La segunda solución posible consiste en el aprovechamiento de las aguas residuales generadas en las viviendas para que mediante un tratamiento sean aptas para el riego.

El agua residual urbana es aquella formada por aguas de lavado en la vivienda, aguas de limpieza pública, aguas fecales y puede incluir aguas pluviales. Estas aguas se clasifican como urbanas ya que provienen de los núcleos de población y sus actividades. Los principales contaminantes en estas aguas son:

- Materia orgánica
- Sólidos en suspensión
- Grasas y aceites
- Nitrógeno y Fósforo
- Microorganismos patógenos

El objetivo principal de la depuración reside en la reducción de todos estos contaminantes, así como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y la demanda química de oxígeno (DQO).

(Asignatura Ingeniería Medioambiental)

Zona de Vertido	Tratamiento Necesario	Parámetro (VLE)	[mg/l]	[% reducción]
Normal	Secundario	DBO ₅	25	70-90
		DQO	125	75
		SS	35	90
SENSIBLE (eutróficos+agua superficiales prepotables)	Eliminación de nutrientes	P	1 – 2	80
		N	10 - 15	70-80

Tabla 5 Estándares de calidad del efluente según el Real Decreto 509/1996 Fuente: Asignatura Ingeniería Medioambiental

Existen varias etapas en la depuración de las aguas residuales:

1. Pretratamiento: el objetivo de esta etapa es la filtración del agua para eliminar arena, materia y flotantes que puedan afectar a los equipos. Los sistemas de pretratamiento pueden incluir: Pozo de gruesos, desbaste, tamizado, desarenado, desengrasado y balsa de homogenización de caudal.
2. Tratamiento primario: en esta etapa se busca continuar con la eliminación de sólidos suspendidos y eliminar parte de la materia orgánica. El tratamiento primario sencillo consiste en una decantación únicamente, mientras que en casos de valores altos de DBO₅ y DQO se puede aplicar un tratamiento mejorado químicamente es decir un CFD (coagulación, floculación y decantación).
3. Tratamiento secundario: el objetivo en este tratamiento es reducir la DBO₅ mediante la biodegradación de materia orgánica. Además, se busca la reducción de patógenos y lograr una mayor oxigenación del agua. Dependiendo del valor de DBO/DQO se necesita un tratamiento químico únicamente o un tratamiento biológico.
 - DBO/DQO < 0,2: Tratamiento químico que puede consistir en un CFD.
 - 0,2 < DBO/DQO < 0,4: Tratamiento biológico de cultivo fijo y decantación.
 - DBO/DQO > 0,4: Tratamiento Biológico de cultivo en suspensión y decantación en la que se pueden incluir tratamientos de desnitrificación.
 - Si el valor de DBO₅ > 1500 mg/L se puede incluir un tratamiento anaerobio para lograr una mayor reducción del contaminante.
4. Tratamiento terciario: se realiza cuando se necesitan concentraciones bajas de los distintos contaminantes. Para valores altos de nitrógeno se emplea un sistema de nitrificación-desnitrificación, así como para reducir el fósforo se puede emplear precipitación química. No obstante, es de vital importancia si el agua tratada se va a emplear para riego, emplear un proceso de filtración y desinfección en esta etapa ya que permite la reducción de sólidos en suspensión y la eliminación de bacterias y virus.

En el tratamiento de aguas residuales se requiere una línea de aguas (descrita anteriormente) y una línea de fangos. Esta última, pretende reducir los desechos generados en los decantadores, estos desechos son una mezcla de agua y materia y son conocidos como fangos. La línea de fangos se divide en tres etapas:

- **Espesamiento:** se pretende reducir el volumen de los fangos eliminando el agua que contienen. Existen distintos tratamientos para lograrlo como el espesado por gravedad y el espesado por flotación. El espesado por gravedad se da tanto después de la decantación primaria como de la secundaria, mientras que el espesado por flotación se realiza únicamente después de la secundaria.
- **Estabilización:** en esta etapa se busca neutralizar las bacterias y virus, así como mineralizar la materia orgánica y disminuir la volátil. Se puede emplear tanto la digestión aerobia como la digestión anaerobia o la estabilización química.
- **Deshidratación:** por último, se busca reducir lo suficiente la cantidad de agua presente en el fango para lograr que sea sólido, lo que es ventajoso para su transporte.

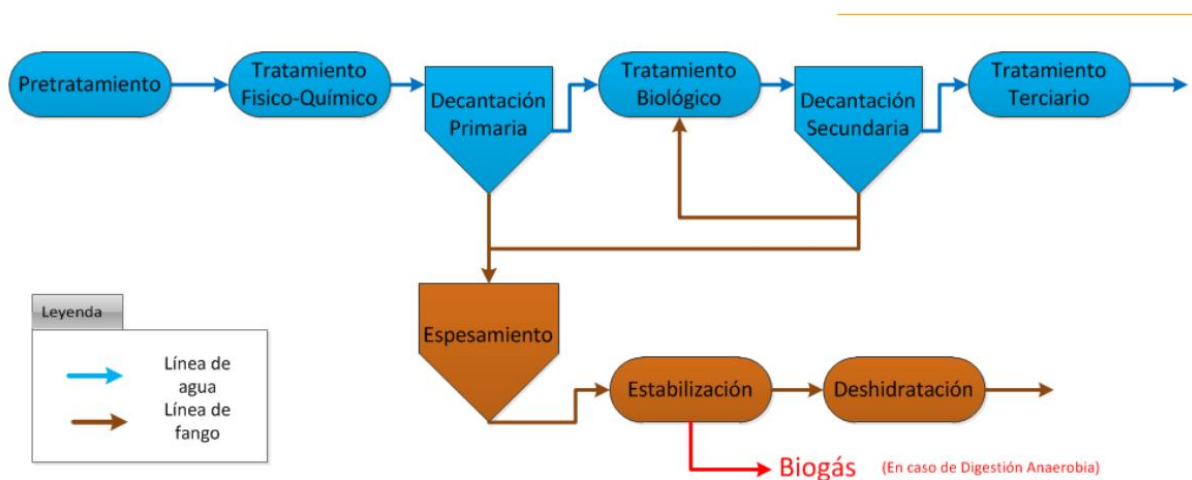


Ilustración 11 Esquema general de una depuradora Fuente: Asignatura Ingeniería Medioambiental

Una Estación de Depuración de Aguas residuales (EDAR) no es económicamente viable para una única finca de cultivo, o al menos para una del tamaño de la estudiada en este proyecto. Sin embargo, es una solución que se debe estudiar para poblaciones en las que se tienen grandes terrenos para el cultivo cercanos. Esto se debe a que se puede obtener una gran cantidad de agua apta para el riego a través de las aguas residuales, no obstante, el diseño del sistema de canalización para hacer llegar esta agua a las distintas hectáreas debe ser calculado y diseñado para que se obtenga el mayor rendimiento.

Se debe recordar que el agua que se obtiene después del tratamiento se debe utilizar para riego o se debe verter al medio natural. Para que fuera apta para el consumo humano se debería de tratar de nuevo en una Estación de Tratamiento de Aguas Potables (ETAP) y transformarla así en agua que se pueda ingerir.

7. **Motivación**

La motivación principal de este proyecto es lograr un modelo que proponga una solución económica a los problemas de escasez de agua y de elevada contaminación en el sector agrícola. Estos dos factores son perjudiciales tanto para el agricultor como para la sociedad, ya que el primero busca lograr que su negocio sea rentable y los problemas descritos afectan negativamente en su producto, sin embargo, también son problemas que afectan a la sociedad en general ya que en zonas donde además de cultivo agrícola, hay hogares y núcleos de población, los problemas descritos pueden ser peligrosos para la salud de los habitantes.

El consumo anual de agua en cultivos como la fresa es razonablemente alto, y cada vez son más las poblaciones que tienen problema de sequías en sus embalses y sus masas de agua tanto superficiales como subterráneas. Este problema implica que en las distintas poblaciones se empiece a racionalizar el agua dando una dotación limitada al sector de la agricultura, por tanto, no es únicamente un problema de autoabastecimiento, sino que no se obtiene el agua necesaria de la red. Sin la cantidad de agua necesaria, y aparentemente sin soluciones, los agricultores se ven forzados a reducir su producción. Esto tiene un impacto negativo en el ámbito económico no solo para el agricultor, sino para un país, ya que al reducir la producción se verá obligado a reducir las exportaciones e incluso a aumentar las importaciones.

Por otro lado, la contaminación en el sector agrícola es cada vez mayor, no solo por las emisiones que producen sino también por los vertidos al suelo que contaminan el ecosistema y puede filtrarse contaminando las aguas. Por tanto, es preciso encontrar soluciones que propongan modelos menos contaminantes y que puedan ser suministrados mediante energías limpias, a la vez que se deben encontrar métodos que reduzcan los vertidos y el uso de fertilizantes. No obstante, además de cumplir con las características descritas anteriormente, deben ser modelos eficientes que ayuden a reducir el gasto energético frente a modelos convencionales. Esto es debido a que para que pueda ser una solución que se implemente a escala global, debe ser rentable ya que requiere una inversión inicial elevada que debe compensarse y recuperarse con el paso de los años. Para lograrlo es imprescindible lograr ahorro energético y reducir el gasto de agua.

En resumen, este proyecto tiene la motivación de proponer una solución sostenible y eficiente a los problemas que están poniendo en peligro al sector agrícola y de alguna manera, a la sociedad global. La búsqueda de la reducción en el gasto de agua es imprescindible para no agotar las reservas naturales y lograr la supervivencia de los ecosistemas. Se debe lograr mediante soluciones que permitan reducir la contaminación en el sector y sobre todo que puedan ser autosuficientes para no depender de las redes de suministro, logrando de esta manera que sea un proyecto viable en fincas ubicadas en cualquier lugar.

8. Metodología

Para la realización de manera exitosa del proyecto se debe trabajar siguiendo una planificación que permita dividir el proyecto en fases. La estructura del proyecto se subdivide en fases debido a que permite una mejor organización y evita errores por falta de comunicación entre las distintas fases.

En primer lugar, se elige el cultivo y se realiza un estudio exhaustivo de las condiciones climatológicas que necesita para desarrollarse correctamente. Esto lleva a un abanico de posibles ubicaciones en las que se puede desarrollar el proyecto, y para decidir entre todas ellas se debe tener claro el tipo de proyecto que se desea realizar y que necesidades tiene para su correcta ejecución. Para lograrlo se debe estudiar el tipo de sistema de riego que se debe emplear, para posteriormente identificar las posibles soluciones técnicas para lograrlo.

Por tanto, la ubicación del proyecto se escoge teniendo en cuenta las necesidades del cultivo y después de un profundo estudio de las características del suelo, climatología y recursos hídricos del emplazamiento. El siguiente paso es el diseño y cálculo de la instalación y para ello se deben diseñar cuatro sistemas: sistema de riego, sistema de almacenamiento, sistema de captación y sistema de producción energética. En este cálculo reside la importancia de subdividir el proyecto en fases ya que para empezar el diseño y el cálculo de cada sistema se parten de los datos obtenidos en el cálculo del anterior sistema. Esto quiere decir que no se puede diseñar la instalación fotovoltaica sin saber el consumo energético del sistema de captación, de la misma manera que no se puede diseñar el sistema de captación sin saber la ubicación y la dimensión del sistema de almacenamiento, terminando con que no se puede determinar las dimensiones del sistema de almacenamiento sin tener claro el cálculo de la instalación de riego.

Una vez se ha finalizado el cálculo de la instalación, comienza la etapa de la selección de equipos. Durante el desarrollo de este periodo se organiza una búsqueda de proveedores que permita obtener los materiales necesarios ajustándose al presupuesto y logrando una inversión no demasiado elevada. Para ello se debe estimar tanto el coste de los materiales como el coste de la mano de obra.

A continuación, se muestra la planificación seguida a lo largo de la ejecución del proyecto:

	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Selección del cultivo									
Ubicación del proyecto									
Cálculo de consumo de agua									
Selección de sistema de riego									
Cálculo de instalación de bombeo									
Selección de bombas									
Instalación fotovoltaica									
Cálculo de gasto energético									
Captación de aguas pluviales									
Tratamiento aguas residuales									
Elaboración de planos									
Presupuesto									
Edición									
Revisión									
Entrega									

Tabla 6 Cronograma del proyecto Fuente: Propia

9. Mantenimiento del sistema

Para lograr que el proyecto sea viable, debe lograrse que la instalación funcione durante mucho tiempo y de esta manera recuperar la inversión inicial. Pero para conseguir este objetivo se debe realizar un seguimiento habitual del estado de los componentes y su correspondiente mantenimiento. Además, mediante un mantenimiento regular de la instalación se consigue aumentar el rendimiento de esta, provocando así un mayor beneficio.

De la misma manera que se ha hecho en apartados anteriores, se analiza cada uno de los sistemas que componen la instalación por separado, atendiendo a los motivos que pueden llegar a causar su fallo y numerando las tareas de mantenimiento que se deben hacer para prevenir estos errores.

En primer lugar, se analiza la red de riego por goteo, los principales motivos por los que puede fallar este sistema son:

- Fugas en la red: se puede llegar a producir un daño en la red que provoque pérdida de agua en el sistema. Esto se puede dar tanto en la cinta de riego, en los emisores o en el canal principal. Los daños en la instalación que pueden provocar fugas son el desgaste del material, roturas en las tuberías o errores humanos en la instalación del sistema.
- Obstrucciones en tuberías y emisores: el principal motivo que puede ocasionar este fallo es la acumulación de partículas en la red. El peligro de la obstrucción en la red de riego es que puede provocar un riego desigual en las distintas zonas y poner en riesgo la cosecha.

- Despresurización del sistema: el sistema se ha diseñado para trabajar con presión constante en las cintas de riego mediante el uso de orificios de goteo autocompensantes que se encargan de mantener la presión en el valor deseado. La posibilidad de que la presión no entre en el rango de trabajo de estos orificios puede provocar la rotura de estos o que no logren el mismo caudal en todos los puntos. Además, se ha diseñado la red de tuberías en un rango de presiones que si se supera puede provocar también la rotura de estas.
- Fallo en el sistema de control: como se ha mencionado previamente, en la red de riego existen elementos de control como válvulas o programadores que se encargan de que el riego se realice de la manera más eficiente. Al ser sistemas eléctricos existe la posibilidad de que la red de riego deje de funcionar por un fallo en la conexión.

Una vez mencionados los riesgos que tiene la red de riego para un posible fallo, es conveniente adoptar las siguientes medidas para tratar de evitarlos:

- **Análisis de fugas en la red:** se recomienda una inspección de manera usual en la red de tuberías con el objetivo de detectar pérdidas de agua. En caso de encontrar alguna, se debe valorar si es posible la reparación del material o si se debe proceder a su sustitución.
- **Limpieza del sistema:** con el objetivo de evitar obstrucciones en la red, es recomendable realizar de manera frecuente una limpieza tanto de las tuberías como de los goteros. Se pueden emplear productos químicos de limpieza (siempre que no reaccionen con el material de la tubería) y se recomienda el uso de cepillos para no desgastar los componentes.
- **Control de la presión:** como se ha mencionado previamente, la despresurización del sistema es un riesgo que se debe evitar. Se recomienda realizar comprobaciones de que la presión en los distintos puntos del sistema es la correcta, mediante el uso de medidores de presión.
- **Revisión de los equipos:** para evitar fallos eléctricos en las conexiones, se recomienda revisar ocasionalmente que los programas de riego están ajustados, así como proteger los equipos del agua y del frío en el caso de que el fabricante lo aconseje.

En segundo lugar, se analiza el depósito de almacenamiento. De la misma manera que la red de riego, está expuesto al riesgo de obstrucción por acumulación de sedimentos y a la aparición de fugas. Además, se deben añadir dos posibles motivos de fallo:

- Aparición de contaminantes en el agua: un mal sellado del depósito o la aparición de fugas puede desencadenar en la exposición del agua almacenada a contaminantes como bacterias o incluso insectos que puedan envenenar el agua. Dado que el agua almacenada es destinada al riego de cultivo, es conveniente prevenirlo y evitar así daños en la plantación.

- **Fallo estructural:** el depósito está expuesto a una elevada presión interna que ejerce el agua sobre sus paredes, si a eso se añaden factores externos como impactos, desgaste del material o fenómenos meteorológicos, se puede superar la tensión admisible del material y provocar el fallo del depósito.

Para prevenir estos fallos se deben adoptar medidas y realizar un mantenimiento habitual de la instalación, las principales son:

- **Limpieza del depósito:** de la misma manera que se realiza con la red de riego, se debe hacer frecuentemente un vaciado del depósito para limpiar posibles residuos acumulados. Se deben utilizar productos de limpieza que no dañen el material del depósito.
- **Inspección del estado del material:** para evitar la aparición de contaminantes en el agua se debe realizar una verificación frecuente de que no existan daños o grietas. También se deben comprobar los elementos de unión con las tuberías para garantizar que no entran contaminantes.
- **Prevención frente a daños:** es difícil prevenir riesgos externos como catástrofes meteorológicas, no obstante, se puede situar el depósito en una zona donde esté expuesto a menor riesgo, como por ejemplo evitar tener árboles encima que puedan dañarlo en caso de que partan sus ramas o garantizar la estabilidad del suelo donde se sitúa.

A continuación, se analiza el sistema de captación. En primer lugar, se estudia el sistema de captación a nivel global y después se analizará el equipo de bombeo en particular, por tanto, los principales riesgos en un sistema de captación de aguas subterráneas se describen a continuación:

- **Fallo en la tubería de extracción:** de la misma manera que en la red de riego, la posibilidad de obstrucción en las tuberías por la acumulación de sedimentos o partículas existe. El riesgo principal es el fallo en el sistema de bombeo, así como el deterioro de los materiales del pozo.
- **Infiltración de contaminantes:** al ser un pozo que accede a masas de agua subterráneas, existe la posibilidad de que el agua se exponga a contaminantes infiltrados y que por tanto deteriore la calidad de esta. Además de un deterioro de la instalación, esto puede provocar daños en la plantación.

Para prevenir estos posibles fallos, se han de adoptar medidas en el sistema de captación que ayuden a mantener la instalación y aumentar su eficiencia:

- **Revisión del revestimiento del pozo:** esta medida se debe realizar para prevenir tanto fugas de agua, como posibles infiltraciones de

contaminantes. Se debe garantizar que el material no ha sufrido daños y no presenta grietas o corrosión.

- **Examen de calidad del agua:** es importante de cara a mantener el cultivo sano, realizar medidas de control frecuentemente al agua extraída del pozo. Se ha mencionado en este proyecto que el nivel de sales en esta masa de agua subterránea es elevado y por tanto se recomienda su análisis y tomar las medidas necesarias en el caso de valores por encima del admitido por el cultivo.

En cuanto al sistema de bombeo, existe el riesgo de que falle por los motivos descritos a nivel general en el sistema de captación, no obstante, también se pueden provocar fallos en la propia bomba debido a otros factores:

- Desgaste de los componentes: la bomba hidráulica está formada en su mayor parte por elementos mecánicos que sufren daños a medida que se utilizan y provoca un deterioro del funcionamiento del conjunto. Se debe realizar un control de estos componentes y a la vez asegurarse que se instalan correctamente para lograr un buen funcionamiento.
- Falta de lubricación: se ha mencionado en este proyecto la importancia del comportamiento suave de los componentes de la bomba para evitar problemas de rozamiento que puedan llevar a un sobrecalentamiento del equipo. Además, si se tiene problemas de calentamiento de la bomba y no se diseña para disipar bien esa potencia calorífica puede llegar a provocar el fallo del equipo.
- Fallo en conexiones eléctricas: la bomba está alimentada por un sistema de producción solar mediante una conexión a un inversor. Cualquier problema en el suministro de corriente puede afectar a la alimentación de la bomba y desarrollar un problema en el bombeo.
- Fugas de presión: en apartados anteriores se menciona la posibilidad de fugas hidráulicas que afectan al rendimiento del equipo. No obstante, se debe tener en consideración que también un mal sellado del equipo puede generar una despresurización de la bomba y llegar a romper los componentes de esta.

Las principales tareas de mantenimiento a realizar en el equipo de bombeo son:

- **Revisión y reparación de componentes desgastados:** se debe analizar ocasionalmente un análisis del estado de los componentes sometidos a mayor esfuerzo mecánico en el equipo, esto engloba tanto a los rodamientos del eje, cierres mecánicos y sellado.
- **Mantenimiento del sistema de lubricación:** de la misma manera que en los motores de otras instalaciones, en un equipo de bombeo se debe revisar el nivel de aceite y cambiarlo con cierta frecuencia para garantizar la correcta lubricación del sistema.

- **Control de los parámetros relevantes del sistema:** es de vital importancia tener un medidor de presión que permita verificar que el sistema funciona correctamente y detectar así problemas en el equipo. Por otro lado, también se deben monitorear otros datos como el caudal de bombeo y el rendimiento de la instalación, ya que esto es un buen indicativo del estado del equipo y permite detectar el estado de los componentes.

En último lugar, se debe analizar los posibles riesgos que tiene el sistema fotovoltaico que puedan provocar un fallo catastrófico en la instalación. Como se puede observar en el diseño del proyecto, todos los elementos que componen la instalación dependen de un correcto funcionamiento de los paneles y del equipo, por tanto, se debe tener especial cuidado a la hora de realizar su mantenimiento. A continuación, se muestran los principales riesgos:

- Pérdida de rendimiento por suciedad en los paneles: el rendimiento de un panel solar se puede ver muy afectado por la presencia de partículas en los paneles que disminuyan la cantidad de radiación que adsorbe.
- Daños en la estructura del panel: los materiales que componen un panel fotovoltaico son resistentes a factores meteorológicos como la lluvia, no obstante, existe el riesgo de que sufran daños si se dan condiciones muy adversas o sufran el impacto de algún objeto.
- Fallos en conexiones: la instalación fotovoltaica cuenta con un cableado eléctrico que, de estar dañado, puede causar pérdidas en el rendimiento de la instalación y llegar a producir fallos en las conexiones que supongan un corte del suministro de energía. Además, se pueden dar fallos en los elementos de control como el inversor, que en el caso de tener daños puede resultar en una mala transformación de la energía.

Para evitar estos riesgos en el sistema fotovoltaico se procede a nombrar medidas de mantenimiento que se recomienda realizar de manera frecuente:

- **Limpieza de la estructura:** se ha mencionado que la suciedad en los paneles puede generar pérdidas de rendimiento, es de elevada importancia retirar del cristal partículas que obstruyan la radiación, además se deberá evitar el uso de productos de limpieza que puedan dañar el panel.
- **Verificación de daños:** de manera periódica se debe proceder al análisis de posibles deterioros en la instalación, tanto en los paneles debido a impactos o suciedad, como posibles fallos en las conexiones eléctricas del sistema.
- **Control de los parámetros del sistema:** de la misma manera que en el sistema de bombeo, se recomienda el uso de sistemas que monitoricen los parámetros relevantes del sistema fotovoltaico, esto incluye tanto la potencia obtenida, como el rendimiento de la instalación. Cualquier valor inusual de estos parámetros puede indicar deterioro en el sistema o posibles daños.

Para concluir, se recomienda un mantenimiento periódico de toda la instalación ya que puede alargar el ciclo de vida de los productos y a su vez aumentar la eficiencia del sistema. Se debe valorar la posibilidad de contratación de profesionales para que efectúen dicho mantenimiento y detecten de manera más efectiva los fallos en las distintas áreas.

10. Conclusiones

Con el objetivo de analizar el éxito del proyecto se debe estudiar si se han logrado los objetivos propuestos en el Anexo B y en el propio documento:

1. Estudio del terreno y las condiciones climáticas

Para la consecución de este objetivo, en primer lugar, se ha tenido en cuenta el cultivo seleccionado y sus características. Dentro de los posibles lugares en los que la plantación de fresa es viable por sus condiciones climatológicas, se selecciona el lugar de cultivo atendiendo a la instalación que se desea construir. Para ello se estudian tanto las condiciones climatológicas como los recursos hídricos del lugar y se evalúa de esta manera la viabilidad técnica del proyecto. En el documento de cálculos se demuestra la razón de la solución escogida y en el apartado de futuros desarrollos de este mismo documento se proponen soluciones distintas a la de este proyecto que se podrían tener en cuenta si la ubicación seleccionada tuviera condiciones distintas a la de este proyecto.

2. Diseño de sistema de captación de agua

Una vez se ha logrado encontrar la ubicación del proyecto, se procede al cálculo y diseño de la instalación. Esto se realiza teniendo en cuenta tanto las necesidades del cultivo como la disponibilidad en la ubicación. Para la consecución de este apartado se aplican conocimientos obtenidos en la asignatura de Mecánica de Fluidos y la asignatura de Turbomáquinas. Además, se emplean tanto herramientas de cálculo como Excel, como también se emplean herramientas de selección de equipos como Absel5. En la realización de estos cálculos se cuenta con el apoyo del director del proyecto.

3. Diseño de sistema de riego que permita ahorro de agua y de energía

Para poder cumplir con este objetivo, se estudian los posibles métodos de riego para el cultivo de fresas. Para la elección del más adecuado se tienen en cuenta los objetivos de desarrollo sostenible con los que se compromete el proyecto y se selecciona el más adecuado siguiendo estos objetivos. No obstante, se estudia la viabilidad del sistema y en el documento de cálculos se realiza un estudio a través del que se llega a la conclusión de que es una solución factible. Por otro lado, se estudian los posibles materiales que conformen el sistema, y se escogen teniendo en cuenta tanto los objetivos de desarrollo sostenible como el objetivo de reducir el coste económico del sistema.

4. Sistema de producción energética en la finca

El cuarto y último objetivo es el de reducir además del gasto de agua y el gasto energético, la contaminación emitida por el sistema. El estudio de viabilidad de este sistema se realiza previo al comienzo del proyecto mediante el análisis de las condiciones meteorológicas del emplazamiento. Aun así, el cálculo de la instalación fotovoltaica se realiza una vez se ha terminado con el resto de la instalación y conociendo el consumo energético del sistema. Por tanto, este sistema permite cubrir el consumo de la bomba y además en las horas de sol que no se bombea devuelve energía a la red para lograr mayor ahorro energético.

Capítulo II

Cálculos

Índice Capítulo II

11. Introducción	72
12. Necesidades de consumo	73
13. Cálculos hidráulicos	75
13.1 Cálculo de la instalación de bombeo	75
13.2 Cálculo de la instalación de riego	86
13.3 Cálculo de la instalación fotovoltaica	95
14. Selección de equipos	102
14.1 Selección de riego	102
14.2 Selección de depósito	105
14.3 Selección de bomba y equipos	106
14.4 Selección de sistema fotovoltaico y equipos	108
15. Conclusiones cálculos	111

11. Introducción

En este capítulo se procede a realizar los cálculos necesarios para el diseño de la instalación. Para la consecución de estos se han empleado distintas herramientas de cálculo que se mencionan a lo largo del documento. Además, se cuenta con la ayuda del director del proyecto para el planteamiento del problema.

Se ha mencionado en el anterior capítulo que la planificación de este proyecto incluye la división de este en fases, estas fases han permitido una estructura ordenada que ha facilitado la realización de los cálculos. La principal razón de esta división en fases es que cada una de las fases parte de la solución de la anterior.

La estructura de la instalación cuenta con un sistema de captación que consiste en un pozo con acceso a la Masa de Agua Subterránea de Cartaya, la bomba impulsa el agua hasta un depósito de almacenamiento a través de energía solar, y por último el depósito en altura permite impulsar el agua al sistema de riego por goteo.

El dimensionamiento de todas las partes se realiza en este mismo capítulo.

12. Necesidades de consumo

El sistema de captación tiene acceso a una masa de agua cuya calidad impide que sea apta para el consumo humano. Es por esto por lo que se diseña la instalación para satisfacer las necesidades de riego para el cultivo. Además, se estudia la cantidad de días de riego que necesita el cultivo por semana para poder optimizar el sistema.

En primer lugar, la fresa es uno de los cultivos que más agua requiere, se estima que necesita 7000 m³/ha de manera anual. Este es el principal factor limitante a la hora de escoger el área de cultivo. Esto se debe a que la cantidad de agua necesaria para el riego se debe cubrir tanto con el agua obtenida del sistema de captación, como con las precipitaciones.

En cuanto al agua obtenida por el sistema de captación, el proyecto busca la optimización de los recursos naturales, para lograrlo se tramita la solicitud de uso menor lo que implica un máximo de 7000 m³/año extraídos del pozo de captación. (Isonda, s.f.)

A continuación, se muestran las precipitaciones anuales en la ubicación de la finca:

	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sept.	oct.	nov.	dic.
Lluvia	48,6mm	38,1mm	32,2mm	36,0mm	20,9mm	6,0mm	1,5mm	2,7mm	15,2mm	54,7mm	68,8mm	69,8mm

Ilustración 12 Precipitaciones anuales en Huelva Fuente: <https://es.weatherspark.com/y/33224/Clima-promedio-en-Huelva-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o>

La suma de la cantidad de mm de agua por m² al año es de 395,5 mm/m² y la cantidad de agua que se obtiene por hectárea debido a la lluvia es:

$$395,5 \frac{mm}{m^2} * \frac{1 m}{1000 mm} * \frac{10000m^2}{1 ha} = 3945 \frac{m^3}{ha}$$

Ecuación 1 Cálculo precipitaciones

Por tanto, para determinar el número de hectáreas de cultivo atendiendo a las necesidades hídricas de la fresa, se establece que las necesidades son de 7000 metros cúbicos por cada hectárea y el volumen que se puede obtener son 7000 metros cúbicos de bombeo independientemente del número de hectáreas, añadido a la aportación de la lluvia que son 3945 metros cúbicos por hectárea, de esta manera se obtiene:

Nº de hectáreas	Agua bombeada	Agua lluvia	Agua obtenida	Agua necesaria
1	7000 m ³	3955 m ³	10955 m ³	7000 m ³
2	7000 m ³	7910 m ³	14910 m ³	14000 m ³
3	7000 m ³	11865 m ³	18865 m ³	21000 m ³
4	7000 m ³	15820 m ³	22820 m ³	28000 m ³
5	7000 m ³	19775 m ³	26775 m ³	35000 m ³

Tabla 7 Cálculo del número de hectáreas de cultivo Fuente: Propia

Las únicas posibilidades son la de plantar 1 hectárea de cultivo en la que hay un margen de 3955 m³ anuales, mientras que si se selecciona 2 hectáreas de cultivo el margen es de 910 m³ al año. Se decide por tanto que la superficie de cultivo sea de 2 hectáreas, duplicando la producción de esta manera.

13. Cálculos hidráulicos

13.1 Cálculo de la instalación de bombeo

En este capítulo se procede al cálculo del sistema de captación. Para ello se debe diseñar la instalación de bombeo para permitir proporcionar al agua la energía necesaria con el objetivo de llegar a la altura del depósito.

En primer lugar, se debe tener en cuenta los datos del problema, Cartaya se encuentra a una altitud de 19 m sobre el nivel del mar: Por tanto, para acceder a las masas de agua subterráneas se establece que será necesario un pozo cuya profundidad estática sea de 20 m. Por otro lado, se parte de un depósito cuyo nivel está situado a 10 metros de altura (en el próximo apartado se demuestra la viabilidad de esa altura para el riego por gravedad).

En segundo lugar, es necesario determinar el tipo de bomba que se desea emplear. Existen dos posibilidades:

- Bomba en aspiración: la bomba se sitúa al nivel de la superficie, siendo la diferencia entre la cota de la bomba y la cota del nivel del agua positivo.
- Bomba en carga: la cota de la entrada a la bomba se sitúa por debajo del nivel del depósito es decir está sumergida.

La principal diferencia entre estos tipos de bomba es el riesgo que existe de cavitación dependiendo de cual se utilice. El parámetro característico que representa la aportación de la instalación a que pueda existir cavitación es el NPSHd, también conocido como altura disponible en aspiración.

$$NPSHd = \frac{p_{atm} - p_v}{\rho * g} - H_s - H_r (A - E)$$

Ecuación 2 Cálculo NPSHd

Donde:

- p_{atm} = presión atmosférica
- p_v = presión de saturación de vapor
- H_s = altura de suspensión de la bomba (diferencia de cota entre la bomba y el nivel del depósito)
- $H_r (A-E)$ = pérdida de carga en el tramo entre el depósito y la bomba (depende del caudal)

La principal diferencia que aporta una bomba en carga con respecto a una bomba en aspiración al NPSHd es la presión a la entrada. En el caso de una bomba en carga al estar por debajo del nivel del pozo se garantiza una presión mayor a la entrada lo que aumenta el NPSHd.

Mientras que una bomba en aspiración tendrá un menor valor de NPSH_d debido a tener una mayor altura en suspensión y más pérdidas en el tramo entre el depósito y la entrada.

Para entender si existe cavitación se debe comparar el valor de NPSH_d con el valor de NPSH_r, que es un parámetro de la bomba que expresa su contribución a la cavitación.

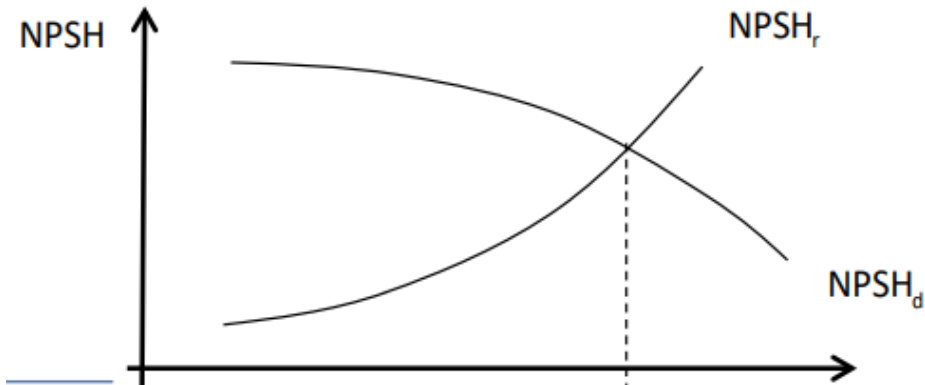


Gráfico 2 Cavitación de una bomba Fuente: Asignatura Turbomáquinas

El momento en el que el NPSH_d pasa a ser menor que el NPSH_r la bomba comienza a cavitación. Es decir, para evitar la cavitación el valor de NPSH_d debe ser elevado para evitar la cavitación. Por tanto, cuando se selecciona un pozo de profundidad media-alta como es este caso, interesa seleccionar una bomba en carga o sumergida ya que se evita el riesgo a cavitación.

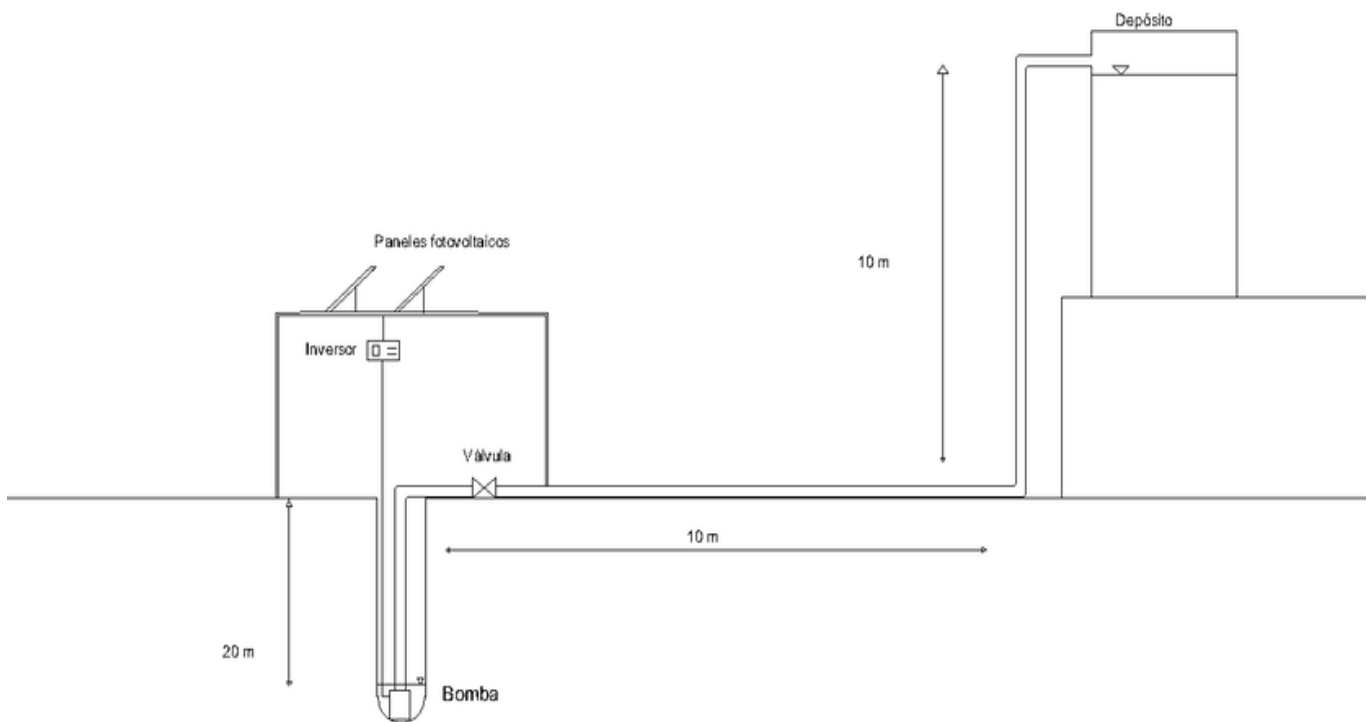


Ilustración 13 Instalación Parte 1 Fuente: Propia

Se muestra la primera parte de la instalación, que consta del sistema de captación y su conexión con el sistema de almacenamiento. Para comenzar con el cálculo de la instalación primero se ha de determinar el caudal de bombeo:

Se parte del dato del consumo anual de agua de la fresa que es 7000 m^3 , en primer lugar, se debe estimar el número de riegos por semana que se va a realizar. Se estima que la fresa necesita 2-3 riegos por semana en los meses de más calor, mientras que en invierno se puede reducir a 1 (Infoagro, s.f.). Por tanto, se selecciona una media de riego de 2 días por semana durante todo el año, lo que implica que se bombea también 2 días por semana.

En segundo lugar, se debe seleccionar el número de horas que se procede a bombear durante el día. Debido a que la bomba se alimenta de un sistema de paneles fotovoltaicos, se debe bombear en las horas de máxima producción solar. Para ello se debe estudiar las condiciones climáticas del lugar. Se analiza el número de horas de sol pico (HSP) que son las horas del día en las que se logra una radiación de 1 KW/ m^2 , son las horas más efectivas de los paneles fotovoltaicos. En Huelva el promedio diario de horas de sol pico es de 6,02. (Sunfields, s.f.)

Por tanto, se podría bombear hasta 6 horas al día logrando la máxima eficiencia de los paneles. Sin embargo, existen dos limitantes:

- Caudal demasiado bajo: al seleccionar dos días a la semana para bombear se limita el caudal, si además se bombea durante 6 horas el caudal podría ser demasiado pequeño, lo que a la vez disminuye la velocidad del agua en la tubería de extracción y generar problemas de estancamiento. En general, en el transporte de agua por la línea de conducción hasta el depósito se recomiendan velocidades entre 1,2 m/s y 2,4 m/s (UGR, s.f.)
- Eficiencia solar dispar a lo largo del año: aunque se ha mencionado el promedio diario de radiación solar durante el año, es posible que en invierno haya días en los que no se cuente con tantas horas de producción solar, por tanto, podría haber problemas de alimentación energética que redujeran la eficiencia del sistema.

Se decide por tanto el bombeo durante 2 horas, logrando de esta manera un caudal mayor de bombeo y asegurando eficiencia solar durante todo el año. El caudal de bombeo será, por tanto:

$$7000 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} * \frac{1 \text{ año}}{52,1429 \text{ semanas}} * \frac{1 \text{ semana}}{2 \text{ días riego}} * \frac{1 \text{ día}}{2 \text{ horas bombeo}} * \frac{1 \text{ hora}}{3600 \text{ s}}$$
$$= 0,0093226 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_{\text{bombeo}} = 0,0093226 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Ecuación 3 Cálculo del caudal de bombeo

A continuación, se procede al cálculo de la velocidad del agua en las tuberías, para ello se debe determinar la sección de la tubería, en este caso se emplean tuberías de sección circular por lo que la velocidad se calcula de la siguiente manera:

$$v = \frac{Q}{\frac{\pi \cdot (D \text{ int})^2}{4}}$$

Ecuación 4 Cálculo de velocidad en sección circular

Diámetro (mm)	Área (m ²)	Velocidad (m/s)
200	0,031415927	0,29674984
150	0,017671459	0,527555272
100	0,007853982	1,186999361
80	0,005026548	1,854686502

Tabla 8 Cálculo diámetro tubería para bombeo Fuente: propia

Se selecciona por tanto el diámetro de 80 mm, para de esta manera evitar unas pérdidas demasiado elevadas y a la vez se evita una velocidad baja que podría ocasionar sobrecargas en el motor y riesgo de obstrucción.

A continuación, se debe escoger el material para las tuberías, existen diversas posibilidades y depende tanto de la calidad del fluido como de la presión que lleve. En este caso, se trata de agua apta para el consumo para riego y además al no ser de gran profundidad el pozo el agua no necesita presiones elevadas. Por tanto, se escoge PVC (policloruro de vinilo) debido a que es un material muy utilizado en sistemas de bombeo de baja presión y además cuenta con un precio económico.

Para la selección de la bomba primero se debe proceder al cálculo de la altura que debe suministrar esta. Para lograrlo se aplica la ley de la conservación de la energía entre el depósito y el pozo, de esta manera se obtiene que la diferencia de energía debe ser suministrada por la bomba.

De esta manera se aplica la Ecuación de Bernoulli, que es análoga de la ecuación de conservación de la energía solo que se divide todos los términos por la gravedad, lo que permite trabajar con alturas (m).

$$\frac{p_1}{\rho * g} + z_1 + \frac{c_1^2}{2 * g} + H - H_{\text{rext}} = \frac{p_2}{\rho * g} + z_2 + \frac{c_2^2}{2 * g}$$

Ecuación 5 Ecuación de Bernoulli para instalaciones de bombeo

Donde:

- g: aceleración de la gravedad (m/s²)
- p₁: presión en el nivel del pozo, dado que no se encuentra a mucha profundidad y que está abierto, se considera presión atmosférica (Pa).
- z₁: altura estática del nivel del pozo, situando el origen de coordenadas en la superficie, el pozo se encuentra a una altura de -20 (m).
- c₁: velocidad del agua en el nivel del pozo, se considera que la sección de la tubería es mucho menor que la del pozo por lo que el nivel del agua varía de manera muy lenta y por tanto se considera velocidad nula (m/s).
- H: altura suministrada por la bomba, se debe calcular (m).
- H_{rext}: pérdidas primarias y secundarias en la instalación (m).
- p₂: presión en el nivel del depósito, se considera presión atmosférica en este punto al ser la lámina de agua superior (Pa).
- z₂: altura estática del depósito, se considera a una altura de 10 m sobre la superficie (m).
- c₂: velocidad del agua en el nivel del depósito, de la misma manera que en el pozo, se considera que la tubería tiene una sección mucho más pequeña y por tanto el nivel del depósito no varía siendo la velocidad nula (m/s).

El cálculo de la altura de la bomba es, por tanto:

$$H_{\text{bomba}} = z_2 - z_1 + H_{\text{rext}}$$

Se procede al cálculo de las pérdidas en la instalación, el término H_{rext} contiene las pérdidas de carga primarias H_f y las pérdidas de carga secundarias H_m:

- Pérdidas de carga primarias: son aquellas que se dan en los tramos rectos de las tuberías y se deben al rozamiento del agua con la superficie de la tubería, según la Ecuación de Darcy-Weisbach, ecuación que es válida para flujo laminar y para flujo turbulento, las pérdidas de carga primarias se pueden expresar como:

$$hf = f * \frac{L}{Dh} * \frac{v^2}{2 * g}$$

Ecuación 6 Cálculo de pérdidas primarias

Donde:

- f: coeficiente de fricción de Darcy, es un parámetro adimensional que depende tanto del flujo de agua, del material y de la forma del conducto $f = f(Re, \varepsilon, Dh)$.
- Dh: diámetro hidráulico de la tubería, es decir el diámetro interior (m).
- L: longitud del tramo recto analizado de tubería (m).
- v: velocidad del fluido en el tramo analizado (m/s).
- g: aceleración de la gravedad (m/s²).

Para el cálculo de las pérdidas primarias se debe determinar el valor del factor de fricción de Darcy, este se calcula de formas distintas dependiendo de si el flujo es laminar o turbulento. Si el flujo es laminar se calcula la siguiente manera:

$$f = \frac{64}{Re}$$

Ecuación 7 Cálculo del factor de fricción para flujo laminar

Si por otro lado es turbulento, se calcula mediante la aplicación de la Ley de Colebrook:

$$\frac{1}{f^{1/2}} = -2 * \log \left(\frac{\varepsilon}{3,7 Dh} + \frac{2,51}{Re * f^{1/2}} \right)$$

Ecuación 8 Cálculo del factor de fricción para flujo turbulento

Entonces, en primer lugar, se ha de determinar si el flujo es laminar o turbulento, para ello se evalúa el número de Reynolds, que es el parámetro que permite determinar el comportamiento del fluido, siendo el valor de transición de un régimen al otro: $Re = 2300$, también conocido como Reynolds crítico. El número de Reynolds se calcula de la siguiente forma:

$$Re = \frac{\rho * v * Dh}{\mu}$$

Ecuación 9 Número de Reynolds

Donde:

- ρ : densidad del agua = $997 \frac{kg}{m^3}$
- v : velocidad del agua $\left(\frac{m}{s}\right)$
- Dh : diámetro interior de la tubería
- μ : viscosidad dinámica del agua = $0,001 \frac{kg}{m*s}$

Se procede al cálculo del número de Reynolds, en los tres tramos de tuberías se cuenta con el mismo caudal y diámetro de la tubería por lo que el resultado es igual en todos los tramos:

$$Re = \frac{997 * 1,8546 * 0,08}{0,001} = 147929,79 > 2300$$

Al ser mayor que 2300 (Reynolds crítico) se considera flujo turbulento lo que implica que para el cálculo del factor de fricción se emplea la Ley de Colebrook.

Para el cálculo es necesario obtener la rugosidad absoluta de la tubería, que varía dependiendo del material:

Material	ϵ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015
Fundición asfaltada	0,06- 0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01
Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024
Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015
Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024
Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024
Madera	0,18-0,90
Fundición centrífuga	0,003
Hormigón	0,3-3,0

Tabla 9: Rugosidad absoluta de materiales Fuente: <https://www.pirobloc.com/blog-es/calculo-perdidas-carga/>

Por tanto, al ser PVC el material seleccionado, se calcula el Factor de Fricción de Darcy con un valor para la rugosidad absoluta de 0,0015 mm . Para el cálculo del factor se emplea la simplificación de la Ley de Colebrook:

$$\frac{1}{f^{1/2}} \cong -1,8 * \log \left(\left(\frac{\epsilon}{Dh} \right)^{1,1} + \frac{6,9}{Re} \right)$$

Ecuación 10 Simplificación de la Ley de Colebrook

$$\frac{1}{f^{1/2}} \cong -1,8 * \log \left(\left(\frac{0,0015 * 10^{-3}}{0,08} \right)^{1,1} + \frac{6,9}{147929,795} \right)$$

Siendo de esta manera el valor de **f = 0,016557**.

A continuación, se procede al cálculo de las pérdidas primarias, se realiza a través de la ecuación descrita anteriormente:

$$hf = f * \frac{L}{Dh} * \frac{v^2}{2 * g}$$

Además, como se observa en el plano proporcionado, existen tres tramos de tuberías, aunque son del mismo material y las mismas dimensiones, por tanto:

	Longitud (m)	Velocidad (m/s)	f	Dh (m)	hf (m)
Tubería 1	20	1,854686502	0,016557	0,08	0,72571095
Tubería 2	10	1,854686502	0,016557	0,08	0,36285548
Tubería 3	10	1,854686502	0,016557	0,08	0,36285548

Tabla 10 Cálculo de pérdidas primarias en la instalación de bombeo Fuente: Propia

$$hf \text{ total} = 1,4514 \text{ m}$$

- Pérdidas de carga secundarias: se producen en puntos singulares de la instalación como cambios de dirección, juntas y codos. El cálculo de las pérdidas secundarias se realiza mediante el producto de la altura cinética por el factor de corrección K. Es un coeficiente empírico con un valor para cada tipo de singularidad:

$$hm = \sum K * \frac{v^2}{2 * g}$$

Ecuación 11 Cálculo de pérdidas de carga secundarias

Donde:

- K: coeficiente adimensional de resistencia
- v: velocidad del fluido en cada singularidad (m/s)
- g: aceleración de la gravedad (m/s²)








Component	K_L	
a. Elbows		
Regular 90°, flanged	0.3	 90° elbow
Regular 90°, threaded	1.5	
Long radius 90°, flanged	0.2	
Long radius 90°, threaded	0.7	
Long radius 45°, flanged	0.2	
Regular 45°, threaded	0.4	
b. 180° return bends		
180° return bend, flanged	0.2	 45° elbow
180° return bend, threaded	1.5	
c. Tees		
Line flow, flanged	0.2	 180° return bend
Line flow, threaded	0.9	
Branch flow, flanged	1.0	
Branch flow, threaded	2.0	
d. Union, threaded		
	0.08	 Tee
*e. Valves		
Globe, fully open	10	 Tee
Angle, fully open	2	
Gate, fully open	0.15	
Gate, $\frac{1}{4}$ closed	0.26	 Tee
Gate, $\frac{1}{2}$ closed	2.1	
Gate, $\frac{3}{4}$ closed	17	
Swing check, forward flow	2	 Union
Swing check, backward flow	∞	
Ball valve, fully open	0.05	
Ball valve, $\frac{1}{4}$ closed	5.5	
Ball valve, $\frac{3}{4}$ closed	210	

Tabla 11 Factor K en singularidades Fuente: Asignatura Mecánica de fluidos

Como se puede observar en la instalación existen 3 codos de 90°, una válvula abierta (se considera de globo ya que supone mayores pérdidas y supone un factor de seguridad en el cálculo) y una entrada a depósito. Se tiene de esta manera:

	K	v (m/s)	hm (m)
Codo 1	0,3	1,854686502	0,052650949
Codo2	0,3	1,854686502	0,052650949
Codo 3	0,3	1,854686502	0,052650949
Válvula	10	1,854686502	1,755031642
Entrada a depósito	1	1,854686502	0,175503164

Tabla 12 Cálculo de pérdidas secundarias en la instalación de bombeo Fuente: Propia

$$hm_{total} = 2,0885$$

Una vez se han determinado las pérdidas primarias y secundarias se procede al cálculo de la altura necesaria que debe aportar la bomba, partiendo de la ecuación obtenida a través de Bernoulli:

$$H_{bomba} = z_2 - z_1 + h_m + h_f$$

Se obtiene, por tanto:

$$H_{bomba} = 30 + 1,4514 + 2,0885 = 33,54$$

$$H_{bomba} = 33,54 \text{ m}$$

Por último, la potencia hidráulica que debe desarrollar viene dada por la expresión:

$$P = \rho * Q * g * H_{bomba}$$

Ecuación 12 Potencia hidráulica en una bomba

Donde:

- P: potencia neta desarrollada por la bomba (W)
- ρ : densidad del agua (997 kg/m³)
- Q: caudal de la instalación (m³/s)
- g: aceleración de la gravedad (9,81 m/s²)
- H bomba: altura suministrada por la bomba (m)

Se calcula:

$$P = 997 * 0,0093226 * 9,81 * 33,54$$

$$P = 3058,338 \text{ W}$$

13.2 Cálculo de la instalación de riego

En la realización de este apartado se pretende demostrar la viabilidad de un sistema de riego por goteo desde un depósito en altura. Es decir, se pretende lograr un sistema de riego por gravedad que garantice que el agua tiene la suficiente energía para llegar a todos los puntos de la red de riego sin necesidad de usar una bomba.

En primer lugar, se debe dimensionar la red de riego. Como se ha calculado en apartados anteriores, el tamaño de la parcela de cultivo es de 2 hectáreas y por ello las dimensiones son de 200 m de ancho por 100 m de largo.

En segundo lugar, se debe precisar la disposición de las plantas de fresas y con ello las tuberías del sistema. Se recomienda que las hileras de fresas tengan una separación de 1 m, esto permite disponer de 200 hileras. Por otro lado, la separación entre las plantas no debe ser mayor de 0,5 m, esto permite la plantación de 200 plantas de fresas por hilera. Es decir, un total de 40.000 plantas de fresas. (Hogarmania, s.f.)

Por tanto, la disposición de los canales de riego es de la siguiente forma: Un canal principal de 200 metros de longitud, conectado al depósito, y conectadas al canal hay 200 cintas de riego por goteo (separación de 1 m entre ellas), de 100 metros de longitud, que deberán disponer de orificios de goteo cada 0,5 m.

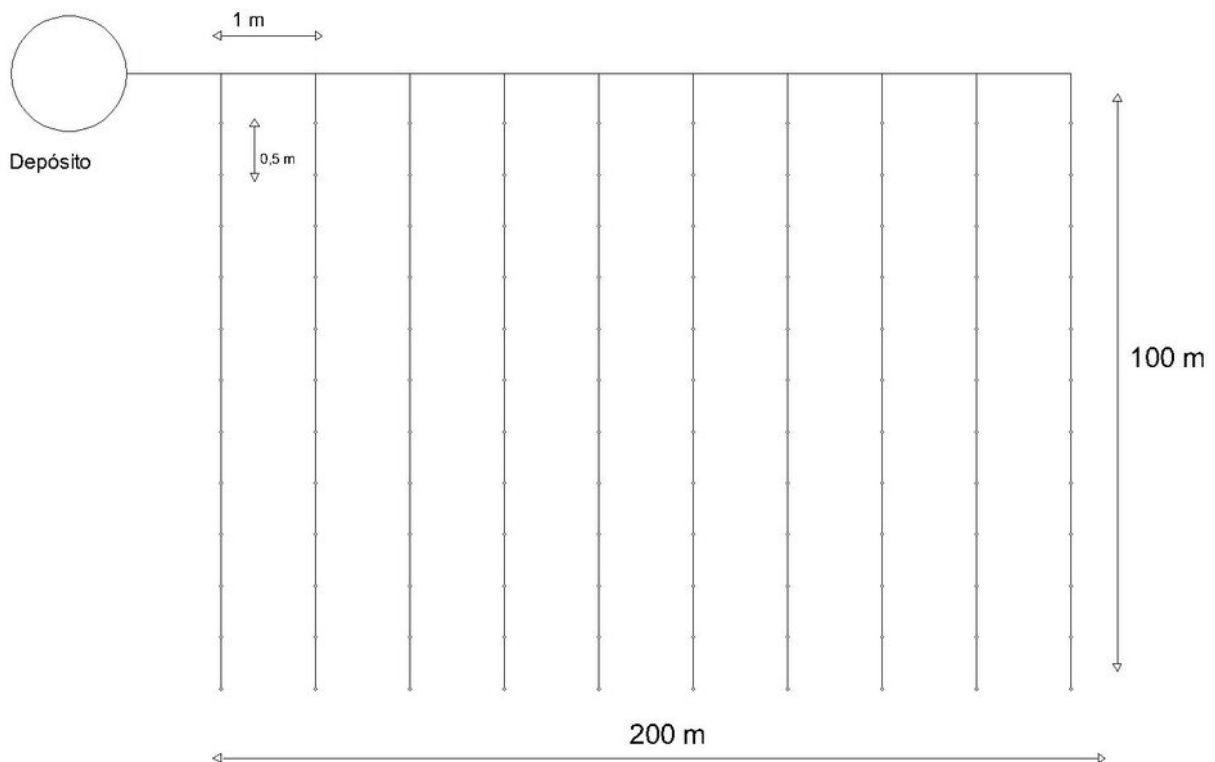


Ilustración 14 Instalación Parte 2 Fuente: Propia

Para el cálculo de la instalación, se debe determinar en el caudal de riego. Para ello se vuelve sobre el resultado del caudal diario del apartado anterior. El cálculo se realiza para dos días de riego a la semana y para una hora de riego al día. Para ello se parte del caudal bombeado desde el sistema de captación cada día de bombeo (el cálculo se realiza con este valor para garantizar que con el mínimo de agua almacenada se logra el riego de toda la parcela).

$$67,123 \frac{m^3}{día} * \frac{1 día}{1 hora de riego} * \frac{1 hora}{3600 s} = 0,018645 \frac{m^3}{s}$$

$$Q \text{ riego} = 0,018645 \frac{m^3}{s}$$

Ecuación 13 Cálculo del caudal de riego

Por otro lado, el caudal que obtiene cada planta de fresa debe estar entre 0,5 l/h y 8 l/h para realizar correctamente el riego por goteo. (iagua, s.f.)

Por ello se calcula el caudal que llega a cada planta de la siguiente forma a partir del caudal de riego:

$$0,018645 \frac{m^3}{s} * \frac{3600 s}{1 hora} * \frac{1000 l}{1 m^3} * \frac{1}{40000 plantas} = 1,67805 l/h$$

$$Q \text{ goteo en cada planta} = 1,67805 \frac{l}{h}$$

Ecuación 14 Cálculo del caudal de goteo

Además, teniendo en cuenta que en cada cinta de goteo hay 200 plantas y por tanto 200 orificios de goteo, el caudal que debe ir por la hilera es:

$$Q \text{ hilera} = 1,67805 \frac{l}{h} * 200 \frac{planta}{hilera} = 335,616 \frac{l}{h}$$

$$Q \text{ hilera} = 335,616 \frac{l}{h}$$

Ecuación 15 Cálculo del caudal en cada hilera

A continuación, se procede al dimensionamiento de la red de riego, en este caso se emplean tuberías de polietileno (PE) debido a que cuentan con mayor flexibilidad y menor fragilidad con respecto a una tubería de PVC, no obstante, su precio es más caro. En primer lugar, se necesita un tramo de 200 m de largo para el canal principal, que cuente con inserciones para las cintas de riego cada 100 cm. El diámetro de este canal debe ser lo suficientemente grande para evitar pérdidas elevadas debidas a velocidades altas.

Teniendo en cuenta que:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi * \frac{D^2}{4}}$$

Ecuación 16 Cálculo de velocidad en instalación de riego

Se tiene lo siguiente:

Q canal principal (m ³ /s)	Diámetro interior (m)	v (m/s)
0,018645342	0,2	0,59349968

Q hileras de riego (m ³ /s)	Diámetro interior (m)	v (m/s)
9,32267E-05	0,015	0,527555272

Tabla 13 Dimensionado instalación de riego Fuente: Propia

De esta manera se logran velocidades similares en toda la instalación, logrando una correcta distribución del agua por toda la red.

Riego por gravedad

Se ha mencionado previamente que la intención es aportar la energía necesaria al agua para que llegue a todos los puntos mediante la elevación del depósito, transformando la energía potencial del agua almacenada en energía cinética.

Para realizar el cálculo se debe analizar el punto de la instalación que más energía requiere para que el agua llegue. En este caso el punto crítico es el gotero más alejado del depósito, es decir, el que se encuentra en la última hilera y al final de esta.

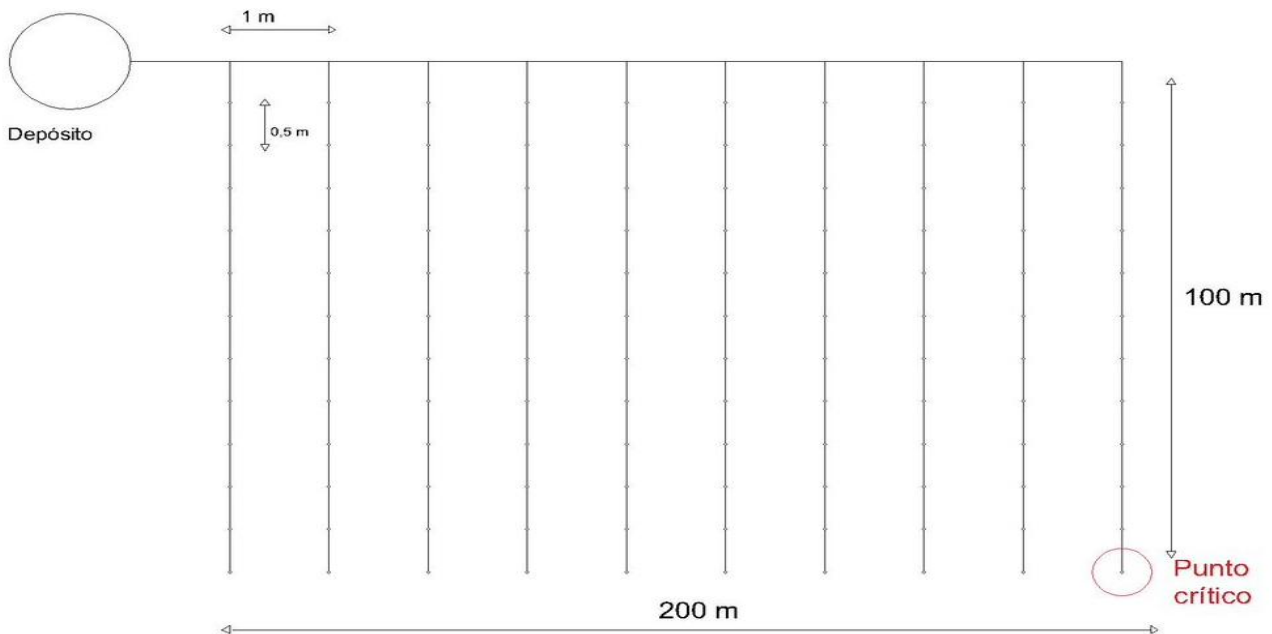


Ilustración 15 Análisis punto crítico Fuente: Propia

Para el cálculo de la energía necesaria que debe tener el agua para llegar al punto crítico se debe aplicar la Ecuación de Bernoulli entre el depósito y el punto crítico. Las pérdidas que tenga el agua hasta llegar a ese punto deben de ser iguales o menores a la altura del depósito para que el agua logre llegar.

$$\frac{p_2}{\rho * g} + z_2 + \frac{c_2^2}{2 * g} - H_{\text{rext}} = \frac{p_3}{\rho * g} + z_3 + \frac{c_3^2}{2 * g}$$

Ecuación 17 Ecuación de Bernoulli entre depósito y salida

Donde:

- p_2 : presión en el nivel del depósito, se puede considerar presión atmosférica
- z_2 : altura estática del nivel del depósito (m)
- c_2 : velocidad del agua en el depósito, debido a las grandes dimensiones de este se considera que el nivel varía de manera lenta por lo que se considera nula.
- H_{rext} : pérdidas primarias y secundarias en la instalación desde el depósito hasta el punto crítico

- p_3 : presión en el orificio de goteo del punto crítico, al estar abierto a la atmósfera se considera presión atmosférica.
- z_3 : altura del punto crítico, al encontrarse en la superficie se considera nula.
- c_3 : velocidad del agua a la salida del gotero, resultado de dividir el caudal de goteo entre la sección del orificio. Para un orificio de 1 cm de diámetro, la velocidad de salida es de 0,006 m/s.

De esta forma quedaría:

$$Z_{\text{Depósito}} = hf_{\text{total}} + hm_{\text{total}} + \frac{c_3^2}{2 * 9,81}$$

Para resolver este sistema se realiza la suposición de que el caudal que circula por el canal principal es mucho mayor que el que circula por cada hilera ($Q_{\text{canal}} \gg Q_{\text{hilera}}$), y de esta manera para simplificar el cálculo se supone que el caudal se mantiene constante a lo largo del canal principal a pesar de las derivaciones en cada hilera.

De la misma manera se supone que el caudal que circula por cada hilera es mucho mayor que el caudal de goteo ($Q_{\text{hilera}} \gg Q_{\text{goteo}}$) y, por tanto, se considera que el caudal se mantiene constante en toda la cinta de riego a pesar de las pérdidas en los orificios de goteo.

Aunque el sistema queda simplificado de esta manera, supone un factor de seguridad en la instalación, ya que realmente el caudal iría disminuyendo en cada rama y por tanto al haber menor caudal habría menos pérdidas. Es decir, se necesitaría una menor altura del depósito que la que se calcula a continuación.

- Pérdidas primarias: existen pérdidas primarias tanto en el canal principal como en la hilera de goteo que se debe analizar, para ello en primer lugar se debe analizar si el flujo es laminar o turbulento en ambas tuberías. Recuperando la expresión del anterior apartado:

$$Re = \frac{\rho * v * Dh}{\mu}$$

Donde de nuevo se cumple que:

- ρ : densidad del agua = $997 \frac{kg}{m^3}$
- v : velocidad del agua $\left(\frac{m}{s}\right)$

- Dh : diámetro interior de la tubería
- μ : viscosidad dinámica del agua = $0,001 \frac{kg}{m*s}$

$$Re \text{ canal principal} = \frac{997 * 0,5935 * 0,2}{0,001} = 118343,9 > 2300$$

$$Re \text{ cinta de goteo} = \frac{997 * 0,52755 * 0,015}{0,001} = 7889,589 > 2300$$

Ecuación 18 Cálculo del número de Reynolds en instalación de riego

Al ser ambos flujos turbulentos, se debe calcular el factor de fricción de Darcy mediante la simplificación de la Ley de Colebrook:

$$\frac{1}{f^{1/2}} \cong -1,8 * \log \left(\left(\frac{\frac{\varepsilon}{Dh}}{3,7} \right)^{1,1} + \frac{6,9}{Re} \right)$$

Como se puede observar en la Tabla 9, la rugosidad del PE se considera 0,0015 mm. Se procede al cálculo del Factor de Fricción de Darcy en ambas tuberías:

$$\frac{1}{f \text{ canal}^{1/2}} \cong -1,8 * \log \left(\left(\frac{\left(\frac{0,0015 * 10^{-3}}{0,2} \right)^{1,1}}{3,7} \right) + \frac{6,9}{118343,83} \right)$$

$$f \text{ canal principal} = 0,01725$$

$$\frac{1}{f \text{ cinta}^{1/2}} \cong -1,8 * \log \left(\left(\frac{\left(\frac{0,0015 * 10^{-3}}{0,015} \right)^{1,1}}{3,7} \right) + \frac{6,9}{7889,59} \right)$$

$$f \text{ cinta de riego} = 0,0334$$

Ecuación 19 Cálculo del factor de fricción en instalación de riego

Por tanto, se procede al cálculo de las pérdidas primarias en ambos tramos:

$$hf = f * \frac{L}{Dh} * \frac{v^2}{2 * g}$$

- f: coeficiente de fricción de Darcy, es un parámetro adimensional que depende tanto del flujo de agua, del material y de la forma del conducto $f = f(\text{Re}, \varepsilon, Dh)$.
- Dh: diámetro hidráulico de la tubería, es decir el diámetro interior (m)
- L: longitud del tramo recto analizado de tubería (en el caso del canal principal se considera un tramo recto de 200m y en el de la hilera de riego se considera un tramo recto de 100 m)
- v: velocidad del fluido en el tramo analizado (m/s)
- g: aceleración de la gravedad (9,81 m/s²)

$$hf \text{ canal principal} = 0,01725 * \frac{200}{0,2} * \frac{0,5935^2}{2 * 9,81} = 0,31 \text{ m}$$

$$hf \text{ cinta de riego} = 0,0334 * \frac{100}{0,015} * \frac{0,52756^2}{2 * 9,81} = 3,162 \text{ m}$$

$$hf \text{ total} = 3,472 \text{ m}$$

Ecuación 20 Cálculo de pérdidas primarias en instalación de riego

- Pérdidas secundarias o localizadas: de la misma manera que ocurre con las pérdidas primarias, existen distintas pérdidas en el canal principal y la cinta de riego. Volviendo sobre la ecuación que se emplea en el anterior capítulo, las pérdidas de carga secundarias se calculan de la siguiente manera:

$$hm = \sum K * \frac{v^2}{2 * g}$$

De igual manera:

- K: coeficiente adimensional de resistencia
 - v: velocidad del fluido en cada singularidad (m/s)
 - g: aceleración de la gravedad (m/s²)
- En el canal principal, se deben considerar, la entrada de depósito a tubería, las derivaciones en T de cada una de las hileras como singularidades que producen pérdida de carga, también se ha de considerar la válvula que permite controlar el flujo y por último la desviación del flujo en la última hilera como una derivación con salida lateral. Atendiendo a la Tabla 11 se obtiene:

Canal principal	K	Número	v ² / 2*g	hm
Derivación en T (flujo sigue por canal principal)	0,9	199	0,017953204	3,215418912
Válvula de globo	10	1	0,017953204	0,179532044
Derivación en T (flujo sale por lateral)	2	1	0,017953204	0,035906409
Entrada de depósito a tubería	0,5	1	0,017953204	0,008976602

Tabla 14 Cálculo de pérdidas secundarias en canal principal de instalación de riego Fuente: Propia

$$hm \text{ canal principal} = 3,4398 \text{ m}$$

- En la cinta de riego, se deben tener en cuenta todos los orificios de goteo, estos se considerarán como derivaciones en T con flujo que continúa por la rama, salvo el último (correspondiente al punto crítico) que se considera que el flujo sale por lateral.

Cinta riego por goteo	K	Número	$v^2/2 \cdot g$	hm
Derivación en T (flujo sigue por canal principal)	0,9	199	0,014185248	2,540577906
Derivación en T (flujo sale por lateral)	2	1	0,014185248	0,028370496

Tabla 15 Cálculo de pérdidas secundarias en cinta de riego de instalación de riego Fuente: Propia

$$hm \text{ cinta de riego} = 2,5689 \text{ m}$$

$$hm \text{ total} = 6,0087 \text{ m}$$

Ecuación 21 Cálculo de pérdidas secundarias en la instalación de riego

Una vez se han calculado todas las pérdidas se puede proceder al cálculo de la altura necesaria del depósito, anteriormente se ha demostrado que la ecuación de Bernoulli quedaba de la siguiente manera:

$$Z \text{ Depósito} = hf \text{ total} + hm \text{ total} + \frac{c^2}{2 \cdot 9,81}$$

Por tanto:

$$Z \text{ Depósito} = 3,472 + 6,0087 + \frac{0,52755^2}{2 \cdot 9,81} = 9,486 \text{ m}$$

$$H \text{ depósito} = 10 \text{ m} > 9,486 \text{ m}$$

Ecuación 22 Cálculo de altura del depósito

13.3 Cálculo de la instalación fotovoltaica

En primer lugar, se debe determinar la orientación de los paneles solares y la inclinación. Como se ha mencionado previamente, al estar Cartaya en el hemisferio norte la orientación óptima de los paneles es hacia el sur.

La inclinación se debe estudiar dependiendo de si se busca un rendimiento óptimo en los meses de verano, en los meses de invierno o si por el contrario se busca optimizar el rendimiento anual. Este parámetro depende de la latitud del lugar en el que se realiza el proyecto, la latitud de Cartaya es de $37^{\circ} 16' 59''$. (España, s.f.)

Existen fórmulas matemáticas que calculan el ángulo de inclinación de los paneles solares dependiendo de la latitud:

$$\text{Inclinación} = 3,7 + (0,69 * \text{Latitud})$$

$$\text{Inclinación paneles en caryaya} = 3,7 + (0,69 * 37) = 29,23^{\circ}$$

Ecuación 23 Cálculo de inclinación de paneles fotovoltaicos

En este caso se utiliza la herramienta PVsyst para simular los posibles escenarios.

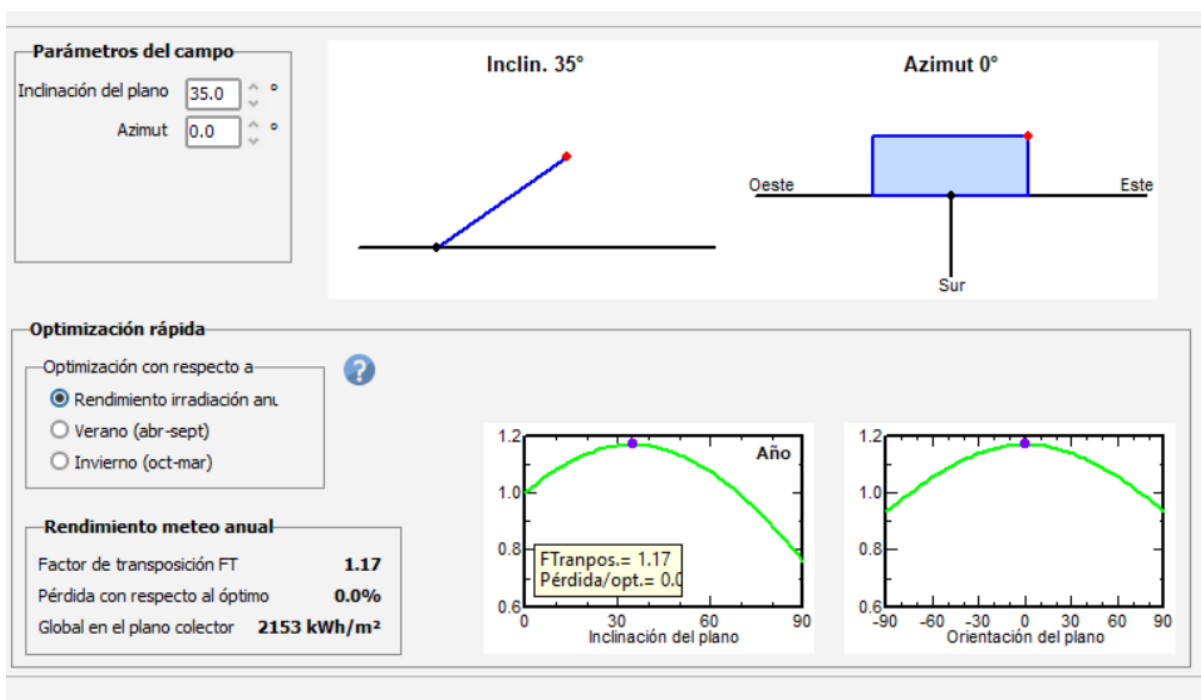


Ilustración 16 Orientación óptima de los paneles solares en Huelva Fuente: PVsyst

El objetivo se optimizar el rendimiento con respecto a la irradiación anual ya que se pretende bombear todo el año con la misma frecuencia. Se observa que el programa al introducir la localización del proyecto indica que la inclinación óptima es de 35° y orientación sur (como ya se había mencionado previamente) por lo que se escoge ese valor.

Inclinación Paneles = 35°

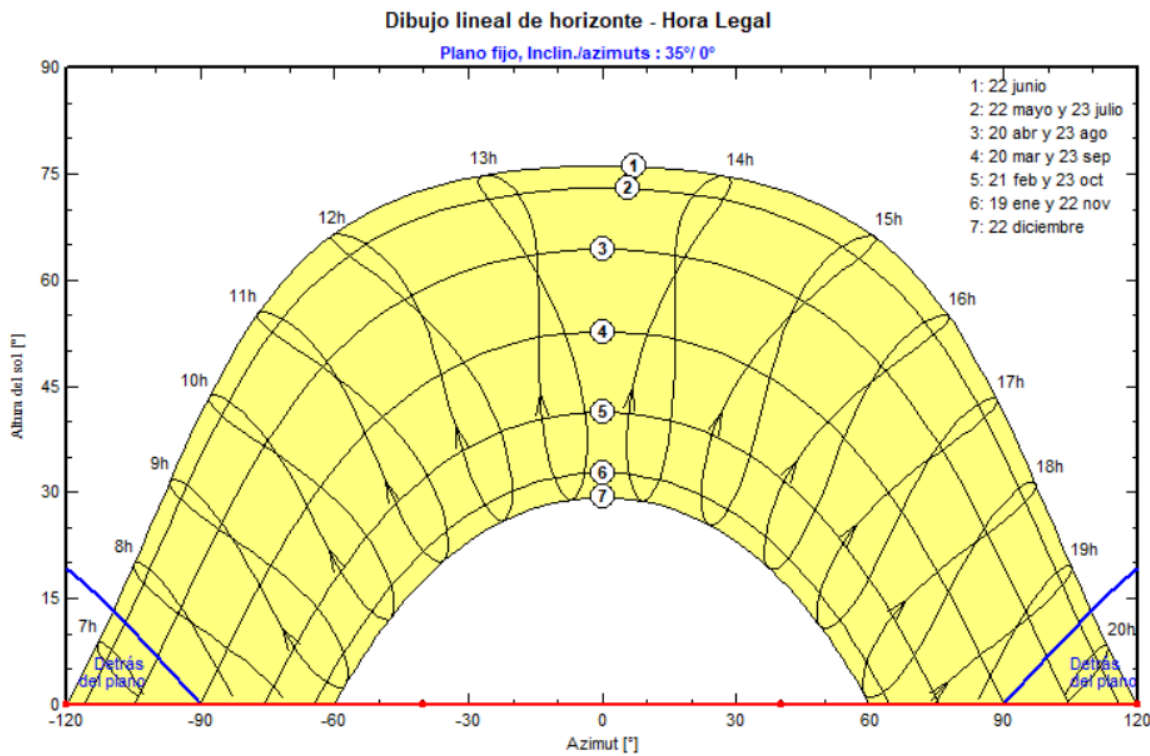


Gráfico 3 Dibujos lineales del horizonte para inclinación de 35° Fuente: PVsyst

El siguiente paso es el estudio del consumo de energía, en primer lugar, se debe calcular la potencia necesaria para accionar la bomba, como se concluyó en el apartado del cálculo del sistema de captación la potencia hidráulica necesaria es 3058,33 W. Sin embargo, se debe tener en cuenta el rendimiento de la bomba para el cálculo de la potencia necesaria.

En el apartado de selección de equipos se describe la bomba seleccionada y sus datos para el punto de trabajo de la instalación, no obstante, para este apartado es necesario conocer el rendimiento de la bomba, esta tiene un rendimiento de 55,7% para el punto de trabajo, por tanto:

$$Potencia\ accionamiento\ bomba = \frac{3058,33}{0,557} = 5490,73\ W$$

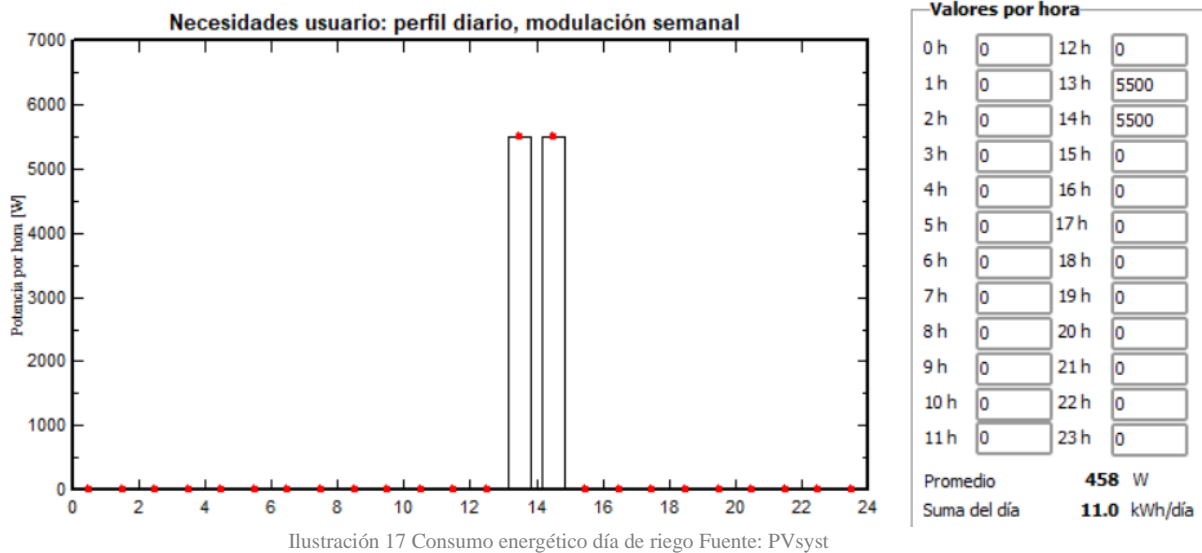
Ecuación 24 Cálculo de potencia de accionamiento

Partiendo de este dato se procede a plantear el problema con la ayuda del programa PVsyst, para ello se deben tener en cuenta las siguientes condiciones del problema:

- Consumo diario: se ha mencionado previamente que el bombeo se va a realizar durante 2 horas de máxima producción solar.

$$\text{Gasto energético día de riego} = 5490,73 \text{ W} * 2 \text{ h} \cong 11 \text{ kWh}$$

Ecuación 25 Cálculo del gasto energético diario



- Consumo semanal: también se ha descrito en apartados anteriores que, al ser necesarios únicamente dos días de riego a la semana, se busca bombear también 2 días a la semana.

$$\text{Consumo energético semanal} = 11 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} * 2 \text{ días de riego} = 22 \frac{\text{kWh}}{\text{semana}}$$

Ecuación 26 Cálculo del gasto energético semanal

- Consumo anual: por último, dado que se pretende regar todas las semanas del año de manera uniforme, el consumo anual es:

$$\text{Consumo energético anual} = 22 \frac{\text{kWh}}{\text{semana}} * 52,1429 \frac{\text{semanas}}{\text{año}} = 1148 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

Ecuación 27 Cálculo del gasto energético anual

A continuación, se procede al cálculo de la instalación fotovoltaica:

En primer lugar, se debe tener en cuenta los dos componentes de la instalación fotovoltaica:

- o Paneles fotovoltaicos: se procede a emplear paneles de 400Wp y 72 celdas, con el objetivo de que la potencia instalada sea superior a la necesaria para contar con un margen en caso de días nublados, se calcula la potencia con un factor de 1,2. Por tanto se instalan 18 paneles fotovoltaicos.

$$\text{Potencia instalada} = 400 \frac{\text{W}}{\text{panel}} * 18 \text{ paneles} = 7200 \text{ W}$$

Ecuación 28 Cálculo de potencia instalada

La disposición de los paneles será de 2 filas con 9 paneles cada una, optimizando de esta manera el espacio disponible.

- o Inversores: dado que la energía procedente de los paneles solares es producida con corriente continua, es necesario la implantación de este accesorio para transformarla en alterna. El principal motivo de transformar la corriente en alterna es que la bomba requiere este tipo de corriente, pero además se añade la posibilidad de volcar a la red la energía sobrante si se transforma.

Se emplean por tanto 2 inversores, uno para cada fila de placas solares, de 3 kW cada uno. Además, se deben seleccionar inversores de 50 hz para alimentar a la bomba y volcar a la red.

Se procede por tanto a realizar la simulación del sistema fotovoltaico a lo largo de un año, empleando el programa PVsyst:

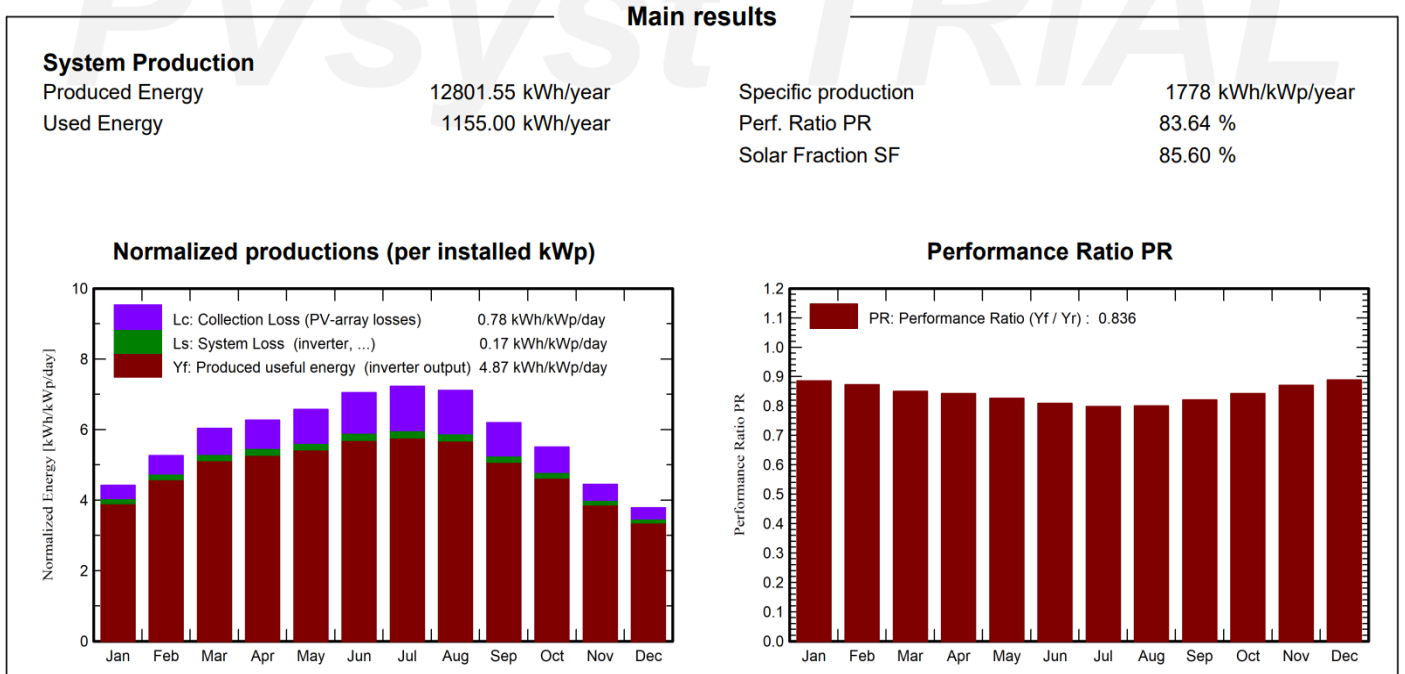


Gráfico 4 Resultados simulación fotovoltaica Fuente: PVsyst

Se observa que la producción anual de energía ha sido de 12801.44 kWh mientras que se ha requerido 1155 kWh para alimentar el sistema.

En la gráfica de la izquierda se muestra en color morado la energía perdida en la captación de la radiación, en color verde se muestra la energía perdida en el paso por el inversor y por último en rojo la energía producida aprovechable.

En la gráfica de la derecha se muestra el coeficiente de rendimiento de la instalación en relación con la energía aprovechable frente a la captada. Siendo este coeficiente una medida de la calidad de la instalación fotovoltaica.

Performance ratio instalación fotovoltaica = 83,64%

A continuación, se muestra detalladamente el balance energético de la instalación a lo largo del año:

Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_User kWh	E_Solar kWh	E_Grid kWh	EFrGrid kWh
January	80.2	28.40	10.80	137.0	135.2	903	110.0	74.9	798	35.07
February	99.7	34.30	11.60	147.2	145.2	958	88.0	76.5	849	11.55
March	150.8	52.80	14.50	187.0	183.7	1184	88.0	85.4	1059	2.64
April	176.4	69.70	16.70	188.1	184.3	1182	99.0	83.3	1058	15.69
May	214.7	76.90	20.70	203.7	198.6	1255	99.0	87.0	1125	11.96
June	234.0	69.20	24.10	211.3	206.2	1276	88.0	82.1	1149	5.93
July	243.2	59.80	26.40	224.1	218.8	1335	110.0	104.6	1184	5.37
August	214.4	61.20	26.80	220.3	215.8	1315	88.0	84.3	1185	3.74
September	156.5	54.20	23.10	185.8	182.3	1137	88.0	77.0	1021	11.00
October	122.9	43.40	19.80	170.6	168.0	1071	110.0	99.3	935	10.70
November	84.0	34.40	14.20	133.4	131.5	865	88.0	62.2	773	25.79
December	66.8	26.40	11.10	117.1	115.5	776	99.0	72.1	678	26.93
Year	1843.6	610.70	18.36	2125.7	2085.2	13258	1155.0	988.6	11813	166.37

Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_User	Energy supplied to the user
T_Amb	Ambient Temperature	E_Solar	Energy from the sun
GlobInc	Global incident in coll. plane	E_Grid	Energy injected into grid
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EFrGrid	Energy from the grid

Tabla 16 Balance energético instalación fotovoltaica Fuente PVsyst

Como se puede observar de los 1155 kWh que necesita la instalación al año, 988,6 kWh son obtenidos de la instalación fotovoltaica, es decir un 85,6% de la energía proviene de los paneles fotovoltaicos. Únicamente son necesarios 166,37 kWh de la red lo que no llega al 15%.

Por otro lado 11.813 kWh son volcados a la red por parte de la instalación fotovoltaica.

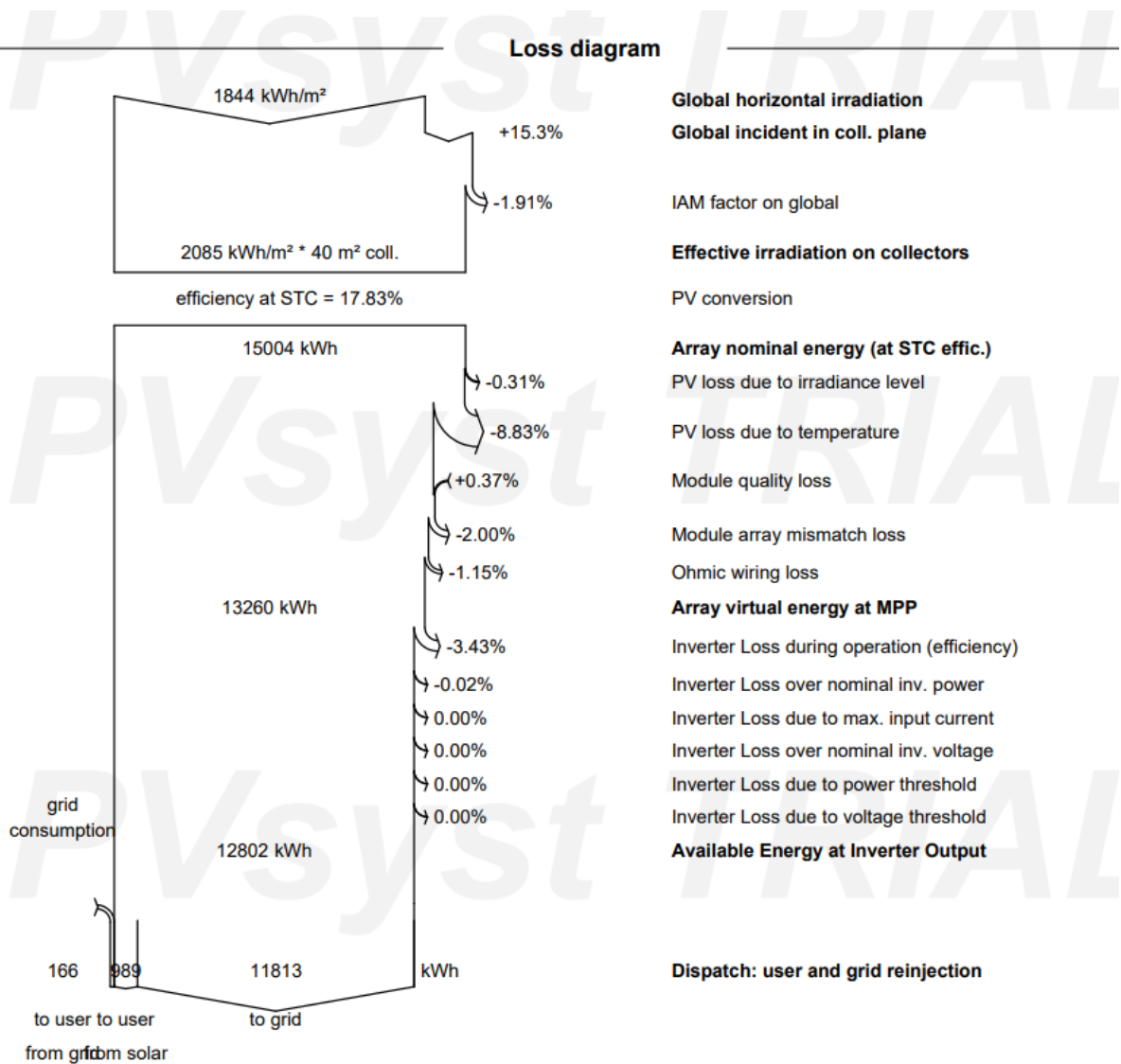


Gráfico 5 Diagrama de pérdidas de la instalación fotovoltaica Fuente: PVsyst

Por último, se muestra las pérdidas que tiene el sistema en el aprovechamiento energético.

14. Selección de equipos

14.1 Selección de riego

El equipo para el riego se compone principalmente de los siguientes componentes:

- Tubo PE alta densidad Diámetro exterior=225 mm, Longitud total=200 m (UNE-EN 12201 W Y P): el canal principal de riego estará formado por varios tramos de estos tubos, a los que habrá que unir las cintas de riego.

DN mm	SDR 26 PN 6 bar			SDR 17 PN 10 bar			SDR 11 PN 16 bar		
	e mm	Nº tubos por palet	PVP €/ m	e mm	Nº tubos por palet	PVP €/ m	e mm	Nº tubos por palet	PVP €/ m
20							2.0	---	0,49
25							2.3	---	0,63
32				2.0	---	0,83	3.0	---	1,01
40				2.4	---	1,09	3.7	---	1,62
50				3.0	---	1,71	4.6	---	2,48
63				3.8	105	2,68	5.8	105	3,93
75				4.5	74	3,79	6.8	74	5,49
90	3.5	104	3,63	5.4	104	5,45	8.2	81	7,95
110	4.2	76	5,07	6.6	76	7,71	10.0	57	11,26
125	4.8	56	6,54	7.4	56	9,83	11.4	40	14,56
140	5.4	46	8,25	8.3	46	12,35	12.7	30	18,14
160	6.2	33	10,82	9.5	33	16,11	14.6	20	23,81
180	6.9	28	13,48	10.7	28	20,38	16.4	22	30,10
200	7.7	20	16,71	11.9	20	25,15	18.2	15	37,11
225	8.6	18	21,00	13.4	18	31,90	20.5	14	46,98
250	9.6	12	26,02	14.8	12	39,10	22.7	12	57,78
280	10.7	11	33,20	16.6	11	50,23	25.4	4	74,08
315	12.1	8	41,35	18.7	8	62,19	28.6	3	91,70
355	13.6	3	52,25	21.1	3	79,14	32.2	3	116,69
400	15.3	3	66,26	23.7	3	100,03	36.3	3	148,11
450	17.2	2	85,30	26.7	2	129,03	40.9	2	191,38
500	19.1	2	108,60	29.7	2	164,06	45.4	2	243,08
560	21.4	2	132,51	33.2	2	200,65	50.8	2	294,92
630	24.1	2	172,49	37.4	2	259,23	57.2	2	385,69

Tabla 17 Tubrerías PE para canal principal Fuente: <https://www.tuberiasplasticasreunidas.com/pdf/tuberia-de-poli-etileno-riego-con-o-sin-goteros-abastecimiento-presion.pdf>

- 200x Cinta de riego Diámetro exterior=20 mm, Longitud=100 m, Separación goteros=500 mm, se emplean tuberías de PE-40 con gotero integrado autocompensante (el cálculo se hizo para diámetro interior=15 mm, por tanto, se le añade el espesor).

CÁLCULO DE RAMALES DE MICROIRRIGACIÓN										
Longitud de ramal (m) en terreno llano										
Diámetro (mm)	Caudal (l/h)	Presión entrada (bar)	Separación entre goteros (m)							
			0,30	0,40	0,50	0,60	0,75	1,00	1,50	
16	1,6	2,0	110	135	160	190	220	275	360	
		3,0	140	175	210	240	280	350	460	
		4,0	160	200	240	275	325	400	530	
	2,2	2,0	87	116	131	152	179	228	300	
		3,0	110	145	167	193	229	287	375	
		4,0	125	155	185	210	245	300	400	
	3,8	2,0	65	85	100	110	125	160	203	
		3,0	80	100	120	131	155	192	257	
		4,0	85	105	130	150	165	215	285	
	20	2,2	2,0	160	200	240	275	325	400	535
			3,0	180	230	275	315	375	460	615
			4,0	190	245	290	335	395	485	645
2,9		2,0	128	161	192	260	273	321	427	
		3,0	157	198	236	320	336	395	526	
		4,0	169	213	253	344	360	424	565	
3,8		2,0	120	145	165	185	215	270	335	
		3,0	135	165	195	220	260	315	415	
		4,0	150	180	220	240	280	340	445	

Tabla 18 Cintas de riego por goteo PE con gotero autocompensante Fuente: <https://www.tuberiasplasticasreunidas.com/pdf/tuberia-de-poli-etileno-riego-con-o-sin-goteros-abastecimiento-presion.pdf>

- Electroválvula para sistema de riego por gravedad RPE 3/4" 24 V Referencia: 6202 NC 24 AC : se emplea esta válvula para controlar el sistema de riego, la presión de trabajo es entre 0,5-10 bar.



Ilustración 18 Electrovalvula para sistema de riego RPE 3/4" 24 V Fuente: <https://riegopro.com/electrovalvula-riego/24v-electricas-ac/electrovalvulas-rpe/electrovalvula-rpe-34-24v-segunda-serie-con-apertura-manual-y-autolimpieza>

- Programador de riego Hunter Eco Logic Referencia: J3358, conectado a la electroválvula y contiene un bypass para sensor de lluvia.

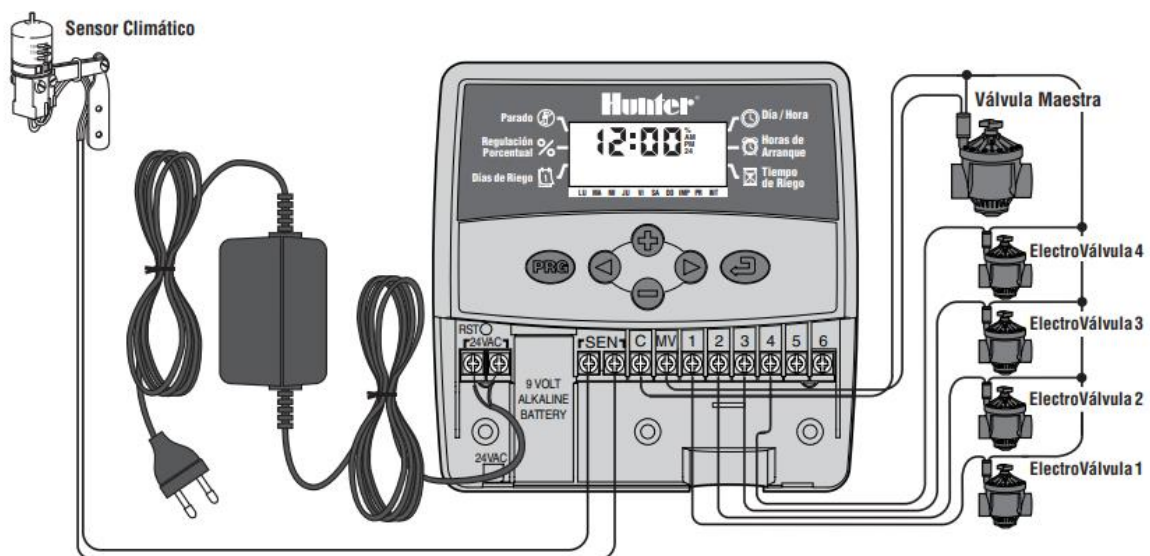


Ilustración 19 Programador de riego Hunter Eco-Logic Fuente: <https://riegopro.com/programador-de-riego/electricos-hunter/programador-de-riego-hunter-eco-logic-interior>

14.2 Selección de depósito

Se ha mencionado en el apartado de cálculos que el depósito debe albergar como mínimo 67,12 m³ de agua, ya que es la cantidad que se riega en un día.

Por otro lado, se ha demostrado que es necesaria una altura de 10 metros para que el riego por gravedad permita llegar el agua a todos los goteros de la instalación.

Se selecciona por tanto un depósito horizontal con base patas que se deberá situar a una altura de 10 metros con las siguientes características:

Nombre	Depósito horizontal de poliéster Vican con patas
Referencia	DHCP70
Diámetro	3 m
Largo	10,53 m
Altura	3,2 m
Capacidad	70.000 litros



Ilustración 20 Depósito almacenamiento de agua Vican Fuente:
<https://www.poliestervican.com/producto.php?id=1>

14.3 Selección de bomba y equipos

En el apartado de cálculo de la instalación de riego, se han obtenido los parámetros característicos de la bomba, su altura y su caudal.

$$H_{\text{bomba}} = 33,54 \text{ m}$$

$$Q_{\text{bomba}} = 9,322 \text{ l/s}$$

Mediante el programa de selección hidráulica ABSEL 6, se introducen los parámetros obtenidos con el objetivo de encontrar la bomba que mayor rendimiento proporcione en ese punto de trabajo.

La bomba seleccionada es la XJ 50 HD 50 Hz de Sulzer. A continuación, se muestran los parámetros relevantes:

Datos de diseño		Potencia P1	5.77 kW
Caudal	0.00906 m ³ /s	Altura	32.8 m
Rendimiento	55.7 %	Pot. en el eje P2	5.18 kW
NPSH		Fluido	Agua
Temperatura	20 °C	Tipo de instalación	Bomba simple
N° de bombas	1		
Datos de la bomba			
Tipo	XJ 50 HD 50HZ	Marca	SULZER
Serie	XJ 25-900	Impulsor	Rodete de canal
N° de álabes		Diámetro impulsor	194 mm
Paso de sólidos		Boca aspiración	3"
Boca impulsión	3"	Tipo de instalación	Instalación
Momento de inercia			
Datos del motor			
Tensión nominal	400 V	Frecuencia	50 Hz
Pot. abs. ejeP2	5.6 kW	Velocidad nominal	2930 1/min
N° de polos	2	Rendimiento	89.6 %
Factor de potencia	0.8	Corriente nominal	11.3 A
Intensidad arranque	92 A	Par nominal	18.3 Nm
Par de arranque	42.9 Nm	Grado protección	IP 68
Clase de aislamiento	F	N° arranques/hora	10

Tabla 19 Datos XJ 50 HD 50 HZ Fuente: Absel 6

A continuación, se muestran las curvas características de la bomba:

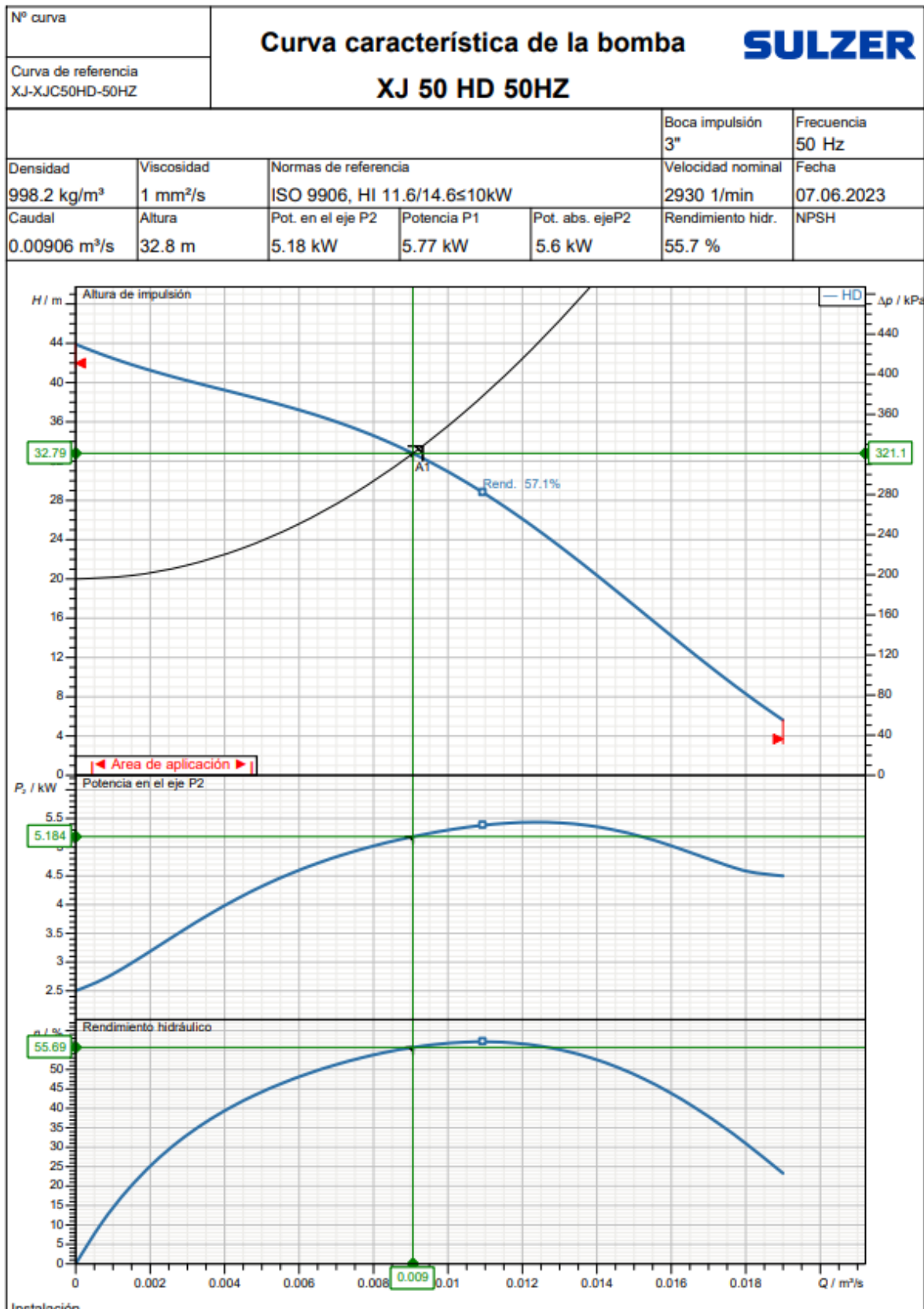


Gráfico 6 Curvas características de la bomba XJ 50 HD 50 Hz Fuente: Absel 6

14.4 Selección de sistema fotovoltaico y equipos

Se ha mencionado en los cálculos el equipo necesario para la instalación fotovoltaica, en primer lugar, son necesarios 18 paneles fotovoltaicos de 400W y 72 celdas:

- Panel Peimar SM400M 400W x 72 celdas:

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (STC) ⁽¹⁾	SM400M
Potencia pico (Pmax)	400 W
Tolerancia de potencia	0/+5 W
Tensión a Pmax (Vmp)	41.3 V
Corriente a Pmax (Imp)	9.69 A
Tensión de circuito abierto (Voc)	50.39 V
Corriente de corto circuito (Isc)	10.26 A
Tensión máxima de sistema	1500 V
Máximo valor nominal del fusible	15 A
Eficiencia Módulo	20.17%
Clase de protección contra descarga eléctrica	Clase II

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Células	72 (6x12) M3 monocristalinas PERC
Tamaño Células	158.75x158.75 mm / 6.25x6.25"
Cubierta Frontal	3.2 mm / 0.13" grosor. vidrio templado
Cápsula	TPT (Tedlar-PET-Tedlar)
Cubierta Posterior	EVA (Etilene Vinil Acetato)
Marco	Aleación de aluminio anodizado doble grosor
Acabados Marco	Plata
Acabados Lámina posterior	Blanco
Diodos	3 Diodos de Bypass
Caja de conexiones	Certificado IP67
Conectores	MC4 o conectores compatibles
Longitud Cables	1100 mm / 43.31"
Sección Cables	4.0 mm ² / 0,006 in ²
Tamaño	1979x1002x40 mm / 77.91x39.45x1.57"
Peso	22 Kg / 48.5 lbs
Carga máxima ⁽⁴⁾	Certificado per 5400 Pa

Tabla 20 Ficha técnica Peimar 400W x 72 cel. Monoc Fuente: <https://www.clientes.grupoelektra.es/catalogo/producto/679646/1>

El esquema de la instalación fotovoltaica queda de la siguiente manera:

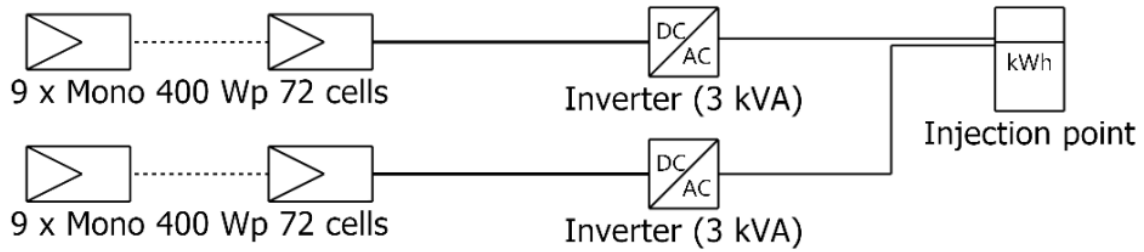


Ilustración 22 Esquema instalación fotovoltaica Fuente: PVsyst

15. Conclusiones cálculos

El proyecto cuenta con distintas fases y que requieren cálculos cada una de ellas. En este caso, se requieren tanto cálculos hídricos para la instalación de riego y de bombeo como cálculos eléctricos y mecánicos para la instalación fotovoltaica. La importancia de este apartado es que, se ha mencionado anteriormente, todas las fases están conectadas entre ellas y dependen una de la otra.

En primer lugar, el cálculo del sistema de riego implica el diseño de la malla y la disposición de los goteros para minimizar las pérdidas. Una vez se ha diseñado, se requiere calcular la energía necesaria para hacer llegar el agua a todos los puntos. Esa energía debe ser proporcionada por la altura del depósito y por tanto es lo que se calcula.

En segundo lugar, una vez se ha determinado la altura del depósito se procede al cálculo del sistema de captación, seleccionando el tiempo de bombeo en función del riego y dimensionando la bomba para que pueda hacer llegar el agua hasta el depósito en altura.

Por último, una vez se ha dimensionado la bomba y se selecciona un equipo, se conocen los datos de consumo energético que precisa. Entonces, se procede al cálculo de la instalación fotovoltaica que permite el abastecimiento del sistema mediante energía limpia.

Sistema de riego	Altura necesaria del depósito= 9,486 m	Consumo anual de agua= 7000 m ³
Sistema de captación	Altura bomba= 33,54 m	Potencia de accionamiento bomba= 5500 W
Sistema fotovoltaico	Potencia instalada en paneles = 7200 W	Autoconsumo anual del sistema = 85,6%

Tabla 22 Resumen cálculos

Capítulo III

Estudio Económico

Índice Capítulo III

16. Introducción	114
17. Análisis de costes	115
18. Análisis de ingresos	116
19. Evaluación financiera.....	117
20. Conclusiones	119

16. Introducción

A lo largo de este capítulo, se procede al estudio de la viabilidad económica del proyecto. Se analizarán aspectos importantes como los beneficios y los costes que van asociados al uso de este sistema, para ello se estudian aspectos clave como la inversión inicial, los gastos de mantenimiento y la amortización del equipo. Además, al ser un proyecto enfocado a la producción de fresas para su posterior venta, se analizan los ingresos que se generan de manera anual, así como los costes de su producción.

Este proyecto se caracteriza por aportar una solución sostenible y eficiente a grandes problemas que se presentan en la agricultura, como la escasez de agua y los elevados precios de la energía. Es por ello por lo que la importancia de este estudio económico reside en poder aportar información a productores y agricultores acerca de la viabilidad de sistemas sostenibles. Se examinarán indicadores financieros relevantes como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) y se procederá a analizar la rentabilidad del proyecto en el medio plazo.

En resumen, el objetivo de este estudio es evaluar la viabilidad financiera de este proyecto y a través de los resultados obtenidos, contribuir a la transformación ecológica del sector agrícola.

17. Análisis de costes

En este apartado se proporciona un desglose de los costes asociados al proyecto, en él se tiene en cuenta tanto los relacionados con el funcionamiento del sistema, como los costes asociados a la producción de fresas. A continuación, se observa una vista detallada de todos ellos:

- Costes de producción: son los relacionados con la explotación fresera, se consideran los costes directos asociados a la desinfección, plantación fertilización, tratamientos, suministros, recolección, y a la mano de obra necesaria para ello. Los costes indirectos, están asociados a la amortización de la maquinaria, túneles, almacenes y sistemas de riego de la plantación. La suma total de los costes de producción se estima alrededor de 46.738€/ha. (Junta de Andalucía, Observatorio de Precios y Mercados). En el caso de este proyecto se cultivan dos hectáreas de fresas por lo que el coste de producción asciende a 93.476€.
- Costes energéticos: como se ha mencionado en anteriores capítulos, el objetivo del proyecto es alimentar energéticamente la instalación mediante autoconsumo, no obstante, hay una pequeña parte del consumo que procede de la red, este equivale a 166,37 kWh al año. Se estima que el precio medio anual del kWh es alrededor de 0,31€/kWh. Por tanto, la suma de coste energético anual asciende a 51,57€.
- Costes de mantenimiento: dado que el proyecto está formado por cuatro sistemas, con la ayuda del director del proyecto se estima el gasto anual que puede tener cada uno de ellos en mantenimiento. El mantenimiento del sistema de bombeo requiere revisión anual de un operario, añadido a las posibles reparaciones, el conjunto se considera alrededor de 3.000€. En segundo lugar, el mantenimiento del sistema de riego incluye también la revisión de operarios y la posible reparación de elementos como válvulas o tuberías que sufren un alto desgaste, se estima que el valor anual del mantenimiento de este sistema es de 2.000€. En tercer lugar, el mantenimiento de los elementos del sistema fotovoltaico incluye la revisión de los paneles y el inversor, así como del cableado, la suma de todo ello se considera 1.500€ al año. Por último, el depósito requiere un mantenimiento menos frecuente, pero se estima una media anual de 200€ en mantenimiento.
- Amortización: la depreciación de la maquinaria de la instalación se considera de vital importancia. En el caso de este proyecto se estima una tasa de depreciación anual del 10% para toda la maquinaria, lo que incluye los sistemas de riego, depósito, sistema de captación (incluida la bomba), y paneles fotovoltaicos. La inversión total en maquinaria (se dará una vista más detallada en el capítulo de presupuesto) asciende a 70.000€, por lo que se considera que el gasto de amortización asciende a 7.000€ de manera anual.

18. Análisis de ingresos

El objetivo en este capítulo es el de analizar los distintos ingresos que se generan a través del sistema. De la misma forma que en el capítulo de costes, se tiene en cuenta los ingresos generados por la producción agrícola y los ingresos que puedan ser generados en la instalación. A continuación, se estudian los siguientes:

- Ingresos accesorios a la producción de fresas: el objetivo principal de la instalación es el cultivo de fresas para su posterior comercialización. El diseño del proyecto es de tal manera que se cultivan dos hectáreas de plantación, además dadas las dimensiones de la parcela, (se explica en capítulos anteriores) se logra cultivar 40.000 plantas de fresa al año. Además, dadas las características de esta planta se puede estimar que la producción de fresas es de 1,5kg/planta, lo que implica que la producción anual de la instalación es de 60.000 kg de fresas. Por último, la comercialización de la fresa a lo largo del año 2022 obtuvo un precio medio de 3,212€/kg en el mercado de origen, mientras que en 2023 hasta el momento ha sido de 2,52€/kg.

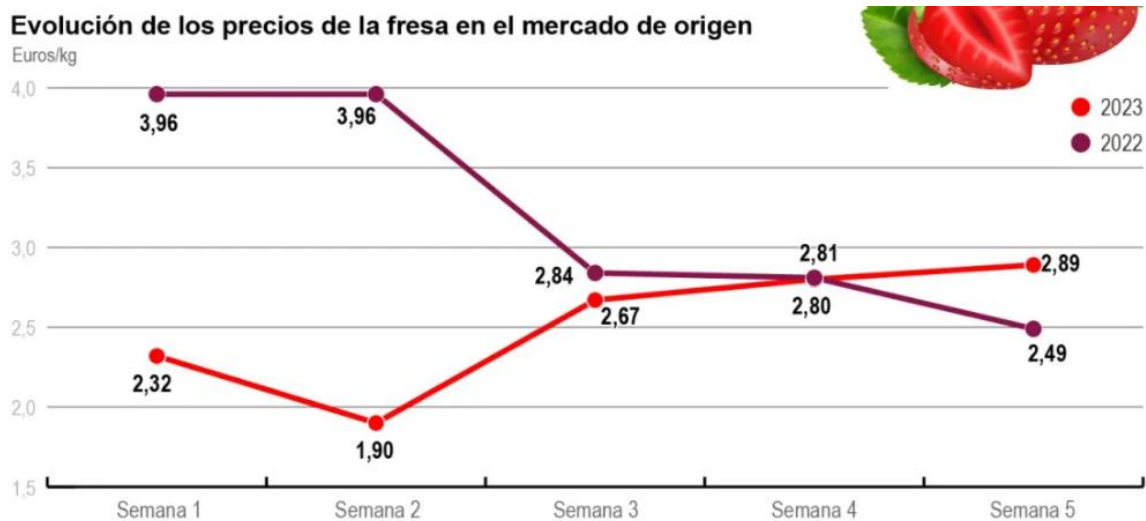


Gráfico 7 Evolución de los precios de la fresa en el mercado de origen Fuente: <https://efeagro.com/temporada-fresa-2023-produccion/#:~:text=Un%20precio%20recibido%20por%20el,2%2C49%20euros%2Fkg>.

Por tanto, en este proyecto se estima que un precio de 3€/kg es realista dadas las condiciones del mercado. Dada la producción anual y el precio al que se vende el producto el total de ingresos debidos a la producción de fresas es de 180.000€.

- Ingresos debidos a excedente energético: además de la producción de fresas, este proyecto cuenta con otra fuente de ingresos que es la producción de energía

fotovoltaica. Como se demuestra en el capítulo de cálculos de la instalación, dado que la producción de energía fotovoltaica no es demandada por el sistema en todo momento, se realiza una conexión a la red para volcar energía en el caso de que se tenga un excedente de esta. En el caso de esta instalación el total de energía que se devuelve a la red al año es de 11.813kWh, se estima que el precio al que las comercializadoras de energía retribuyen este excedente no es el mismo que el precio de compra. Por tanto, se estima que el precio al que se vende la electricidad es la mitad del precio al que se compraría, es decir 0,15€/kWh, esto aporta un total de ingresos a la instalación de 885,98€.

19. Evaluación financiera

Una vez se han definido las fuentes de ingresos y de gastos, se procede en este apartado al análisis de la rentabilidad del proyecto. Para ello se tendrá en cuenta además la inversión inicial realizada en este proyecto. Con el objetivo de analizar la rentabilidad de la instalación como el TIR y el VAN que aportan indicadores de especial relevancia a la hora de determinar la viabilidad del proyecto. A continuación, se explica en detalle ambos conceptos:

- Valor actual neto (VAN): es una medida que permite evaluar la diferencia entre el valor actual de los ingresos y el valor actual de los gastos que se han generado a lo largo del proyecto, es decir, permite tener en cuenta el valor temporal del dinero. En el caso de este proyecto se analiza la rentabilidad en el medio plazo y este indicador permite tener en cuenta que el valor del dinero irá decreciendo con una tasa determinada, en concreto se selecciona un valor del 7,5%. La importancia de esta medida reside en que para que un proyecto sea rentable, el VAN debe ser positivo, ya que implica que los ingresos superarán a los gastos por lo que se obtienen beneficios en cada ejercicio. Además, implica que la rentabilidad del proyecto es superior a la tasa de depreciación para la que se calcula, es decir en este proyecto el TIR deberá ser igual o mayor al 7,5%.
- Tasa Interna de retorno (TIR): este parámetro permite calcular la rentabilidad del proyecto, realmente es la tasa de descuento que provoca que el VAN se iguale a cero. Por tanto, interesa que este parámetro sea superior a la tasa de descuento aplicada en el VAN ya que significa que el proyecto crece anualmente y se logra recuperar la inversión inicial realizada. Cuanto mayor sea este indicador significará una mayor rentabilidad del proyecto.

Otros conceptos aplicados en el análisis:

- Beneficio antes de impuestos: a la suma de todos los ingresos generados por el sistema se le debe restar los gastos generados y que se han detallado en los apartados anteriores. Este parámetro da un primer indicativo de si se genera beneficio de manera anual.
- Impuestos: se aplica una tasa de retención sobre el balance, el porcentaje puede variar dependiendo del tipo de actividad que se realice. En el caso de este proyecto se aplica un 25% de retención sobre el total de los beneficios obtenidos.
- Inversión inicial: de cara a determinar la viabilidad del proyecto se debe considerar el capital invertido para la puesta en marcha del proyecto. El proyecto se considera rentable si con el paso de los años se logra recuperar esta inversión. En el caso de este proyecto se considera que la inversión se realiza previa al primer ejercicio.
- Flujo de caja: por último, se calcula el balance real del ejercicio, para realizarlo se tiene en cuenta el flujo de dinero que se realiza durante el año. Por tanto, se tienen en cuenta los ingresos y los gastos sin tener en cuenta las amortizaciones, ya que realmente no es una cantidad de dinero que salga de la caja en el ejercicio. Además, se tiene en cuenta el gasto relacionado con los impuestos debido a que si es un flujo de caja real. Sobre este valor se calculan los indicadores mencionados previamente (VAN y TIR).

A continuación, se procede al análisis de rentabilidad del proyecto:

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Costes producción		-93476	-93476	-93476	-93476	-93476
Ingresos producción		180000	180000	180000	180000	180000
Costes energéticos		-51,5747	-51,5747	-51,5747	-51,5747	-51,5747
Ingresos por excedente energético		885,975	885,975	885,975	885,975	885,975
Costes mantenimiento		-6700	-6700	-6700	-6700	-6700
Amortización		-7000	-7000	-7000	-7000	-7000
Beneficio antes de impuestos		73658,4003	73658,4003	73658,4003	73658,4003	73658,4003
Impuestos		-18414,6	-18414,6	-18414,6	-18414,6	-18414,6
Inversión inicial	-111334,45					
Flujo de caja	-111334,45	62243,8002	62243,8002	62243,8002	62243,8002	62243,8002
TIR	48%					
VAN	140.496,80 €					

Tabla 23 Resumen estudio viabilidad económica

20. Conclusiones

Dados los resultados obtenidos en el cálculo de la rentabilidad del proyecto, se puede afirmar que el proyecto es viable económicamente en el medio plazo. Dada la eficiencia del sistema se logra recuperar el capital invertido en un plazo menor a 5 años. Se procede a analizar los distintos indicativos:

En primer lugar, el beneficio antes de impuestos es positivo, esto implica un buen rendimiento del proyecto porque implica un beneficio anual incluyendo la depreciación de la maquinaria e instalación.

En segundo lugar, dado el flujo de caja obtenido se puede llegar a la conclusión de que la inversión inicial se recupera con rapidez. Este dato es importante ya que sirve para convencer a los agricultores y productores sobre la viabilidad de los proyectos que funcionan mediante energías renovables y con sistemas sostenibles.

Por último, analizando los indicadores se observa un Valor Actual Neto muy por encima del 0, esto implica que en el 5º año de proyecto se logra acumular suficiente beneficio como para haber recuperado el capital invertido y acumular suficiente patrimonio como para volver a invertir en un proyecto de estas características. La Tasa Interna de Retorno se muestra por encima de la tasa de descuento, significando una elevada rentabilidad del proyecto.

En resumen, el proyecto se puede considerar de alta rentabilidad esto se puede demostrar con los indicadores de Valor Actual Neto y Tasa Interna de retorno que demuestran que en un periodo de 5 años se puede recuperar por completo la inversión inicial y además haber acumulado el suficiente patrimonio como para volver a empezar el proyecto. Por supuesto, existen valores con los que se ha trabajado que se han estimado, sin embargo, todo se ha realizado dentro de un intervalo bastante realista con el mercado. Por ello, se puede afirmar que es un proyecto económica y financieramente viable.

Capítulo IV

Anexos

Índice Capítulo IV

21. Estudio paneles fotovoltaicos.....	122
22. Ficha técnica bomba Sulzer XJ 50 HD 50 Hz	133
23. Bibliografía.....	137

21. Estudio paneles fotovoltaicos



Version 7.3.4

PVsyst - Simulation report

Grid-Connected System

Project: TFG4

Variant: Nueva variante de simulación

No 3D scene defined, no shadings

System power: 7.20 kWp

Huelva/La Soledad - Spain

| Author



PVsyst V7.3.4
VC0, Simulation date:
08/06/23 16:19
with v7.3.4

Project: TFG4

Variant: Nueva variante de simulación

Project summary

Geographical Site Huelva/La Soledad Spain	Situation Latitude 37.28 °N Longitude -6.91 °W Altitude 29 m Time zone UTC+1	Project settings Albedo 0.20
Meteo data Huelva/La Soledad MeteoNorm 8.1 station - Sintético		

System summary

Grid-Connected System	No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation Fixed plane Tilt/Azimuth 35 / 0 °	Near Shadings No Shadings	User's needs Daily profile weekly modulation Average 3.1 kWh/Day
System information PV Array Nb. of modules 18 units Pnom total 7.20 kWp	Inverters Nb. of units 2 units Pnom total 6.00 kWac Pnom ratio 1.200	

Results summary

Produced Energy 12801.55 kWh/year	Specific production 1778 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR 83.64 %
Used Energy 1155.00 kWh/year		Solar Fraction SF 85.60 %

Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Detailed User's needs	4
Main results	5
Loss diagram	6
Predef. graphs	7
P50 - P90 evaluation	8
Single-line diagram	9
Cost of the system	10
CO ₂ Emission Balance	11



PVsyst V7.3.4
VC0. Simulation date:
08/06/23 16:19
with v7.3.4

Project: TFG4

Variant: Nueva variante de simulación

General parameters

Grid-Connected System		No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation			
Orientation			
Fixed plane		Sheds configuration	Models used
Tilt/Azimuth	35 / 0 °	No 3D scene defined	Transposition Perez Diffuse Perez, Meteornorm Circumsolar separate
Horizon			
Free Horizon		Near Shadings	User's needs
		No Shadings	Daily profile weekly modulation Average 3.1 kWh/Day

PV Array Characteristics

PV module		Inverter	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	Mono 400 Wp 72 cells	Model	3 kWac inverter
(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	400 Wp	Unit Nom. Power	3.00 kWac
Number of PV modules	18 units	Number of inverters	2 units
Nominal (STC)	7.20 kWp	Total power	6.0 kWac
Modules	2 Strings x 9 In series	Operating voltage	125-440 V
At operating cond. (50°C)		Phom ratio (DC:AC)	1.20
Pmpp	6.53 kWp		
U mpp	310 V		
I mpp	21 A		
Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC)	7 kWp	Total power	6 kWac
Total	18 modules	Number of inverters	2 units
Module area	40.4 m ²	Phom ratio	1.20
Cell area	35.8 m ²		

Array losses

Thermal Loss factor		DC wiring losses		Module Quality Loss				
Module temperature according to irradiance		Global array res.	247 mΩ	Loss Fraction	-0.4 %			
Uc (const)	20.0 W/m ² K	Loss Fraction	1.5 % at STC					
Uv (wind)	0.0 W/m ² K/m/s							
Module mismatch losses								
Loss Fraction	2.0 % at MPP							
IAM loss factor								
Incidence effect (IAM): Fresnel, AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000



PVsyst V7.3.4
VC0, Simulation date:
08/06/23 16:19
with v7.3.4

Project: TFG4

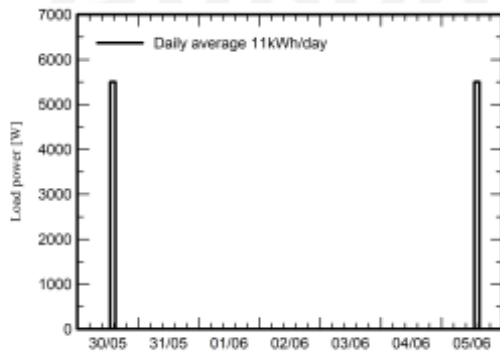
Variante: Nueva variante de simulación

Detailed User's needs

Daily profile, weekly modulation, average = 3.1 kWh/day

Working Days	0 h	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	7 h	8 h	9 h	10 h	11 h	kW
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	12 h	13 h	14 h	15 h	16 h	17 h	18 h	19 h	20 h	21 h	22 h	23 h	kW
	0.00	5.50	5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Week-End	0 h	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	7 h	8 h	9 h	10 h	11 h	kW
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	12 h	13 h	14 h	15 h	16 h	17 h	18 h	19 h	20 h	21 h	22 h	23 h	kW
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Working Days





Project: TFG4

Variant: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.3.4
VC0, Simulation date:
08/08/23 16:19
with v7.3.4

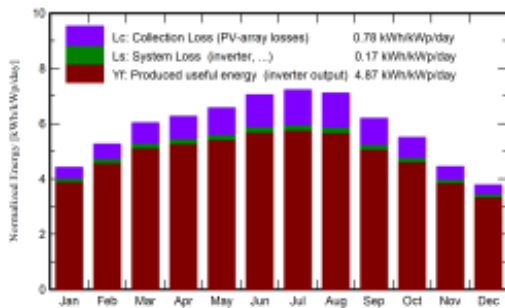
Main results

System Production

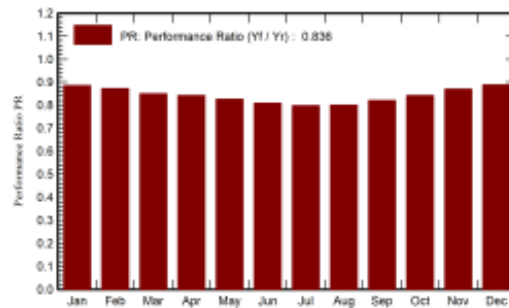
Produced Energy 12801.55 kWh/year
Used Energy 1155.00 kWh/year

Specific production 1778 kWh/kWp/year
Perf. Ratio PR 83.64 %
Solar Fraction SF 85.60 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_User kWh	E_Solar kWh	E_Grid kWh	EfrGrid kWh
January	80.2	28.40	10.80	137.0	135.2	903	110.0	74.9	796	35.07
February	99.7	34.30	11.60	147.2	145.2	958	88.0	76.5	849	11.55
March	150.8	52.80	14.50	187.0	183.7	1184	88.0	85.4	1059	2.64
April	176.4	69.70	16.70	188.1	184.3	1182	99.0	83.3	1058	15.69
May	214.7	76.90	20.70	203.7	198.6	1255	99.0	87.0	1125	11.96
June	234.0	69.20	24.10	211.3	206.2	1276	88.0	82.1	1149	5.93
July	243.2	59.80	26.40	224.1	218.8	1335	110.0	104.6	1184	5.37
August	214.4	61.20	26.80	220.3	215.8	1315	88.0	84.3	1185	3.74
September	156.5	54.20	23.10	185.8	182.3	1137	88.0	77.0	1021	11.00
October	122.9	43.40	19.80	170.6	168.0	1071	110.0	99.3	935	10.70
November	84.0	34.40	14.20	133.4	131.5	865	88.0	62.2	773	25.79
December	66.8	26.40	11.10	117.1	115.5	776	99.0	72.1	678	26.93
Year	1843.6	610.70	18.36	2125.7	2085.2	13258	1155.0	988.6	11813	166.37

Legends

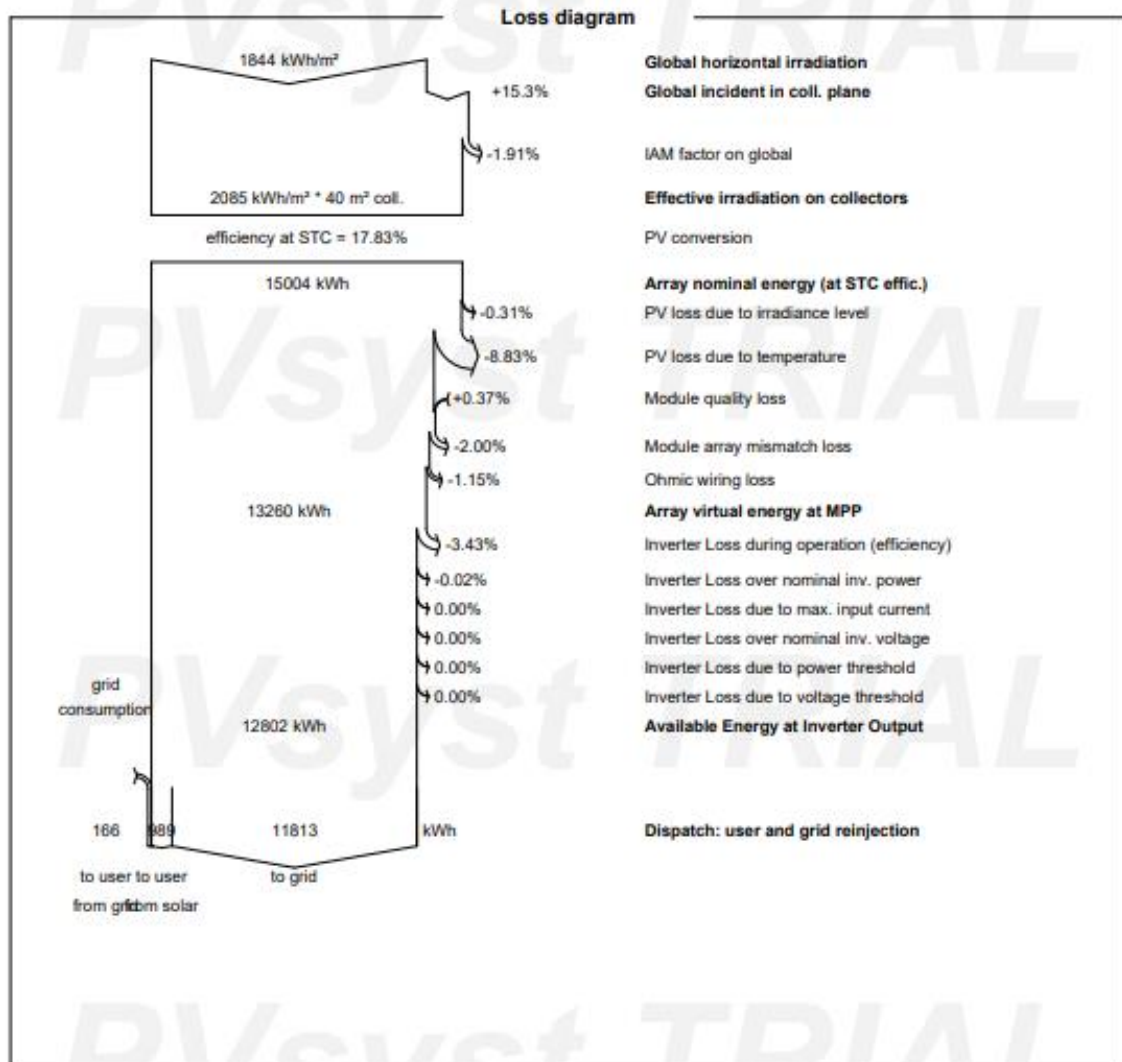
GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_User	Energy supplied to the user
T_Amb	Ambient Temperature	E_Solar	Energy from the sun
GlobInc	Global incident in coll. plane	E_Grid	Energy injected into grid
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EfrGrid	Energy from the grid



PVsyst V7.3.4
VC0, Simulation date:
08/06/23 16:19
with v7.3.4

Project: TFG4

Variant: Nueva variante de simulación





Project: TFG4

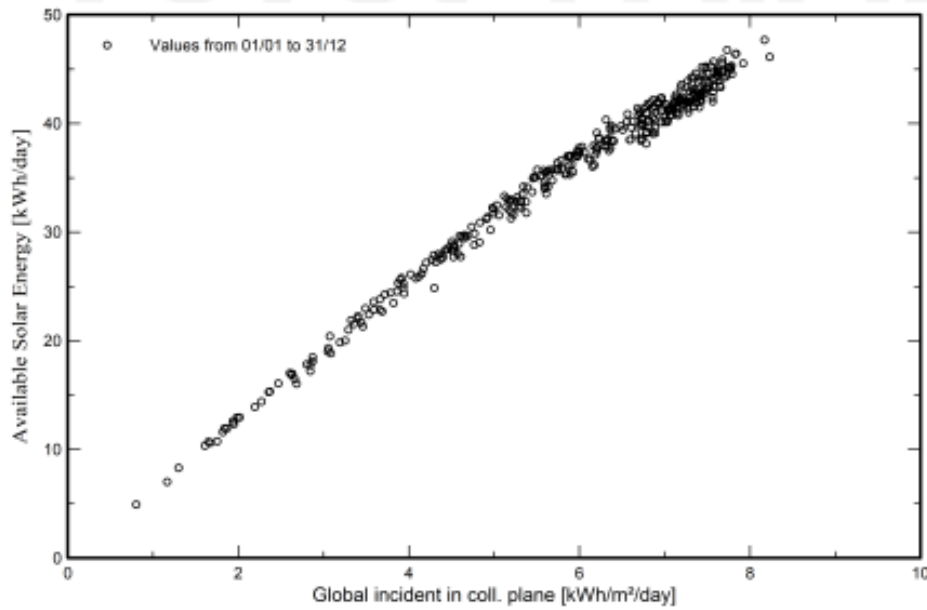
Variant: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.3.4

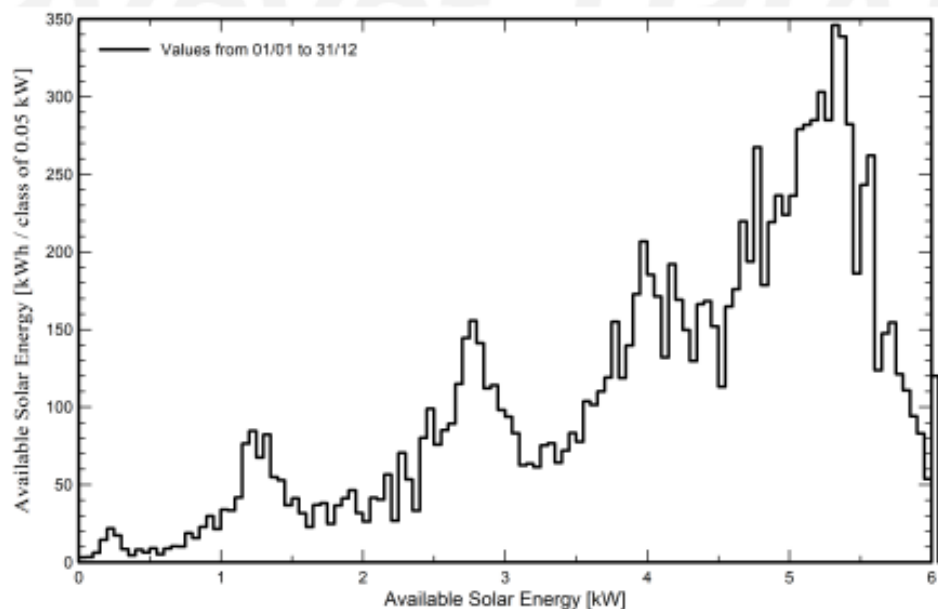
VC0, Simulation date:
08/06/23 16:19
with v7.3.4

Predef. graphs

Diagrama entrada/salida diaria



Distribución de potencia de salida del sistema





PVsyst V7.3.4
VC0, Simulation date:
08/06/23 16:19
with v7.3.4

Project: TFG4

Variant: Nueva variante de simulación

P50 - P90 evaluation

Meteo data

Source	MeteoNorm 8.1 station
Kind	Monthly averages
Sintético - Multi-year average	
Year-to-year variability(Variance)	2.5 %
Specified Deviation	
Climate change	0.0 %

Simulation and parameters uncertainties

PV module modeling/parameters	1.0 %
Inverter efficiency uncertainty	0.5 %
Soiling and mismatch uncertainties	1.0 %
Degradation uncertainty	1.0 %

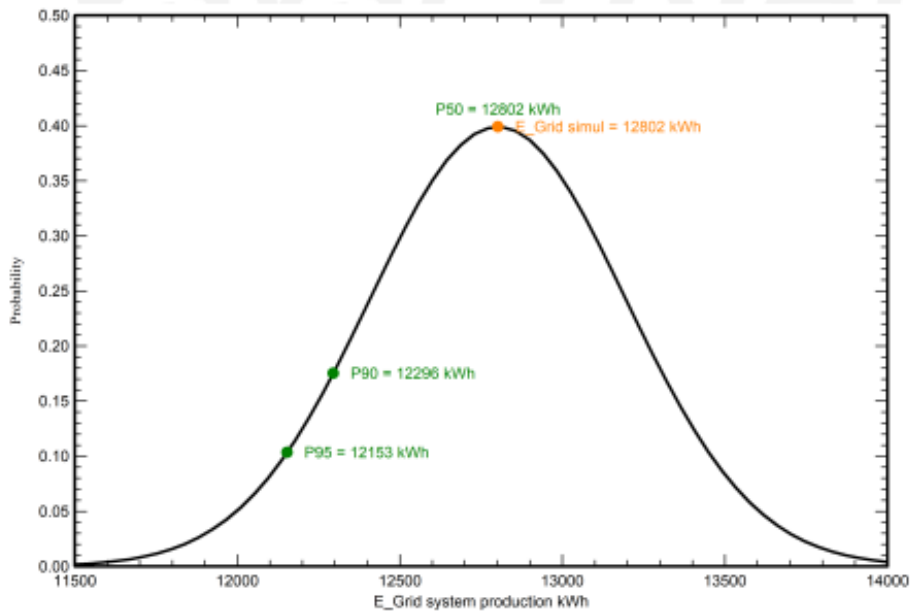
Global variability (meteo + system)

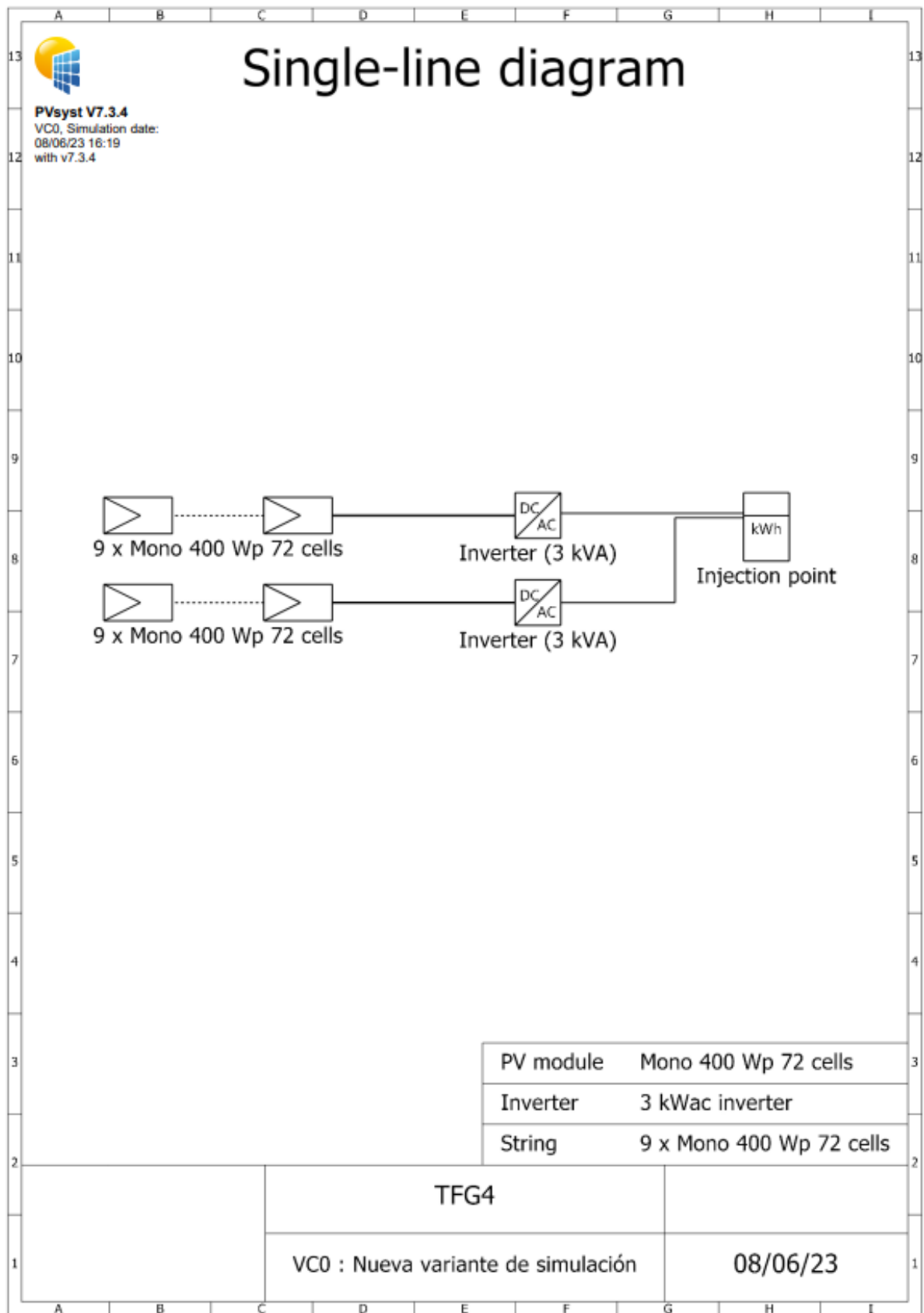
Variability (Quadratic sum)	3.1 %
-----------------------------	-------

Annual production probability

Variability	395 kWh
P50	12802 kWh
P90	12296 kWh
P95	12153 kWh

Probability distribution







PVsyst V7.3.4
VC0, Simulation date:
08/06/23 18:19
with v7.3.4

Project: TFG4

Variant: Nueva variante de simulación

Cost of the system

Installation costs

Item	Quantity units	Cost EUR	Total EUR
		Total	0.00
		Depreciable asset	0.00

Operating costs

Item	Total EUR/year
Total (OPEX)	0.00

System summary

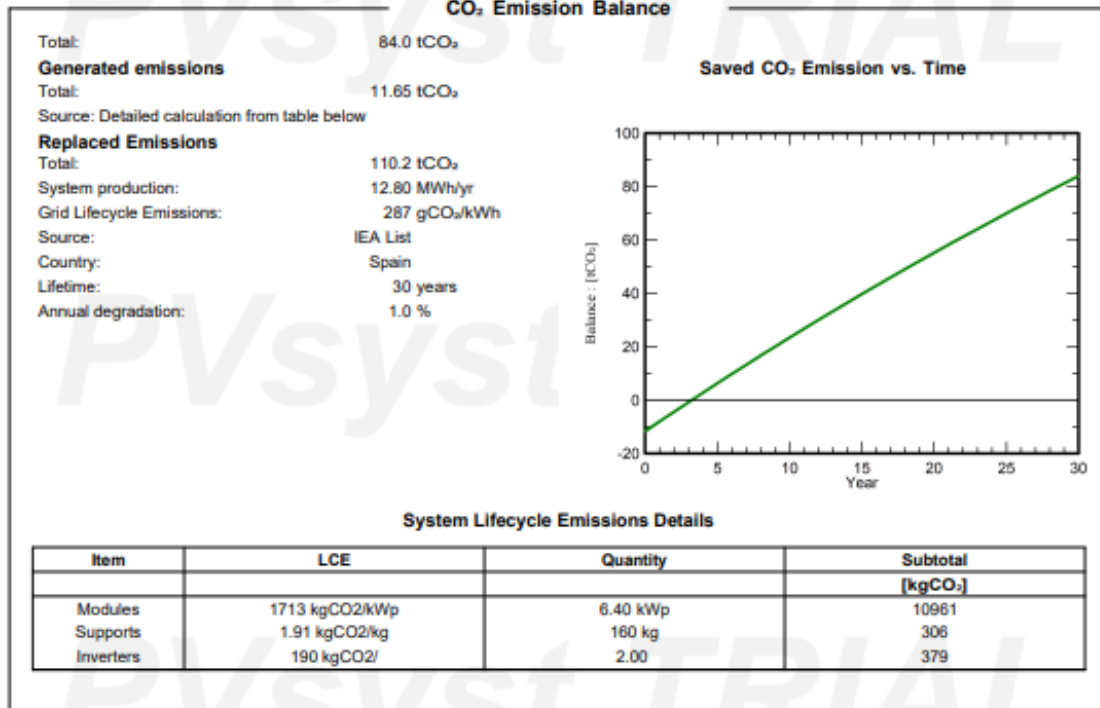
Total installation cost	0.00 EUR
Operating costs	0.00 EUR/year
Unused energy	989 kWh/year
Energy sold to the grid	11813 kWh/year
Cost of produced energy (LCOE)	0.000 EUR/kWh



PVsyst V7.3.4
VC0, Simulation date:
08/06/23 16:19
with v7.3.4

Project: TFG4

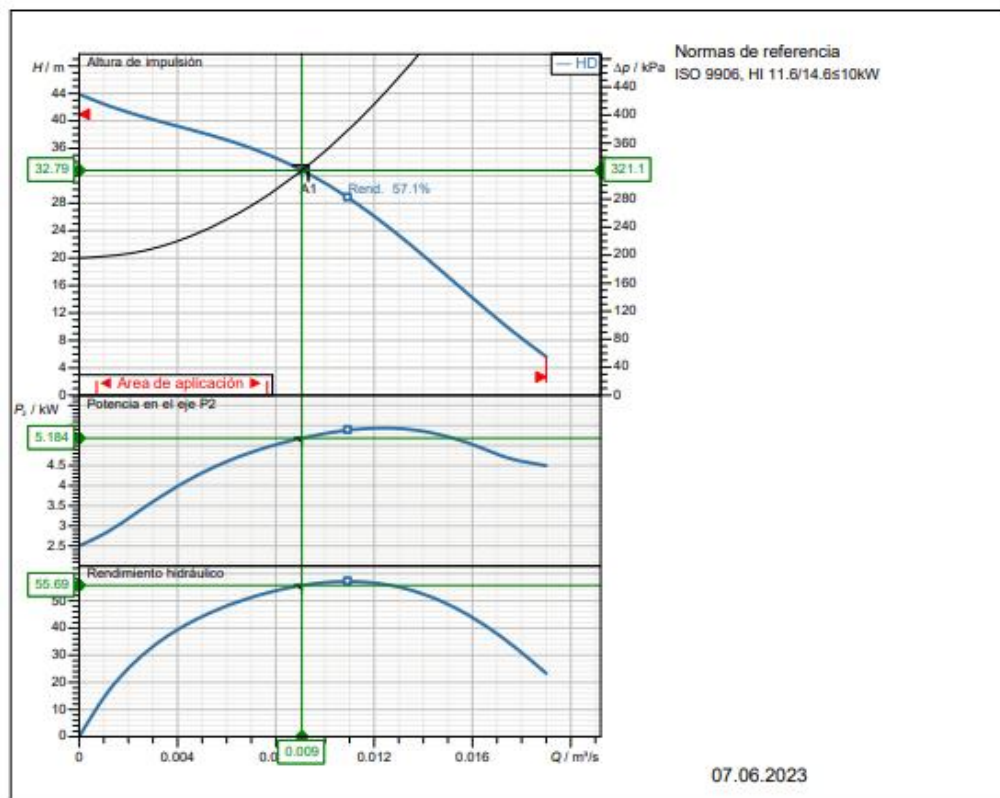
Variant: Nueva variante de simulación



22. Ficha técnica bomba Sulzer XJ 50 HD 50 Hz



XJ 50 HD 50HZ

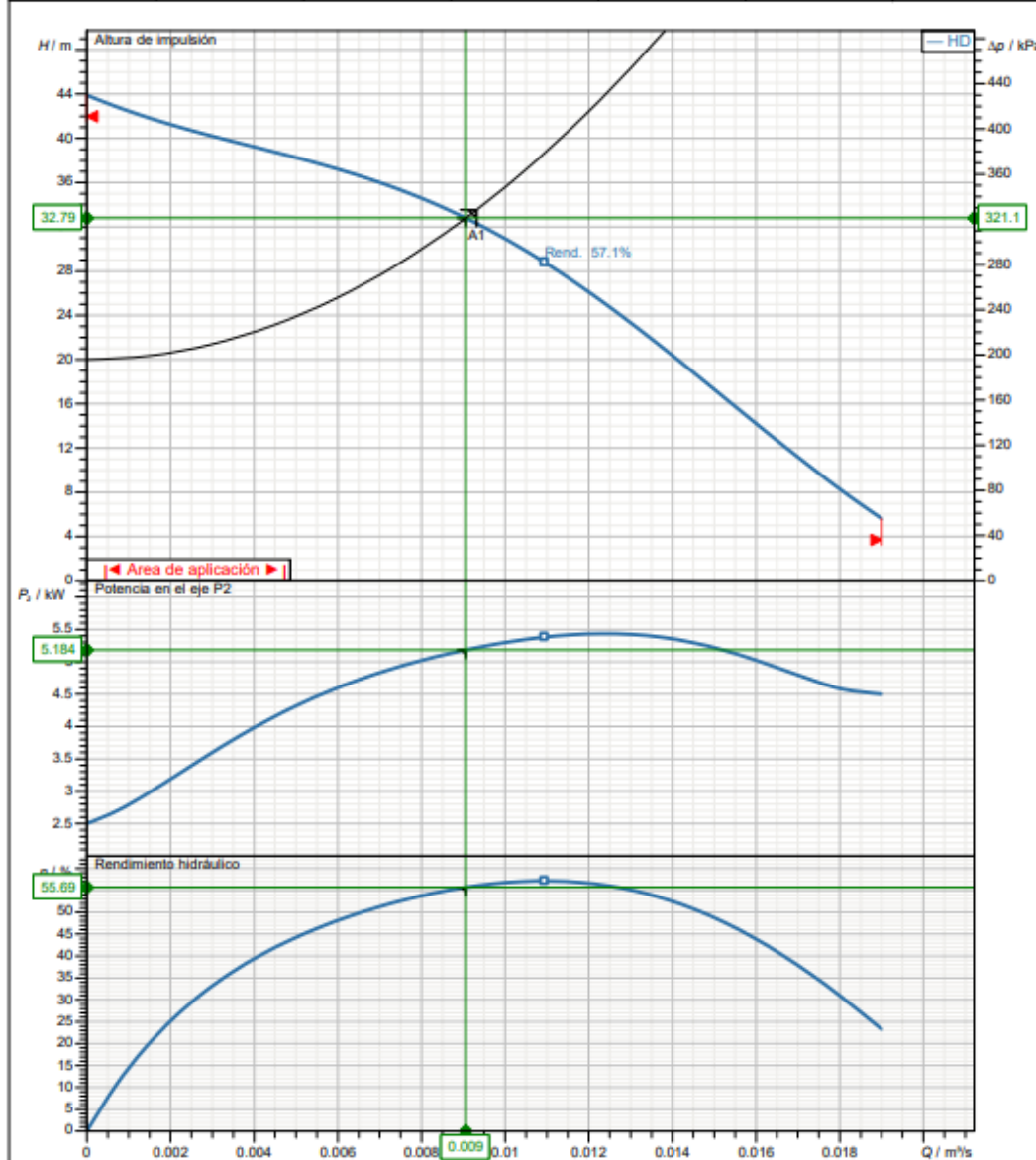


Datos de diseño		Potencia P1	
Caudal	0.00906 m³/s	Altura	5.77 kW
Rendimiento	55.7 %	Pot. en el eje P2	32.8 m
NPSH		Fluido	5.18 kW
Temperatura	20 °C	Tipo de instalación	Agua
Nº de bombas	1		Bomba simple
Datos de la bomba		Marca	
Tipo	XJ 50 HD 50HZ	Impulsor	SULZER
Serie	XJ 25-900	Diámetro impulsor	Rodete de canal
Nº de álabes		Boca aspiración	194 mm
Paso de sólidos		Tipo de instalación	3"
Boca impulsión	3"		Instalación
Momento de inercia			
Datos del motor		Frecuencia	
Tensión nominal	400 V	Velocidad nominal	50 Hz
Pot. abs. ejeP2	5.6 kW	Rendimiento	2930 1/min
Nº de polos	2	Corriente nominal	89.6 %
Factor de potencia	0.8	Par nominal	11.3 A
Intensidad arranque	92 A	Grado protección	18.3 Nm
Par de arranque	42.9 Nm	Nº arranques/hora	IP 68
Clase de aislamiento	F		10

Sulzer se reserva el derecho de cambiar cualquier dato u dimensiones sin notificación previa y no será responsable para el uso de información contenido en este software.

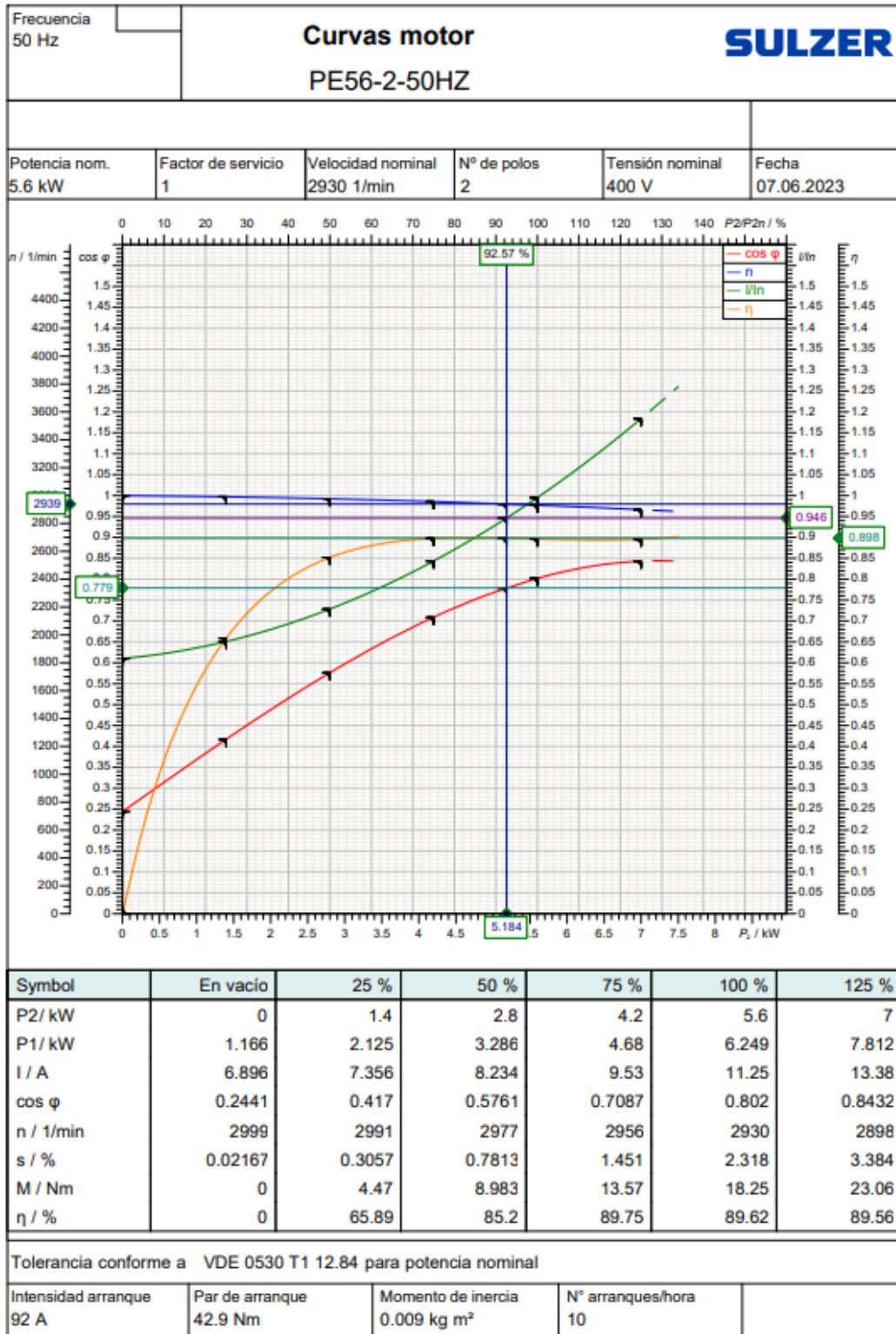
Spaix® 6-23.1 - 2023/05/26 (Build 4416), 64 bit
Versión de datos March 23.2

Nº curva		Curva característica de la bomba			SULZER	
Curva de referencia XJ-XJC50HD-50HZ						
		XJ 50 HD 50HZ			Boca impulsión 3"	Frecuencia 50 Hz
Densidad 998.2 kg/m ³	Viscosidad 1 mm ² /s	Normas de referencia ISO 9906, HI 11.6/14.6≤10kW			Velocidad nominal 2930 1/min	Fecha 07.06.2023
Caudal 0.00906 m ³ /s	Altura 32.8 m	Pot. en el eje P2 5.18 kW	Potencia P1 5.77 kW	Pot. abs. ejeP2 5.6 kW	Rendimiento hidr. 55.7 %	NPSH



Instalación				
Diámetro impulsor 194 mm	Nº de álabes	Impulsor Rodete de canal	Paso de sólidos	Revisión XJ & XJC 50 HD 50HZ A

Sulzer se reserva el derecho de cambiar cualquier dato u dimensiones sin notificación previa y no será responsable para el uso de información contenido en este software. Spal® 6-23.1 - 2023/05/26 (Build 4416), 64 bit
Versión de datos March 23.2



Sulzer se reserva el derecho de cambiar cualquier dato u dimensiones sin notificación previa y no será responsable para el uso de información contenido en este software.

Spaix® 6-23.1 - 2023/05/26 (Build 4416), 64 bit
Versión de datos March 23.2

23. Bibliografía

- Andalucía, J. d. (2015/2021). *Informe de sostenibilidad ambiental de la demarcación hidrográfica del Tinto-Odiel-Piedras*.
- Asignatura Ingeniería Medioambiental. (s.f.). *Depuración*. Obtenido de Ingeniería del agua y contaminación:
https://sifo.comillas.edu/pluginfile.php/3637603/mod_resource/content/13/2.4.%20Aguas%20EDAR.pdf
- Atersa. (s.f.). *Instalación de bombeo solar*. Obtenido de <https://atersa.shop/en-que-consiste-una-instalacion-de-bombeo-solar/>
- Data, C. (s.f.). *climate-data.org*. Obtenido de <https://es.climate-data.org/europe/espana/andalucia/huelva-2156/>
- España, A. (s.f.). *Ayuntamiento Cartaya*. Obtenido de <https://www.ayuntamiento-espana.es/ayuntamiento-cartaya.html>
- Hogarmania. (s.f.). *Como plantar fresas y fresones en la huerta*. Obtenido de <https://www.hogarmania.com/jardineria/mantenimiento/huerta/plantar-fresa-fresones-huerta-21411.html>
- HuelvaInformación. (s.f.). *huelvainformacion.es*. Obtenido de https://www.huelvainformacion.es/destino-huelva/gastronomia-huelva/Sabias-Huelva-exportadora-frutos-Espana_0_1661235104.html
- iagua. (s.f.). *Prontuario de diseño hidráulico para riego por goteo*. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/prontuario-diseno-hidraulico-riego-goteo-1a-parte>
- Infoagro, R. (s.f.). *InfoAgro.com*. Obtenido de https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_fresa.asp#:~:text=Se%20recomienda%20para%20plantaci%C3%B3n%20en,verano%20como%20planta%20frigo%20conservada.
- Isonda. (s.f.). *Legalización de pozos en Andalucía*. Obtenido de <https://blog.isonda.es/legalizacion-de-pozos-en-andalucia/>
- Junta de Andalucía, Observatorio de Precios y Mercados. (s.f.). *Costes de producción campaña 2020/21*. Obtenido de Junta de Andalucía.
- Naciones Unidas. (s.f.). *un.org*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Sunfields. (s.f.). *Horas de sol en España*. Obtenido de <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/horas-de-sol-en-espana/>

Tridge. (s.f.). *Tridge.com*. Obtenido de <https://www.tridge.com/es/intelligences/stawberry>

UGR. (s.f.). *Diseño del sistema de tuberías y cálculo de las bombas*. Obtenido de <https://www.ugr.es/~aulavirtualpfcicq/descargas/documentos/BOMBAS%20Y%20TUBERIAS.pdf>



Documento II

Presupuesto

Índice Presupuesto

24. Introducción	141
25. Análisis de costes	141
26. Conclusiones	143

24. Introducción

A lo largo de este capítulo, se procede a analizar el coste que tiene la implementación y puesta en marcha del proyecto. El desarrollo del presupuesto es de elevada importancia ya que permite planificar de manera efectiva el uso de los recursos y estimar la viabilidad económica del proyecto.

Para la evaluación del presupuesto, se tienen en cuenta tanto la inversión inicial en maquinaria y componentes de la instalación, como el costo relacionado con la mano de obra necesaria para la puesta en marcha de la instalación. Para el cálculo de los componentes de la instalación se accede a distintas opciones en el mercado y se obtiene un valor medio para el coste de cada uno de ellos. Por otro lado, el coste de la mano de obra se obtiene de generadores de precios para proyectos de ingeniería, además de la ayuda del director del proyecto. Por tanto, se busca obtener una aproximación de la manera más profesional posible al presupuesto necesario para lograr la puesta en marcha del proyecto.

El análisis que se realiza en este capítulo tiene en cuenta el coste de los sistemas de riego, captación, almacenamiento y generación energética. Se estudia el coste de cada uno de los componentes que conforman dicho sistema, y el coste de la mano de obra incluye el tiempo necesario para la instalación de todos los componentes, así como la verificación del funcionamiento de la instalación.

En resumen, se procede al estudio detallado del capital necesario para lograr la puesta en marcha del proyecto, es una medida que afecta a la viabilidad económica del proyecto ya que se debe poder recuperar esta inversión a lo largo de los años para que se pueda considerar un proyecto financieramente rentable.

25. Análisis de costes

Para la elaboración de este apartado se debe tener en cuenta que se han considerado distintos tipos de costes en la elaboración de este presupuesto. En primer lugar, el coste de inversión hace referencia al capital destinado a la compra de equipos y materiales necesarios para la puesta en marcha del proyecto. Por otro lado, se consideran también los costes de personal, en el que se tiene en cuenta la mano de obra contratada para la instalación de los equipos.

Los costes operativos y administrativos no se tienen en cuenta en la elaboración del presupuesto, ya que se consideran costes que se asumen en cada ejercicio una vez ya está funcionando la instalación. Por tanto, estos costes se tendrán en cuenta en el análisis de rentabilidad del proyecto y no en la inversión inicial.

A continuación, se procede al despliegue de los costes detallados para la puesta en marcha del proyecto:

	Equipo	Modelo	Precio		Cantidad	Total
Sistema de riego	Canal principal	Tubería PE SDR17 D=225 mm	31,9	€/m	200	6380€
	Cinta de riego	Tubería PE-40 D=20 mm con gotero integrado autocompensante	0,7	€/m	20.000	14000€
	Electroválvula	RPE 3/4" 24V	13,37	€	1	13,37€
	Programador	Hunter Eco Logic	53,98	€	1	53,98€
	Uniones en T	Uniones en T D=20 mm	0,46	€	199	91,54€
	Codos	Codo 90º Hembra D=20mm	0,3	€	1	0,3€
Sistema de almacenamiento	Depósito	Depósito poliéster 70.000 litros	35000	€	1	35000€
	Sensor de nivel		91,11	€	2	182,22€
Sistema de bombeo	Bomba hidráulica	XJ 50HD 50Hz	7000	€	1	7000€
	Tubería de descarga	Tubo PVC D=90 mm	3,83	€/m	40	153,2€
	Válvula	Válvula de esfera PVC 90 mm	87,64	€	1	87,64€
	Unidad de control	Controladora Bomba solar Acrosun	350	€	1	350€
	Codo	Codo PVC 90º 90 mm	1,15	€	3	3,45€
Sistema fotovoltaico	Paneles solares	Peimar SM400M 400Wp 72 cel	220	€	18	3960€
	Inversor	Huawei SUN2000-3KTL-L1 3kW	800	€	2	1600€
	Cableado		1,55	€/m	25	38,75€
	Estructura soporte paneles	Estructura de aluminio inclinada 35º	140	€	18	2520€
Plantación de fresas	Desinfección		1033	€/ha	2	2066€
	Fertilización		1455	€/ha	2	2910€
	Plantación		5338	€/ha	2	10676€
	Tratamientos fitosanitarios		1474	€/ha	2	2948€
Mano de obra	Transporte, emplazamiento y puesta en obra de pozo de bombeo		3000	€	1	3000€
	Instalación bomba		800	€	1	800€
	Instalación paneles		2500	€	1	2500€
	Instalación riego		1000	€	1	1000€
	Preparación suelo agrícola		14000	€	1	14000€
TOTAL						111334,45€

26. Conclusiones

El presupuesto total de la instalación asciende a 111.334,45€ y debe ser la inversión a realizar para la puesta en marcha del proyecto. Como se ha mencionado en anteriores apartados, se parte de la suposición que el terreno pertenece al agricultor y por tanto debe pagar únicamente por la instalación y la preparación de la finca para cultivo.

Se ha demostrado en capítulos previos, que esta inversión se puede recuperar con el tiempo dada la alta rentabilidad de la instalación. El objetivo fundamental de este proyecto era demostrar que la transición a un modelo de cultivo sostenible y eficiente es rentable para el agricultor. Por tanto, no solo se demuestra que el proyecto es rentable, sino que además la inversión inicial necesaria no es excesivamente elevada para el beneficio que se va a obtener debido a la eficiencia del sistema.

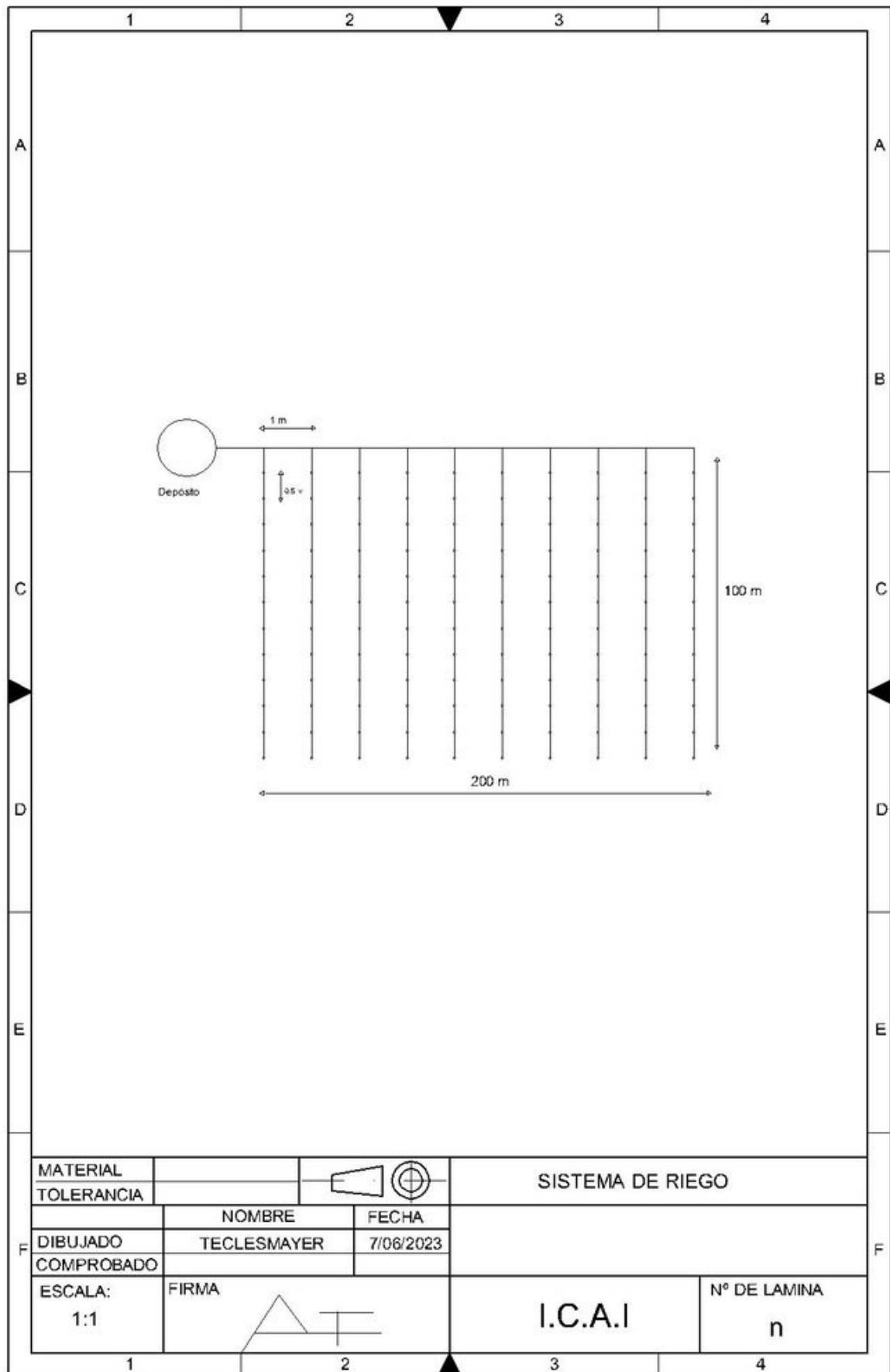
La conclusión sobre este proyecto es que, dadas las características meteorológicas e hídricas del lugar del emplazamiento, se puede realizar un proyecto comprometido con el desarrollo sostenible, la reducción de emisiones y la optimización del uso de recursos naturales que permita seguir realizando la actividad, de una manera que suponga un beneficio para el productor. A esta conclusión se llega demostrando la viabilidad técnica del proyecto y la viabilidad financiera, y se estudian posibles ampliaciones que logren implementar este modelo en zonas de cultivo con diferentes características climatológicas.

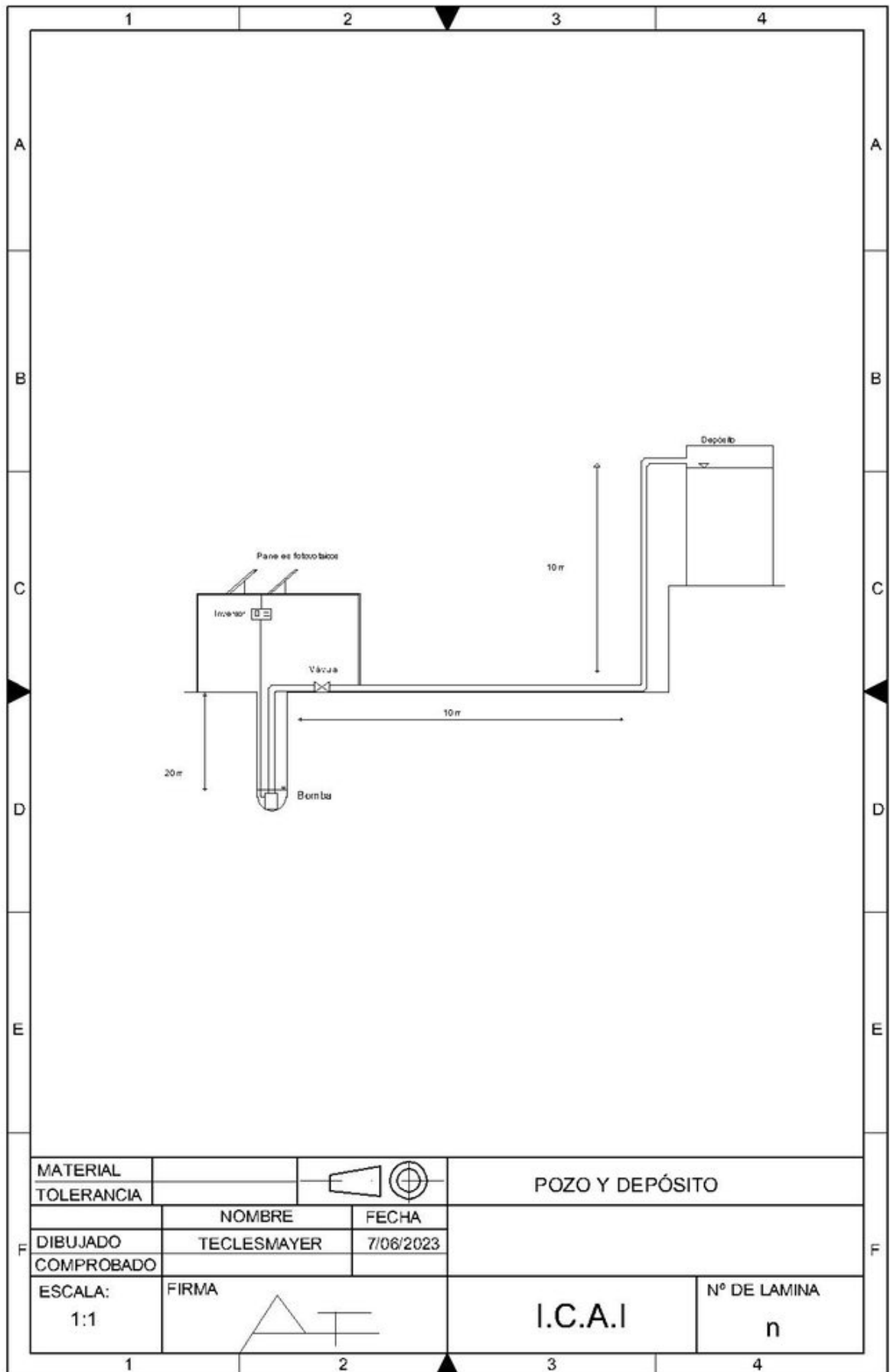
Por último, dadas las circunstancias descritas se puede afirmar que la implementación de sistemas de cultivo con bombeo de agua mediante instalaciones sostenibles son el futuro de la agricultura y se demuestra que hoy en día son proyectos viables.



Documento III

Planos





MATERIAL			POZO Y DEPÓSITO	
TOLERANCIA				
	NOMBRE	FECHA		
DIBUJADO	TECLESMAIER	7/06/2023		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:1	FIRMA 		I.C.A.I	Nº DE LAMINA n