



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA Y DISTRIBUCIÓN PARA UNA COMUNIDAD RURAL EN ZIMBABUE

Autor: Matías Llorente Areses

Director: Miren Tellería Ajuriaguerra

Madrid

Mayo de 2019

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESINAS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. **Matías Llorente Areses**

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: “**SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA Y DISTRIBUCIÓN PARA UNA COMUNIDAD RURAL EN ZIMBABUE**”, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.
- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

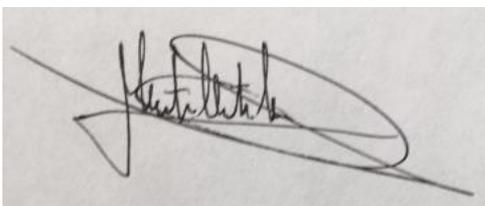
6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 26 de agosto de 2019

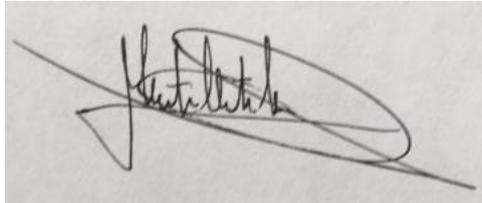
ACEPTA



Fdo.....

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título “**SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA Y DISTRIBUCIÓN PARA UNA COMUNIDAD RURAL EN ZIMBABUE**” en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2018/2019 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.: Matías Llorente Areses

Fecha: 25/08/2019

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Miren Taleria Ajuriaguerra
78936806 N

Fecha: 25/08/2019



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA Y DISTRIBUCIÓN PARA UNA COMUNIDAD RURAL EN ZIMBABUE

Autor: Matías Llorente Areses

Director: Miren Tellería Ajuriaguerra

Madrid

Mayo de 2019

SISTEMA DE CAPTACIÓN, ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE AGUAS PARA UNA PEQUEÑA COMUNIDAD EN ZIMBABUE

Autor: Matías Llorente

Director: Miren Tellería Ajuriaguerra

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

En el presente Proyecto de Fin de Grado (PFG), se busca ofrecer una solución al problema con el que conviven decenas de personas todos los días en Kazai, una comunidad cercana a Mount Darwin, situada al noroeste de Zimbabue. Este problema no es otro que la escasez de agua durante largas épocas del año.

Tratando de aliviar la necesidad del autor de combinar la ingeniería y la ayuda humanitaria, este mismo decidió colaborar con la ONG Child Future Africa, a través de la Fundación de Ingenieros del ICAI para el desarrollo. Dicha ONG le ofreció la posibilidad de diseñar un sistema que abasteciera de agua a las personas de una comunidad rural, así como una red de distribución de aguas que incluyera el abastecimiento de agua para regadío y para consumo propio de un centro de formación profesional en el que se impartirán cursos de agricultura.

La principal limitación de este proyecto ha sido el capital. Por lo tanto, todas las decisiones han sido tomadas con la intención de minimizar costes, sin dejar de lado la seguridad y un mínimo de calidad, para dar la oportunidad a otros proyectos complementarios a este como la posible instalación de una estación fotovoltaica que alimente a una bomba eléctrica y a unos sensores de profundidad. Además, debe tratarse de un proyecto simple y sostenible. Simple, ya que su implantación se va a hacer en poco tiempo y con herramientas rudimentarias y sostenible ya que debe ser fácil de reparar o sustituir en caso de avería.

Todas las decisiones tomadas a lo largo del diseño y la implantación del proyecto han tenido como objetivo la minimización del coste del proyecto y han buscado la sencillez de este para facilitar su consecución y sus posibles reparaciones en caso de avería. Pudiendo tener acceso a futuros recambios o a contratación de mano de obra especializada.

A continuación, se expone de manera breve el proceso que se ha seguido a lo largo del proyecto:

En primer lugar, se realizó un análisis sociocultural para entender las circunstancias de la zona, así como un estudio técnico del proyecto, ambos imprescindibles para el correcto desarrollo de este.

Del mismo modo, se han estudiado las condiciones ambientales de la zona, las temperaturas, las lluvias y el tipo de suelo. En este trabajo resultan especialmente relevantes dadas las características del proyecto. Es necesario crear una solución

sostenible, económica y duradera que satisfaga las necesidades básicas de la comunidad y que además cumpla con los requisitos necesarios para el regadío de los terrenos del centro de formación profesional que se está construyendo. Por lo tanto, el diseño debe tener en cuenta las condiciones climatológicas de la zona en la que se lleve a cabo para que la solución propuesta sea lo más duradera y efectiva posible. Tras realizar un análisis de las diferentes alternativas aplicadas a casos reales similares, se opta por un sistema solar de bombeo que capte agua de un pozo subterráneo y la almacene en tanques de 5.000 litros de capacidad desde los que se distribuirá el agua por gravedad. Por ello, la selección de la bomba tendrá especial importancia, ya que será lo que determine la envergadura de la estación solar.

A lo largo de este documento, se tratarán diversos temas como los posibles problemas, las mejoras y futuras ampliaciones del proyecto, además de una breve descripción de la implantación del proyecto in situ. Se mostrará el estudio técnico del proyecto en el que se detallarán los motivos que influyen en la toma de decisiones como la potencia de la bomba, la capacidad de los tanques, la altura a la que estos deben colocarse para la posterior distribución del agua, el diámetro escogido para las tuberías y el cálculo de las pérdidas debido a los distintos elementos del sistema.

Se hará un análisis del impacto del proyecto en lo referente al medio ambiente, la sociedad y de la sostenibilidad del mismo. Se incluirá un anexo con la ficha técnica de la bomba seleccionada, el prontuario de las vigas utilizadas en la estructura sobre la que se han colocado los tanques y la bibliografía en la que se indicarán las fuentes de las que se ha obtenido la información.

Una vez definidas las diferentes partes que componen este proyecto, se procede a estudiar las necesidades reales y concretas, como por ejemplo la cantidad de agua diaria requerida. Se estima una cantidad de agua diaria necesaria de 10.000 litros que abastezcan tanto a la comunidad como al centro de formación profesional, separando esta cantidad en dos tanques independientes de 5.000 litros cada uno teniendo en cuenta que la prioridad será el tanque que abastece al centro de formación profesional.

Teniendo claro el objetivo de abastecimiento y las prioridades, se llevan a cabo los cálculos necesarios para el dimensionamiento de cada uno de los elementos del sistema, sin dejar de lado las limitaciones que existen para cada uno pudiendo englobarse todas ellas en dos: un presupuesto y una oferta de mercado limitados. Por ello, la potencia de la bomba deberá ser la menor posible de modo que la instalación solar vea reducido su tamaño y su coste.

Una vez realizado el pozo, se encontró agua a 40 metros de profundidad lo que llevó a elegir una **bomba sumergible de Corriente Continua** (ya que se trata de bombeo solar) de **0,3 HP** que bombeará 1,2 m³/h llenando, en caso de que sea necesario, los dos tanques de 5.000 litros en 8,33 horas. Del abastecimiento eléctrico de la bomba se encargan tres paneles solares colocados con la orientación y ángulo adecuados de 12 V cada uno. Se conectan en serie de manera que se obtengan los **36 V** necesarios para el correcto funcionamiento de la bomba. Tras pasar por una **caja de control** que corrige la corriente inestable recibida de las placas solares, la alimentación va directamente a la bomba gracias a unos cables debidamente aislados. Por otro lado, de esta caja de control salen **dos sensores**, uno que va directamente al acuífero y otro a los tanques. De esta manera se protege a la instalación, es decir, cuando no quede agua en el acuífero, la instalación

dejará de funcionar hasta que este se recupere para que la bomba no trabaje en vacío. Del mismo modo, cuando los tanques estén llenos, la bomba se parará.

Pasando por las **válvulas** necesarias (dos válvulas de retención y una válvula antirretorno para cada tanque) se llega a los **dos depósitos de 5.000 litros** comentados previamente. Estos tanques funcionarán como reserva de agua colocada en altura desde los que se procederá a la posterior distribución de la misma.

Inicialmente se diseñó una **estructura** de vigas de acero **S235** con un perfil **HEB100**, pero una vez allí, se eligió otro terreno para colocar los tanques que se encontraba a una altura de 2,6 metros por encima de los grifos por lo que se optó por una estructura formada por un encofrado de piedras y hormigón de una altura menor a la de la estructura inicial de acero.

La **red de tuberías** se compone de unas tuberías de transporte de agua para almacenamiento (de la bomba a los tanques) y otras para la distribución del agua (de los tanques a los hidrantes). Para los tramos más largos se escogieron **tuberías de PE** (polietileno) debido a sus buenas propiedades físicas como su resistencia a la corrosión, pero sobre todo por su ligera y flexibilidad en comparación al **PVC**. Al no tratarse de un camino totalmente recto, la rigidez del PVC limitaba su instalación por lo que se escogió Polietileno. El diámetro escogido fue el de 32 mm ya que se consideró el más apropiado para las características de la instalación.

Tanto la red de transporte para almacenamiento como la de transporte para distribución cuentan con diferentes bifurcaciones para los que se utilizaron “T” colocadas debidamente y cambios de dirección conseguidos gracias a codos. Estos elementos aumentan las pérdidas de carga por lo que se utilizaron los estrictamente necesarios. Ambas redes de tuberías se soterraron a una profundidad de 0,5 metros por motivos de protección de la instalación, ya que se encuentra en un área de continuo tránsito de personas y animales.

Por último, la red finalizará en unos **grifos** con distintas aplicaciones situados en lugares diferentes: un grifo para la **comunidad**, dos grifos para el **centro de formación profesional** y un último grifo para el **regadío** de los terrenos de dicho centro.

En el segundo documento, se desglosará el dinero invertido en este proyecto, incluyendo la mano de obra, el transporte y el coste de los materiales.

WATER COLLECTION, STORAGE AND DISTRIBUTION SYSTEM FOR A SMALL COMMUNITY IN ZIMBABUE

Author: Matías Llorente

Director: Miren Tellería Ajuriaguerra

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

The present End of Grade Project (PFG) seeks to offer a solution to the problem that dozens of people that live in Kazai, a community near Mount Darwin, a region located in the northwest of Zimbabwe, have to affront every day. This problem is none other than water scarcity during long periods of the year.

Trying to alleviate the author's need to combine engineering and humanitarian aid, he decided to collaborate with the NGO Child Future Africa, through the "Fudación de Ingenieros del ICAI para el Desarrollo". This NGO offered him the possibility of designing a system that would provide water to people in a rural community, as well as a water distribution network that would include the water supply for irrigation and for own consumption of a vocational training center in which agriculture courses will be taught.

The main limitation of this project has been the budget. Therefore, all the decisions have been taken with the idea of minimizing costs, without neglecting safety and a minimum of quality to give the opportunity to other complementary projects to this one as the possible installation of a photovoltaic station that feeds an electric pump and a depth sensors that will go on the borehole. In addition, it must be a simple and sustainable project. Simple, because its implementation will be done in a short time and with rudimentary tools, it must also be easy to repair or replace in case of breakdown.

All the decisions taken throughout the design and implementation of the project have been aimed at minimizing the cost of the project and have looked for the simplicity of the project to facilitate its achievement and its possible future repairs in case of failure. Being able to have access to future spare parts or to hiring specialized labor.

The process that has been followed throughout the project is briefly explained below:

First, a sociocultural analysis was performed to understand the circumstances of the area, as well as a technical study of the project. Both essential for the proper development of the installation.

Similarly, the environmental conditions of the area, the temperatures, the rainfall and the soil type have been studied. In this work this study is especially relevant given the characteristics of the project. It is necessary to create a sustainable, economic and durable solution that meets the basic needs of the community and also meets the necessary requirements for the irrigation of the land of the vocational training center that is being built. Therefore, the design must consider the weather conditions of the area in which it is carried out so that the proposed solution is as durable and effective as possible. After carrying out an analysis of the different alternatives applied to similar real cases, a solar

pumping system is chosen. This solar system will capture water from a borehole and store it in tanks of 5.000 liters of capacity from where the water will be distributed by gravity. That is the reason why the selection of the pump will be especially important since it will be what determines the size of the solar station.

Throughout this document, various topics such as possible problems, improvements and future extensions of the project and a brief description of the implementation of the project in situ will be discussed. The technical study of the project will be shown, in which there would be details of the reasons that influence decision-making such as the power of the pump, the capacity of the tanks or the height at which they should be placed for the subsequent distribution of the water, the diameter chosen for the pipes or the calculation of the losses due to the different elements of the system.

There will be made an analysis of the impact of the project on the environment and the society and its sustainability. An annex will be included with the data sheet of the selected pump, the record of the beams used in the structure on which the tanks have been placed and the bibliography in which the sources from where the information was obtained will be indicated.

Once the different parts that make up this project are defined, we proceed to study the real and concrete needs, such as the daily amount of water required. It is estimated that they will need a daily amount of 10.000 liters of water to supply both the community and the vocational training center, separating this amount into two independent tanks of 5.000 liters each, taking into account that the priority will be the tank that supplies the vocational training center.

Having clear the objective of the water supply and the priorities, the necessary calculations for the dimensioning of each of the elements of the system are carried out without neglecting the limitations that exist for each one that can be included in two: a limited budget and a limited market offer. Therefore, the power of the pump should be as low as possible so that the solar system is reduced in size and in cost.

Once the borehole was drilled, water was found at 40 meters deep which led to choosing a **submersible pump of Continuous Current** (since it is solar pumping) of **0,3 HP** that will pump 1,2 m³/h filling, if it is necessary, the to 5.000 liter tanks in 8,33 hours. Three solar panels with the appropriate orientation and angle of 12 V each are responsible for the electrical supply of the pump. They are connected in series so that the **36 V** necessary for the correct operation of the pump are obtained. After going through a **control box** that corrects the unstable current received from the solar panels, the power goes directly to the pump thanks to properly insulated cables. On the other hand, **two sensors** come out of this control box, one that goes directly to the aquifer and another that goes to the tanks. This protects the installation, that means, when there is no water left in the aquifer, the system will stop working until it recovers so that the pump does not work in a vacuum. Similarly, when the tanks are full, the pump will stop.

Passing through the necessary **security valves** (two check valves and a non-return valve for each tank) the installation reaches the **two 5.000-liter tanks** previously discussed. These tanks will function as a reserve of water placed in height from which it will proceed to the subsequent distribution of it.

Initially, an **S235 steel beams structure** with a **HEB100** profile was designed, but once there, another terrain was chosen to place the tanks that was 2,6 meters above the taps, so it was decided to use a structure formed by a formwork of stones and concrete of a height less than that of the initial steel structure.

The **pipe network** consists on water transport pipes for storage (from the pump to the tanks) and another for water distribution (from tanks to the taps). For the longer sections, **PE (polyethylene) pipes** were chosen due to their good physical properties such as corrosion resistance, but above all for their lightness and flexibility compared to **PVC**. Since it is not a completely straight path, the rigidity of PVC limited its installation, so Polyethylene was chosen. The diameter chosen was 32 mm since it was considered the most appropriate for the characteristics of the installation.

Both the transport network for storage and the transport network for distribution have different bifurcations done with “T” placed properly and direction changes achieved thanks to elbows. These elements increase the losses, reason why the strictly necessary ones were used. Both pipe networks were buried at a depth of 0,5 meters for reasons of protection of the installation as it is in an area of continuous transit of people and animals.

Finally, the network will end in **taps** with different applications located in different places: a tap for the **community**, two taps for the **vocational training center** and a last tap for **irrigation** of the lands of the said center.

In the second document, the money invested in this project will be broken down, including labor, transportation and the cost of materials.

ESTE PROYECTO CONTIENE LOS SIGUIENTES DOCUMENTOS:

DOCUMENTO I: MEMORIA

1.1 Memoria	pág. 25 a 46
1.2 Cálculos	pág. 47 a 78
1.3 Estudio económico	pág. 79 a 86
1.4 Anexos	pág. 87 a 94

DOCUMENTO II: PRESUPUESTO

2.1 Presupuesto general	pág. 97 a 101
-------------------------	---------------

A mi familia, en especial a mi abuelo Félix por conseguir que quiera ser ingeniero.

**Gracias por brindarme esta oportunidad y compartir el camino conmigo.
Ingeniería: Arte y técnica de aplicar los conocimientos científicos a la invención,
diseño, perfeccionamiento y manejo de nuevos procedimientos en la industria y
otros campos de aplicación científicos.**

DOCUMENTO I: MEMORIA

Índice de tablas

Tabla 1: Clasificación según precipitaciones. Fuente: Roofwater Harvestina	15
Tabla 2: Estudio climatológico, Zimbabwe. Fuente: BBC Weather	15
Tabla 3: Tabla de irradiación anual en Mount Darwin. Fuente: PVGIS	16
Tabla 4: comparación de sistemas de distribución de agua. Fuente: LeroyMerlin	20
Tabla 5: Coeficientes de seguridad parciales. Fuente: Documento Básico SE (Seguridad Estructural)	38
Tabla 6: coeficientes para cargas variables. Fuente: Eurocode 3	39
Tabla 7: Propiedades físicas del acero. Fuente: Propia	40
Tabla 8: Cálculo de la estructura. Fuente: Propia.....	42
Tabla 9: Coeficientes de pérdida de carga secundaria tabulados. Fuente: Mecánica de Fluidos - ICAI.....	54
Tabla 10: Coeficiente de pérdida de carga secundaria para válvulas. Fuente: Mecánica de Fluidos – ICAI.....	55
Tabla 11: Coeficiente de pérdida de carga secundaria a la entrada y salida de tubería. Fuente: Mecánica de Fluidos - ICAI	55
Tabla 12: resultados del primer subsistema. Fuente: Propia	58
Tabla 13: Resultados de la primera iteración del segundo subsistema. Fuente: Propia .	59
Tabla 14: Resultados de la segunda iteración del segundo subsistema. Fuente: Propia	59

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Ubicación de la región de Dotito; Fuente: GoogleMaps.....	13
Ilustración 2: Imágenes del proyecto ya implantado; Fuente: propia.....	14
Ilustración 3: esquema de instalación de abastecimiento de agua por gravedad.....	18
Ilustración 4: mapa de irradiación solar mundial. Fuente: Global Solar Atlas (Banco Mundial)	18
Ilustración 5: Bomba seleccionada. Fuente: propia.....	19
Ilustración 6: fotografías del proyecto. Fuente: propia.....	20
Ilustración 7: Tubería corroída. Fuente: español.lubrizon.com.....	23
Ilustración 8: estructura de las placas solares. Fuente: propia.....	24
Ilustración 9: grifos de la instalación. Fuente: propia	25
Ilustración 10: tanque de presión. Fuente: Google Imágenes.....	26
Ilustración 11: esquema de una ETAP. Fuente: asignatura de Ingeniería Medioambiental, ICAI.....	26
Ilustración 12: Filtro de arena. Fuente: ICAI	27
Ilustración 13: Batería solar. Fuente: Google Imágenes.....	27
Ilustración 14: Perforación del pozo. Fuente: propia	28
Ilustración 15: Esquema del sistema. Fuente: suelosolar.com	35
Ilustración 16: donación tanque 5.000 l. Fuente: propia	37
Ilustración 17: la estructura junto con los tanques. Fuente: Propia.....	38
Ilustración 18: Perfiles HEB. Fuente: Prontuario de perfiles; Cálculo de Estructuras – ICAI.....	39
Ilustración 19: Esquema de las condiciones de arriostamiento. Fuente: Propia	40
Ilustración 20: Curvas de pandeo. Fuente: Documento SE-A.....	41

Ilustración 21: Esquema de los cordones de seguridad. Fuente: Propia.....	43
Ilustración 22: Construcción de la estructura de los tanques. Fuente: Propia	43
Ilustración 23: Bush pump en Zimbabue. Fuente: kujaliafrica.com.....	44
Ilustración 24: Esquema de los tipos de máquinas de fluido. Fuente: Turbomáquinas – ICAI.....	45
Ilustración 25: Elementos de una bomba. Fuente: ICAI	45
Ilustración 26: Curvas de la bomba y la instalación. Fuente: ICAI.....	46
Ilustración 27: Bomba de chorro. Fuente: iagua.com.....	47
Ilustración 28: Bomba sumergible. Fuente: Delta Volt.....	47
Ilustración 29: Esquema de la instalación. Fuente: Propia.....	49
Ilustración 30: Válvula doble. Fuente: poolaria.com	50
Ilustración 31: Válvula manual de bola lisa. Fuente: listado.mercadolibre.com.....	51
Ilustración 32: Válvula Flotante. Fuente: tigre.com.br.....	51
Ilustración 33: Diagrama de Moody. Fuente: Turbomáquinas – ICAI	53
Ilustración 34: Esquema del primer subsistema (vista en planta). Fuente: Propia	56
Ilustración 35: Esquema del segundo subsistema. Fuente: Propia	58
Ilustración 36: Conjunto de tres paneles solares. Fuente: monsolar.com.....	60
Ilustración 37: Logo de Project Zimbabwe. Fuente: Propia.....	67
Ilustración 38: Cartel de fiesta benéfica. Fuente: Propia.....	67
Ilustración 39: Cartel de Mercadillo solidario. Fuente: Propia	68
Ilustración 40: Boleto de rifa benéfica. Fuente: Propia.....	68
Ilustración 41: Ejemplo de merchandising. Fuente: Propia.....	68

CAPITULO I: MEMORIA

CONTENIDO CAPÍTULO I: MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN	13
1.1 CONTEXTO	14
1.2 CONDICIONES AMBIENTALES	15
2. ESTADO DE LA CUESTIÓN	16
2.1 ALTERNATIVAS APLICADAS EN CASOS REALES:	17
2.2 SOLUCIÓN ESCOGIDA	17
3. MOTIVACIÓN	20
4. OBJETIVOS DEL PROYECTO	21
5. RECURSOS A EMPLEAR	21
6. MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN	22
6.1 PROBLEMAS EN LA RED Y POSIBLES FUGAS	22
6.1.1 Deterioro por corrosión	22
6.1.2 Deterioro por abrasión	22
6.1.3 Deterioro por corrosión abrasiva	23
6.1.4 Deterioro por fatiga abrasiva	23
6.2 MANTENIMIENTO DE LOS DEPÓSITOS Y LA ESTRUCTURA	23
6.3 MANTENIMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	24
6.4 MANTENIMIENTO DE LOS GRIFOS	24
7. AMPLIACIONES O FUTUROS PROYECTOS A REALIZAR	25
7.1 AMPLIACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN	25
7.2 ESTACIÓN POTABILIZADORA (ETAP)	26
7.3 ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO AL CENTRO DE FORMACIÓN PROFESIONAL	27
8. METODOLOGÍA DE TRABAJO	28
8.1 TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS	28
8.2 CRONOGRAMA	29

1. INTRODUCCIÓN

Desde hace algunos años la ONG Child Future Africa colabora con alumnos de ICAI para llevar a cabo proyectos de ayuda humanitaria en un país del tercer mundo como es Zimbabwe.

El proyecto consiste en la captación, el almacenamiento y la distribución de agua en una comunidad de Dotito, una región que se sitúa en el noreste de Zimbabwe. Se está construyendo un centro de formación profesional en el que se impartirán cursos de agricultura, por lo que es necesario instalar también una salida de agua para regadío (es decir, con más presión en la salida del agua). El objetivo de este proyecto es abastecer a dicho centro, tanto para consumo propio como para regadío, y a una comunidad cercana en la que viven varias familias que no disponen de agua potable cerca.



Ilustración 1: Ubicación de la región de Dotito; Fuente: GoogleMaps

Se trata de un proyecto solidario que busca no solo la ayuda humanitaria a nivel técnico y de construcción sino reflotar lo máximo posible la economía de la zona, así como formar a las personas de la región para que sean capaces de mantener todo el sistema de aguas e incluso para que tengan la opción de repetir dicho proyecto en otras zonas en un futuro.

El objetivo del proyecto es idear un sistema sencillo de fácil construcción y mantenimiento con los materiales de la zona y la maquinaria disponible. Se pretende crear una red de distribución que abastezca al máximo número de personas, teniendo en cuenta el presupuesto y siendo la prioridad el diseño de un sistema robusto y que requiera un mantenimiento mínimo.

La fase final de proyecto consiste en la implantación in situ del sistema durante el verano de 2019 con la ayuda de voluntarios locales y obteniendo todo lo necesario de comercios de la zona, de manera que nuestra presencia suponga una inyección de liquidez, ya que la situación económica del país requiere la llegada de dinero en efectivo para subsanar parte

de sus problemas económicos. Para ello, se contará con la ayuda de dos profesionales que nos asesorarán en temas de fontanería y electricidad.



Ilustración 2: Imágenes del proyecto ya implantado; Fuente: propia

1.1 CONTEXTO

Zimbabue es un país situado al sur de África que fue colonia inglesa hasta 1980. Formaba parte de la antigua Rodesia, los ingleses la colonizaron para explotar las minas de oro llegando a dominar el país.

Tras su independencia, Robert Mugabe accedió al poder siendo derrocado tras un golpe de estado en 2017. A pesar de realizarse elecciones, el recuento de votos ha sido más que dudoso desde 1996. Desde entonces, Emmerson Mnangagwa asume el papel de presidente; esto lo convierte en jefe de Estado y de Gobierno.

Los problemas económicos del país se suceden unos a otros. Desde una falta de liquidez hasta una de las mayores hiperinflaciones de la historia. Siendo un país principalmente agrícola, su economía también se basa en la explotación minera y el turismo. Los principales cultivos de Zimbabue son el maíz, la soja y el tabaco.

Pero el problema que la ONG Child Future Africa pretende subsanar principalmente es la falta de recursos hídricos que existe, sobre todo durante la época seca. El clima de Zimbabue consiste en dos épocas distintas, una de lluvias y otra seca. El agua se acumula en acuíferos que en la zona de Dotito se encuentran sobre los 30 metros de profundidad.

1.2 CONDICIONES AMBIENTALES

A continuación, observamos en la siguiente clasificación el clima de Zimbabue según sus precipitaciones anuales, tratándose de un régimen semi-árido teniendo un máximo de hasta 4 meses húmedos.

CLIMA	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm)	MESES HÚMEDOS AL AÑO	RENDIMIENTO DIARIO MEDIO ANUAL (litro/persona/día)	RENDIMIENTO DIARIO MEDIO DURANTE MESES HÚMEDOS (litro/persona/día)	EJEMPLO
ÁRIDO	200	2	2.5	15	Sudán
SEMI-ÁRIDO	400	4	5	15	Zimbabue
LLUVIAS DE VERANO	800	4	10	25	SE China
MONZONES	1000	6	12.5	25	India
ECUATORIAL	1500	9	18.5	25	Uganda
LLUVIA PESADA TODOS LOS MESES	2000	12	25	25	Singapur

Tabla 1: Clasificación según precipitaciones. Fuente: Roofwater Harvesting

Encontramos 3 estaciones distintas en Zimbabue a lo largo del año:

1. Húmeda y cálida: de noviembre a marzo.
2. Seca y fría: de mayo a agosto.
3. Seca y cálida: de septiembre a octubre.

En las dos siguientes tablas observamos la media de temperaturas mensuales en Harare, capital de Zimbabue, y la irradiación media mensual para los distintos ángulos de inclinación de los paneles solares en Mount Darwin, la ciudad más próxima a Dotito:

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temp. máx. abs. (°C)	32	31	30	32	28	26	28	31	33	34	35	33	35
Temp. máx. media (°C)	26.2	26	26.2	25.6	23.8	21.8	21.6	24.1	28.4	28.8	27.6	26.3	25.5
Temp. media (°C)	21	20.9	20.4	19.1	16.6	14.3	14.1	16.3	20.1	21.7	21.6	21.1	18.9
Temp. mín. media (°C)	15.8	15.7	14.5	12.5	9.3	6.8	6.5	8.5	11.7	14.5	15.5	15.8	12.3
Precipitación total (mm)	190.8	176.3	99.1	37.2	7.4	1.8	2.3	2.9	6.5	40.4	93.2	182.7	840.6
Días de precipitaciones (≥)	17	14	10	5	2	1	0	1	1	5	10	16	82
Horas de sol	217	192.1	232.5	249	269.7	264	279	300.7	294	285.2	231	198.4	3012.6

Tabla 2: Estudio climatológico, Zimbabue. Fuente: BBC Weather

Mes	H($\beta=0$)	H($\beta=21$)	H($\beta=15$)
Ene	5730	5220	2410
Feb	6130	5840	5970
Mar	6360	6490	6510
Abr	5660	6330	6200
May	5190	6350	6080
Jun	4670	5910	5620
Jul	4830	5960	5690
Ago	5870	6840	6630
Sep	6820	7260	7210
Oct	7450	7250	7380
Nov	6710	6120	6350
Dic	6030	5390	5620
Año	5950	6250	6220

Tabla 3: Tabla de irradiación anual en Mount Darwin. Fuente: PVGIS

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

El problema principal que se quiere solucionar es la falta de agua y de recursos para conseguirla de las personas de la zona de Dotito. La meta de este proyecto será abastecer con agua potable para consumo humano al máximo de personas posibles, teniendo en cuenta las dificultades y las limitaciones que se presentan:

- Inexistencia de electricidad en la zona. El sistema de alimentación de la bomba será una instalación solar independiente, sin opción a una conexión a la red que permita al sistema seguir funcionando en caso de fallo.
- La profundidad a la que se encuentra el acuífero. Según los datos que nos facilita la delegación de la ONG en Zimbabue, el acuífero se encuentra a 35-40 metros bajo tierra.
- Mano de obra y materiales. Ambos deben ser locales por lo que los tipos de materiales disponibles disminuyen y la mano de obra no es experta.
- Debe ser un sistema de fácil mantenimiento que dure el mayor tiempo posible. Al no existir la posibilidad de recambios, todos los elementos que se utilicen deben tener una vida útil media-larga y el proyecto debe ser robusto y sin fisuras.

Sin embargo, los beneficios que el proyecto reporta hacen que sea emocionante y resulte un desafío al que enfrentarse de manera apasionada. Junto con la construcción del centro de formación profesional, este proyecto constituye la primera piedra de un proyecto mucho mayor. En una extensión de 400 km (desde la frontera con Mozambique) existe únicamente un centro de formación profesional que además de encontrarse a mucha distancia es relativamente caro si se tienen en cuenta los ingresos medios. Por lo que las familias de esta zona no tienen ningún tipo de posibilidad de aprender a cultivar algo que no sea tabaco. Por ello, este proyecto supondrá un gran avance para su comunidad y todas

las comunidades vecinas teniendo en cuenta que se prevé una ampliación de las instalaciones para los próximos años.

Por último, otro factor a tener en cuenta es la duración del proyecto. Se estimó en un principio (y finalmente se ha comprobado) que 40 días eran suficientes para llevar a cabo el proyecto entero. Esto ha limitado la complejidad de la instalación reduciendo el número de controles electrónicos y disminuyendo la envergadura de una red de tuberías diseñada para una futura ampliación que surgirá a medida que se vayan construyendo más edificios de aulas.

2.1 ALTERNATIVAS APLICADAS EN CASOS REALES:

1) Perú, Fundación de Ingenieros para el Desarrollo ICAI:

Se estudió el proyecto de la Fundación de Ingenieros por resultar de especial interés para la ampliación del sistema de captación de aguas del proyecto que se plantea. Se desarrolló en Villa Gonzalo, en el departamento de Amazonas en Perú. Su diseño era un sistema sencillo de captación de aguas que se componía de una superficie metálica que captaba el agua para su posterior almacenamiento en un tanque de polietileno.

2) Rescate en Etiopía:

Siendo Etiopía uno de los países más secos del mundo, la ONG Rescate en colaboración con la Universidad Carlos III de Madrid y con Generaciones Fotovoltaicas de La Mancha, decidió dar solución al problema de la escasez de agua que sufrían 12.500 personas de la ciudad agrícola de Hare. Dada la inaccesibilidad de la red eléctrica, se diseñó una instalación solar para que las bombas hidráulicas no funcionaran con combustibles fósiles.

2.2 SOLUCIÓN ESCOGIDA

Teniendo en cuenta todas las limitaciones anteriormente expuestas, se optó por un sistema de bombeo eléctrico aislado de la red eléctrica general, alimentado mediante una estación solar fotovoltaica. Siendo imposible la implantación de un sistema convencional de distribución de aguas que incluyera un bombeo continuado conectado a la red, se eligió una distribución por gravedad. Es decir, el agua bombeada desde el pozo se almacena en unos tanques colocados a cierta altura para su posterior distribución. Una vez almacenada, el agua posee energía potencial que se transformará en energía de presión, lo que hace que el agua llegue a los grifos con la velocidad deseada.

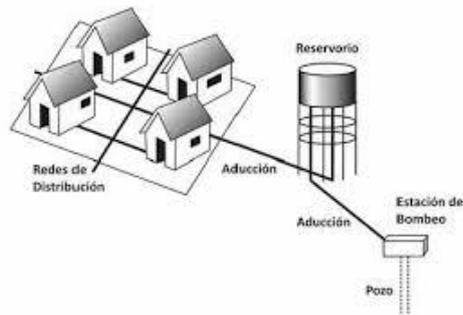


Ilustración 3: esquema de instalación de abastecimiento de agua por gravedad

La decisión de que el sistema de alimentación sea solar se decidió por tres motivos: primero, por la inestabilidad de una red eléctrica cuyos valores de tensión y frecuencia fluctúan constantemente lo que acorta la vida de la instalación (sobre todo de la bomba); segundo, por los cortes eléctricos que sufre todo el país pero en especial las zonas rurales disponiendo de electricidad únicamente a determinadas horas del día y por último, el coste del transformador necesario para conectarse a la red eléctrica hacía que el proyecto se saliese del presupuesto disponible.

Las ventajas que todo esto conlleva son tales como la independencia del sistema, es decir, el hecho de que funcione siempre que haya un mínimo de sol sin notar los efectos de las decisiones de terceras personas (en este caso la compañía eléctrica), la continuidad del suministro de agua, es decir, el bombeo ininterrumpido durante las horas de sol, lo que permite que sus necesidades de agua se vean cubiertas casi al 100%.

Por otro lado, como se puede ver en el mapa de irradiación solar mundial (véase Ilustración 4) Zimbabwe es un país con una radiación solar muy elevada convirtiéndolo en la zona ideal para instalar paneles solares fotovoltaicos que proporcionarán una corriente eléctrica relativamente estable.

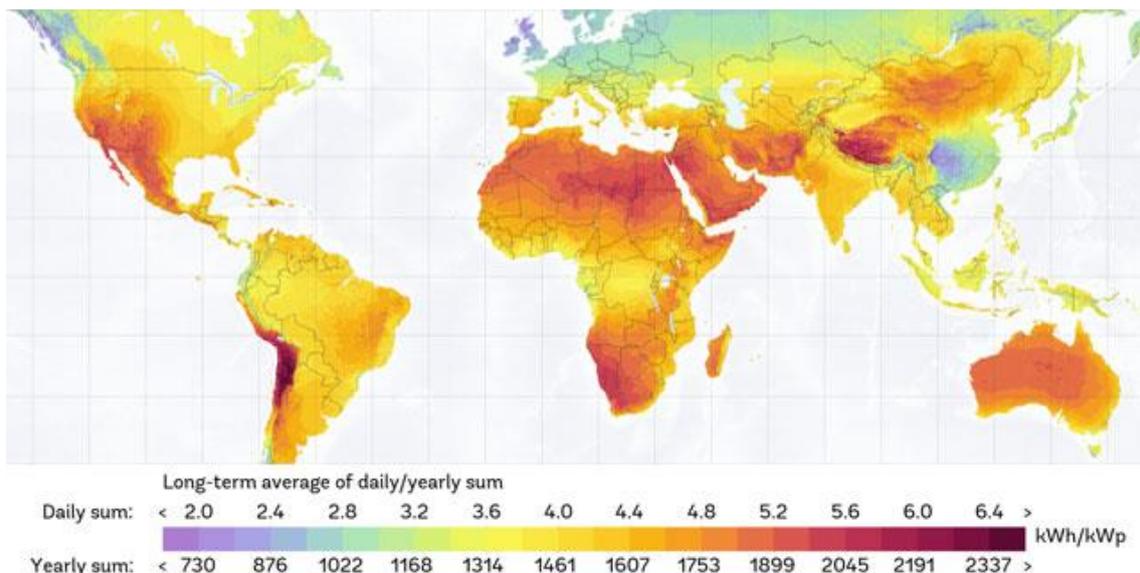


Ilustración 4: mapa de irradiación solar mundial. Fuente: Global Solar Atlas (Banco Mundial)

Como se ha comentado anteriormente, todas las decisiones tomadas tienen como objetivo diseñar una instalación que sea sostenible, económica y duradera, por ello, se han elegido los materiales más resistentes y el mejor equipo de bombeo que el presupuesto permitía. Este equipo de bombeo se compone por: una caja de control que suaviza las fluctuaciones de la señal eléctrica recibida por las placas solares convirtiéndola en corriente continua, unos sensores de seguridad conectados a dicha caja de control que indican el nivel de agua restante en el acuífero y el nivel de llenado de los tanques en los que se almacena el agua y una bomba sumergible que funciona con corriente continua. Una vez realizados los cálculos se comprobó que la potencia necesaria de la bomba (incluyendo coeficientes de seguridad) estaría en torno a 0,3 HP (220,5 W) por lo que se escogió una bomba sumergible de 210 W de potencia que funciona con corriente continua a una tensión de 36 V (véase Ilustración 5). Se trata de una bomba de bombeo solar que viene con los dos sensores anteriormente comentados y que forma parte de un pack solar que incluye una caja de control que se colocó como elemento de conexión entre las tres placas solares y la bomba. Se trata de un producto local, al igual que el resto de los materiales de la instalación, con la intención de favorecer la economía de la zona.



Ilustración 5: Bomba seleccionada. Fuente: propia

Asimismo, el resto de la instalación se compone por una red de tuberías que llevan el agua desde el pozo hasta los tanques y desde los tanques a los distintos grifos. Para los tramos más largos de tuberías se ha decidido utilizar Polietileno por sus increíbles propiedades físicas. Su flexibilidad y resistencia a la corrosión lo convierten en el material ideal para este tipo de proyectos. Como puede verse en la Tabla 4, es la mejor elección en comparación con otros materiales como el cobre o el PVC y dentro de los diámetros disponibles encontramos tuberías de 32 mm que encajan a la perfección con las características de la distribución de aguas que se plantea.

Comparativa entre Sistemas de Alimentación de Agua

Materiales	Agua caliente	Calefacción	Para exterior	Tipo de conexión	Fácil instalación	Características	Coste instalación	Diámetros disponibles
Polibutileno	✓	✓	✗	Empujar	→	Soporta hasta 12 bares Flexible No corrosión	→	15, 22
Multicapa compresión	✓	✓	✗	Roscar	→	Soporta hasta 20 bares Flexible No corrosión	→	16, 20, 25
PPR	✓	✓	✗	Máquina Termofusión	→	Soporta hasta 20 bares Rigido No corrosión	Sin comprar la máquina	20, 25
Cobre	✓	✓	✗	Soldar	→	Soporta hasta 20 bares Rigido Muy resistente	→	12, 15, 18, 22
Poliétileno	✗	✗	✓	Roscar	→	Soporta hasta 10 bares Flexible No corrosión	→	20, 25, 32
PVC Presión	✗	✗	✗	Encolar	→	Soporta hasta 16 bares Rigido No corrosión	→	20, 25, 32, 40, 50

Tabla 4: comparación de sistemas de distribución de agua. Fuente: LeroyMerlin

Por último, esta red de tuberías se soterró por seguridad. Se cavaron zanjas de 0,5 metros de profundidad en las que se colocaron las tuberías de Polietileno. De esta manera, se evitó el deterioro de las tuberías que quedaban expuestas a las condiciones climatológicas de la zona y al paso constante de animales. La conexión de la red de transporte a los tanques se realizó mediante tuberías de PVC ya que son más rígidas que el PE (véase Ilustración 6).



Ilustración 6: fotografías del proyecto. Fuente: propia.

3. MOTIVACIÓN

La motivación principal de este proyecto es conseguir que personas que no tienen agua potable para consumo propio colaboren en la construcción de un sistema que les permita cubrir sus necesidades básicas de higiene y salud y que contribuya a su formación profesional como agricultores para que puedan aspirar a una vida mejor. Siendo la intención principal poner la primera piedra de lo que puede ser un centro de formación profesional mucho más grande en el que no sólo se enseñe agricultura sino trabajo con madera o metal en un futuro. Para ello, es necesario que las plantaciones cubran la mayor parte de los gastos (profesorado, materiales de trabajo, fertilizantes) ya que la idea es que la educación sea económicamente asequible para los habitantes de la zona.

Se trata de un proyecto que se ha llevado a cabo, lo que supone un atractivo extra. Como ingeniero, llevar a cabo un primer proyecto es algo más que gratificante. Además, si le sumamos la idea principal, que es mejorar la vida de personas que viven por debajo de las condiciones básicas, se convierte en una iniciativa preciosa de la que estoy encantado de formar parte.

La justificación personal nace de la inquietud que todos los ingenieros tienen por ayudar a las personas solucionando los problemas que se les plantean a diario de una manera ingeniosa, eficaz y eficiente.

El hecho de poder convertir este Trabajo de Fin de Grado en un proyecto solidario con repercusión inmediata en la vida de decenas de personas significa un grado de satisfacción personal inmenso y es una motivación increíble que sin duda ha sido un motor potente en los momentos difíciles del proyecto.

4. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo del proyecto es cumplir con las expectativas de calidad marcadas inicialmente. Estas se componían de la captación, almacenamiento y distribución del agua. Se buscó garantizar una mejora sustancial de las vidas de las familias de la comunidad rural no sólo llevándoles agua sino también contribuyendo al desarrollo social con la implantación de un centro en el que puedan aprender a cultivar algo que no sea tabaco, un modelo de cultivo que no da suficiente dinero como para sobrevivir.

Los pasos para conseguir dichos objetivos fueron los siguientes:

1. Recaudación de la financiación necesaria para el proyecto mediante donaciones de particulares o empresas colaboradoras.
2. Realización del estudio y los cálculos necesarios para el diseño del sistema.
3. Compra, transporte y gestión de los materiales e instrumentos necesarios para la construcción de la instalación completa.
4. Implantación del Proyecto durante el verano de 2019 con la colaboración de voluntarios de la comunidad y profesionales de la zona.

5. RECURSOS A EMPLEAR

Debido a la dificultad y el sobrecoste que supondría enviarlo desde Europa, todos los materiales y las herramientas de trabajo se comprarán en Harare, la capital de Zimbabue. La intención ha sido la de trabajar con proveedores locales con la idea de lograr un doble objetivo:

1. Como ya se ha comentado anteriormente, la situación económica de la zona no es la ideal existiendo un problema enorme de liquidez por lo que se buscó favorecer la economía y el comercio local junto con la colaboración de agentes de la zona.
2. De este modo se simplifica la búsqueda de recambios en caso de avería lo que favorece la sostenibilidad y durabilidad del proyecto.

6. MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN

A continuación, se comentan los posibles futuros fallos de la instalación para preparar su prevención o su reparación.

6.1 PROBLEMAS EN LA RED Y POSIBLES FUGAS

Las fugas o roturas pueden aparecer por diferentes motivos. Se clasificarán en 3 tipos:

- Aplastamiento: diseño erróneo de la red o defectos de construcción.
- Agrietamiento longitudinal: surge por esfuerzos de fatiga, defectos de fábrica y/o esfuerzos causados por golpe de ariete.
- Agrietamiento transversal: causado por las vibraciones de las cargas superficiales.

Podrían aparecer fugas favorecidas por defectos en la unión de las juntas durante el montaje y la corrosión en sus diferentes formas.

6.1.1 Deterioro por corrosión

Se trata de un fenómeno que aumenta las pérdidas de carga pudiendo incluso generar fugas. Afecta tanto a las tuberías como a los equipos instalados que estén en contacto con el agua como puede ser la bomba o los sensores. La eficiencia del sistema se ve reducida por la corrosión.

6.1.2 Deterioro por abrasión

Como se ha expuesto anteriormente, la resistencia a la abrasión del Polietileno es sustancialmente mayor que la de otros materiales como el PVC. La abrasión se produce por los sólidos en suspensión transportados por la red de tuberías. Estos sólidos producen el desprendimiento del material de las tuberías disminuyendo así su grosor.

Como es lógico, todos los fenómenos de corrosión aumentan con el aumento de la velocidad. En el caso de la abrasión, la velocidad de los sedimentos es un factor determinante a la hora de valorar el impacto que estos tienen sobre las tuberías. Asimismo, la forma geométrica de los sedimentos y su concentración, dureza y tamaño también son factores a tener en cuenta.

Distintos tipos de abrasión:

- Abrasión por corte: las partículas producen pequeños cortes en la tubería.
- Abrasión por fractura: se crea una rotura crítica en la tubería.
- Abrasión por penetración: la partícula atraviesa la tubería dejando una cavidad.

6.1.3 Deterioro por corrosión abrasiva

El rozamiento de las partículas en suspensión con las paredes de la tubería provoca la erosión de estas produciendo un desgaste en los materiales que se encuentra a su paso.

Este tipo de deterioro se encuentra sobre todo en la parte inferior de la tubería, aunque existe la posibilidad de que aparezca en el resto de la sección debido a las turbulencias originadas por el flujo. Cuanto mayor sea el número de Reynolds (depende de la velocidad, el diámetro y las características del fluido), mayores serán las turbulencias y, por lo tanto, mayor será la velocidad de desprendimiento de la pared. Es decir, la corrosión aumenta con la turbulencia.



Ilustración 7: Tubería corroída. Fuente: español.lubrizol.com

6.1.4 Deterioro por fatiga abrasiva

El deterioro por fatiga abrasiva se refiere al esfuerzo repetitivo e intermitente al que se ven sometidas las tuberías durante el transporte de partículas (arenas) en el fluido. Este fenómeno puede producir grietas.

6.2 MANTENIMIENTO DE LOS DEPÓSITOS Y LA ESTRUCTURA

Deben establecerse protocolos de inspección tanto de la estructura como de los propios tanques. Debe comprobarse la integridad de los mismos en busca de grietas o fisuras que puedan comprometer el correcto funcionamiento de toda la instalación.

Una vez se haya finalizado con el llenado de los tanques, deberán estudiarse los posibles asentamientos de la estructura, así como una inspección que detecte posibles grietas debidas a fallos de construcción.

Deberán someterse a pruebas a los elementos de fijación de los tanques a la estructura para comprobar que estos no se van a mover con rachas de viento.

Por último, será necesaria una inspección de los tanques vacíos para comprobar si necesitan una limpieza, evitando así la formación de coliformes que puedan contaminar el agua.

6.3 MANTENIMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Dos de los tres principales objetivos de este proyecto son diseñar una solución duradera y sostenible. Por ello, el mantenimiento de la fuente de alimentación del sistema es importante. El primer paso es la prevención, los paneles solares se instalaron en una estructura en altura (véase Ilustración 8), para evitar que los animales de la zona pudieran causar desperfectos, y con un candado para prevenir los posibles robos.



Ilustración 8: estructura de las placas solares. Fuente: propia

6.4 MANTENIMIENTO DE LOS GRIFOS

Siendo unos elementos menos propensos al fallo y de detección y reparación más sencilla, los posibles fallos que pueden tener son:

- Rotura de la unión tubería-grifo debido al momento flector creado al abrir el propio grifo. Esto se debe a una unión débil, mal hecha.
- Pérdida de presión que puede ser causada por una fuga en la red de distribución o en el propio grifo.

Por ello, se decidió que existiera una transición entre las tuberías de transporte y los grifos. Esta transición pasa por un cambio de material en las tuberías, de Polietileno pasamos a acero galvanizado de 25 mm de diámetro. Además, gracias a la disminución de la sección, conseguimos una mayor velocidad de salida.



Ilustración 9: grifos de la instalación. Fuente: propia

7. AMPLIACIONES O FUTUROS PROYECTOS A REALIZAR

7.1 AMPLIACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

Se plantea, de forma adicional, la ampliación del sistema de distribución de aguas. A medida que el centro de formación profesional vaya incorporando más edificios, la red de distribución deberá crecer consecuentemente para conseguir abastecer a todos ellos. Esto supone aumentar la capacidad del proyecto por lo que todas sus partes se verían afectadas.

Habría que comprobar que el acuífero seleccionado tiene la suficiente envergadura y capacidad de recuperación como para satisfacer las necesidades que se planteen.

Por otro lado, una red más extensa supone mayores pérdidas de carga, lo que se traduce en la necesidad de transmitir una mayor energía al agua almacenada en los tanques. Esto se puede conseguir de dos maneras:

1. Aumentando la altura de la estructura de los tanques. Al ser un encofrado de hormigón y piedras, existe la posibilidad de aumentar la altura de la estructura sin que esto suponga un gran esfuerzo económico ni conlleve demasiado tiempo.
2. Instalando un tanque de presión (véase Ilustración 10). Otros proyectos de la misma zona con distancias más largas cuentan con tanques de presión, los cuales aumentan la energía del agua almacenada incrementando la presión a la que esta se encuentra.

Asimismo, las dos opciones requieren una mayor potencia de la bomba que remonte el agua a una altura superior a la existente o que almacene el agua a una presión superior a la existente. Se debería estudiar si la potencia de la bomba es suficiente y si no es así, cambiarla. Si la potencia requerida es mucho mayor, será necesaria la ampliación de la instalación solar fotovoltaica.



Ilustración 10: tanque de presión. Fuente: Google Imágenes

Por último, al aumentar el número de personas aumentará la demanda de agua diaria para lo que existen dos soluciones:

1. Aumentar el número de usos por día de la bomba. Es decir, que el sistema se inicie cada vez que se vacíen los tanques. Esto supone una exigencia extra al sistema que acortará su vida útil.
2. Aumentar la capacidad de los tanques. Aumentar el número de tanques o reemplazar los ya existentes por otros de mayor capacidad. De este modo, la bomba trabajará menos veces al día, aunque lo hará durante más tiempo.

7.2 ESTACIÓN POTABILIZADORA (ETAP)

Al tratarse de un agua tan profunda, su calidad es más que aceptable para consumo humano y animal. Al filtrarse durante tantos metros de tierra, el agua se purifica y no es necesario ningún tratamiento químico más que una oxigenación para eliminar metales como los iones de hierro (Fe^{+2}) o manganeso (Mn^{+2}).

Sin embargo, debido a los futuros cultivos que se planean para la zona más próxima al centro de formación profesional y a los fertilizantes que se utilizarán, no se puede descartar que en un futuro el agua de este acuífero esté ligeramente contaminada. Por lo que se plantea la instalación de una estación potabilizadora que combata esta contaminación. Para ello, se van a plantear los parámetros que será imprescindible controlar.



Ilustración 11: esquema de una ETAP. Fuente: asignatura de Ingeniería Medioambiental, ICAI

Tratándose de agua subterránea situada en un terreno sin ninguna fábrica cercana, no serán necesarias ni la sedimentación ni el CFD (coagulación-floculación-decantación). Nuestra ETAP deberá estar compuesta por un sistema de oxigenación, una filtración, una desinfección y, si se desea, un filtro de carbón activo.

La filtración podría consistir en un filtro de arena, el más utilizado para aguas de este tipo, aguas con cargas bajas o medias de contaminantes. Al no existir partículas en suspensión (estas son retenidas durante el proceso de filtración del agua superficial hasta el acuífero) es posible eliminar el CFD.

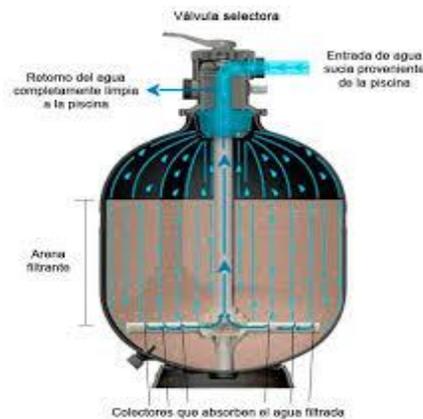


Ilustración 12: Filtro de arena. Fuente: ICAI

7.3 ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO AL CENTRO DE FORMACIÓN PROFESIONAL

Como ya se ha mencionado anteriormente, existe la posibilidad de una futura ampliación del centro de formación profesional. Por ello, es lógico pensar en un sistema que dote de electricidad a todos los edificios (tanto al existente como a los futuros). Por ello, podría instalarse un banco de baterías que aproveche la energía solar que captan las placas solares fotovoltaicas mientras la instalación de bombeo no está funcionando.

La capacidad de la estación de bombeo solar permite que el número de horas de trabajo no coincida con el número de horas de sol. Por el momento, funcionando bajo condiciones nominales, el tiempo de bombeo no será superior a las 8,33 horas diarias. Sabiendo que el número mínimo de horas de sol en Harare durante el año es de aproximadamente 11 horas, queda un intervalo de al menos dos horas durante el cual la energía recogida por las placas solares no se utiliza.



Ilustración 13: Batería solar. Fuente: Google Imágenes

Del mismo modo, en un futuro, podría aumentarse el tamaño de la estación solar fotovoltaica para suministrar la electricidad necesaria para el funcionamiento de las instalaciones y la maquinaria que se quieran implantar.

8. METODOLOGÍA DE TRABAJO

8.1 TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS

Como se ha indicado anteriormente, la perforación del pozo dependió del presupuesto. En caso de haber sido un presupuesto escaso, se habrían utilizado dos técnicas de perforación manual, la pala vizcacha y un punzón pesado para el proceso de hincado. Finalmente, se cumplió con los objetivos de recaudación por lo que la perforación del pozo la llevó a cabo una empresa local con maquinaria. Gracias a lo cual se acortaron los tiempos y se pudo trabajar con mayor holgura.



Ilustración 14: Perforación del pozo. Fuente: propia

Se comenzará con la búsqueda de información sobre los tipos de pozos y las distintas técnicas, así como de las características del suelo y del agua sobre los que se va a trabajar. Posteriormente, se procederá al descarte de las técnicas imposibles de realizar debido a las características del lugar y de las condiciones de trabajo anteriormente mencionadas.

Una vez seleccionada la técnica, será momento de elegir los materiales teniendo en cuenta la disponibilidad, así como la elección de la maquinaria y la bomba manual que se utilizarán en el proyecto.

Entonces, llegará el momento de diseñar la red de distribución y la estructura en la que se almacenará el agua con la estanqueidad que ello conlleva. Se realizarán los cálculos y las simulaciones necesarias para comprobar que el diseño del proyecto es correcto.

Por último, se estudiará la viabilidad del proyecto teniendo en cuenta el dinero recaudado (el presupuesto), la mano de obra, la dificultad del proyecto y el tiempo necesario para su implantación en Zimbabwe.

8.2 CRONOGRAMA

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Estudio de Zimbabwe								
Información sobre las técnicas								
Selección de las técnicas								
Materiales y maquinaria								
Diseño y cálculos								
Viabilidad								
Trabajo in situ								

CAPITULO II: CÁLCULOS

CONTENIDO CAPÍTULO II: CÁLCULOS

9. ALMACENAMIENTO DEL AGUA	35
9.1 DIMENSIONADO DEL TANQUE.....	35
9.2 CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA.....	38
10. SISTEMA DE TRANSPORTE DE AGUAS.....	44
10.1 LA BOMBA.....	44
10.2 LA RED DE TUBERÍAS	49
10.3 VÁLVULAS	50
10.4 GRIFOS	51
10.5 PÉRDIDAS POR CONDUCCIÓN.....	52
10.5.1 Cálculo de las pérdidas	56
11. ACCIONAMIENTO SOLAR.....	60
12. EL POZO	61

En este segundo capítulo del primer documento, se exponen los cálculos necesarios para el dimensionamiento de cada una de las partes del sistema. Se debe calcular la potencia, el tamaño y la capacidad de cada uno de los elementos que componen el proyecto: la estación de bombeo, el depósito elevado y la instalación solar fotovoltaica. Este último elemento, no forma parte de este Proyecto de Fin de Grado, pero se expondrán las decisiones tomadas con apoyo de algunos cálculos. El PFG de Ignacio Moldenhauer detalla toda la instalación fotovoltaica.

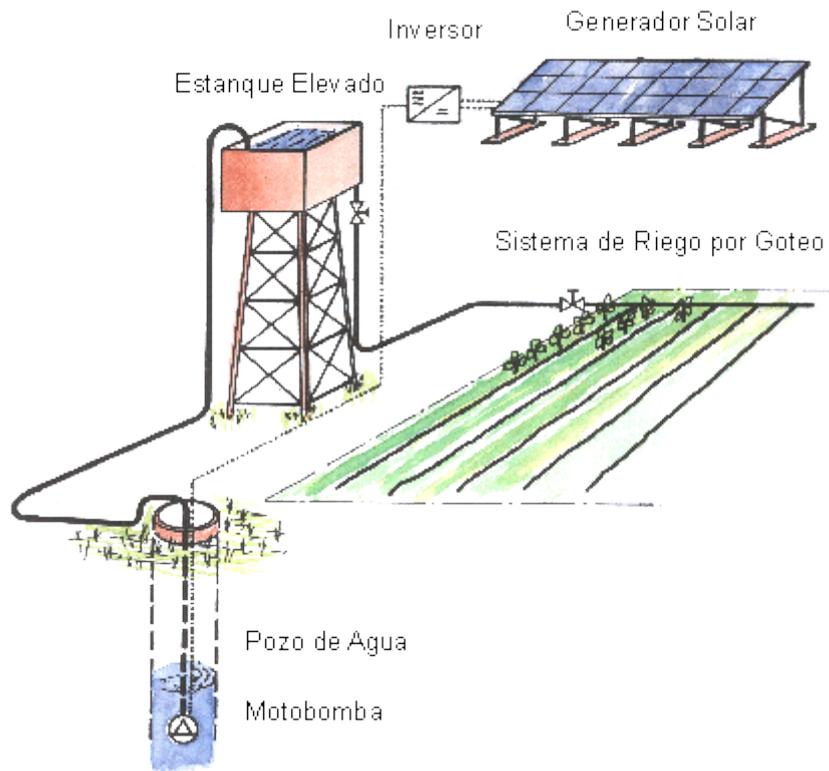


Ilustración 15: Esquema del sistema. Fuente: suelosolar.com

9. ALMACENAMIENTO DEL AGUA

9.1 DIMENSIONADO DEL TANQUE

La primera parte del proyecto consistirá en el dimensionado del tanque. Para la toma de decisiones no se debe olvidar la máxima de este proyecto, buscar una solución sostenible, económica y duradera. Es por esto que se ha optado por la opción de almacenar el agua en altura, proporcionándole energía potencial, almacenándola, en vez de almacenar energía eléctrica, algo mucho más caro y cuyo mantenimiento es más trabajoso.

Asimismo, constituye un elemento que asegura la disponibilidad de agua en caso de pérdida del equipo de alimentación eléctrica o de que este genere poca potencia y no sea posible el bombeo debido a condiciones climatológicas. Por suerte, hay una pequeña

presa construida en la zona por lo que, durante la época de lluvias, época en la que el aprovechamiento de la energía del sol disminuye, el uso de la instalación se verá reducido notablemente.

Es importante tener claros los factores que influyen en la toma de decisiones a la hora de dimensionar el tanque. Estos factores son cuatro:

1. Se debe estudiar la cantidad de agua consumida por persona y día, así como el agua necesaria para cultivar. Se debe tener en cuenta también que la prioridad de este proyecto es abastecer de agua al centro de formación profesional y, una vez cumplida dicha misión, bombear agua para la comunidad vecina. Por lo tanto, la instalación debe contar con dos tanques distintos, uno para cada sistema de distribución.
2. Se debe tener en cuenta que, inicialmente, se iba a construir una estructura de acero que soporte el peso de los tanques, por lo que este peso no debe ser excesivo. Además, al incluirse más de un tanque, la superficie superior de dicha estructura (cuya altura se calculará más adelante) deberá ser mayor. Finalmente, una vez allí, se observó que la altura de la estructura no tenía que ser mayor de dos metros por lo que se construyó un encofrado de piedras y hormigón con la superficie y resistencia necesarias para soportar el peso de uno de los dos tanques, como se explicará más adelante.
3. Asimismo, la disponibilidad y oferta del mercado nacional supondrá una limitación. La ciudad más cercana a Dotito, Mount Darwin, carece de oferta de tanques por lo que hubo que comprarlos en Harare. Esto supuso un sobre coste de transporte que se pudo afrontar gracias a la donación de uno de los tanques (véase Ilustración 16).
4. En caso de existir cierto desnivel entre el terreno de los tanques y el de los grifos, la instalación será más barata reduciendo incluso las restricciones que introduce la estructura. Como se pudo comprobar una vez allí, existía un terreno un poco más alejado con una diferencia de cota respecto a los grifos perfecta.

Teniendo en cuenta los cuatro factores anteriormente comentados, se procedió a la toma de decisiones.



Ilustración 16: donación tanque 5.000 l. Fuente: propia

Primeramente, se realiza una estimación de la cantidad de agua necesaria por día, tanto para el centro de formación profesional como para la comunidad. Se estima que el número de personas que reside en dicha comunidad (teniendo en cuenta la gente de las comunidades vecinas que también aprovechará esa agua) es 120. Estimando un consumo de 40 litros por día y por persona (se incluye el agua necesaria para higiene, consumo, cocina y lavado de ropa), calculamos un consumo diario total de 4.800 litros (4,8 m³).

Por otro lado, inicialmente el terreno en el que se va a cultivar tiene una extensión de casi 2 hectáreas. Se estima que en España se necesitan 20 m³/hectárea¹ para el regadío de una plantación suburbana.

Sin embargo, el consumo medio en Zimbabue es notablemente menor. Además del limitado acceso al agua que existe en la zona, el clima de Zimbabue favorece el cultivo. Es decir, en Zimbabue las épocas más calurosas (en las que se producen más pérdidas de agua por evaporación) coinciden con las más húmedas; del mismo modo, las épocas más secas coinciden con las menores temperaturas registradas a lo largo del año. Por todo ello, y con la intención de no secar el pozo, se estima un consumo medio de 2,5 m³ por hectárea y por día. Esta estimación se ha realizado con la colaboración de George Seremwe, fundador y director de la ONG Child Future Africa. Con la estimación de 2,5 m³ por hectárea, obtenemos un consumo diario aproximado de 5.000 litros (5 m³).

Analizando las dos partes de la distribución de aguas, se llega a la conclusión de que la mejor solución es aprovechar el tanque cedido y comprar otro tanque con una capacidad de 5.000 litros. Como se explicará más adelante, uno de los tanques se colocó encima de una estructura, sin embargo, el desnivel existente resultó ser suficiente para la distribución de aguas del centro de formación profesional.

¹ Fuente: www.solucionespracticas.org



Ilustración 17: la estructura junto con los tanques. Fuente: Propia

9.2 CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA

En este apartado se procede con los cálculos necesarios para el diseño de la estructura. Inicialmente se optó por una estructura convencional formada por vigas de acero. Finalmente, una vez en el terreno, se tomó la decisión de cambiar esta estructura por el encofrado de piedras y hormigón comentado anteriormente.

Para los cálculos se expondrán las condiciones más desfavorables y se aplicará un factor de seguridad de 1,35 de acuerdo con lo establecido por el “Documento básico SE”, código español de estructuras. De este modo, las medidas de seguridad serán igual de rigurosas que en España.

Tipo de verificación ⁽¹⁾	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		desfavorable	favorable
Resistencia	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,35	0,80
	Empuje del terreno	1,35	0,70
	Presión del agua	1,20	0,90
	Variable	1,50	0
Estabilidad		desestabilizadora	estabilizadora
	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,10	0,90
	Empuje del terreno	1,35	0,80
	Presión del agua	1,05	0,95
	Variable	1,50	0

⁽¹⁾ Los coeficientes correspondientes a la verificación de la resistencia del terreno se establecen en el DB-SE-C

Tabla 5: Coeficientes de seguridad parciales. Fuente: Documento Básico SE (Seguridad Estructural)

Una vez haya finalizado el llenado de los tanques, el peso que deberá soportar la estructura incluye el peso del agua y de los propios tanques. Al tratarse de agua pura consideraremos una densidad de 998 kg/m^3 , lo que nos deja una carga de $97,9 \text{ kN}$. Se estima que el peso total de los dos tanques vacíos no supera los 200 kg , por lo que la carga

permanente total que la estructura debe soportar será 99,87 kN, aproximadamente 100 kN. Aplicando el factor de seguridad elegido (1,35) la carga total será 135 kN.

Se pretende que la carga esté homogéneamente distribuida por lo que cada uno de los cuatro pilares de la estructura deberá soportar un esfuerzo axial de 33,75 kN.

Por otro lado, se deben tener en cuenta distintos tipos de cargas variables que pueden afectar a las estructuras. Siguiendo el Eurocode 3, se presentan los distintos coeficientes establecidos:

Design Code	EC3			
Equation	(6.10)			
Action	Permanent		Variable	
Nature	Favourable	Unfavour.	Favourable	Unfavour.
Partial Factor γ	1.15	1.35	0.00	1.50

Tabla 6: coeficientes para cargas variables. Fuente: Eurocode 3

En el caso de la estructura escogida, la única carga variable que puede afectar es la provocada por el viento (en Zimbabue no existe posibilidad de existencia de cargas variables causadas por nieve). Dicha carga se puede aproximar al valor de 670 N/m². Teniendo en cuenta el área sobre la que incidirá, se obtiene una carga variable final de 4,3 kN (teniendo presentes ambos depósitos). Aplicando el factor correspondiente (1,5 para cargas variables desfavorables) obtenemos un valor de 6,3 kN.

En resumen, cada pilar de la estructura deberá soportar un esfuerzo axial de 33,75 kN y un esfuerzo cortante de 6,3 kN.

Una vez definidas las cargas que actuarán sobre la estructura, se procede a su diseño. Para ello, se debe tener en cuenta que la estructura debe estar compuesta por perfiles normalizados, ya que sino el coste de la misma se encarecería demasiado. Por lo tanto, se eligen perfiles de tipo HEB, mucho más robustos que los perfiles de tipo IPN o IPE. Esta decisión se basa en la diferencia en su resistencia al pandeo. Al ser perfiles más esbeltos, los de tipo IPN o IPE presentan una resistencia menor ante este fenómeno. Los valores empleados en los siguientes cálculos se pueden consultar en el anexo de este PFG donde se incluye el prontuario de vigas de perfiles HEB.

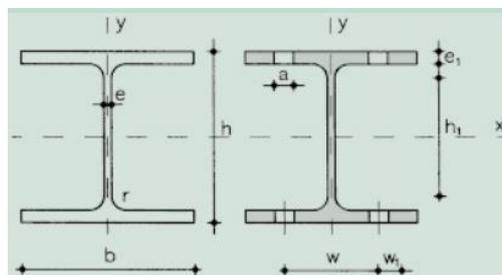


Ilustración 18: Perfiles HEB. Fuente: Prontuario de perfiles; Cálculo de Estructuras – ICAI

El material escogido es el acero debido a sus excelentes propiedades físicas (véase Tabla 7) y a su amplio mercado. El tipo de acero elegido es un S235 ya que es el acero más común gracias a lo que se abaratará el coste de la estructura.

Además, la resistencia de este acero, siempre que su grosor sea menor de 16 mm, es de $223,8 \text{ N/mm}^2$ (aplicando un coeficiente parcial de seguridad de $1,05^2$ al valor teórico de 235 N/mm^2).

Módulo de elasticidad: E	210000 N/mm ²
Módulo de rigidez: G	81000 N/mm ²
Coeficiente de Poisson: v	0.3 [-]
Coeficiente de dilatación térmica: α	$1.2 \cdot 10^{-5} \text{ (K)}^{-1}$
Densidad: ρ	7850 kg/m ³

Tabla 7: Propiedades físicas del acero. Fuente: Propia

A la hora de elegir las dimensiones del perfil HEB, hay que tener en cuenta las cargas que este debe soportar y los posibles fallos que pueden producirse. Se calculará el perfil necesario para soportar el esfuerzo axial (compresión) y más tarde se comprobará si ese mismo perfil será suficiente para resistir al esfuerzo cortante.

Con respecto al esfuerzo axial, el posible fallo puede deberse a un colapso por pandeo. Para estudiarlo deben establecerse unas condiciones de arriostramiento del sistema. En este caso, serán las mostradas en el esquema:

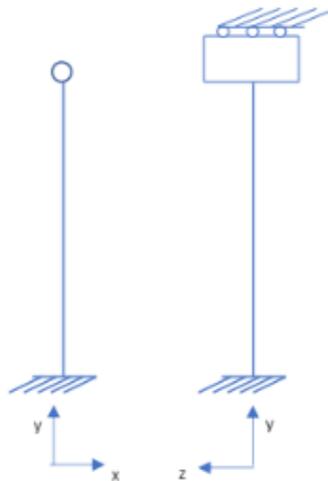


Ilustración 19: Esquema de las condiciones de arriostramiento. Fuente: Propia

Con estas condiciones, se establecen las longitudes críticas para cada una de las orientaciones. En caso de pandeo en el eje z, la longitud crítica será $l_k = 0,7 * L$; si el pandeo ocurre en el eje x, la longitud crítica será igual a la longitud de la viga ($l_k = L$). Primero, se realizan los cálculos pertinentes para diseñar el perfil de la viga cuya longitud crítica sea menor, ya que se le asignará el momento de inercia más bajo y será la orientación más restrictiva. A continuación, se comprobará si el perfil escogido cumple con los requisitos necesarios para soportar la carga en la otra orientación. Una vez finalizados los cálculos, se comprobará si la viga diseñada soporta los esfuerzos cortantes a los que se le va a someter por efecto del viento.

² Documento básico de Seguridad Estructural (SE-6)

Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Sabiendo que la carga es de 33,75 kN y suponiendo un coeficiente de pandeo de 0,5 se calcula el área mínima que debe tener la sección del perfil. El perfil cuya área es la más cercana a la calculada es el HEB100.

$$N_b = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{M1}}$$

2. Una vez obtenido el área mínima, se preselecciona un perfil del prontuario y se selecciona el momento de inercia correspondiente a la orientación con la que se está trabajando (en este caso, la orientación se elige por lo que asignaremos el menor momento de inercia a esta orientación) y se calcula la carga crítica.

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I_x}{(l_k)^2}$$

3. Con el área del perfil seleccionado, el límite elástico del acero S235 y la carga crítica calculada en el paso 3, se deduce la esbeltez reducida del perfil.

$$\lambda = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}}$$

4. A continuación, habiendo calculado la esbeltez reducida y sabiendo qué curva de pandeo corresponde a nuestro caso (la curva a), se utiliza la gráfica de las curvas de pandeo para saber cuál es coeficiente de pandeo que corresponde.

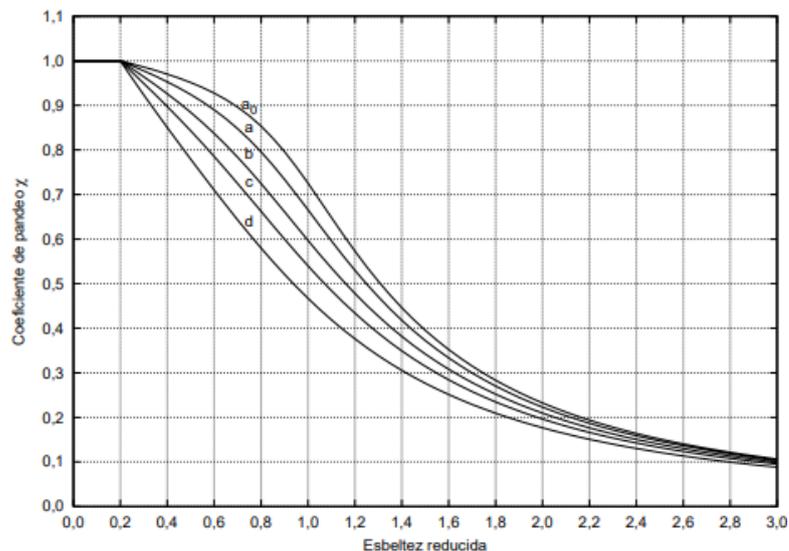


Ilustración 20: Curvas de pandeo. Fuente: Documento SE-A

5. Finalmente se comprueba si la carga límite es mayor o menor que la carga que la viga debe soportar. En caso de que la carga límite sea menor, se volverá al paso dos seleccionando un perfil superior al escogido anteriormente y se repetirán todos los pasos. Este proceso de iteración se realizará el número de veces que sea necesario.

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_{yd}$$

La carga límite obtenida por este proceso es de 274,95 kN, muy superior a la carga que debe soportar cada viga (33,75 kN). Por consiguiente, el perfil HEB100, el que se ha escogido, es suficiente.

A continuación, se debe comprobar si el perfil HEB100 es suficientemente resistente para la otra orientación de la viga, cuya longitud crítica coincide con su longitud. Para ello, se selecciona el momento de inercia mayor de dicho perfil y se comprueba la carga crítica (paso 2), se obtiene la esbeltez reducida y por último la carga límite que puede soportar. Si dicha carga es menor que la que tiene que soportar, habrá que empezar todo el proceso de nuevo seleccionando un perfil superior.

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Perfil	Orientación	Momento de inercia [cm ⁴]	l_k	Área [cm ²]	Carga crítica [kN]	Esbeltez reducida (λ)	Coefficiente de pandeo (χ)	Carga límite (N _{b,Rd})
HEB100	X	450	4,5	25	460,582	1,15	0,65	397,15 kN
HEB100	Z	167	3,15	25	348,83	1,32	0,45	274,95 kN

Tabla 8: Cálculo de la estructura. Fuente: Propia

Finalmente, una vez seleccionado el perfil, se debe comprobar si este resiste el esfuerzo cortante al que puede someterle el viento. Para ello, se seguirán las pautas que dicta el código de seguridad estructural (SE). Dicho documento insiste en que la resistencia de las secciones al esfuerzo cortante sea igual a la resistencia plástica del material.

$$V_{pl,Rd} = A_v * \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

De este modo, observamos que el esfuerzo cortante límite es 323,03 kN, muy superior al que se podría someter a la estructura (6,3 kN).

Por tanto, se puede deducir que el posible fallo de la estructura va a ser por pandeo siendo el esfuerzo cortante insignificante.

Con la intención de que las cargas se distribuyan de manera homogénea a lo largo de toda la estructura se deben incluir elementos de seguridad. Dichos elementos deben ser cordones que unan los pilares formando una cruceta (véase Ilustración 21).

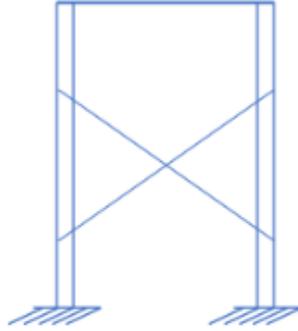


Ilustración 21: Esquema de los cordones de seguridad. Fuente: Propia

Del mismo modo, el empotramiento de los pilares en el suelo adquiere una importancia significativa. Para ello, se debe abrir una cavidad en el suelo de dos metros (la mitad de la altura final de la estructura) y cementarlo con el pilar dentro.

En conclusión, los pilares son capaces de soportar cargas muy superiores a las que se les va a someter pudiendo llegar a soportar hasta casi diez veces el peso de ambos tanques. Este factor de seguridad exagerado adquiere gran importancia, ya que existe la posibilidad de defectos de fábrica en las vigas puesto que las exigencias de fabricación son poco restrictivas (no hay constancia de que los fabricantes se rijan por ninguna norma, internacional o propia). Asimismo, las inspecciones de productos fabricadas no son tan exhaustivas como cabría esperar.

Finalmente, como ya se ha comentado anteriormente, una vez allí se encontró un terreno elevado en el que colocar los tanques, por lo que se pidió a los trabajadores que estaban con el proyecto de centro de formación profesional que construyeran una estructura de piedras y hormigón que soportase el peso de uno de los dos tanques. El otro tanque se colocó en el suelo, ya que la diferencia de cotas entre este y los grifos resultó ser suficiente para garantizar una calidad mínima en la presión de salida del agua.



Ilustración 22: Construcción de la estructura de los tanques. Fuente: Propia

10. SISTEMA DE TRANSPORTE DE AGUAS

El sistema de transporte de aguas está compuesto por varios elementos principales como son la bomba, la red de captación de agua, el almacenamiento, la red de distribución de aguas y, por último, las salidas de esta.

Siendo la bomba el elemento principal, la red de tuberías es el elemento más extenso y el que cuenta con un mayor número de componentes. En ella se encuentran tuberías de distintos diámetros y materiales, reductoras que permiten los cambios de diámetro, codos, uniones entre tuberías, válvulas de seguridad y bifurcaciones en forma de “T”.

El sistema puede dividirse en dos subsistemas: captación de aguas y distribución. El primer subsistema lo componen la bomba y la red de tuberías que conduce el agua desde esta hasta los tanques. El segundo subsistema está compuesto por la red de tuberías encargadas de distribuir el agua y las salidas de la misma, los grifos.

10.1 LA BOMBA

Inicialmente se pensó que no habría presupuesto suficiente para una instalación de bombeo solar. Se seleccionó una bomba manual fabricada en Zimbabwe con una potencia y caudal indicados para el tipo de pozo con el que se trabaja. La bomba tiene un diámetro de 75 mm y es capaz de bombear 35 l/min (2,1 m³/h), con lo que se llenarían ambos tanques en algo menos de 5 horas. Una vez se inició la recaudación de dinero, las previsiones indicaban que el presupuesto sería más amplio de lo que se pensaba, por lo que una estación de bombeo solar era posible. Por lo tanto, se decidió ampliar la búsqueda a motobombas.



Ilustración 23: Bush pump en Zimbabwe. Fuente: kujaliafrica.com

Una bomba es una turbomáquina hidráulica. Existen varios tipos de máquinas de fluidos (véase Ilustración 24). En este caso, se va a utilizar una bomba hidráulica sumergible, como se explicará más adelante, debido a las características del sistema.

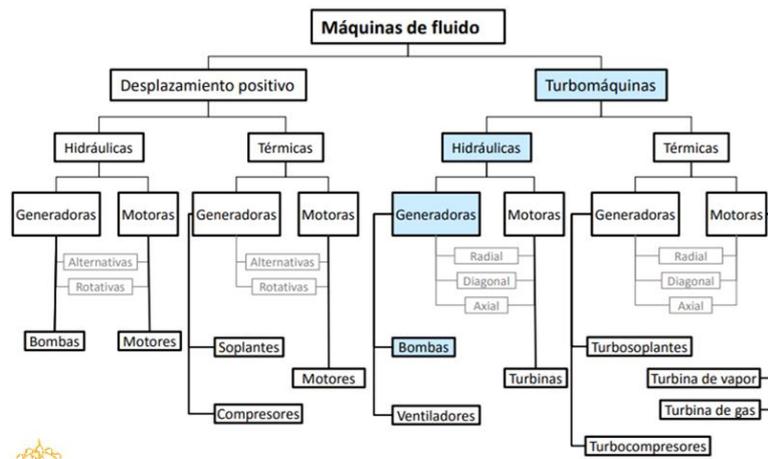


Ilustración 24: Esquema de los tipos de máquinas de fluido. Fuente: Turbomáquinas – ICAI

Cualquier bomba se compone de tres elementos principales:

- El rodete es el elemento principal de una bomba hidráulica. Se encarga de transmitir la energía mecánica que recibe del eje, en forma de energía de presión, al agua.
- El eje es el encargado de transmitir al rodete la energía que recibe del motor.
- El sistema difusor es el colector del sistema, recoge el fluido a la salida del rodete y lo lleva hasta la salida de la bomba.

Asimismo, existen otros elementos que constituyen la bomba como la carcasa, los cojinetes, las bridas de salida y entrada o el sistema de estanqueidad. Este último sirve para evitar fugas dentro de la propia bomba y está formado por varios componentes como prensaestopos, retenes o cierres laberínticos.

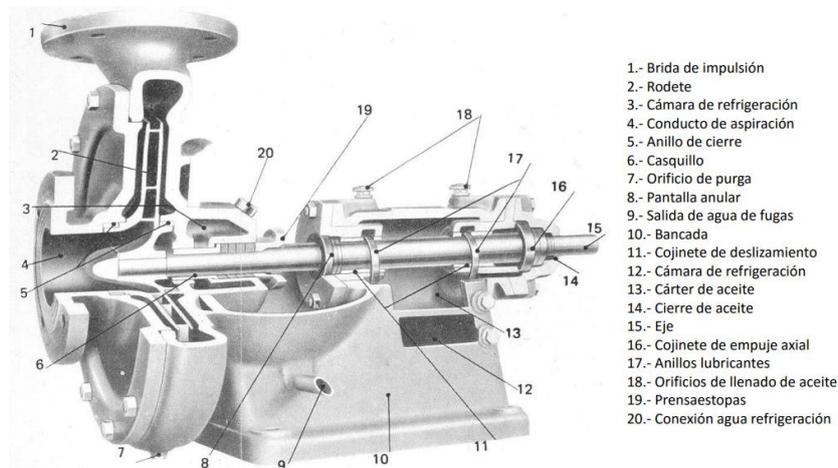


Ilustración 25: Elementos de una bomba. Fuente: ICAI

La función principal de la bomba hidráulica es remontar el agua del acuífero a la altura a la que se encuentran los tanques, proporcionarle energía suficiente para poder llenarlos y hacerlo, además, en el tiempo que establezcan las necesidades de los usuarios. De nada sirve una bomba que nos ofrezca la altura deseada pero cuyo caudal sea tan bajo que no consiga llenar los tanques durante las horas de sol. Por ello, es importante calcular bien la altura que debe dar la bomba y, junto con el caudal deseado, determinar la potencia necesaria.

El punto de funcionamiento de la bomba depende tanto de la curva de la bomba como de la curva de la instalación. Existe un punto del diagrama H-Q (véase ilustración 25) en el que ambas curvas coinciden, este será el punto de funcionamiento.

La curva H-Q de la bomba es la representación gráfica de su ecuación característica, en la que los coeficientes A y B se obtienen de forma experimental, ensayando la bomba (funcionando siempre al mismo número de revoluciones, si el número de revoluciones cambia, la curva también):

$$H = A - B \cdot Q^2$$

Por otro lado, la curva de funcionamiento de la instalación surge de aplicar Bernoulli entre el depósito desde el que se quiere bombear y el final de la instalación, es decir:

$$H_{inst} = C + D \cdot Q^2 = \frac{p_z - p_A}{\rho \cdot g} + z_Z - z_A + H_{rA-e} + H_{rs-Z}$$

- $\frac{p_z - p_A}{\rho \cdot g} + z_Z - z_A$, diferencia de altura (cota más diferencia de presión) entre ambos puntos. No depende del caudal que se bombee.
- $H_{rA-e} + H_{rs-Z}$, constituyen las pérdidas de carga primaria y secundaria. Aumentan con la rugosidad, la viscosidad, la longitud de las tuberías y sobre todo con la velocidad.

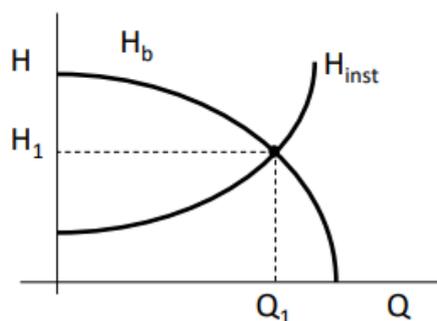


Ilustración 26: Curvas de la bomba y la instalación. Fuente: ICAI

En el caso de nuestra instalación, al ser una bomba para pozo existen dos tipos de bomba posibles: bomba de chorro y bomba sumergible. La elección de una u otra suele depender de la profundidad del pozo.

A continuación, se exponen las principales características y aplicaciones de los dos tipos de electrobombas centrífugas comentados anteriormente:

- Bomba de chorro (o bomba de inyección): la principal diferencia con la bomba sumergible es que esta se coloca en la superficie o en el subsuelo. Se compone de un mecanismo de succión que eleva el agua mediante una unidad eyectora compuesta por una boquilla y un tubo Venturi. Se suele utilizar en pozos poco profundos existiendo un tipo de bomba de chorro especialmente diseñada para pozos profundos. Este tipo de bomba tiene el eyector ubicado por debajo del nivel freático y dos tubos dirigidos al pozo.

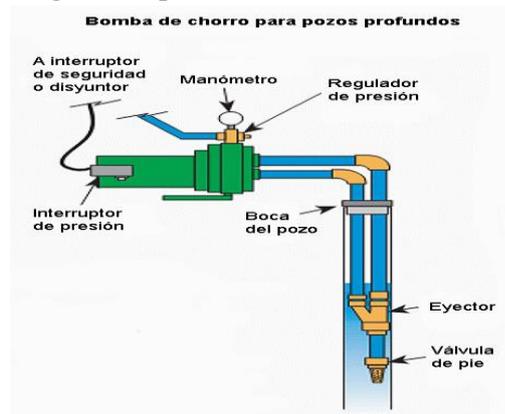


Ilustración 27: Bomba de chorro. Fuente: iagua.com

- Bomba sumergible: lo que la diferencia principalmente de la anterior es su funcionamiento. La bomba sumergible se sitúa, como su propio nombre indica, sumergida en el acuífero. Por lo tanto, no es una bomba que aspire el agua, es una bomba que impulsa el agua. Esto es muy cómodo ya que no requiere de un cebado y se elimina el problema de la cavitación. Además, se suele utilizar en pozos profundos debido a sus características.

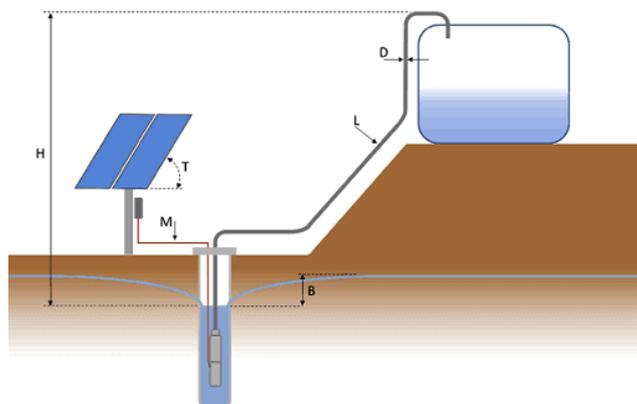


Ilustración 28: Bomba sumergible. Fuente: Delta Volt

Una vez expuestos los distintos tipos de bombas que hay en el mercado para instalaciones de estas características, resulta evidente que la bomba escogida será una bomba sumergible. No sólo por comodidad, al evitar los problemas de cebado y cavitación, sino porque es lo ideal para alturas de casi 50 metros, como es el caso. Se trata de un tipo de bombas que trabaja a bajas revoluciones ya que la mayor parte de su potencia se centra en dar mucha energía a poca agua. Por lo tanto, el caudal debe ser bajo.

Tras realizar un estudio del mercado de Zimbabue, teniendo en cuenta que debe tratarse de una bomba que funcione con Corriente Continua puesto que la electricidad viene directamente de las placas solares, se elige una bomba cuya potencia es de 210 W y el caudal que bombea es de 1,2 m³/hora (véase Ilustración 5). Con este caudal, se tardarían 8,33 horas en llenar los dos tanques enteros. Como se vio anteriormente, esto no supone un problema ya que las horas de sol superan ampliamente las horas de trabajo de la bomba.

Teniendo el caudal de la bomba y la altura que esta debe dar (más adelante se explica cómo se ha calculado), podemos calcular la potencia necesaria de la misma:

$$P_u = Q * \rho * g * H_b$$

$$P_u(W) = 3,33 * 10^{-4} * 998 * 9,81 * 46,95 = 153,22 (W)$$

Siendo:

- P_u: la potencia útil de la bomba expresada en W.
- Q: el caudal de la bomba expresado en m³/s.
- P: la densidad del agua cuyo valor es 998 kg/m³.
- g: la aceleración de la gravedad, con valor 9,81 m/s².
- H_b: la altura que debe dar la bomba en m.

Aplicándole el rendimiento de la bomba (0,8) y el rendimiento del motor (0,9) a la potencia útil se puede obtener la potencia real que deben suministrar las placas solares.

$$P(W) = \frac{P_u}{\eta_{total}} = \frac{153,22}{0,8 * 0,9} = 212,8 (W)$$

10.2 LA RED DE TUBERÍAS

La red de tuberías puede dividirse en dos tramos distintos: la captación y la distribución de aguas. El primero se compone de la tubería que sale desde el pozo hasta las que llegan a los tanques. El segundo tramo es el que incluye las tuberías de distribución, es decir, las que salen de los tanques y llegan a cada uno de los grifos.

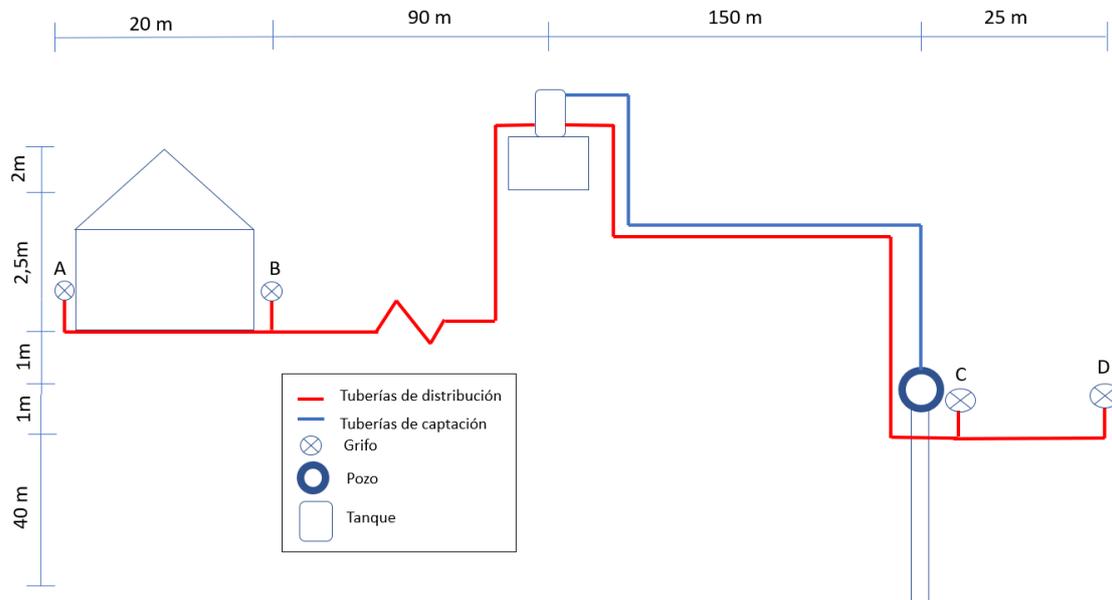


Ilustración 29: Esquema de la instalación. Fuente: Propia

De nuevo, uno de los tres objetivos del proyecto es crear una solución económica. Para ello, se decidió comprar el material necesario (las tuberías en este caso) en grandes cantidades. Ese es el motivo por el cual las tuberías para las grandes distancias son iguales.

Por otro lado, la elección del material de las tuberías influyó enormemente en el presupuesto. Con una buena elección de material se pueden reducir las pérdidas de carga y se puede simplificar el sistema de distribución.

Los posibles materiales para tuberías de transporte de aguas van desde el cobre hasta polímeros plásticos como el PVC o el Polietileno (véase Tabla 4).

Se decide eliminar cualquier tipo de tubería metálica para los dos tramos debido a su precio. Los mejores candidatos son el PVC (Policloruro de Vinilo) y el Polietileno (PE). Ambos tienen una rugosidad media muy baja lo que hace que disminuyan las pérdidas de carga y una alta resistencia mecánica. Sin embargo, se escogerá el Polietileno ya que su flexibilidad lo convierte en el material ideal. El camino por el que van las tuberías no es un camino sencillo, está lleno de ramas y piedras por lo que no es posible que sea recto. La rigidez del PVC obligaría a instalar codos y partes curvas de tuberías para poder sortear los obstáculos, encareciendo el proyecto y aumentando su dificultad y por lo tanto su tiempo de ejecución.

Sin embargo, para las uniones (tanto de entrada como de salida) entre los tanques y las tuberías de PE, se utilizará el PVC ya que asegura una unión más rígida y fiable.

Por otro lado, para escoger el diámetro de las tuberías se debe tener en cuenta que, a mayor diámetro, menor velocidad llevará el agua. Por esto, se escogen tuberías de 32 mm de diámetro, para asegurar que el agua sale con presión suficiente. Sin embargo, para los tramos de salida del agua, los grifos, se reducirá el diámetro a 25 mm consiguiendo así un aumento en la velocidad de salida. Además, las tuberías que conectan los grifos con las de PE serán tuberías de acero galvanizado para asegurar la conexión con los grifos y soportar el momento flector que genera la salida del agua.

10.3 VÁLVULAS

Las válvulas suponen un elemento de seguridad necesario para la red de distribución en caso de fallo. Del mismo modo, gracias a ellas se pueden llevar a cabo operaciones de reparación o sustitución sin tener que vaciar los tanques o asumir grandes pérdidas. Se han instalado diferentes tipos de válvulas tanto en la red de distribución como en la red de captación de aguas.

En este caso, las válvulas serán de PVC. Su elección se basa en el bajo coste de estas, existiendo válvulas del mismo diámetro que las tuberías de PE, y en su rigidez, que aseguran una unión fuerte. Como elemento de unión se utilizó cinta de fontanero y cemento rápido.

En la red de captación se utilizaron dos tipos de válvulas distintas, una válvula de retención manual y una válvula doble (válvula de retención más válvula de no retorno). De este modo, se impide que el agua vuelva hacia la bomba y se evita que esta colapse.



Ilustración 30: Válvula doble. Fuente: poolaria.com

En la red de distribución se han colocado dos válvulas de retención manual. Una de estas válvulas de bola lisa se colocó entre uno de los tanques y la red de distribución de modo que se pudiese frenar el suministro de agua en caso de reparación. La otra, se colocó a la salida del otro tanque.



Ilustración 31: Válvula manual de bola lisa. Fuente: listado.mercadolibre.com

Por último, el sistema de bombeo solar incluía dos sensores de capacidad, uno para el pozo y otro para los tanques. El primero, se instaló con normalidad, sirve para detener el sistema en caso de que no quede agua en el acuífero y volver a iniciarse cuando el pozo se haya recuperado. El segundo, no pudo instalarse debido al alto coste que suponía tirar un cable desde los tanques hasta la caja de control (situada junto a la bomba). Por ello, decidió instalarse una válvula flotante a la entrada de los tanques que cortase el paso al agua en caso de que estos estuvieran llenos.



Ilustración 32: Válvula Flotante. Fuente: tigre.com.br

10.4 GRIFOS

Estos se consideran también válvulas de retención, constituyen el final de la línea. Como puede verse en la Ilustración 24, se han colocado cuatro grifos distintos, dos grifos en cada red de tuberías. Tres de ellos, los dos grifos del centro de formación profesional (A y B) y el grifo más alejado del pozo (D), son grifos normales, para consumo humano. El cuarto (C), es una salida de agua a la que pretende enchufarse la manguera necesaria para el regadío de los terrenos del centro de formación profesional.

Buscando una solución duradera y económica, no se debe obviar un mínimo de calidad. Por esto mismo, se elevaron los grifos a una altura de 0,84 m, siendo esta la altura de confort establecida. Fue necesario incluir un codo y una reductora para conectar la tubería de Polietileno a la tubería de acero galvanizado que soporta el grifo mediante una rosca.

10.5 PÉRDIDAS POR CONDUCCIÓN

La decisión que marca la calidad del bombeo solar es la elección de la bomba. Para ello, es necesario saber la potencia que esta tiene que dar, por lo que se debe calcular la altura a la que debe remontar el agua. Como se comentó en el apartado 10.1, esta altura se calcula con la diferencia de cota entre los dos puntos, la diferencia de presión de los mismos y las pérdidas (primaria y secundaria) en la conducción. Del mismo modo, estas pérdidas marcarán la altura a la que deben colocarse los tanques para que el agua llegue con presión suficiente a los grifos.

Dentro de las pérdidas por conducción existen dos tipos:

- Pérdidas primarias: son las pérdidas causadas por el rozamiento del fluido con las paredes de las tuberías. Las pérdidas primarias se calculan de manera distinta si hay desprendimiento de la capa límite del agua, es decir, si el flujo es turbulento.
- Pérdidas secundarias: son las pérdidas que surgen por la inclusión de elementos como codos, bifurcaciones o válvulas en la red de tuberías. Al igual que las pérdidas primarias, estas dependen de la velocidad que lleva el fluido y de la forma del elemento (codos, “T”, etc.) que atraviesan.

Para calcular las pérdidas primarias se utiliza la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_{f1} = \frac{f \cdot L \cdot v^2}{D \cdot 2 \cdot g}$$

h_{f1} : pérdidas de carga primaria [m]

f: coeficiente de fricción de Darcy [-]

L: longitud de la tubería [m]

v: velocidad del fluido [m/s²]

D: diámetro de la tubería [m]

g: aceleración de gravedad [m/s²]

El coeficiente de fricción de Darcy se calcula de manera distinta dependiendo de si el flujo es laminar o turbulento. Para ello, se debe comprobar si el número de Reynolds es mayor de 2300 (turbulento) o menor (laminar).

En caso de que el flujo sea laminar, el coeficiente de fricción se calcula de la siguiente manera:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu}$$

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

Re: número de Reynolds [-]

d: diámetro de la tubería [m]

ρ : densidad, 998 [kg/m³]

μ : viscosidad dinámica, 1,002*10⁻³ [kg/m*s]

v: velocidad [m/s]

En el caso de esta instalación, el flujo es turbulento en todos los puntos. Para calcular el factor de fricción cuando el flujo es turbulento es necesario conocer, además de lo anterior, la rugosidad media (ϵ) del PE y el PVC. Una vez se tienen todos los datos, se calcula el coeficiente de la rugosidad media entre el diámetro de la tubería y, junto con el número de Reynolds, se entra en el diagrama de Moody para averiguar el factor de fricción.

$$\frac{\epsilon}{D} = 4,7 * 10^{-5}$$

ϵ : rugosidad media del PE, 0,0015 [mm].

D: diámetro de la tubería, 32 [mm].

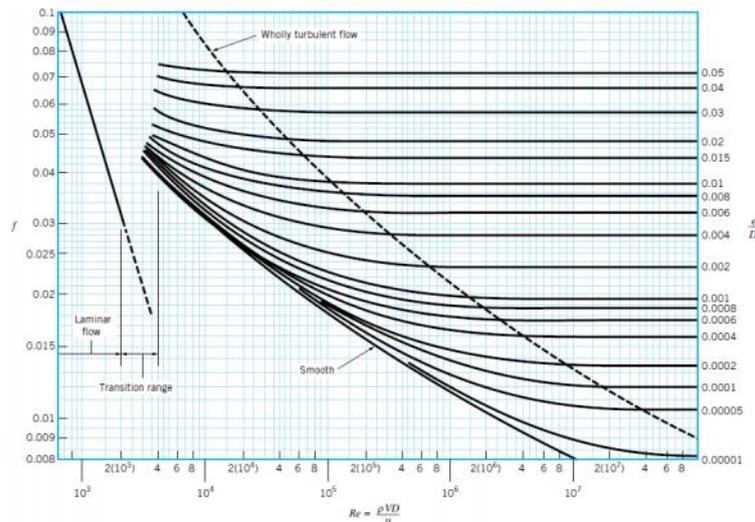


Ilustración 33: Diagrama de Moody. Fuente: Turbomáquinas – ICAI

También se puede utilizar la ecuación de Colebrook para calcular el factor de fricción cuando existe flujo turbulento. No se ha utilizado en este PFG por ser un proceso muy extenso frente al anteriormente explicado.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log \left[\frac{\epsilon}{3,71 D} + \frac{2,51}{Re * \sqrt{f}} \right]$$

En lo referente a las pérdidas de carga secundarias, existen distintos coeficientes de pérdida (k_i) para cada elemento. Asimismo, estas pérdidas incluyen también las

ocasionadas por la descarga del fluido al depósito y de las entradas a las tuberías. Se calculan según la siguiente expresión:

$$h_{f2} = \sum_i k_i \frac{v_i^2}{2 \cdot g}$$

h_{f2} : pérdidas de carga secundarias [m]

k_i : coeficiente tabulado de pérdida de carga [-]

v: velocidad del fluido [m/s]

g: aceleración de la gravedad, 9,81 [m/s²]

Existen tablas en las que se indica el valor del coeficiente k dependiendo del elemento que atraviesa el fluido. Por ejemplo, codos a 90°, codos en ángulo, bifurcaciones, etc.

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, 1/2 closed	0.26	
Gate, 1/3 closed	2.1	
Gate, 2/3 closed	17	
Swing check, forward flow	2	 Union
Swing check, backward flow	∞	
Ball valve, fully open	0.05	
Ball valve, 1/2 closed	5.5	
Ball valve, 2/3 closed	210	

Tabla 9: Coeficientes de pérdida de carga secundaria tabulados. Fuente: Mecánica de Fluidos - ICAI

De la misma forma, los valores para dicho coeficiente en caso de atravesar una válvula están tabulados en función del grado de apertura de la misma:

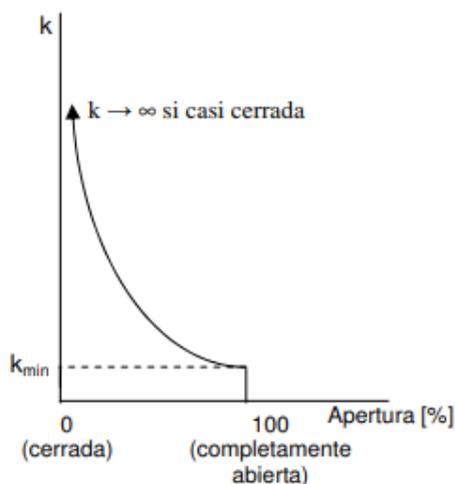


Tabla 10: Coeficiente de pérdida de carga secundaria para válvulas. Fuente: Mecánica de Fluidos – ICAI

Por último, las entradas y salidas de fluidos a las tuberías como por ejemplo las descargas a depósitos también suponen una pérdida de carga que se ve reflejada por medio de un coeficiente k :

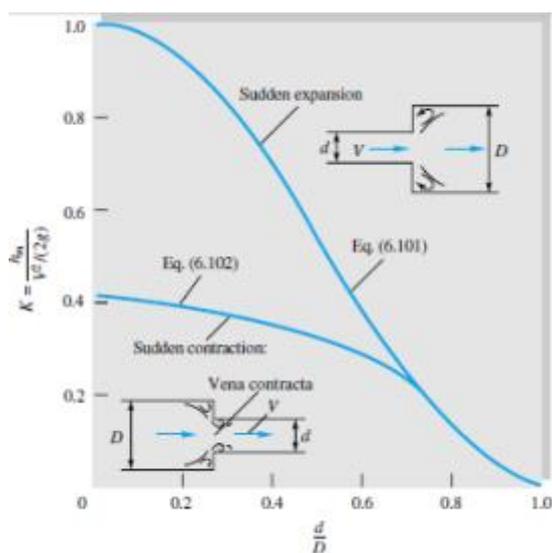


Tabla 11: Coeficiente de pérdida de carga secundaria a la entrada y salida de tubería. Fuente: Mecánica de Fluidos - ICAI

Sin embargo, en muchas ocasiones estos coeficientes de pérdida de carga secundaria se desprecian por resultar prácticamente insignificantes frente a las pérdidas de carga primaria, sobre todo en instalaciones con longitudes de tuberías muy grandes como es el caso de esta red.

10.5.1 Cálculo de las pérdidas

Para realizar los cálculos de las pérdidas de carga se divide la red de tubería en tres subsistemas: el primero, el conducto que lleva el agua desde los tanques hasta los grifos A y B (véase Ilustración 29), el segundo, la red de transporte que lleva el agua desde los tanques hasta los grifos C y D y el tercero, la tubería que va desde el pozo hasta los tanques.

Para ello se utilizarán recursos como la ecuación de Bernoulli o la ecuación de Darcy, en la que se incluirán los coeficientes de pérdida de carga secundaria.

$$\frac{p_a}{\rho \cdot g} + z_a + \frac{v_a^2}{2 \cdot g} + H_{\text{bomba}} - H_{\text{r-ext}} = \frac{p_b}{\rho \cdot g} + z_b + \frac{v_b^2}{2 \cdot g}$$

Siendo p_i la presión en un punto de la instalación, z_i la cota de ese punto, v_a la velocidad del fluido en el mismo punto, H_{bomba} la altura entregada por la bomba al fluido (en caso de que haya una bomba) y $H_{\text{r-ext}}$ la pérdida de carga (primaria y secundaria) por conducción.

10.5.1.1 Primer subsistema

Se estudiará el caso en el que ambos grifos (A y B) estén abiertos ya que este es el caso más desfavorable. El objetivo de este diseño es garantizar que el agua llega de los tanques a los grifos y que llega con una presión aceptable.

Para ello se tiene en cuenta el siguiente esquema (véase Ilustración 34) en el que se indican los puntos de especial interés:

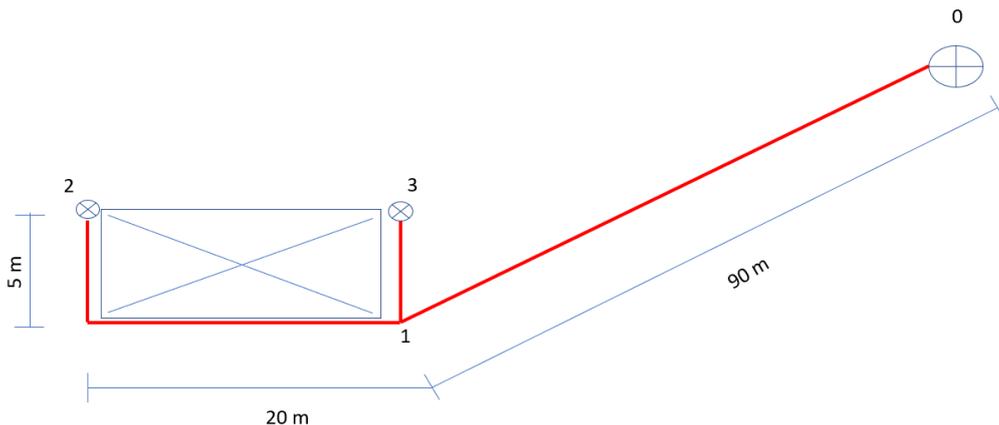


Ilustración 34: Esquema del primer subsistema (vista en planta). Fuente: Propia

Al tratarse de un sistema de tuberías ramificadas es necesario aplicar Bernoulli en los tramos 0-1, 1-2 y 1-3. Las incógnitas de dicho sistema de ecuaciones serán los caudales que circulan por cada tramo, la presión del agua en el punto 1 y la altura del depósito de

agua. Se tienen entonces un total de cinco incógnitas y tres ecuaciones. Sin embargo, el valor de la velocidad del tramo 1-2 se le impondrá ya que se busca que dicho valor sea aceptable (se elige la velocidad del tramo 1-2 en vez de la del tramo 1-3 ya que esta será menor). Por lo tanto, es necesario establecer una relación más. Esta relación será la que se infiera del supuesto que indica que el agua, a esa velocidad, es un fluido incompresible; esto significa que el caudal se conserva a lo largo de toda la instalación, incluso en las bifurcaciones. Conocidos los diámetros de las tuberías, esa relación de caudales se traduce en una relación de velocidades.

Reorganizando las ecuaciones ya comentadas se obtiene el siguiente sistema:

$$\frac{p_0 - p_1}{\rho * g} + z_0 - z_1 = h_{fm_{01}} \quad (1)$$

$$\frac{p_1 - p_2}{\rho * g} + z_1 - z_2 = h_{fm_{12}} \quad (2)$$

$$\frac{p_1 - p_3}{\rho * g} + z_1 - z_3 = h_{fm_{13}} \quad (3)$$

$$v_{01} = v_{12} + v_{13} \quad (4)$$

$$h_{fm_{ij}} = \left(f_{ij} * \frac{L_{ij}}{D} + k_{ij} \right) * \frac{(v_{ij})^2}{2 * g}$$

Donde $h_{fm_{ij}}$ son las pérdidas de carga totales en cada tramo, siendo p_0 , p_2 y p_3 igual a 0 por estar a presión ambiente y siendo z_2 y z_3 conocidos e igual a 0,84 metros y z_1 igual a 0 por estar al nivel del suelo

Nombrando f_{ij} el factor de fricción para ese tramo de la red, L_{ij} la longitud del tramo de tubería, k_{ij} el coeficiente de pérdidas de carga secundaria.

Un valor aceptable para la velocidad en el tramo v_{12} es 0,2 m/s. Con este valor, se calculan las pérdidas en el tramo 1-2 y, gracias a la ecuación 2, se averigua el valor de la presión en 1.

Una vez conocida la presión en 1, es necesario darle un valor inicial a f_{13} para poder iterar en la ecuación 3. Con este valor inicial se calcula v_3 y se comprueba (como se ha explicado en el apartado 10.5) si el valor dado al factor de fricción era correcto. Se repite el proceso (se itera) hasta obtener un resultado parejo.

Por último, averiguando la velocidad en el tramo 0-1, gracias a la ecuación 4, es posible conocer la altura a la que hay que colocar los depósitos para que el agua llega con la presión deseada (por medio de la ecuación 1).

Los resultados obtenidos para cada tramo después de iterar son los que se muestran a continuación:

Tramo	L	Σk	v	f	Re	Δz
0-1	90	1,8	0,67	0,026	21354,41	2,61
1-2	25	0,9	0,2	0,037	6374,45	0,84
1-3	5	1	0,47	0,027	15137,5	0,84

Tabla 12: resultados del primer subsistema. Fuente: Propia

Se puede apreciar en los resultados que la altura del tanque necesaria para que el agua llegue con la presión deseada es de 2,61 metros. Como ya se ha comentado, una vez allí, se encontró un sitio elevado donde colocar el tanque que abastecería al centro de formación profesional. La altura de dicho sitio con respecto al edificio es de 2,5 metros por lo que no es necesario colocar el tanque a mayor altura, quedando así la estructura construida a disposición del otro tanque.

10.5.1.2 Segundo subsistema

Como se ha indicado anteriormente, el segundo subsistema incluye los grifos C y D. Al punto en el que se bifurca la tubería para abastecer al grifo C y continuar hasta el grifo D se le llamará punto 5. Al punto de llegada al grifo C, se le llamará punto 6. Y al punto de llegada al grifo D, punto 7. En este caso, tanto el grifo C como el grifo D se encuentran a una distancia de los puntos 5 y 6 respectivamente de 2 metros. Asimismo, ambos se encuentran a una altura de 0,84 m sobre el nivel del suelo para que resulte más cómoda la instalación de los grifos y su posterior utilización.

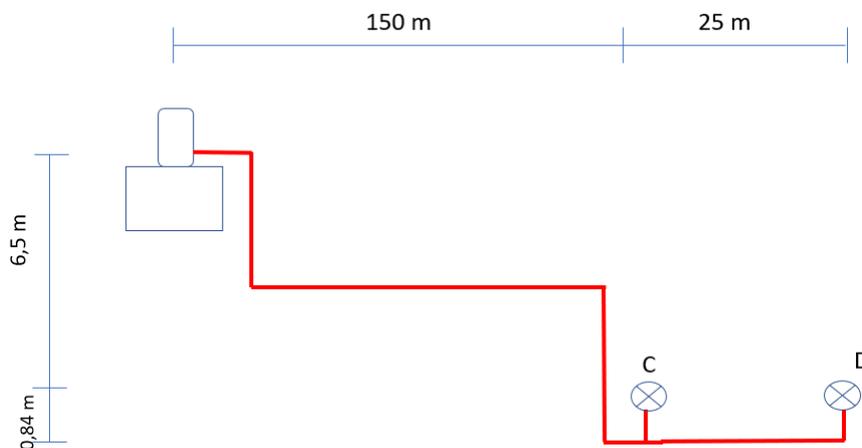


Ilustración 35: Esquema del segundo subsistema. Fuente: Propia

De nuevo, se trata de un sistema de tuberías ramificadas. En este caso, es necesario que la velocidad de salida del agua en el grifo C (grifo que se va a utilizar para regadío) esté entre 0,7 y 1 m/s.

El proceso de cálculo es similar al explicado en el apartado 10.5.1.1, se utilizarán las ecuaciones de Bernoulli y la ley de conservación del gasto másico y del agua como fluido incompresible (la ecuación número 4).

<i>Tramo</i>	<i>L</i>	Σk	<i>v</i>	<i>f</i>	<i>Re</i>	Δz
0-5	150	1,8	1.31	0,022	41898,2	10,2
5-6	2	0,9	1.014	0,023	32336,52	0,84
5-7	27	1	0,3	0,0305	9561,68	0,84

Tabla 13: Resultados de la primera iteración del segundo subsistema. Fuente: Propia

En un primer intento, se establece que la velocidad de llegada al grifo D debe ser de 0,3 m/s. Sin embargo, la velocidad de llegada al grifo de regadío (C) es notablemente superior a lo establecido y la altura a la que deben situarse los tanques es un poco grande.

Se procede a una segunda iteración en la que se dará un valor de partida a la velocidad 5-7 de 0,25 m/s. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

<i>Tramo</i>	<i>L</i>	Σk	<i>v</i>	<i>f</i>	<i>Re</i>	Δz
0-5	150	1,8	1,1	0,022	35184,18	7,45
5-6	2	0,9	0,85	0,024	27216,12	0,84
5-7	27	1	0,25	0,032	7968,06	0,84

Tabla 14: Resultados de la segunda iteración del segundo subsistema. Fuente: Propia

A la luz de los resultados obtenidos, el valor de 0,25 m/s para la velocidad 5-7 es el valor perfecto. La velocidad del tramo 5-6 toma un valor que se encuentra dentro de los límites previamente establecidos y la cota a la que deben situarse los tanques es adecuada.

Aprovechando el desnivel sobre el que se van a poner los tanques, la estructura tan solo deberá medir 2 metros. El terreno sobre el que se va a construir dicha estructura está 5,34 metros por encima de la cota 0 (establecida en el suelo sobre el que van los grifos).

10.5.1.3 Tercer subsistema

Finalmente, el tercer subsistema es el compuesto por la tubería que va desde el pozo hasta los tanques. En este caso, se cogerá como cota superior (la altura de los tanques) la del tanque colocado en la estructura ya que es la más desfavorable. Conocido el caudal de la bomba (del que se sacará la velocidad), y la altura de los tanques, calcularemos de este modo la altura que debe dar la bomba.

La diferencia de cota entre el pozo y la parte alta de los tanques es de 45,5 metros (véase Ilustración 28). Este cálculo incluye la profundidad del pozo (40 metros) y la altura a la que están situados los tanques (5,5 metros). Aplicando Bernoulli entre el nivel freático (punto 8) y los tanques (punto 0), se puede calcular la altura que debe dar la bomba.

$$\frac{p_8}{\rho * g} + z_8 - h_{f_{m_{08}}} + H_{bomba} = \frac{p_0}{\rho * g} + z_0$$

$$H_{bomba} = (40 + 5,5) + \left(0,028 * \frac{190}{32 * 10^{-3}} + 3 * 0,9\right) * \frac{0,41^2}{2 * 9,81} = 46,95 [m]$$

Para el cálculo de las pérdidas totales se han seguido los pasos explicados en el punto 10.5 para flujo turbulento.

Una vez se ha calculado la altura que debe dar la bomba, es posible obtener la potencia requerida por esta y, aplicando los rendimientos pertinentes, averiguar la potencia eléctrica que el sistema de bombeo necesita.

$$P_u = Q * \rho * g * H_{bomba} = 153,22 [W]$$

$$P = \frac{P_u}{\eta_{total}} = \frac{153,22}{0,8 * 0,9} = 212,8 (W)$$

11. ACCIONAMIENTO SOLAR

Si bien una parte importante de este proyecto es la alimentación eléctrica, los cálculos relativos al diseño de la instalación solar fotovoltaica están fuera del alcance del presente PFG. Dichos cálculos pertenecen a un PFG estrechamente ligado a este, el PFG del alumno Ignacio Moldenhauer. La implantación de ambos proyectos se ha llevado a cabo durante el verano de 2019, trabajando codo con codo junto con dos colaboradores de la zona, un fontanero y un electricista.

Sin embargo, aquí se recogen los resultados fruto del estudio del citado alumno. Para alimentar a la bomba son necesarios tres paneles fotovoltaicos de 12 V cada uno que juntos suministren una potencia de 210 W.



Ilustración 36: Conjunto de tres paneles solares. Fuente: monsolar.com

Por lo tanto, estos tres paneles se conectarán en serie y se encargarán de dar electricidad durante el tiempo necesario para que los tanques se llenen.

A través de una caja de control, la alimentación llegará a la bomba. Los paneles deben alimentar, además, a los sensores de capacidad instalados. Estos constituyen los elementos de seguridad necesarios para que la bomba no trabaje en vacío. Los sensores de nivel van conectados a la caja de control haciendo que el sistema se pare y se vuelva a reanudar cuando haya agua suficiente en el acuífero.

12. EL POZO

Hay que darle especial importancia a no secar el pozo, es decir, no sobrepasar la capacidad de regeneración que este tenga. Esto podría estropear la bomba por acumulación de sedimentos o por cavitación en caso de que no quede agua.

El pozo construido, según la empresa de perforación, tiene agua desde 3 metros hasta 40 metros de profundidad. Lo que significa que es un pozo con suficiente agua para cumplir con las expectativas. Además, según información de la citada empresa, es un pozo con una regeneración bastante ágil por lo que no debería dar ningún problema.

Sin embargo, existen elementos de seguridad que evitarán daños mayores en la instalación en caso de que esta información no sea cierta.

CAPITULO III: ESTUDIO ECONÓMICO

CONTENIDO CAPÍTULO 3: ESTUDIO ECONÓMICO

13. RENTABILIDAD.....	67
14. FIABILIDAD	69

En este tercer capítulo se estudiará la fiabilidad, la rentabilidad y el interés económico del proyecto.

13. RENTABILIDAD

Desde el punto de vista económico, es innegable que se trata de un proyecto rentable ya que carece de inversión inicial al ser un proyecto de carácter benéfico. Además, el objetivo de este PFG (y del resto de Proyectos con los que se ha colaborado) es reportar un beneficio económico y social a los usuarios de la instalación.

Es necesario saber cómo se consigue la inversión inicial, de dónde sale ese dinero y qué gastos ha tenido. Al tratarse de un proyecto benéfico, todo el dinero proviene de donaciones, financiación social. El autor del presente PFG ha colaborado con otros compañeros de la Escuela y con la directora de la ONG Child Future Africa, Miren Tellería, para conseguir dicha inversión creando “ProjectZimbabwe”.



Ilustración 37: Logo de Project Zimbabwe. Fuente: Propia

Esta iniciativa ha contado con numerosos eventos a lo largo del año en los que se ha recaudado dinero para ocho proyectos. Además, se han conseguido donaciones de empresas que han supuesto un gran impulso y han ayudado a hacerlo realidad. Se muestran a continuación algunas de las actividades desarrolladas:



Ilustración 38: Cartel de fiesta benéfica. Fuente: Propia



Ilustración 39: Cartel de Mercadillo solidario. Fuente: Propia



Ilustración 40: Boleto de rifa benéfica. Fuente: Propia



Ilustración 41: Ejemplo de merchandising. Fuente: Propia

Por último, se debe comprobar si el mantenimiento de la instalación resulta rentable o su coste es demasiado elevado. El difícil acceso de los habitantes y técnicos de la zona a un mercado de repuestos encarece el precio del mantenimiento. Sin embargo, se ha procedido a la formación del personal beneficiario con el objetivo de reducir el riesgo de posibles fallos del sistema y de alargar su vida útil.

A la vista de los resultados obtenidos, se puede afirmar que el estudio de la rentabilidad resulta satisfactorio.

14. FIABILIDAD

El primer objetivo de este proyecto era buscar una solución sostenible a un problema real, es decir, una solución cuya vida útil sea lo más larga posible. Para ello, es necesario que en caso de avería se dispongan de los recambios indicados y que los usuarios sean capaces de reparar dicho fallo.

Además, para asegurar que el tiempo de vida útil no se rebaja, se han sobredimensionado todas las medidas. De este modo, el proyecto durará el máximo tiempo posible sin tener que realizar ningún trabajo de reparación.

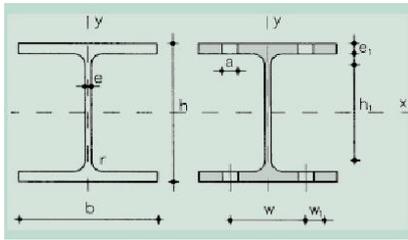
Por último, las medidas de mantenimiento necesarias se incluyen en el apartado 6 de esta memoria. De este modo el tiempo de funcionamiento de la instalación y su fiabilidad económica dependerán del compromiso del usuario con la puesta a punto de los equipos.

CAPÍTULO IV: ANEXOS

CONTENIDO CAPÍTULO 4: ANEXOS

ANEXO A: PRONTUARIO DE PERFILES LAMINADOS	75
BIBLIOGRAFÍA	77
Zimbabue.....	77
ONG	77
Bombas y Aguas:	77
Instalación solar:	78

ANEXO A: PRONTUARIO DE PERFILES LAMINADOS



A = Área de la sección
 S_x = Momento estático de media sección, respecto a X
 I_x = Momento de inercia de la sección, respecto a X
 $W_x = 2I_x / h$: Módulo resistente de la sección, respecto a X
 $i_x = \sqrt{I_x / A}$: Radio de giro de la sección, respecto a X
 I_y = Momento de inercia de la sección, respecto a Y
 $W_y = 2I_y / b$: Módulo resistente de la sección, respecto a Y
 $i_y = \sqrt{I_y / A}$: Radio de giro de la sección, respecto a Y
 I_t = Módulo de torsión de la sección
 I_p = Módulo de alabeo de la sección
 u = Perímetro de la sección
 a = Diámetro del agujero del roblón normal
 w = Gramil, distancia entre ejes de agujeros
 h_1 = Altura de la parte plana del alma
 ρ = Peso por m

Perfil	Dimensiones							Términos de sección										Agujeros			Peso	
	h mm	b mm	e mm	e_1 mm	r_1 mm	h_1 mm	u mm	A cm ²	S_x cm ³	I_x cm ⁴	W_x cm ³	i_x cm	I_y cm ⁴	W_y cm ³	i_y cm	I_t cm ⁴	I_p cm ⁶	w mm	w_1 mm	a mm		ρ kp/m
HEB 100	100	100	6,0	10,0	12	56	567	26,0	52,1	450	90	4,16	167	33	2,53	9,34	3.375	55	—	13	20,4	P
HEB 120	120	120	6,5	11,0	12	74	686	34,0	82,6	864	144	5,04	318	53	3,06	14,90	9.410	65	—	17	26,7	P
HEB 140	140	140	7,0	12,0	12	92	805	43,0	123,0	1.509	216	5,93	550	79	3,58	22,50	22.480	75	—	21	33,7	P
HEB 160	160	160	8,0	13,0	15	104	918	54,3	177,0	2.492	311	6,78	889	111	4,05	33,20	47.940	85	—	23	42,6	P
HEB 180	180	180	8,5	14,0	15	122	1.040	65,3	241,0	3.831	426	7,66	1.363	151	4,57	46,50	93.750	100	—	25	51,2	P
HEB 200	200	200	9,0	15,0	18	134	1.150	78,1	321,0	5.696	570	8,54	2.003	200	5,07	63,40	171.100	110	—	25	61,3	P
HEB 220	220	220	9,5	16,0	18	152	1.270	91,0	414,0	8.091	736	9,43	2.843	258	5,59	84,40	295.400	120	—	25	71,5	P
HEB 240	240	240	10,0	17,0	21	164	1.380	106,0	527,0	11.259	938	10,30	3.923	327	6,08	110,00	486.900	90	35	25	83,2	P
HEB 260	260	260	10,0	17,5	24	177	1.500	118,4	641,0	14.919	1.150	11,20	5.135	395	6,58	130,00	753.700	100	40	25	93,0	P
HEB 280	280	280	10,5	18,0	24	196	1.620	131,4	767,0	19.270	1.380	12,10	6.595	471	7,09	153,00	1.130.000	110	45	25	103,0	P
HEB 300	300	300	11,0	19,0	27	208	1.730	149,1	934,0	25.166	1.680	13,00	8.563	571	7,58	192,00	1.688.000	120	50	25	117,0	P
HEB 320	320	300	11,5	20,5	27	225	1.770	161,3	1.070,0	30.823	1.930	13,80	9.239	616	7,57	241,00	2.069.000	120	50	25	127,0	P
HEB 340	340	300	12,0	21,5	27	243	1.810	170,9	1.200,0	36.656	2.160	14,60	9.690	646	7,53	278,00	2.454.000	120	50	25	134,0	P
HEB 360	300	300	12,5	22,5	27	261	1.850	180,6	1.340,0	43.193	2.400	15,50	10.140	676	7,49	320,00	2.883.000	120	50	25	142,0	P
HEB 400	400	300	13,5	24,0	27	298	1.930	197,8	1.620,0	57.680	2.880	17,10	10.819	721	7,40	394,00	3.817.000	120	50	25	155,0	P
HEB 450	450	300	14,0	26,0	27	344	2.030	218,0	1.990,0	79.887	3.550	19,10	11.721	781	7,33	500,00	5.258.000	120	50	25	171,0	P
HEB 500	500	300	14,5	28,0	27	390	2.120	238,6	2.410,0	107.176	4.290	21,20	12.624	842	7,27	625,00	7.018.000	120	45	28	187,0	C
HEB 550	550	300	15,0	29,0	27	438	2.220	254,1	2.800,0	136.691	4.970	23,20	13.077	872	7,17	701,00	8.564.000	120	45	28	199,0	C
HEB 600	600	300	15,5	30,0	27	486	2.320	270,0	3.210,0	171.041	5.700	25,20	13.530	902	7,08	783,00	10.965.000	120	45	28	212,0	C
HEA 100	96	100	5,0	8,0	12	56	561	21,2	41,5	349	73	4,06	134	27	2,51	4,83	2.581	55	—	13	16,7	C
HEA 120	114	120	5,0	8,0	12	74	677	25,3	59,7	606	106	4,89	231	38	3,02	5,81	6.472	65	—	17	19,9	C
HEA 140	133	140	5,5	8,5	12	92	794	31,4	86,7	1.033	155	5,73	389	56	3,52	8,22	15.060	75	—	21	24,7	C
HEA 150	152	160	6,0	9,0	15	104	906	38,8	123,0	1.673	220	6,57	616	77	3,98	11,30	31.410	85	—	23	30,4	C
HEA 180	171	180	6,0	9,5	15	122	1020	45,3	162,0	2.510	294	7,45	925	103	4,52	14,70	60.210	100	—	25	35,5	C
HEA 200	190	200	6,5	10,0	18	134	1140	53,8	215,0	3.692	389	8,28	1.336	134	4,98	19,20	108.000	110	—	25	42,3	C
HEA 220	210	220	7,0	11,0	18	152	1260	64,3	284,0	5.410	515	9,17	1.955	178	5,51	28,00	193.300	120	—	25	50,5	C
HEA 240	230	240	7,5	12,0	21	164	1370	76,8	372,0	7.763	675	10,10	2.769	231	6,00	39,40	328.500	90	35	25	60,3	C
HEA 260	250	260	7,5	12,5	24	177	1480	86,8	460,0	10.455	836	11,00	3.668	282	6,50	47,80	516.400	100	40	25	68,2	C
HEA 280	270	280	8,0	13,0	24	196	1600	97,3	556,0	13.673	1.010	11,90	4.763	340	7,00	58,30	785.400	110	45	25	76,4	C
HEA 300	290	300	8,5	14,0	27	208	1720	112,5	692,0	18.263	1.260	12,70	6.310	421	7,49	77,70	1.200.000	120	50	25	88,3	C
HEA 320	310	300	9,0	15,5	27	225	1760	124,4	814,0	22.928	1.480	13,60	6.985	466	7,49	105,00	1.512.000	120	50	25	97,6	C
HEA 340	330	300	9,5	16,5	27	243	1790	133,5	925,0	27.693	1.680	14,40	7.436	496	7,46	127,00	1.824.000	120	50	25	105,0	C
HEA 360	350	300	10,0	17,5	27	261	1830	142,8	1.040,0	33.090	1.890	15,20	7.887	526	7,43	152,00	2.177.000	120	50	25	112,0	C
HEA 400	390	300	11,0	19,0	27	298	1910	159,0	1.280,0	45.069	2.310	16,80	8.564	571	7,34	197,00	2.942.000	120	50	25	125,0	C
HEA 450	440	300	11,5	21,0	27	344	2010	178,0	1.610,0	63.722	2.900	18,90	9.465	631	7,29	265,00	4.148.000	120	50	25	140,0	C
HEA 500	490	300	12,0	23,0	27	390	2110	197,5	1.970,0	86.975	3.550	21,00	10.367	691	7,24	347,00	5.643.000	120	45	28	155,0	C
HEA 550	540	300	12,5	24,0	27	438	2210	211,8	2.310,0	111.932	4.150	23,00	10.819	721	7,15	398,00	7.189.000	120	45	28	166,0	C
HEA 600	590	300	13,0	25,0	27	486	2310	226,5	2.680,0	141.208	4.790	25,00	11.271	751	7,05	454,00	8.978.000	120	45	28	178,0	C

(continúa)

Tabla 2.A1.3. Perfiles HEB, HEA y HEM

Perfil	Dimensiones								Términos de sección										Agujeros			Peso	
	h mm	b mm	e mm	e_1 mm	r_1 mm	h_1 mm	u mm	A cm ²	S_x cm ³	I_x cm ⁴	W_x cm ³	i_x cm	I_y cm ⁴	W_y cm ³	i_y cm	I_z cm ⁴	I_p cm ⁶	w mm	w_1 mm	a mm	p kp/m		
HEM 100	120	106	12,0	20,0	12	56	619	53,2	118,0	1.143	190	4,63	399	75	2,74	78,90	9.925	55	—	13	41,8	C	
HEM 120	140	126	12,5	21,0	12	74	738	66,4	175,0	2.018	288	5,51	703	112	3,25	109,00	24.790	65	—	17	52,1	C	
HEM 140	160	146	13,0	22,0	12	92	835	80,6	247,0	3.291	411	6,39	1.144	157	3,77	145,00	54.330	73	—	21	63,2	C	
HEM 160	180	166	14,0	23,0	15	104	970	97,1	337,0	5.098	566	7,25	1.759	212	4,26	190,00	108.100	85	—	23	76,2	C	
HEM 180	200	186	14,5	24,0	15	122	1.090	113,3	442,0	7.483	748	8,13	2.580	277	4,77	241,00	199.300	95	—	25	88,9	C	
HEM 200	220	206	15,0	25,0	18	134	1.200	131,3	568,0	10.620	967	9,00	3.651	354	5,27	301,00	346.300	105	—	25	103,0	C	
HEM 220	240	226	15,5	26,0	18	152	1.320	149,4	710,0	14.605	1.220	9,89	5.012	444	5,79	372,00	572.700	115	—	25	117,0	C	
HEM 240	270	248	18,0	32,0	21	164	1.460	199,6	1.060,0	24.289	1.800	11,00	8.153	657	6,39	751,00	1.152.000	90	35	25	157,0	C	
HEM 260	290	268	18,0	32,5	24	177	1.570	219,6	1.260,0	31.307	2.160	11,90	10.449	780	6,90	848,00	1.728.000	100	40	25	172,0	C	
HEM 280	310	288	18,5	33,0	24	196	1.690	240,2	1.480,0	39.547	2.550	12,80	13.163	914	7,40	957,00	2.520.000	110	45	25	189,0	C	
HEM 300	320	305	16,0	29,0	27	208	1.780	225,1	1.460,0	40.951	2.560	13,50	13.736	901	7,81	686,00	2.903.000	120	50	25	177,0	C	
HEM 300	340	310	21,0	39,0	27	208	1.830	303,1	2.040,0	59.201	3.480	14,00	19.403	1.252	8,00	1.690,00	4.386.000	120	50	25	238,0	C	
HEM 320	359	309	21,0	40,0	27	225	1.870	312,0	2.220,0	68.135	3.800	14,80	19.709	1.280	7,95	1.810,00	5.004.000	120	50	25	245,0	C	
HEM 340	377	309	21,0	40,0	27	243	1.900	315,8	2.360,0	76.372	4.050	15,60	19.711	1.280	7,90	1.820,00	5.585.000	120	50	25	248,0	C	
HEM 360	395	308	21,0	40,0	27	261	1.930	318,8	2.490,0	84.867	4.300	16,30	19.522	1.270	7,83	1.820,00	6.137.000	120	50	25	250,0	C	
HEM 400	432	307	21,0	40,0	27	298	2.000	325,8	2.790,0	104.119	4.820	17,90	19.335	1.260	7,70	1.830,00	7.410.000	120	50	25	256,0	C	
HEM 450	478	307	21,0	40,0	27	344	2.100	335,4	3.170,0	131.484	5.500	19,80	19.339	1.260	7,59	1.850,00	9.252.000	120	50	25	263,0	C	
HEM 500	524	306	21,0	40,0	27	390	2.180	344,3	3.550,0	161.929	6.180	21,70	19.155	1.250	7,46	1.860,00	11.187.000	120	50	28	270,0	C	
HEM 550	572	306	21,0	40,0	27	438	2.280	354,4	3.970,0	197.984	6.920	23,60	19.158	1.250	7,35	1.880,00	13.516.000	120	50	28	278,0	C	
HEM 600	620	305	21,0	40,0	27	486	2.370	363,7	4.390,0	237.447	7.660	25,60	18.975	1.240	7,22	1.890,00	15.908.000	120	50	28	285,0	C	

BIBLIOGRAFÍA

Zimbabue:

África Fundación Sur: <http://www.africafundacion.org/spip.php?article21545>

BBC Weather. Conditions Harare, Zimbabwe: <https://www.bbc.com/weather/890299>

World Weather Information Service, Harare:
<http://worldweather.wmo.int/en/city.html?cityId=263>

<http://www.solidaritat.ub.edu/observatori/esp/dossiers/zimbabwe/zimbabue.htm>

ONG: <http://childfutureafrica.org/>

Fundación de Ingenieros de ICAI para el desarrollo: <https://fundacioningenierosicai.org/>

[Eurocode 3 facilitado por la Universidad Pontificia de Comillas-ICAI](#)

Bombas y Aguas:

Grundfos: <https://es.grundfos.com/>

Centro de Demostración y Captación de tecnologías Apropriadas, CEDECAP:
<http://www.cedecap.org.pe/>

Organización de las Naciones Unidas para la alimentación:
<http://www.fao.org/3/i3247s/i3247s.pdf>

Sol i Clima: <https://www.soliclimate.es/aguas-pluviales>

Leroy Merlín, tuberías:
http://www.leroymerlin.es/productos/fontaneria_y_tratamiento_del_agua/alimentacion_de_agua/tuberias_de_cobre/como-elegir-tuberias.html

Fundación COTEC para la innovación tecnológica:
http://informecotec.es/media/N06_Tub_Polietil_H2O_Pot.pdf

Hidráulica fácil: <https://www.hidraulicafacil.com/2017/07/perdida-de-carga-localizada-o-en.html>

Bibing: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5091/fichero/5+-+P%+C3%89RDIDAS+DE+CARGA+EN+REDES+HIDR%C3%81ULICAS.pdf>

Aquamor, “The Zimbabwe Bush Pump”:
http://aquamor.info/uploads/3/4/2/5/34257237/bush_pump_manual.original.pdf

Rural Water Supply: <https://www.rural-water-supply.net/en/implementation/public-domain-handpumps/bush-pump> https://www.rural-water-supply.net/_ressources/documents/default/BUSH-Pump_Specifications_Ed-2004.pdf

Electrobombas: <https://www.electrobombas.es/bombas-de-agua-para-pozos/663375-bomba-de-4-pulgadas-gcm-f-8-60.html>

Instalación solar:

Schneider Electric: <https://www.se.com/es/es/work/insights/bankability-is-not-optional-for-solar.jsp>

DOCUMENTO II: PRESUPUESTO

CAPÍTULO II: PRESUPUESTO GENERAL

CONTENIDO CAPÍTULO I: PRESUPUESTO GENERAL

PRESUPUESTO GENERAL..... 85

PRESUPUESTO GENERAL

	ELEMENTO	MODELO	PRECIO UNITARIO	UNIDADES	PRECIO TOTAL
ESTACIÓN DE BOMBEO SOLAR	Panel fotovoltaico (12 V)		90	3	270
	Bomba sumergible 36 V (210 W)		155	1	155
	Control box		140	1	140
	Sonda de nivel		65	1	65
	Cableado		2,6 \$/m	50	130
RED DE CAPTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN	HD C10 32 mm pipe - 100m		95,61	3	286,83
	HD C10 50 mm pipe - 6m		13,70	4	54,79
	Thread tape		0,22	3	0,65
	Ball cock 1 1/2		16,07	1	16,07
	G elbow	f/f 3/4	1,12	1	1,12
	G pipe	3/4 per 10cm	0,46	60	27,60
	PVC elbow	25 x 3/4	0,50	1	0,50
	PVC elbow	25	0,27	1	0,27
	PVC pipe	C16 25mm	0,78	6	4,67
	PVC reducer	50 - 25	0,48	1	0,48
	PVC elbow	50	1,22	1	1,22
	PVC male	50 X 1 1/2	0,87	3	2,60
	HD elbow	32	2,75	2	5,49
	HD elbow	50	6,72	1	6,72
	PVC pipe	C16 50mm	2,00	6	12,02
	Jumbo Tank	5000 l	487,18	1	487,18
	Solvent 200ml		4,59	1	4,59
	PVC ball valve 32		2,89	1	2,89
	PVC equal t 32		1,21	2	2,42
	Garden tap		23,41	4	93,64
	MANO DE OBRA Y TRANSPORTE	Cementación estructura		60,00	1
Instalación bomba			300,00	1	300,00
Transporte			250,00	1	250,00
PRESUPUESTO TOTAL DEL PROYECTO					2381,77 \$