



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA
Especialidad Mecánica

SISTEMA DE REGADÍO SOSTENIBLE PARA PEQUEÑA PLANTACIÓN EN ZIMBABUE

Autor: Beatriz Marín Alcalá

Director: Miren Tellería Ajuriaguerra

Madrid

Junio 2018

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

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

El autor D. **Beatriz Marín Alcalá**

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: **“SISTEMA DE REGADÍO SOSTENIBLE PARA PEQUEÑA PLANTACIÓN 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.

El autor se compromete a:

- #### **6°. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.**

- 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.

ACCEPTA

Fdo. ZM

--

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
“SISTEMA DE REGADÍO SOSTENIBLE PARA PEQUEÑA PLANTACIÓN EN ZIMBABUE”
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2017/2018
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.: Beatriz Marín Alcalá

Fecha: 27/06/2018

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Miren Telleria Ajuriaguerra

Fecha: 27/06/2018

78936806 IL



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA
Especialidad Mecánica

SISTEMA DE REGADÍO SOSTENIBLE PARA PEQUEÑA PLANTACIÓN EN ZIMBABUE

Autor: Beatriz Marín Alcalá

Director: Miren Tellería Ajuriaguerra

Madrid

Junio 2018

SISTEMA DE REGADÍO SOSTENIBLE PARA PEQUEÑA PLANTACIÓN EN ZIMBABUE

Autor: Beatriz Marín Alcalá

Director: Miren Tellería Ajuriaguerra

Entidad Colaboradora: ICAI - Universidad Pontificia Comillas

En el presente Proyecto de Fin de Grado (PFG) se busca dar respuesta a la problemática del acceso al agua en la zona rural de Mount Darwin, situada al noreste de la capital zimbabuense: Harare.

Buscando realizar un proyecto significativo, más allá de un mero trámite en aras de obtener el título, el autor decidió colaborar con la Fundación de Ingenieros del ICAI para el desarrollo. A raíz de analizar las propuestas de la Fundación de esta Escuela surge el presente PFG. En este se plantea una posible solución a la situación insostenible del orfanato de la ONG Child Future Africa (CFA).

El número de niños acogidos en esta “orfarm”, en su mayoría huérfanos del VIH y cólera, se ha visto mermado en los últimos años como resultado de la ineficiente producción de la plantación.

El objeto de este Proyecto de Fin de Grado es proveer de agua a la pequeña plantación de cuatro hectáreas del orfanato para aumentar la producción. Se quieren generar excedentes de modo que, una vez satisfechas las necesidades alimenticias de los huéspedes del orfanato, éste tenga una fuente de ingresos que le dé la estabilidad que no le garantiza su actual condición como donor-dependiente.

Todas las decisiones tomadas a lo largo del diseño han tenido presente el objetivo de la minimización del coste del proyecto debido a la fuerte limitación de presupuesto. Otros factores decisivos han sido la simplicidad de la instalación para la comprensión del funcionamiento por parte del usuario y la complicada accesibilidad y capacidad de compra de futuros recambios o contratación de mano de obra especializada para la reparación.

A continuación, se expone brevemente el proceso que se ha seguido a lo largo del desarrollo del proyecto

En primera instancia se han analizado las circunstancias socioculturales. Se considera imprescindible para el correcto desarrollo del proyecto el comprender las circunstancias en que este se va a desarrollar. Sólo comprendiendo la situación actual de los beneficiarios se podrá desarrollar una propuesta eficaz como solución al problema.

De manera análoga, se han estudiado las condiciones climáticas. En este caso resultan de especial relevancia por las características del proyecto: se quiere dar una solución energética y económicamente viable para el regadío de la plantación del orfanato. Es por ello imprescindible que las condiciones climatológicas del emplazamiento sean favorables en lo que a la solución planteada respecta. Tras analizar diferentes alternativas aplicadas en casos reales de similar naturaleza al caso planteado en este PFG, se opta por diseñar un sistema de regadío solar.

Accionando una bomba con unos módulos fotovoltaicos se elevará el agua hasta unos depósitos elevados desde los que se regará por gravedad.

Para poder clasificar el proyecto como exitoso, se considera imprescindible que los beneficiarios se familiaricen con el funcionamiento básico de los equipos y con las actividades requeridas para el mantenimiento de los mismos. Con este fin se exponen los posibles factores de fallo de la instalación para que resulte más fácil identificarlos previamente a la aparición del fallo.

Este PFG se llevará a cabo durante los meses de verano de julio y agosto. Se han planteado posibles ampliaciones a ejecutar en caso de tener el tiempo y los recursos necesarios para ello. Asimismo, se exponen diferentes alternativas contempladas, de modo que se tengan más opciones por si no fuere posible por diferentes circunstancias llevar adelante la opción preferida.

Una vez han quedado definidas las diferentes partes que componen el proyecto y los puntos débiles de la instalación (de los que hay que estar vigilantes para alargar la vida útil de esta), se procede a estudiar las necesidades concretas del proyecto: el caudal de agua requerido. Se estima una necesidad diaria de **10 m³** para las cuatro hectáreas a explotar. Nótese que este caudal es susceptible de ser aumentado, y poder así ampliar el terreno de cultivo. Dicho incremento se efectuará en función de las conclusiones elaboradas a la luz del estudio del pozo, más adelante descrito.

Identificado el objetivo de abastecimiento, se desarrollan los cálculos necesarios para el dimensionamiento de los elementos del proyecto:

El tanque: El tanque elevado desde el que se regará por acción de la gravedad tiene una dimensión máxima de 5 m³, por limitaciones del mercado local. Se instalarán dos depósitos que se situarán próximos a la fuente de donde se obtendrá el agua para minimizar las pérdidas de carga de la conducción. En el supuesto de que el caudal disponible sea mayor que 10 m³, se construirán tanques de obra.

Las estructuras: Se reflejan en este PFG los cálculos realizados para determinar que, tomando perfiles de vigas del acero más común (S235), un perfil HEB100 resulta suficiente. Asimismo, las cargas desfavorables debidas al viento pueden considerarse despreciables. Como elemento de seguridad se introducirán unos tirantes en la estructura. Según los cálculos propuestos, la estructura está algo sobredimensionada a conciencia. Se quiere garantizar que la estructura no colapse por fallo de pandeo.

La estación de bombeo: La estación de bombeo cuenta con una cámara reguladora (el propio pozo), la bomba, y los elementos de la conducción: tuberías, válvulas, y goteros o emisores.

La **bomba** será una de accionamiento con corriente continua y potencial de **24 V**. Así, es posible ponerla en funcionamiento sin necesidad de instalar un inversor, que sería necesario si la bomba fuere trifásica.

La red de **tuberías** se ha dimensionado de manera que se optimicen las pérdidas hidráulicas generadas por el rozamiento del fluido conducido. Se detallan en el documento de cálculos los pasos seguidos para dimensionar los diámetros consecuentemente. Se escoge el material de las mismas por sus buenas propiedades físicas y su resistencia a la corrosión y condiciones ambientales adversas: **polietileno**. Dado que la instalación será superficial (soterrar las tuberías supondría una tremenda dificultad para identificar el punto de fallo en caso de producirse fugas además de encarecer el proyecto innecesariamente, pues no se trata de una zona de tránsito de vehículos por lo que es prescindible el soterrar las tuberías.

Se instalarán dos módulos fotovoltaicos conectados en paralelo de manera que suministren una potencia mínima de **411,76W**. Así, se podrá accionar la bomba de unos **300 W** que se requiere para elevar el caudal requerido los **41 m** de altura calculados (de los cuales, 38 corresponden a la profundidad del pozo y 3 a la elevación desde la boca del pozo).

La dimensión del pozo es un factor crítico en el dimensionamiento de la bomba, pues se han de respetar las dimensiones relativas de diámetros recomendadas para no generar fuertes turbulencias que incurrirían en graves pérdidas. Se llevan a cabo cálculos de Mecánica de Fluidos para determinar el régimen del agua en el pozo y ajustar los parámetros necesarios para evitar las turbulencias mencionadas. Asimismo, dependerá de la capacidad de regeneración del pozo el **caudal disponible** a extraer para explotar la plantación: se hará un estudio del pozo en primera instancia, tal y como se detalla en el presente PFG, para poder determinar el caudal máximo disponible. En función de los resultados obtenidos, en función de lo que difieran de los **10 m³**, se realizarán los pertinentes ajustes en el resto de la instalación.

En el estudio económico realizado se pone en valor la decisión tomada de emplear una bomba de CC con respecto a CA por el elevado coste que supondría la segunda elección. Además, se analiza la viabilidad del proyecto. Para ello se estudian en detalle dos requisitos indispensables para determinar si el proyecto es efectivamente viable: la rentabilidad económica y la fiabilidad de este.

El estudio de sostenibilidad examina el impacto del proyecto sobre los diferentes capitales; además, estudia las relaciones entre el proyecto y los nueve límites planetarios. El estudio resulta favorable. Se proponen además posibles mejoras y ampliaciones para reducir, por ejemplo, el impacto visual que tendrá sobre el paisaje.

En el segundo documento, se refleja el presupuesto calculado del proyecto, ascendiendo este a una suma de **4286,32 €**.

SUSTAINABLE SOLAR PUMPING FOR SMALL PLANTATION IN ZIMBABWE

Author: Marín Alcalá, Beatriz

Director: Tellería Ajuriaguerra, Miren

Collaborating Entity: ICAI - Universidad Pontificia Comillas

In the present final thesis (PFG in Spanish), the author seeks to give an adequate response to the problematic of the access to the water in the rural zone of Mount Darwin, located North of Zimbabwe's capital: Harare.

Seeking to make a significant project, beyond a mere formality in order to obtain the title, the author decided to collaborate with the ICAI Engineers Foundation for development. After analyzing the proposals of the Foundation of this School, the present PFG arises. This thesis gives a possible solution to the unsustainable situation of the orphanage of the NGO Child Future Africa (CFA).

The number of children sheltered in this "orfarm", mostly orphans of HIV and cholera, has been reduced in recent years because of the inefficient production of the plantation.

The purpose of this project is to provide water to the small plantation of four hectares of the orphanage and by this, increase its production. The objective is to generate surpluses so that, once the food needs of the orphanage's guests have been met, the orphanage has a source of income that gives it the stability that does not guarantee its status as a donor-dependent.

All the decisions taken throughout the design have had in mind the objective of minimizing the project's cost due to its strong budget limitation. Other decisive factors have been maximizing the installation's simplicity to easy the user's understanding of the system's processes. Moreover, due to the complicated accessibility and capacity of future purchases of spare parts or hiring of skilled manpower for the repair, simplicity must outcome other factors such as innovation or performance.

The following is a brief description of the process that has been followed throughout the development of the project

In the first instance, the sociocultural circumstances have been analyzed. It is considered essential for the correct development of the project to understand the circumstances in which it is going to develop. Only by understanding the current situation of the beneficiaries can an effective proposal be developed as a solution to the problem.

In an analogous way, climatic conditions have been studied. In this case, they are of relevance due to the characteristics of the project: an energy and economically viable solution is to be provided for irrigating the orphanage plantation. It is therefore essential that the climatic conditions of the site are favorable as far as the proposed solution is concerned. After analyzing different alternatives applied in real cases of a similar nature to the case raised in this PFG, we chose to design a solar irrigation system.

By actuating a pump with photovoltaic modules, the water will rise to high tanks from which it will be irrigated by gravity.

To classify the project as successful, it is considered essential that the beneficiaries become familiar with the basic operation of the equipment and with the activities required for the maintenance of the same. To this end, the possible failure factors of the installation are exposed so that it is easier to identify them before the failure appears.

This PFG will take place during the summer months of July and August. Possible extensions have been raised to execute in case of having the time and the necessary resources for it. Likewise, different contemplated alternatives are exposed, so that there are more options in case it is not possible for different circumstances to carry out the preferred option.

Once the different parts of the project have been defined and the weak points of the installation (of which we must be vigilant to extend the useful life of this), we proceed to study the specific needs of the project: the water flow required. It is estimated a daily need of **10 m³** for the four hectares to be exploited. Note that this flow is likely to be increased, and thus expand the cropland. This increase will be made based on the conclusions drawn in the light of the study of the well, described later.

Once the objective of supply has been identified, the necessary calculations for the sizing of the project elements are developed:

The tank: The elevated tank from which it will be irrigated by gravity has a maximum dimension of **5 m³**, due to limitations of the local market. Two tanks will be installed that will be located next to the source from where the water will be obtained to minimize the losses of load of the conduction. If the available flow is greater than 10 m³, construction tanks will be built.

The structures: The calculations made to determine that, taking profiles of beams of the most common steel (**S235**), a profile **HEB100** is sufficient is reflected in this PFG. Also, unfavorable loads due to wind can be considered negligible. As a safety element, some straps will be introduced into the structure. According to the proposed calculations, the structure is somewhat overly conscientious. We want to guarantee that the structure does not collapse due to **buckling failure**.

The pumping station: The pumping station has a regulating chamber (the well itself), the pump, and the driving elements: pipes, valves, and drippers or emitters.

The **pump** will be a drive with direct current and potential of **24 V**. Thus, it is possible to put it into operation without the need to install an inverter, which would be necessary if the pump were three-phase.

The **pipe network** has been dimensioned in such a way that the hydraulic losses generated by the friction of the driven fluid are optimized. The steps followed to dimension the diameters are detailed in the calculation document accordingly. The material of the same is chosen for its good physical properties and its resistance to corrosion and adverse environmental conditions: polyethylene. Since the installation will be superficial (burying the pipes would be a tremendous difficulty to identify the point of failure in the event of leakage in addition to expensive the project unnecessarily, it is not a transit area of vehicles, so it is dispensable to burying the pipes.

Two photovoltaic modules connected in parallel will be installed so that they supply a minimum power of **411.76 W**. Thus, it will be possible to operate the pump of about **300 W** that is required to raise the required flow rate to the calculated **41 m** height (of which, 38 correspond to the depth of the well and 3 to the elevation from the mouth of the well).

The dimension of the well is a critical factor in the dimensioning of the pump, since the relative dimensions of recommended diameters must be respected in order not to generate strong turbulences that would incur serious losses. Fluid Mechanics calculations are carried out to determine the water regime in the well and adjust the necessary parameters to avoid the turbulence. Likewise, the flow rate available to be extracted to exploit the plantation will depend on the regeneration capacity of the well: a study of the well will be made in the first instance, as detailed in this PFG, to determine the maximum available flow. Depending on the results obtained, depending on what differs from the 10 m³, the pertinent adjustments will be made in the rest of the installation.

In the economic study carried out, the decision taken to use a DC pump with respect to CA for the high cost of the second election is put in value. In addition, the viability of the

project is analyzed. For this purpose, two indispensable requirements are studied in detail to determine if the project is viable: economic profitability and reliability.

The sustainability study examines the impact of the project on the different capitals; In addition, it studies the relations between the project and the nine planetary limits. The study is favorable. It also proposes possible improvements and extensions to reduce, for example, the visual impact it will have on the landscape.

In the second document, the estimated budget of the project is reflected, amounting to € 4286.32.

ESTE PROYECTO CONTIENE LOS SIGUIENTES DOCUMENTOS:

DOCUMENTO I	MEMORIA		
	I.I Memoria	pág. 7 a 30	26 páginas
	I.II Cálculos	pág. 31 a 91	60 páginas
	I.III Estudio Económico	pág. 92 a 101	9 páginas
	I.IV Estudio de Sostenibilidad	pág. 102 a 113	11 páginas
	I.IV Anexos	pág.114 a 133	19 páginas
DOCUMENTO II	PRESUPUESTO		
	II.II Sumas parciales	pág. 136 a 141	5 páginas
	II.II Presupuesto general	pág. 142 a 146	4 páginas
DOCUMENTO III	PLANOS	pág. 147 a 155	8 páginas

A mis padres,

“El fin último de la ingeniería ha de ser estar al servicio al bien común, al servicio de la construcción de sociedades más justas y con un llamado muy especial hacia los más necesitados.”¹

¹ Ramón Almansa. VII Congreso de Ingenieros de ICAI.

DOCUMENTO I: MEMORIA



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

Beatriz Marín Alcalá



Índice de tablas

Tabla 1 Clasificación según pluviosidad. Fuente: Roofwater Harvesting.....	13
Tabla 2 Estudio climatológico de Zimbabue. Fuente: BBC Weather.....	13
Tabla 3 Factores que incurren en pérdidas de agua. Fuente: propia	21
Tabla 4 Cálculo del caudal aprovechable por el sistema de captación.....	25
Tabla 5 Valor de carga. Fuente: Propia.....	40
Tabla 6 Coeficientes parciales de seguridad para las acciones. Fuente: Documento Básico SE (Seguridad estructural)	40
Tabla 7 Ponderación de los esfuerzos. Fuente: propia	40
Tabla 8 Propiedades de los aceros. Fuente: propia	41
Tabla 9 Características mecánicas mínimas de los aceros. UNE EN 10025. Fuente: Documento Básico SE-A: Seguridad estructural Acero (RD 1371/2007).....	42
Tabla 10 Primera iteración para el cálculo del perfil. Fuente: propia.....	44
Tabla 11 Caudal de bombeo. Fuente: propia.....	54
Tabla 12 Cálculo de la potencia nominal de la bomba. Fuente: Propia.....	59
Tabla 13 Cálculo de la velocidad en intersticio del pozo. Fuente: propia.....	61
Tabla 14 Especificaciones de la Bomba Sumergible Shurflo 9300. Fuente: propia.	64
Tabla 15 Valores tabulados de la bomba Shurflo 9300. Fuente: solarmat.es	65
Tabla 16 Selección de bombas Grundfos. Fuente: propia	66
Tabla 17 Comparativa de rendimientos de las bombas planteadas. Fuente: Propia	67
Tabla 18 Velocidades recomendadas para fluidos en tuberías. Fuente: www.ugr.es/~aulavirtualpfcicq	70
Tabla 19 Tabla de posibles diámetros de la red de tuberías. Fuente: Propia.....	70
Tabla 20 Tabla de las longitudes de las tuberías con sus diámetros normalizados. Fuente: Propia ..	71
Tabla 21 Propiedades del fluido de la instalación. Fuente: propia	71
Tabla 22 Dimensionado de tuberías según presiones de trabajo. Fuente: imacifp.com/wp-content/uploads/2013/09/C.F.G.M.-tuberías.pdf	72
Tabla 23 Propiedades PE. Fuente: Ferroplast	74
Tabla 24 Coeficiente de rugosidad de distintos materiales. Fuente: Recurso Spaix Selector	75
Tabla 25 Propiedades del acero inoxidable. Fuente: http://imacifp.com/wp-content/uploads/2013/09/C.F.G.M.-tuber%C3%ADas.pdf	75
Tabla 26 Comparativa entre sistemas de alimentación. Fuente: Leroy Merlin.....	76
Tabla 27 Diámetro de tuberías de ramales de riego por goteo fabricadas según Norma UNE 53367. Fuente: Ferroplast.....	77
Tabla 28 Cálculo del número de emisores. Fuente: Propia	78
Tabla 29 Cálculo del Reynolds de cada tramo de la instalación. Fuente: Propia.....	80
Tabla 30 Cálculo de la rugosidad relativa. Fuente: Propia.....	80
Tabla 31 Cálculo del coeficiente de fricción de Darcy. Fuente: Propia.....	81
Tabla 32 Tipo de válvula de corte de red principal. Fuente: Propia	83
Tabla 33 Cálculo de las pérdidas de carga primarias. Fuente: propia	84
Tabla 34 Cálculo de las pérdidas de carga secundarias. Fuente: propia.....	84
Tabla 35 Factores de Kc del maíz. Fuente: propia	89
Tabla 36 Comparativa entre el uso de una bomba trifásica y una de corriente continua. Fuente: Propia	99



Tabla 37 Emisiones de CO ₂ . Fuente: Propia	106
Índice de gráficas	
Gráfica 1 Ejemplo de curva característica de una bomba. Fuente: propia.....	50
Gráfica 2 Curvas de funcionamiento según el tipo de bomba. Fuente: Dankoff Solar Pumps	52
Gráfica 3 Área de funcionamiento de la instalación de ProjectZimbabwe. Fuente: propia	60
Gráfica 4 Curvas de funcionamiento de la bomba JC3. Fuente: SolarCool (proveedor de Harare)....	66
Gráfica 5 Curva de funcionamiento bomba SQF 1.2-2. Recurso: Grundfos.....	68
Gráfica 6 Curva de funcionamiento bomba SQF 1.2-2. Recurso: Grundfos.....	68
Gráfica 7 Propiedades del fluido a bombear. Fuente: Propia. Recurso: ABSTEL PRO	72
Gráfica 8 Valor de la presión de funcionamiento admisible según la temperatura del agua circulante. Fuente: tuyper.es/opencms.....	74
Gráfica 9 Presión requerida para la tubería de impulsión en función de la profundidad de la instalación de la bomba y la presión de descarga. Fuente: www.ingemecanica.com	77
Gráfica 10 Diagrama de Moody. Fuente: Recursos de la asignatura Mecánica de Fluidos - ICAI.....	80
Gráfica 11 Valores del coeficiente de pérdidas en codos, según geometría. Fuente: Recursos de la asignatura Mecánica de Fluidos - ICAI	81
Gráfica 12 Cálculo del coeficiente de pérdidas en válvulas, según apertura. Fuente: Recursos de la asignatura Mecánica de Fluidos - ICAI	82
Gráfica 13 Cálculo del coeficiente de pérdidas en entradas y salidas de tuberías. Fuente: Recursos de la asignatura Mecánica de Fluidos – ICAI.....	82
Gráfica 14 Cálculo del coeficiente de pérdidas en ensanchamientos y contracciones. Fuente: Recursos de la asignatura Mecánica de Fluidos – ICAI.....	83

Índice de figuras

Ilustración 1 Mapa de lluvia del día 30/01/2018 - Estación de lluvias. Fuente: Freemeteo.....	13
Ilustración 2 Contenedores solares en Etiopía - Proyecto de la ONG Rescate	15
Ilustración 3 Balsa de recolección de agua	15
Ilustración 4 Fundación Ingenieros ICAI para el desarrollo - tanque de captación en Perú.....	16
Ilustración 5 Depósito de captación en la Amazonia Peruana.....	16
Ilustración 6 (PASO 1) Clarificación del agua con alumbre	17
Ilustración 7 (Paso 2) Filtrado del agua.....	17
Ilustración 8 (PASO 3) Desinfección del agua	17
Ilustración 9. Mapa mundial de irradiación solar	18
Ilustración 10 Esquema de instalación de abastecimiento por gravedad con pozo elevado	19
Ilustración 11 Tubería corroída. Fuente: espanol.lubrizol.com	22
Ilustración 12 Equilibrado axial. Fuente: Recursos de la asignatura Turbomáquinas - ICAI	23
Ilustración 13 Imagen por satélite del orfanato Child Future Africa. Fuente: Propia. Recurso: Google maps.....	25
Ilustración 14 Esquema de pequeña ETAP. Fuente: Recursos de la asignatura Ingeniería y Desarrollo Sostenible – ICAI	27
Ilustración 15 Esquema de la instalación. Fuente: www.suelosolar.com.....	35
Ilustración 16 Estructura existente en la huerta del orfanato de CFA. Fuente: Miren Tellería	36



Ilustración 17. Altura dinámica del pozo. Fuente: Best practices in the implementation of photovoltaic systems	38
Ilustración 18 Ejemplo cisterna flexible. Fuente: https://www.labaronne-citaf.es/aplicaciones-de-almacenamiento/4_reserva-de-agua-potable	39
Ilustración 19 Perfiles HEB. Fuente: Prontuario de perfiles laminados; recurso de la asignatura Resistencia de Materiales – ICAI	41
Ilustración 20 Esquema ilustrativo de las condiciones de arriostramiento supuestas. Fuente: Propia	43
Ilustración 21 Curvas de pandeo Fuente: Figura 6.3 del Documento SE-A	44
Ilustración 22 Esquema de arriostramiento en ménsula. Fuente: propia.	45
Ilustración 23 Esquema I de colocación elementos de seguridad. Fuente: propia.....	46
Ilustración 24 Esquema II de colocación elementos de seguridad. Fuente: propia	47
Ilustración 25 Esquema de la clasificación de las máquinas de fluido. Fuente: ICAI	48
Ilustración 26 Elementos constructivos de una bomba. Fuente: ICAI	49
Ilustración 27 Clasificación de bombas. Fuente: propia.	49
Ilustración 28 Curva de funcionamiento de la instalación. Fuente: propia	51
Ilustración 29 Curvas de funcionamiento según el tipo de bomba. Fuente: CEDECAP.org.....	51
Ilustración 30 Bomba centrífuga. Fuente: todoproduktividad.blogspot.com	52
Ilustración 31 Esquema de bomba sumergida. Fuente: www.ingemecanica.com	53
Ilustración 32 Bomba sumergible. Fuente: BOMBAS OMEGA.....	54
Ilustración 33 Flujo de potencias en máquina hidráulica. Fuente: ICAI - departamento de Ingeniería Mecánica (Turbomáquinas)	57
Ilustración 34 Curva característica de bomba trifásica con punto de funcionamiento de la instalación de PZ en naranja. Fuente: Propia. Recurso: GRUNDFOS	63
Ilustración 35 Bomba sumergible en pozo. Fuente: Grundfos	65
Ilustración 36 Curva de funcionamiento para un caudal "optimista". Recurso: Grundfos.....	67
Ilustración 37 Número específico de revoluciones según geometría de la bomba. Fuente: ICAI	69
Ilustración 38 Emisor o gotero de tipo botón. Fuente: ingemecanica.com	78
Ilustración 39 Conjunto de dos paneles solares policristalinos de 265W. Fuente: mercadolibre.com	85
Ilustración 40 Esquema de instalación Bomba Solar. Fuente: http://www.passsa.com/index.php/energia-solar/bombas-agua	86
Ilustración 41 Variaciones en el nivel dinámico del agua mediante bombeos de prueba. Fuente: ingemecanica.com	87
Ilustración 42 Régimen laminar en conducto. Fuente: ICAI.....	88
Ilustración 43 Cartel de la fiesta benéfica organizada para la financiación de los PFGs de ProjectZimbabwe. Fuente: propia	96
Ilustración 44 Cartel del torneo de fútbol sala organizado para la financiación de los PFGs de ProjectZimbabwe. Fuente: propia	96
Ilustración 45 Cartel del torneo de pádel benéfico organizado para la financiación de los PFGs de ProjectZimbabwe. Fuente: propia	97
Ilustración 46 Impresión de pantalla de la campaña e crowdfunding integrada en la web de la Fundación de Ingenieros del ICAI para el desarrollo. Fuente: propia.....	97
Ilustración 47. Responsables del colegio de CFA. Fuente: Miren Tellería.	108



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

Beatriz Marín Alcalá



CAPÍTULO 1: MEMORIA



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

Beatriz Marín Alcalá



CONTENIDO CAPÍTULO 1: MEMORIA

1.	INTRODUCCIÓN	11
1.1	CONTEXTO HISTÓRICO:	11
1.2	SITUACIÓN POLÍTICO-ECONÓMICA ZIMBABUE.....	12
1.2.1.	Política económica:	12
1.2.2.	Reforma agraria:	12
1.3	CONDICIONES AMBIENTALES:	12
2.	ESTADO DE LA CUESTIÓN: APROXIMACIÓN A LA SOLUCIÓN	14
2.1.	Alternativas aplicadas en casos reales:	14
a)	ONG Rescate en Etiopía:	14
b)	Acción Social Católica en el Chad:	15
c)	Fundación de Ingenieros ICAI en Perú:	16
d)	Fundación Aquae en la Amazonia peruana:.....	16
2.3	Solución escogida:	17
	MOTIVACIÓN	19
	OBJETIVOS DEL PROYECTO	19
	RECURSOS PARA EMPLEAR.....	20
	MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN	20
6.1.	Fugas y problemas en las redes	21
2.2.1	Corrosión.....	21
2.2.1.1	Abrasión	21
2.2.1.2	Corrosión abrasiva	22
2.2.1.3	Fatiga abrasiva	22
2.2.2	Obturbación	22
6.2.	Equilibrado de la bomba	22
6.3.	Mantenimiento de las estructuras y depósitos de almacenamiento.....	23
6.4.	Mantenimiento del SCAPT (propuesta de ampliación).....	23
6.5.	Mantenimiento del sistema fotovoltaico.....	23
7.	AMPLIACIONES Y ALTERNATIVAS CONTEMPLADAS.....	24
7.1.	Sistema de captación de agua pluvial en techos: SCAPT	24
7.1.1.	Requisitos para la instalación del tanque	25
7.1.2.	Dimensiones del tanque de almacenamiento	26
7.2.	Automatización del sistema	26



7.3.	Potabilizadora	26
7.4.	Lluvia sólida	28
8.	METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	28



1. INTRODUCCIÓN

El presente Proyecto de Fin de Grado se plantea, en representación de la Fundación de Ingenieros ICAI para el desarrollo, para dar solución a la problemática del abastecimiento de agua en las zonas rurales. El objeto de este es proveer de agua a la pequeña plantación del orfanato Child Future Africa, de modo que este tenga una fuente de ingresos que le dé la estabilidad que no le garantiza su actual condición como donor-dependiente. El número de niños acogidos en esta “orfarm”, en su mayoría huérfanos del VIH y cólera, se ha visto mermado en los últimos años como resultado de la ineficiente producción de la plantación. El fin último es por lo tanto aumentar la producción de la granja para poder cubrir las necesidades alimenticias de los niños durante todo el año, así como generar excedentes que tras la venta sirvan como ingresos económicos para el centro. El abastecimiento previsto se hará de la manera más sencilla posible, tratando de dar una solución sostenible y duradera: bombeo solar y distribución por gravedad.

- Sencilla: Para poder contar con el apoyo de la comunidad es imprescindible que se involucren en el proyecto y lo sientan como propio. Dada su falta de conocimientos técnicos, cuanto más sencillo sea el proyecto, más factible será que los miembros de la comunidad lo comprendan y asimilen como propio.
- Sostenible: Se quiere dar una solución viable tanto económica como energéticamente, que no tenga impactos negativos ni a corto ni a largo plazo en ninguna de las actividades del orfanato.
- Duradera: Se favorecerá la formación de los usuarios para que lleven a cabo tareas de mantenimiento preventivo; se desarrollarán calendarios para la programación de esas tareas y planes de acción en caso de averías, específicos para cada uno de los posibles fallos de la instalación.

Así mismo, se plantea la viabilidad de la incorporación de una instalación para la captación de aguas pluviales y sistemas de depuración y potabilización de agua para mejorar la calidad del agua de consumo.

1.1 CONTEXTO HISTÓRICO:

Se considera de gran utilidad hacer una aproximación histórica. Tras la disolución de la Federación de África Central en 1965 se declaró la independencia de Rodesia y se formó para el reciente estado un gobierno. Dicho gobierno representaba a la minoría blanca de acuerdo con la constitución de 1961²; como consecuencia estalló la Guerra de guerrillas (1964-1979) que acabó con la vida de unas tres mil personas. Esta guerra terminó con la victoria rebelde y la consecuente expulsión de los blancos. Comenzó entonces el mandato dictatorial de Robert Mugabe, recientemente derrocado en el golpe de Estado militar del 15 de noviembre de 2017. Actualmente ostenta el cargo de presidente Emmerson Mnangagwa, el que fuere vicepresidente durante el gobierno de Mugabe. El actual vicepresidente es Constantino Chiwenga, el general que encabezó el golpe de estado del pasado 15 de noviembre.

² <https://www.alsintl.com/resources/countries/Zimbabwe/>



1.2 SITUACIÓN POLÍTICO-ECONÓMICA ZIMBABUE

1.2.1. Política económica:

La débil e inestable situación económica de Zimbabwe se debe a la desmedida impresión de dinero que el expresidente Mugabe, contrariamente a las instrucciones del FMI y de la comunidad internacional, comenzó en el año 2000. En ese año “el sistema agrario colapsó y su inflación se disparó en 231 millones por ciento y la tasa de paro se elevó al 80% del total de la población”³ con la consecuente emigración de un tercio de la población.⁴ El fruto de la irresponsable impresión fue la evidente devaluación de la moneda, así como la hiperinflación que llevó a Zimbabwe a tener precios más altos que en cualquiera de sus países colindantes en los que la renta per cápita es 20% mayor.

1.2.2. Reforma agraria:

La reforma agraria es una cuestión que sigue pendiente de resolver pues durante el colonialismo los blancos se apropiaron de las mejores tierras. Hoy en día, 4500 europeos (0.03% de la población) controlan los mejores 11 millones de hectáreas (70% del total) disponibles para la agricultura en Zimbabwe.⁵ Si bien el contraste entre blancos y negros era mucho más acentuado antes de la redistribución de tierras de Mugabe del año 2000.

La caótica campaña de redistribución de las tierras del año 2000 incurrió en una economía seriamente dañada. Con el ánimo de corregir los desequilibrios en la propiedad de tierras del periodo colonial, Mugabe expropió las tierras de los granjeros blancos para dárselas a ciudadanos negros. Cuatro mil granjeros comerciales blancos fueron expulsados de sus granjas⁶. El germen de la baja producción de productos básicos y exiguo rendimiento de los cultivos se localiza pues en la mencionada reforma pues tras forzar el éxodo de los granjeros blancos, las tierras expropiadas fueron asignadas a perdonas sin experiencia en la agricultura.⁷ Es preocupante que un país que antaño fue denominado “el granero de África”, en el que el 66% de la fuerza laboral⁸ se dedica a la agricultura, haya que importar más de setecientas mil toneladas de maíz para tratar de cubrir las necesidades alimentarias de su población.

1.3 CONDICIONES AMBIENTALES:

Como puede observarse en el siguiente cuadro de clasificación, de los diferentes climas según regímenes de precipitación, Zimbabwe tiene un clima semi-árido. En dicha clasificación se consideran meses húmedos a aquellos en los que la pluviosidad es superior 40 mm/mes.

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	Zimbabwe

³ <https://hipertextual.com/2015/06/inflacion-zimbabwe>

⁴ Ibid.

⁵ <http://www.solidaritat.ub.edu/observatori/esp/dossiers/zimbabwe/zimbabwe.htm>

⁶ <http://www.africafundacion.org/spip.php?article21545>

⁷ <https://www.alsintl.com/resources/countries/Zimbabwe/>

⁸ CIA “The World Factbook” <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/zi.html>



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 PLUVIOSIDAD. FUENTE: ROOFWATER HARVESTING

En Zimbabue hay tres estaciones:⁹

- a) Cálida y húmeda (incluye la estación de lluvias que va de diciembre a febrero): de noviembre a marzo.

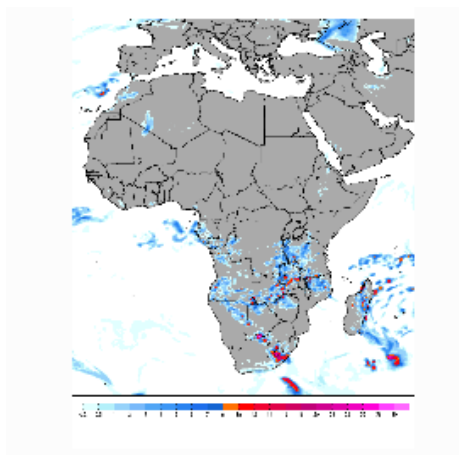


ILUSTRACIÓN 1 MAPA DE LLUVIA DEL DÍA 30/01/2018 - ESTACIÓN DE LLUVIAS. FUENTE: FREEMETEO

- b) Fría y seca (durante el invierno): de mayo a agosto.
 c) Cálida y seca: de septiembre a octubre.

En la siguiente tabla se muestran los rangos medios de temperaturas según los meses del año:
 Parámetros climáticos promedio de Harare¹⁰

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 DE ZIMBABUE. FUENTE: BBC WEATHER

⁹ «Average Conditions Harare, Zimbabwe». BBC Weather. Mayo de 2011.

¹⁰ BBC Weather



2. ESTADO DE LA CUESTIÓN: APROXIMACIÓN A LA SOLUCIÓN

Se busca implementar en la plantación un sistema de riego que garantice las cosechas en épocas de sequía y que sea capaz de generar varias cosechas en el mismo año. El sistema de riego a implantar ha de ser un sistema sostenible. Además, se quiere perfeccionará, si se cuenta con los medios necesarios, el abastecimiento de agua para consumo del orfanato.

El orfanato cuenta con un pozo cuya explotación sufre evidentes deficiencias. La bomba de extracción tiene alimentación eléctrica convencional y debido a los frecuentes cortes de luz es muy común que no se disponga del agua necesaria para el riego, por lo que los cultivos se someten continuamente a un muy perjudicial estrés hídrico. La consecuencia de este estrés son cosechas mermadas y granos de baja calidad.

Por otro lado, el orfanato no cuenta con un sistema de potabilización eficiente. Cuenta con unos sistemas de filtros de arena muy rudimentarios. Se decide por ende hacer además un estudio sobre la mejora del sistema de potabilización para el agua de consumo.

2.1. Alternativas aplicadas en casos reales:

Se ha considerado estudiar casos reales de instalaciones de regadíos desarrolladas en España. Tras sopesar las condiciones y restricciones a las que se enfrenta este Proyecto de Fin de Grado se ha decidido que, por homogeneidad, resulta más conveniente establecer paralelismos con otros proyectos de cooperación al desarrollo. Estos se han llevado a cabo con presupuestos más limitados que los ejecutados en España, y se han diseñado en condiciones más afines a nuestro proyecto africano.

a) ONG Rescate en Etiopía:

En la ciudad agrícola de Hare (situada en el suroeste de Etiopía) la ONG Rescate, con la colaboración de Generaciones Fotovoltaicas de La Mancha y de la Universidad Carlos III de Madrid han dado una solución efectiva a las 12.500 personas que sufrían escasez de agua en uno de los países más secos de la Tierra; un país donde este año “la situación de extrema sequía ha provocado una crisis alimentaria en el país que afecta a 5,6 millones de personas”¹¹ Gracias a la financiación de Cooperación Española se construyeron unos contenedores solares portátiles con los que se suministra una energía “renovable y descentralizada”¹² con la que resulta viable extraer el agua subterránea de los pozos profundos además de canalizarla hasta el pueblo. El impacto de este proyecto es de grandes dimensiones pues una de sus consecuencias es que los niños y las niñas, que eran por norma habitual los encargados de ir a buscar agua, no tienen que desplazarse para ir a buscarla de modo que pueden asistir a la escuela. Este proyecto sostenible no requiere de combustible fósil ni de redes de distribución de energía, que tienen frecuentes cortes en este país.

¹¹ <https://www.ongrescate.org/ong-rescate-realiza-un-proyecto-autoconsumo-energetico-a-etipia/>

¹² <https://www.ongrescate.org/ong-rescate-realiza-un-proyecto-autoconsumo-energetico-a-etipia/>



ILUSTRACIÓN 2 CONTENEDORES SOLARES EN ETIOPIA - PROYECTO DE LA ONG RESCATE¹³

b) **Acción Social Católica en el Chad:**

Se estima conveniente la comparación del proyecto a realizar en la orfarm con el realizado por la ONG de Zaragoza Acción Social Católica de 2010 a 2014 en el Chad. Se trata de un proyecto de grandes dimensiones y con un elevado presupuesto donde se dispuso de un sistema de captación de agua pluvial que emplea la misma tecnología que utiliza el ejército francés en misiones de larga estancia. Así mismo, en el proyecto considerado del Chad se construyó un sistema de riego por goteo por tratarse de un clima semiárido como el de Zimbabwe y por estar destinado a la producción de maíz, como en nuestro proyecto en cuestión.



ILUSTRACIÓN 3 Balsa de recolección de agua

¹³ <https://www.ongrescate.org/ong-rescate-realiza-un-proyecto-autoconsumo-energetico-a-etiofia/>

c) **Fundación de Ingenieros ICAI en Perú:**

Se estudia el proyecto desarrollado por la Fundación de Ingenieros ICAI para el desarrollo en Villa Gonzalo; en la cuenca del río Santiago, departamento de Amazonas, en Perú. Este resulta de interés para la ampliación del proyecto que se plantea sobre la captación de aguas.

Se diseñó para esta comunidad sistema sencillo de captación de agua de lluvia que consiste esencialmente en una superficie metálica para la captación y un tanque de polietileno para el almacenamiento. Este sistema tiene dieciséis fuentes comunales con las que se da acceso al agua a las ciento cincuenta familias de la comunidad.



ILUSTRACIÓN 4 FUNDACIÓN INGENIEROS ICAI PARA EL DESARROLLO - TANQUE DE CAPTACIÓN EN PERÚ

d) **Fundación Aquae en la Amazonia peruana:**

De cara también a conocer las posibilidades y viabilidad de la implementación de las propuestas de mejora que se plantean en el presente trabajo, se analiza la labor de la fundación Aquae.

La fundación Aquae, con la colaboración de UNICEF, desarrollaron en 2012 un proyecto en la Amazonia Peruana que tuvo como beneficiarias a cinco mil familias de quince comunidades rurales de las comunidades de Loreto y Ucayali. Además de proporcionar los sistemas de saneamiento necesarios se instalaron captaciones de aguas consistentes en tanques (véase la imagen “Depósito de captación en la Amazonia Peruana”) alimentados por un sencillo sistema de tuberías que recogen el agua captada por las placas metálicas instaladas sobre los baños secos.



ILUSTRACIÓN 5 DEPÓSITO DE CAPTACIÓN EN LA AMAZONIA PERUANA¹⁴

UNICEF y Aquae introdujeron también un sistema de potabilización sencillo, económico y eficaz que resulta de gran interés para el sistema de potabilización a implementar en el orfanato. El agua

¹⁴ <http://www.fundacionaquae.org/proyectos/agua-para-la-amazonia-peruana/>

contenida en un depósito se clarifica con sulfato de aluminio (alumbre); después se filtra y finalmente se desinfecta con cloro.



ILUSTRACIÓN 6 (PASO 1) CLARIFICACIÓN DEL AGUA CON ALUMBRE



ILUSTRACIÓN 7 (PASO 2) FILTRADO DEL AGUA



ILUSTRACIÓN 8 (PASO 3) DESINFECCIÓN DEL AGUA

2.3 Solución escogida:

Se ha decidido diseñar el bombeo a un depósito elevado para que la **distribución** del agua para regadío se ejecute **por gravedad**; de este modo se garantiza la **continuidad** del suministro en caso de un corte eléctrico. La principal ventaja de este diseño es, una vez superada la inversión inicial, la **gratuidad del sistema**. Asimismo, su instalación es más económica y sencilla que la de un sistema convencional (bombeo continuado por conectado a la red). El almacenamiento de energía en forma de energía potencial también **simplifica el diseño del sistema** y **mejora su eficiencia** por no requerir baterías, reguladores de carga o inversores.

Se ha tomado la decisión de que el **sistema** sea **solar** porque es fundamental que el sistema instalado sea sostenible. Zimbabwe es un país con una radiación solar muy elevada; con una media de 251.05 horas de Sol al mes (véase imagen del mapa mundial de irradiación).

- Debido a la realidad económica de Zimbabwe y a la meta sostenible definida en el proyecto resulta absurdo plantear que el sistema funcione con carburante puesto que el coste de estos es muy elevado, al igual que su mantenimiento. Se calculan en el estudio de la

sostenibilidad de este proyecto, la disminución de emisiones de CO₂ que se logran con la tecnología escogida para el proyecto.

- Conectar la estación de bombeo que el sistema de riego requiere a la red no resulta una opción conveniente debido al elevado coste de la electricidad, así como la baja tensión suministrada por dicha red.

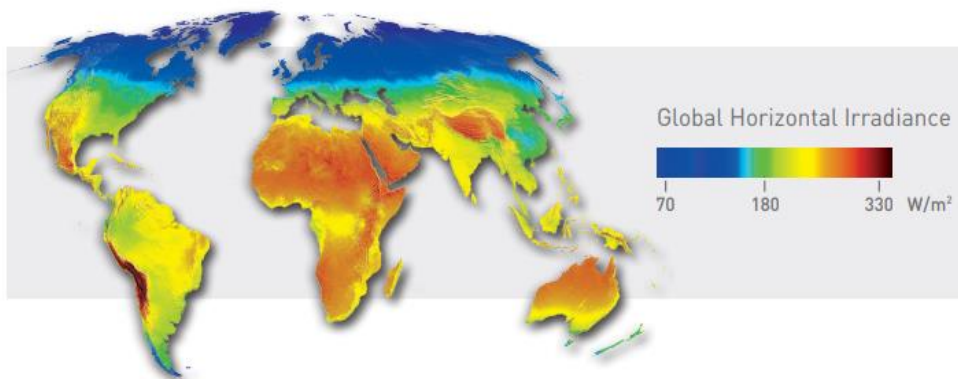


ILUSTRACIÓN 9. MAPA MUNDIAL DE IRRADIACIÓN SOLAR¹⁵

La decisión del tipo de riego se ha tomado en aras a la consecución de un proyecto sostenible (económico y eficiente) y en función de la disponibilidad de agua. El riego por goteo, contrastado con el riego por aspersión o por inundación, requiere una cantidad de agua significativamente menor; se puede afirmar de manera general que el sistema más eficiente en el uso del agua es de riego por goteo siendo seguido, en el orden a continuación establecido, la microaspersión, la aspersión, la inundación por surcos y la inundación general de la superficie.¹⁶

Nótese que es una práctica muy extendida el emplear un **sistema de riego por aspersión portátil**. Esta es la técnica empleada actualmente en la plantación del orfanato de CFA. Se trata de una pequeña estructura que se desplaza manualmente a lo largo de los cultivos. Esta técnica incurre en un muy elevado consumo de agua pues se producen **pérdidas por evaporación y por dispersión**.

Se decide implementar un sistema solar de riego por goteo.

¹⁵ World Meteorological Organization Hong Kong Observatory (1961-1990)

¹⁶ <http://www.fao.org/docrep/019/i3247s/i3247s.pdf>

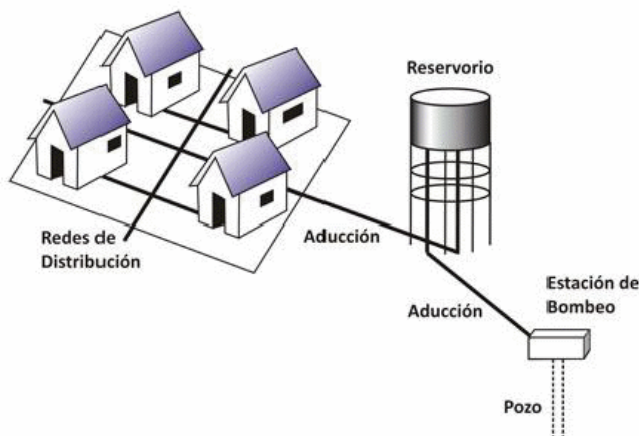


ILUSTRACIÓN 10 ESQUEMA DE INSTALACIÓN DE ABASTECIMIENTO POR GRAVEDAD CON POZO ELEVADO¹⁷

Los cálculos eléctricos no son competencia de este trabajo; existe un proyecto donde se plantea la instalación de las placas fotovoltaicas. En cualquier caso, se recogen en el presente TFG las decisiones básicas tomadas para el accionamiento de la estación de bombeo.

MOTIVACIÓN

A la luz de los datos obtenidos en el análisis previo, se plantea como la mejor de las soluciones el instalar unos depósitos hasta los que bombear el agua captada del pozo existente en el orfanato. El agua recogida se bombeará a un pozo elevado desde el que se distribuirá por gravedad a través del sistema de riego por goteo.

Toda la **tecnología** por aplicar habrá de ser **dominada por expertos locales** de modo que, en caso de avería o problema de cualquier índole, se tenga la capacidad de ser reparado. Es por esto por lo que no se escogerá ninguna tecnología innovadora: se apuesta por un diseño de **sencilla instalación** y con **bajos costes de mantenimiento**.

Además, durante la indagación de los recursos existentes en el orfanato se ha averiguado que el suministro de agua del orfanato no cuenta con un sistema de depuración ni potabilización de agua en condiciones. Se plantea por lo tanto la posibilidad de mejorar estos sistemas con técnicas rudimentarias como las expuestas en el proyecto de Aquae y UNICEF en la Amazonia peruana. La introducción de estas técnicas, combinándolas con los existentes filtros (sujetos a mejora) resultaría muy sencilla por simplicidad.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo del proyecto es garantizar el abastecimiento de agua para la plantación del orfanato Child Future África, desarrollando el sistema de captación de aguas y el sistema de regadío de la plantación.

Los objetivos por seguir para la satisfacción del proyecto serán por tanto los siguientes:

¹⁷ <http://sincronia.cucsh.udg.mx/serratosfall2010.html>



1. Obtención de la **financiación** requerida para el proyecto mediante recaudación de fondos y donaciones.
2. Realización los **cálculos** necesarios para el **diseño** de la instalación.
3. **Comunicación** con los proveedores de Harare (Zimbabue) de la instrumentación necesaria para la construcción del sistema de regadío.
4. **Implantación** de los sistemas de captación de aguas y regadío durante el verano de 2018.

RECURSOS PARA EMPLEAR

Se comprarán todos los materiales en la capital de Zimbabue, Harare. Se ha decidido trabajar con proveedores locales para lograr un doble objetivo:

1. En caso de avería los locales podrán proveerse de recambios; favorece a la sostenibilidad del proyecto. (Resultaría insostenible construir, por ejemplo, la estación de bombeo con maquinaria especializada española a cuyas piezas de recambio no tendrían acceso más adelante.)
2. Favorecer el comercio local. Del mismo modo, para poder llevar a cabo las negociaciones y compras se requerirá de la colaboración de agentes locales, lo cual favorecerá a la implicación de estos en el proyecto.

Se pone en relieve la importancia al realizar la decisión del proveedor. Se estudiará la solvencia del mismo, pues esta resultaría clave en caso de necesitar recambios en el futuro. La solvencia del proveedor se manifiesta en cuatro puntos esenciales¹⁸:

- Solidez financiera: capacidad de resistir cambios en el mercado y permanecer pese a ellos.
- Liderazgo industrial: especialización en los materiales o equipos de los que provea al proyecto.
- Fiabilidad demostrada: por la complejidad de la instalación y la falta de conocimientos técnicos del usuario, resulta clave que los equipos tengan buenos resultados y no tengan tendencia al fallo.
- Capacidad de servicio globalizada: el poder dar soporte a lo largo de todas las fases del proyecto facilita al usuario la gestión de las reparaciones en caso de necesitar asistencia.

Será un factor determinante a la hora de escoger la maquinaria y los materiales a emplear el presupuesto disponible para el proyecto. Este habrá de ser satisfecho mediante la recaudación de donaciones con la organización de diferentes eventos.

MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN

A continuación se reflejan posibles factores de fallo para su mejor identificación.

ERROR COMETIDO EN LA INSTALACIÓN	CONSECUENCIAS NEGATIVAS
----------------------------------	-------------------------

¹⁸ <https://www.schneider-electric.es/es/work/insights/bankability-is-not-optional-for-solar.jsp>



Falta de control de parámetros como la humedad del suelo.	Excesos de irrigación y escorrentía. Deficiencia de aireación y alto consumo energético.
Desgaste o falta de mantenimiento de equipos: tuberías perforadas, conexiones deterioradas, obturación de elementos de distribución del agua (goteros, aspersores...)	Pérdidas de agua, elevado consumo energético, baja eficiencia del sistema.
Canales no revestidos en suelos muy permeables.	Pérdidas significativas por conducción y distribución.
Sistema de riego mal diseñado	Pérdidas por percolación profunda.

TABLA 3 FACTORES QUE INCURREN EN PÉRDIDAS DE AGUA. FUENTE: PROPIA

6.1. Fugas y problemas en las redes

Pueden aparecer fugas por roturas de diferentes tipos:

- Agrietamiento transversal: causadas por vibraciones de cargas superficiales
- Aplastamiento: mal diseño de la red o defectos en la construcción
- Agrietamiento longitudinal: por esfuerzos de fatiga, defectos de fabricación y esfuerzos causados en la red por el denominado golpe de ariete.

Los defectos en las juntas (debido a un mal trabajo de unión durante la fabricación) y la corrosión en sus diferentes formas son problemas que favorecen las fugas.

2.2.1 Corrosión

Este fenómeno adverso afecta tanto a las tuberías como a los equipos instalados en la conducción. La corrosión reduce la eficiencia del sistema por aumentar las pérdidas de carga en términos generales y, en caso último, generar fugas.

2.2.1.1 Abrasión

El PE presenta características de resistencia a la abrasión muy superiores en comparación con otros materiales del mercado. Los sólidos en suspensión transportados a lo largo de la red de tuberías producen un desprendimiento del material de estas.

La abrasión empeora con la irregularidad geométrica de los sedimentos; así como cuanto mayor sea su concentración, dureza y tamaño. La abrasión, como el resto de los fenómenos de corrosión, resulta más perjudicial conforme aumenta la velocidad que llevan las partículas.

Existen estudios comparativos de diferentes materiales que, bajo las siguientes condiciones, miden la cantidad de material desgastado en el tiempo y el tiempo necesario para perforar un tubo:

- Velocidad de 10 metros por segundo.
- Agua con arena en una proporción de 15%-85%.¹⁹

El **PE** tiene cinco veces más resistencia a la corrosión que el hormigón: necesita **100 horas** de uso para alcanzar el desgaste que el hormigón sufre en 20. El acero sufre el mismo desgaste en 34 horas y el PVC en 50.

¹⁹ <https://www.aristegui.info/resistencia-de-las-tuberias-de-polietileno-a-la-abrasion/>

Existen diferentes tipos o formas de abrasión:

- Abrasión por penetración: Tras incidir en la tubería, la partícula deja una cavidad en el tubo.
- Abrasión por corte: Las partículas producen pequeños cortes en la tubería de PE.
- Abrasión por fractura: Crea una rotura en la tubería; es la más crítica.

2.2.1.2 Corrosión abrasiva

El transporte de partículas en suspensión en el fluido provoca la erosión en los diferentes materiales que encuentra a su paso. Por el rozamiento de las partículas con las paredes, se produce el desgaste de estas últimas.

La erosión se ocasiona esencialmente en la parte inferior del tubo, aunque el desgaste se puede ampliar a toda la sección debido a las turbulencias localizadas. Cuanto mayor es la turbulencia del fluido, mayor es la velocidad de desprendimiento del fluido y la pared. Esto implica que el ángulo de ataque del fluido es mayor. La corrosión aumenta conforme lo hace la turbulencia.



ILUSTRACIÓN 11 TUBERÍA CORROÍDA. FUENTE: ESPANOL.LUBRIZOL.COM

2.2.1.3 Fatiga abrasiva

El esfuerzo cíclico al que están sometidas las tuberías es un esfuerzo de fatiga, causado por la intermitencia de las arenas presentes en el fluido de transporte. Puede producir grietas en las tuberías.

2.2.2 Obturación

Tanto los emisores o goteros como los filtros a instalar (uno incluido de serie en la propia bomba y puede que otro antes de la entrada en los depósitos de almacenamiento) son susceptibles de sufrir obturaciones por la colmatación de los sedimentos. Se habrán de programar limpiezas periódicas de los filtros que se instalen, así como de los goteros o emisores.

Una deficiente limpieza supondría pérdidas de presión en la red; o lo que es lo mismo, variaciones de caudal.

6.2. Equilibrado de la bomba

En cuanto a la estación de bombeo, el equilibrado de la máquina se supone correcto de serie. En el hipotético caso de que con el tiempo y por el uso de la bomba se produzcan desequilibrios, se habrá de garantizar un correcto equilibrado tanto estático como dinámico en la bomba. Las posibles

irregularidades geométricas producen vibraciones que son perjudiciales para la máquina y conductos. Las acciones principales por llevar a cabo en caso de no haber equilibrio serían:

- Taladrado: tanto para reducir la masa donde hubiere exceso de material, como para lograr equilibrio axial.

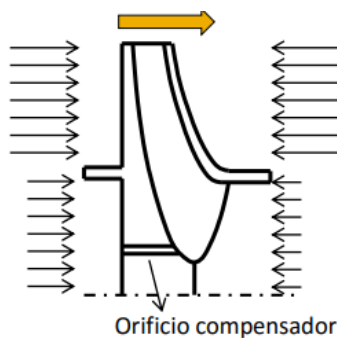


ILUSTRACIÓN 12 EQUILIBRADO AXIAL. FUENTE: RECURSOS DE LA ASIGNATURA TURBOMÁQUINAS - ICAI

- Limado del exceso de material que causa el desequilibrio
- Inclusión de pesos donde hubiere defecto de material

6.3. Mantenimiento de las estructuras y depósitos de almacenamiento

Se establecerán protocolos de inspección de las estructuras construidas para el soporte de los tanques. Se comprobará la integridad de los elementos estructurales, para ello se identifican las posibles debilidades de la estructura:

- Los pilares son susceptibles de fallo por pandeo debido al esfuerzo axial al que están sometidos.
- Los tornillos que ensamblan la estructura son susceptibles de fallo por el esfuerzo cortante causado por cargas transversales como el viento.
- Los tirantes de la estructura son susceptibles de fallo por tracción. Estos son meros elementos de seguridad por lo que no habría de estar trabajando en su punto crítico. Los tirantes sufrirán una estricción antes de colapsar por ser de un material dúctil.

6.4. Mantenimiento del SCAPT (propuesta de ampliación)

Se habrán de llevar a cabo periódicamente actividades como la **impermeabilización** de la superficie de captación; así como la instalación de una **cobertura** protectora **de sombreado** para el depósito de almacenaje para reducir las pérdidas por infiltración y evaporación respectivamente.

6.5. Mantenimiento del sistema fotovoltaico

En aras a procurar el alargamiento de la vida de la instalación, se establecerán medidas de **mantenimiento preventivo** para los paneles solares.

Por una parte, se llevará una pequeña sesión de formación con los responsables de las actividades agrónomas de la plantación. A estos se les explicará el procedimiento de limpieza de los módulos para la eliminación de sombras; mantener los módulos en buenas condiciones resulta clave a la hora de garantizar el rendimiento óptimo de la instalación.

Por otro lado, se concienciará a George Seremwe (máximo responsable de la ONG CFA) de la necesidad de que gestione cada 6 meses la visita de un técnico especializado que revise los equipos.



7. AMPLIACIONES Y ALTERNATIVAS CONTEMPLADAS

7.1. Sistema de captación de agua pluvial en techos: SCAPT

Se plantea de forma adicional la captación de aguas pluviales para satisfacer las necesidades del orfanato. No se plantea para uso agrícola dado que se necesitaría impermeabilizar superficies de captación muy extensas, lo cual no resultaría rentable.

Se definen a continuación los parámetros a considerar en el sistema de captación de agua pluvial en techos (SCAPT). Este modelo de captación **minimiza la contaminación** del agua y de **costes** de infraestructura por **aprovechar las superficies ya construidas** en vez de requerir nuevas cubiertas.

El caudal que se puede obtener anualmente depende tanto del clima local como de la superficie disponible para la captación:

$$Q = 0.85 \cdot P \cdot A \text{ [litros/año]}$$

P = pluviosidad total anual en milímetros

A = área habilitada para la captación

0.85 = coeficiente de seguridad

El coeficiente de seguridad considera tanto la evaporación como las pérdidas que puede haber entre las zonas de captación y las de almacenaje. El coeficiente es menor conforme peor sea la impermeabilidad del área A.

A partir de ese caudal, según la eficiencia del sistema, se obtiene el caudal aprovechable:

$$U = E \cdot Q$$

U=cantidad aprovechable

E= eficiencia de almacenamiento.

La eficiencia depende del tamaño del tanque, el clima (peor cuanto más seco sea el ambiente) y el ritmo de consumo.

Se recurre a una imagen por satélite para hacer una burda estimación de la superficie disponible para captar agua.



ILUSTRACIÓN 13 IMAGEN POR SATÉLITE DEL ORFANATO CHILD FUTURE AFRICA. FUENTE: PROPIA. RECURSO: GOOGLE MAPS

A partir de la imagen por satélite, se hace una estimación de la superficie disponible para la captación de agua. Considerando los dos edificios pertenecientes al recinto, se considera una **superficie disponible** de **30 m²**.

Parámetro	Valor	Unidades	Fuente
P: Pluviosidad total anual	840.6	mm	Propia
A: Superficie de captación	30	m ²	Orfanato CFA
Q: Caudal disponible	21435.3	litros/año	Cálculo
E: Eficiencia	70%	[-]	Estimación
U: Caudal aprovechable	15004.7	litros aprovechables/año	Cálculo

TABLA 4 CÁLCULO DEL CAUDAL APROVECHABLE POR EL SISTEMA DE CAPTACIÓN

Se utilizarán tuberías de **polietileno** ya que, como se recoge en el apartado de la elección de materiales para las tuberías del sistema de regadío, tienen buenas propiedades físico-químicas y son aptas para aplicaciones exteriores.

El sistema será muy sencillo: se canalizará el agua captada en las superficies calculadas con tuberías de sección semicircular horizontales (canaletas de recolección) que bordeen toda la superficie de manera que desemboquen en tuberías verticales recolectoras que conduzcan el agua captada hasta el depósito de almacenamiento.

Esta agua captada, tras ser analizada, se destinará para labores de limpieza o, en caso de ser susceptible de potabilización por tener unas condiciones suficientes para ello, se someterá a un proceso de potabilización más adelante descrito.

7.1.1. Requisitos para la instalación del tanque

Se han de cumplir los siguientes tres requisitos para poder proceder a la instalación del sistema de captación:



1. La provisión actual de agua es considerada por alguno de sus implicados inadecuada en cuanto a catidad, pureza, disponibilidad (suministro continuado) o accesibilidad.
2. La instalación del sistema de recogida de agua es viable en la zona.
3. Hay suficiente superficie como para que resulte rentable la instalación del sistema en cuestión.

7.1.2. Dimensiones del tanque de almacenamiento

Será suficiente diseñar el tanque de manera que tenga una capacidad igual al caudal medio quincenal. Aumentar las dimensiones del mismo de manera que tuviere capacidad para almacenar agua durante meses resulta contraindicado por la posible proliferación de patógenos durante ese tiempo.

$$Volumen_{quincenal} = 880,9 \text{ litros}$$

Con un depósito de 0.9 m^3 sería suficiente.

En caso de concebir el almacenamiento más a corto plazo, semanal, por ejemplo; entonces sería suficiente con un tanque de 0.5 m^3 ($Q_{semanal} = 411,09 \text{ l/semana}$).

7.2. Automatización del sistema

Supuesta la capacidad de regeneración elevada, sería muy interesante incluir sensores en los tanques que detecten cuando han alcanzado su máxima capacidad. Podría tratarse de unos sensores de flotador. Idealmente, estos accionarían una válvula de bypass por la que el agua bombeada a partir de ese instante iría directamente a la plantación sin pasar por el tanque. En este caso habría que adaptar coherentemente la red de impulsión para que tuviere una desviación directa a la red de distribución.

Una alternativa más simple y menos costosa, sería que el sensor por flotación accionase la válvula de descarga del tanque y se empezase a descargar este.

7.3. Potabilizadora

Se plantea la instalación de una potabilizadora. Para ello, se realizarán los pertinentes cálculos en función del consumo diario que haya en el orfanato el cual dependerá esencialmente del número de personas alojadas en el mismo.

Al igual que se ha hecho con el resto del proyecto, se van a hacer varias estimaciones que sirvan como preparación para los cálculos que habrán de desarrollarse de modo que, ajustando las hipótesis realizadas, se obtengan los resultados buscados. Se distingue entre los parámetros que resultará imprescindible controlar, y aquellos que de por sí se suponen controlados.

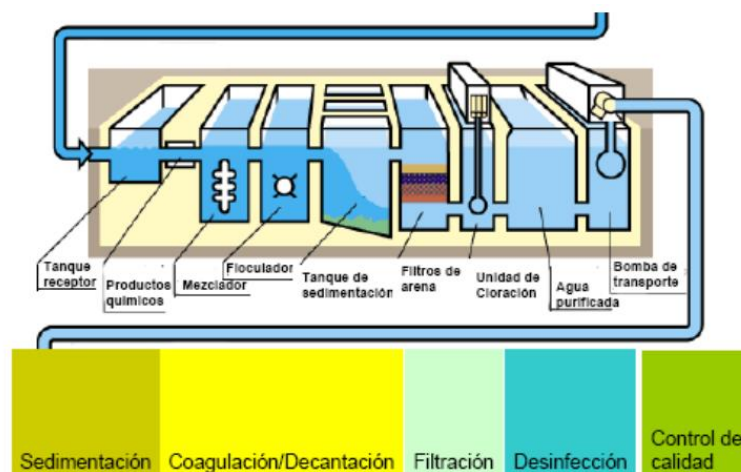


ILUSTRACIÓN 14 ESQUEMA DE PEQUEÑA ETAP. FUENTE: RECURSOS DE LA ASIGNATURA INGENIERÍA Y DESARROLLO SOSTENIBLE – ICAI

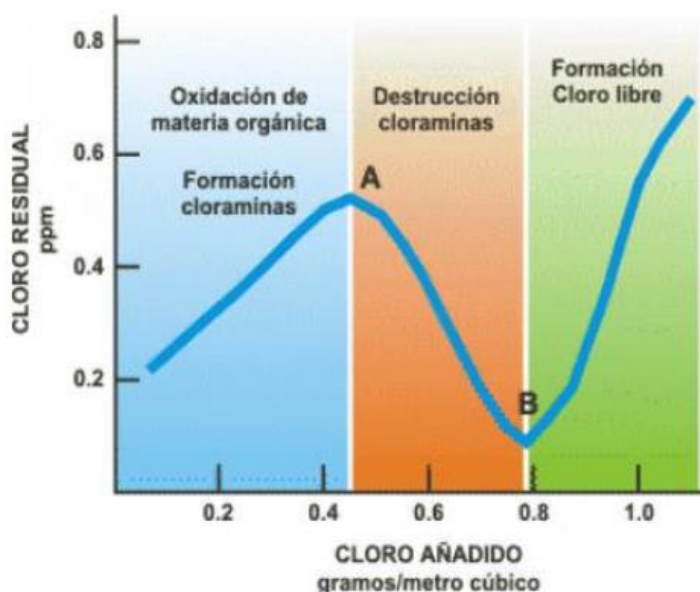
Parámetros a controlar	Parámetros que no hace falta controlar
Temperatura: por captarse el agua en extensas superficies al aire libre, podría alcanzar altas temperaturas a las que la germinación de patógenos resulta muy favorable. Se asegurará durante la instalación del tanque de almacenaje, proporcionarle a este una sombra.	CO ₂ dado que el O ₂ se presupone será adecuado, no debería haber exceso de dióxido de carbono
	Oxígeno disuelto: no debería ser nunca un problema por tratarse de agua de lluvia. Además, se incluirá una etapa de aireación en la potabilizadora, la cual mejorará la cantidad de oxígeno disuelto.
	Fe ²⁺ + Mn ²⁺ (en la aireación se oxidan y forman sólidos que precipitan). Estos iones aparecen porque los microorganismos han consumido el oxígeno de los minerales: Fe ₂ O ₃ [Símbolo] Fe ²⁺ ; Mn O ₂ [Símbolo] Mn ²⁺
Sólidos en suspensión: habrá tanto sólidos sedimentables como no sedimentables. Será imprescindible instalar un sistema de filtrado.	NH ₃ , en el hipotético caso de que hubiese amoníaco, se eliminaría en la aireación.
	Patógenos: habrá coliformes, pero en muy baja concentración. El agua será de calidad A1: se eliminarán en la etapa de desinfección
pH porque el pH mínimo al salir debe ser de 6.5	Algas: estas no se habrán desarrollado dado que en el almacenamiento se tomarán las medidas necesarias para que estas no proliferen por la presencia de bacterias.
	Dureza: porque el agua no se ha visto contaminada por el terreno y los minerales del mismo.

Se incluirán por tanto etapas de aireación, pre-oxidación (como medida preventiva ante posible presencia de materia orgánica (hojas muertas en las superficies de captación o excrementos de animales, por ejemplo), filtro de arena rápido y etapa de desinfección.

En cuanto al **filtro de arena**, no resultaría en absoluto rentable diseñar un filtro de arena lento: estos se utilizan en la industria farmacéutica esencialmente.

En lo que a la **desinfección** respecta, se empleará cloro. Este sistema de desinfección es mucho más económico (y viable para este proyecto) que la luz UV o el tratamiento con Ozono. Además, supone una barrera protectora duradera, que mantiene el agua libre de patógenos durante su tiempo de almacenaje. Se añadirán unos 0.9 gramos de cloro por cada metro cúbico de agua: de este modo se

obtienen cloros libres, que son los que protegen el agua almacenada. Si se fuere a consumir en un futuro próximo, se ajustaría la cantidad de manera que no hubiere cloro residual (si bien no es tóxico para el ser humano).



7.4. Lluvia sólida

Se trata de una innovación tecnológica desarrollada en México (cuyo 52% tiene, como la mayor parte del país de Zimbabwe, un clima árido) para la agricultura. El producto consiste en un producto biodegradable que absorbe el agua de la lluvia, hasta 200 veces su peso.²⁰ Este producto mejicano tiene por objeto optimizar el uso del agua y mejorar la productividad de las plantaciones. La actividad agraria ve reducidos sus costes en un 80% gracias a la reducción de costes en regadío, energía eléctrica y mano de obra. Pese a que a priori parece una solución idónea para solventar los problemas de eficiencia y productividad de la orfandad de Child Future África, se ha decidido descartar esta tecnología debido a la costosa inversión de tres mil euros que habría de repetirse con una periodicidad demasiado alta.

8. METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología planteada propone la consecución de los objetivos del proyecto en el mes de junio. La ejecución del proyecto se llevará a cabo durante los meses de verano de julio y agosto.

Objetivo primero: familiarización con los sistemas de captación de aguas, técnicas de regadío, necesidades hídricas de los cultivos, etc. Tras la consecución de este primer objetivo se procederá a desarrollar todos los cálculos necesarios para el diseño. Con el diseño completado teniendo ya claro qué se necesita para la ejecución, se han buscado proveedores, más ha resultado tremendamente complicado el contacto con los mismos. Ante la incertidumbre ocasionada por la falta de información por parte de los responsables del orfanato beneficiario, así como la difícil comunicación con los proveedores se han desarrollado pequeñas comparativas y preparado hojas de cálculo de modo que sea posible ajustar los datos del proyecto in situ sin suponer un trastorno para el normal desarrollo

²⁰ <https://agua.org.mx/historia/solidificar-agua-podria-una-solucion-eficiente-la-agricultura/>



del mismo. Se ha llevado a cabo un repaso general del proyecto a sabiendas de que los datos reales habrán de ser ajustados como primera medida al llegar al destino.

La planificación de los objetivos del proyecto se refleja en el siguiente diagrama de Gantt:

Actividades	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Anexo B								
Desarrollo proyecto e introducción al cálculo								
Cálculos mecánicos y eléctricos								
Cálculo de presupuesto								
Primer contacto con proveedores								
Decisión de materiales a utilizar								
Ajustes en los cálculos finales								
Ajustes en los presupuestos								
Ajustes en materiales según contacto con proveedores								
Repaso general								
Implantación del proyecto								



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

Beatriz Marín Alcalá



CAPÍTULO 2: CÁLCULOS





CONTENIDO CAPÍTULO 2:

9.	DEPÓSITO ELEVADO	35
9.1.	Dimensionado del tanque	35
9.2.	Cálculo de estructuras	39
9.2.1.	Definición de los esfuerzos	39
9.2.2.	Consideraciones de los perfiles	40
9.2.3.	Elección del material	41
9.2.4.	Dimensionado a compresión	43
9.2.5.	Dimensionamiento a cortante	45
9.2.6.	Elementos de seguridad	46
10.	LA ESTACIÓN DE BOMBEO:	47
10.1.	Cámara reguladora:	47
10.2.	Conducto de aspiración:	47
10.3.	La bomba:	48
10.3.1.	Bombas: Elementos constitutivos	48
10.3.2.	La bomba: Tipos de bombas	49
10.3.2.1.	Bombas centrífugas	52
10.3.2.2.	Bombas volumétricas	53
10.3.2.3.	Bombas sumergibles	53
10.3.3.	La bomba: altura de elevación	55
10.3.4.	La bomba: cavitación	56
10.3.5.	La bomba: consumo energético	57
10.3.5.1.	Potencias	57
10.3.5.2.	Rendimientos:	58
10.3.6.	La bomba: motor de accionamiento	59
10.3.7.	La bomba: dimensionamiento	59
10.3.7.1.	Decisión primera: bomba trifásica o de corriente continua	61
10.3.7.2.	Decisión segunda: cómo acotar entre las diferentes posibilidades	64
10.4.	La red de tuberías	69
10.4.1.	Fluido de la instalación:	71
10.4.2.	Material de las tuberías: Tuberías plásticas	72
10.4.3.	Tuberías de impulsión:	76
10.4.4.	Tuberías de distribución:	77
10.4.5.	Emisor o gotero	78



10.4.6.	Uniones:	78
10.4.7.	Estudio mecánico de las tuberías	78
10.5.	Pérdidas de carga en la conducción	78
10.5.1.	Pérdidas de carga primarias.....	79
10.5.2.	Pérdidas de carga secundarias.....	81
10.5.3.	Resultados.....	83
11.	ACCIONAMIENTO SOLAR.....	85
11.1.	Pérdidas	85
12.	EL POZO.....	86
13.	CONSIDERACIONES AGRÓNOMAS: LA RED DE RIEGO.....	88
13.1.	Descripción de la red de riego: diseño agrónomo	88

En este documento se plantean los cálculos necesarios para el dimensionamiento de los diferentes equipos. Se habrá de determinar el tamaño, potencia y capacidad de los elementos mostrados en el siguiente esquema: depósito elevado, estación de bombeo y accionamiento solar.

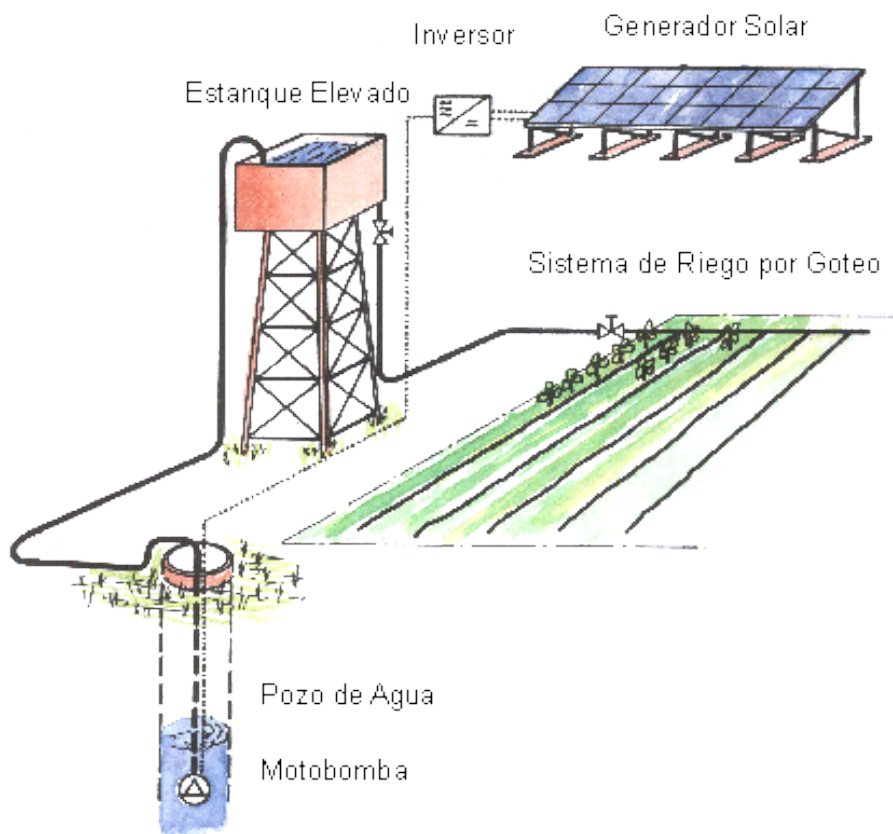


ILUSTRACIÓN 15 ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN. FUENTE: WWW.SUELOSOLAR.COM

9. DEPÓSITO ELEVADO

9.1. Dimensionado del tanque

Al decidir qué solución implantar en el orfanato se valoran la simplicidad y la economía del proyecto pues, dada la casuística planteada en la memoria, estos dos factores adquieren mayor relevancia que otros como podrían ser la optimización de rendimientos o la innovación. El agregado de una cisterna resulta la solución más simple y económica de almacenar energía; resulta más simple acumular agua en un lugar elevado que almacenar energía eléctrica. Su incorporación al proyecto busca minimizar los efectos de las variaciones estacionales, así como posibles interrupciones que pudiese tener el sistema de bombeo solar. Al elevar el tanque por encima del nivel de la boca de salida del pozo, se logra **presurizar la línea de salida** y distribuir el agua a la plantación por gravedad.

En cuanto a las dimensiones de la cisterna del proyecto, se calcula de forma aproximada teniendo en cuenta cuatro factores:

- 1- Se procederá a la construcción de una estructura metálica que sea capaz de soportar el peso de la cisterna llena de agua. Para el cálculo de la estructura se calcula el peso máximo que esta habrá de soportar, así como las cargas debidas a la fuerza del viento.
- 2- Las dimensiones de la cisterna, si bien sujetas a la capacidad de carga de la estructura y a la superficie libre de la estructura, habrán de cubrir las necesidades hídricas de los cultivos. Para reducir los efectos ya mencionados de las variaciones estacionales, se escogerá un tanque del mayor tamaño disponible. Las dimensiones del tanque se verán restringidas, en primera instancia, por la capacidad de carga de la estructura.
- 3- Otra limitación que se encontrará en lo que a la cisterna respecta, será la dependencia de oferta del mercado de cisternas. Cabe la posibilidad de que tal mercado sea inexistente en la localidad de Mount Darwin, por lo que habría que recurrir al mercado de la capital (Harare). Esta opción supondría no sólo una cuestión logística en cuanto a cómo transportar un objeto de tales dimensiones hasta el orfanato; además supondría un coste adicional.
- 4- En caso de existir un desnivel natural en el terreno del proyecto, instalar el tanque en él abarataría los costes de la instalación al tiempo que se eliminarían las restricciones que introduce la estructura existente (o la nueva que habría que construir en caso de encontrarse en mal estado la presente).



ILUSTRACIÓN 16 ESTRUCTURA EXISTENTE EN LA HUERTA DEL ORFANATO DE CFA. FUENTE: MIREN TELLERÍA



Se desestima reutilizar la estructura mostrada en la ilustración anterior por estar a dos kilómetros de distancia de la plantación (la huerta colinda con el orfanato, la plantación está más alejada); en caso de emplearla, se incurriría en enormes pérdidas hidráulicas en el transporte de agua

Se estima en $20 \text{ m}^3/\text{hectárea}^{21}$ el caudal necesario para regadío de una plantación suburbana en España.

Sin embargo, en Zimbabwe el **consumo medio** es significativamente menor. Entran en juego además de la fuerte limitación que supone el acceso al agua:

- El hecho de que las **épocas más calurosas coinciden con las húmedas**; del mismo modo que las **más secas se dan a las menores temperaturas**. Esto implica que las pérdidas por evaporación se ven drásticamente reducidas por las bajas temperaturas.
- La selección de la técnica de riego por goteo, se optimizan las pérdidas por evaporación.

Dado que la prioridad es no secar el pozo para evitar los desperfectos que esto causaría en los elementos de la instalación, se diseñará la instalación para un caudal de $2.5 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{día}$. Para estimar este dato se han considerado todas las casuísticas anteriormente planteadas y se ha recurrido a George Seremwe, fundador y responsable de CFA.

2.5	$\text{m}^3/\text{ha}/\text{día}$
10	$\text{m}^3/\text{día}$ en la plantación
10000	litros/día consumidos

TABLA 2 NECESIDADES HÍDRICAS DIARIAS EN PLANTACIÓN DE MAÍZ EN ZIMBABUE. FUENTE: PROPIA.

El volumen de la reserva se aconseja que ha de ser entre unas 3 y 7 veces el consumo diario, para poder seguir con un normal riego independientemente de las condiciones atmosféricas (esto es, días sin Sol) y de interrupciones en el sistema de bombeo por causas técnicas.

	Reserva (días)	volumen (m^3)
Consumo diario	-	10
Reserva mínima recomendada	3	30
Reserva máxima recomendada	7	70

TABLA 3 VOLÚMENES RECOMENDADOS DE LA CISTERNA. FUENTE: PROPIA

La capacidad de los sistemas de bombeo, en términos del caudal diario de bombeo, se puede ver limitado por uno de los siguientes factores:

1. La fuente: en nuestro caso: el pozo (Véase 11. EL POZO). Durante el proceso de bombeo el nivel de agua de dentro del pozo desciende hasta que la velocidad de percolación del agua a través de las paredes se iguala al ritmo de extracción. A priori, dado que se desconocen los datos que determinan la capacidad de regeneración del pozo se supondrá suficiente ésta respecto a la explotación prevista. Sin embargo, durante la implantación del proyecto será la primera de las acciones a desarrollar sobre el terreno: el estudio del pozo.

²¹ Fuente: www.solucionespracticas.org

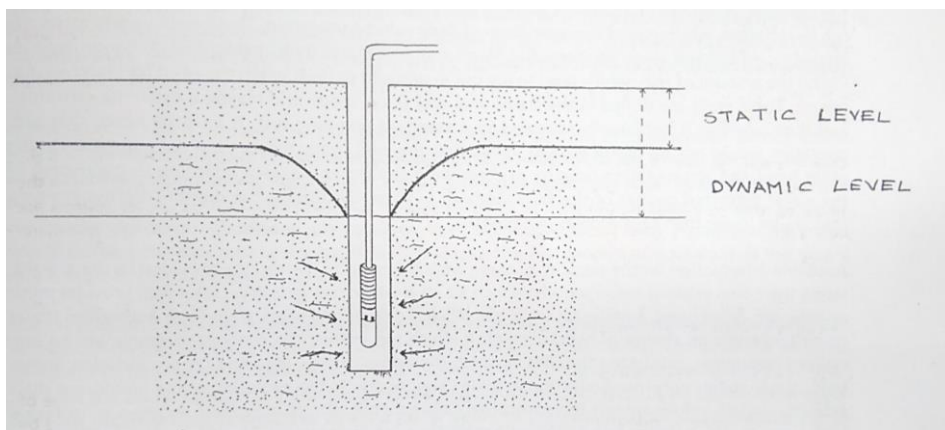


ILUSTRACIÓN 17. ALTURA DINÁMICA DEL POZO. FUENTE: BEST PRACTICES IN THE IMPLEMENTATION OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

2. La bomba: se dimensionará la bomba abogando por la economía del proyecto; esto es, la mínima bomba disponible capaz de trabajar en un punto de funcionamiento de la instalación donde el rendimiento sea suficientemente bueno.
3. El tanque: se detalla a continuación por qué es este el factor limitante escogido.
4. El consumo: en este caso no es un factor limitante.

Tras realizar un pequeño estudio de mercado contactando con proveedores de Harare, la capital del país se ha encontrado que la mayor restricción presente es el mercado. Los depósitos de mayor volumen disponibles son de 5000 L; mayores volúmenes han de ser contenidos en balsas flexibles anti-evaporación. Esta técnica es preferible en casos de acceso al agua prácticamente nulo con fuertes lluvias en una época determinada y fuertes sequías durante el resto del año, donde las necesidades de almacenamiento son superiores a los 200 m³.

Habrían de darse dos circunstancias para que resultase viable instalar depósitos tales que fueran capaces de albergar el volumen de almacenamiento recomendado: elevación natural y disponibilidad de presupuesto para la adquisición de una balsa de almacenamiento flexible. Si estas dos características no se cumplen, se habrá de limitar el **almacenamiento** al **consumo diario**.

Otra alternativa a la compra de depósitos prefabricados sería construir los propios con **ferrocemento**, material señalado por Francisco Aguilar, experto en el campo de los depósitos de almacenamiento de agua, responsable de la empresa PREMIER TECH IBEROTO. Esta entidad dedica su actividad a la provisión de soluciones de almacenamiento varias. Esta solución se considerará en última instancia por la complejidad adicional que supondría considerando el hecho de que la construcción de los depósitos estaría a cargo de voluntarios.

Por ende, se decide instalar dos depósitos del máximo volumen disponible: **5 m³**. Así, se bombearán durante el día los **10 m³** de agua que se hayan almacenado durante las 5.41 horas de bombeo efectivo disponibles. Este cálculo, así como demás cálculos eléctricos pertinentes al accionamiento de las bombas con los paneles solares se detallan en el PFG *“Alimentación de sistemas de captación de aguas con una pequeña red de distribución para regadíos”*.



ILUSTRACIÓN 18 EJEMPLO CISTERNA FLEXIBLE. FUENTE: [HTTPS://WWW.LABARONNE-CITAF.ES/APLICACIONES-DE-ALMACENAMIENTO/4_RESERVA-DE-AGUA-POTABLE](https://www.labaronne-citaf.es/aplicaciones-de-almacenamiento/4_reserva-de-agua-potable)

Por tanto, se ha de calcular si la estructura resistirá como se muestra en la siguiente tabla.

Peso que soportar por la estructura	
estimación peso depósito (80kg) + plataforma superior (80kg)	160
mínimo(kg)	12160
máximo (kg) (sobredimensionado)	28160
máximo por limitación existencias de depósito (kg)	5160

TABLA 4 RANGO DE CARGAS QUE SOPORTA LA ESTRUCTURA. FUENTE: PROPIA

Se tabula también el máximo según las recomendaciones dadas. Sin embargo, se ha de tener presente que una mayor reserva supondría sobredimensionar los elementos, lo cual encarecería el proyecto. Además, a la luz de los datos recabados, se dimensionará la estructura de acuerdo con el máximo almacenamiento posible según la existencia de depósitos: 5000 L.

9.2. Cálculo de estructuras

9.2.1. Definición de los esfuerzos

En este apartado se reflejan los cálculos desarrollados para el diseño de la estructura que habrá de soportar una carga máxima de 5160 kg; esto es, 50.62 kN.

Los pilares que sostienen la plataforma sobre la que se colocará el tanque; trabajarán a compresión. Habrá también esfuerzos cortantes debidos a la acción del viento. La nieve no aplica en el problema debido a la localización del proyecto.

Q permanente	Carga que ha de soportar cada pilar	12.65	kN
Q variable	Carga variable debida al viento	671.17	N/m ²



TABLA 5 VALOR DE CARGA. FUENTE: PROPIA

Para calcular la carga del viento se ha contabilizado, haciendo una aproximación conservadora del área sobre la que incidirá el viento, obteniendo finalmente una carga variable total de **2.15 kN** en cada uno de los pilares.

Se han de ponderar las cargas calculadas; se efectúa esto de acuerdo con las pautas y los coeficientes establecidos por el “Documento Básico SE”: código de estructuras de España. Se recurre al código español por falta de bibliografía propia del país de destino. Se adopta un criterio conservador en la toma de decisiones de forma que se garantice cumplir con todas las especificaciones propias que hubiere en Zimbabwe. En cualquier caso, se ha consultado a Miren Tellería, experto que han supervisado numerosos proyectos sobre el terreno, y se confirma que los estándares de seguridad de Zimbabwe no son más severos que en España. Así, se procede al dimensionamiento.

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 6 COEFICIENTES PARCIALES DE SEGURIDAD PARA LAS ACCIONES. FUENTE: DOCUMENTO BÁSICO SE (SEGURIDAD ESTRUCTURAL)

Se tabulan a continuación los esfuerzos que sufren los pilares. Cabe destacar que todas las cargas aplicadas, por la configuración en que están dispuestas, tienen una **contribución desfavorable**. Considerando pues el coeficiente aplicado a cargas desfavorables; tanto a la carga permanente axil como a la variable cortante, se calcula la resistencia mínima que ha de tener cada uno de los pilares para aguantar sin colapsar.

Clasificación del esfuerzo	Coeficiente desfavorable	Carga calculada	Carga ponderada
Carga permanente : peso (esfuerzo axil)	1.35 [-]	12.65 kN	17.08 kN
Carga variable : viento (esfuerzo cortante)	1.5 [-]	2.15 kN	3.22 kN

TABLA 7 PONDERACIÓN DE LOS ESFUERZOS. FUENTE: PROPIA

9.2.2. Consideraciones de los perfiles

Se tendrán en cuenta dos aspectos durante el diseño:

1. Puede resultar obvio, pero se destaca por su relevancia: a la hora de dimensionar se escogen siempre **perfiles normalizados**. Diseñar la estructura con perfiles no normalizados encarecería sustancial e innecesariamente el proyecto.

2. De entre los diferentes perfiles laminados, se escoge el tipo **HEB**, por ser más **robustos** (o menos esbeltos) que los perfiles IPN o IPE, que tienen muy poca resistencia al pandeo. Los valores a continuación empleados en los siguientes apartados se pueden consultar en el anexo de este PFG donde se incluyen las dimensiones de los diferentes perfiles HEB.

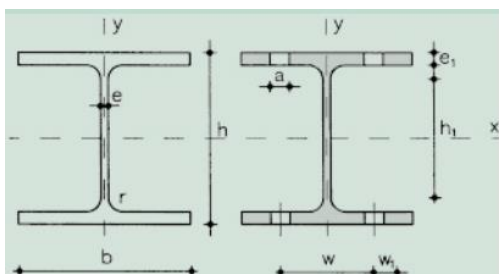


ILUSTRACIÓN 19 PERFILES HEB. FUENTE: PRONTUARIO DE PERFILES LAMINADOS; RECURSO DE LA ASIGNATURA RESISTENCIA DE MATERIALES – ICAI

3. Atendiendo a la premisa del criterio de seguridad asumido, se dimensiona la estructura con **secciones de clase 1**: estas tienen criterios plástico-elásticos. Los cálculos a continuación desarrollados se hacen consecuentemente a esta elección.

9.2.3. Elección del material

Los pilares serán de acero. Las siguientes características son comunes a todos los aceros:

Módulo de elasticidad: E	210000 N/mm ²
Módulo de rigidez: G	81000 N/mm ²
Coeficiente de Poisson: ν	0.3 [-]
Coeficiente de dilatación térmica: α	1.2·10 ⁻⁵ (K) ⁻¹
Densidad: ρ	7850 kg/m ³

TABLA 8 PROPIEDADES DE LOS ACEROS. FUENTE: PROPIA

De entre los diferentes aceros, se escoge en función del límite elástico de los mismos:



DESIGNACIÓN	Espesor nominal t (mm)				Temperatura del ensayo Charpy °C
	Tensión de límite elástico			Tensión de rotura	
	f_y (N/mm ²)				
	$t \leq 16$	$16 < t \leq 40$	$40 < t \leq 63$	f_u (N/mm ²)	
	$3 \leq t \leq 100$				
S235JR					20
S235J0	235	225	215	360	0
S235J2					-20
S275JR					20
S275J0	275	265	255	410	0
S275J2					-20
S355JR					20
S355J0	355	345	335	470	0
S355J2					-20
S355K2					-20 ⁽¹⁾
S450J0	450	430	410	550	0

⁽¹⁾ Se le exige una energía mínima de 40J

⁽¹⁾ Se le exige una energía mínima de 40J.

TABLA 9 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS MÍNIMAS DE LOS ACEROS. UNE EN 10025. FUENTE: DOCUMENTO BÁSICO SE-A: SEGURIDAD ESTRUCTURAL ACERO (RD 1371/2007)

Se decide emplear un **S235** por ser el más común de los aceros, lo cual abaratará su coste.

Este, siempre y cuando tenga un espesor inferior a 16 mm, tendrá una **resistencia de cálculo** de **223,81 N/mm²**. La resistencia de cálculo es el cociente de la tensión de límite elástico y el coeficiente de seguridad del material:

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

El valor de la resistencia de cálculo se ha obtenido otorgando al coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material (γ_{M0}), el valor de **1.05**²²

²² Documento básico de Seguridad Estructural (SE-6)

9.2.4. Dimensionado a compresión

La forma más común de colapso en pilares es el pandeo.

Se estima que las condiciones de arriostramiento serán las mostradas en el siguiente esquema:

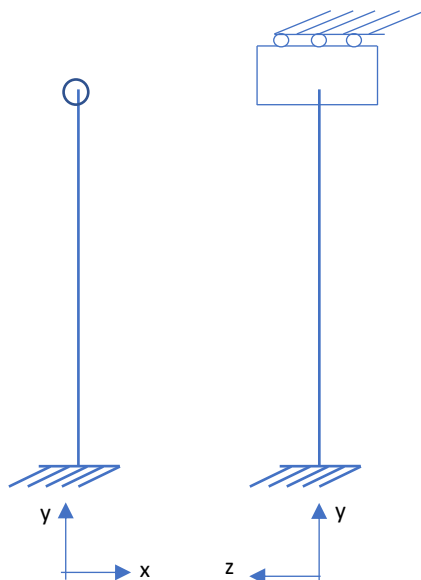


ILUSTRACIÓN 20 ESQUEMA ILUSTRATIVO DE LAS CONDICIONES DE ARRIOSTRAMIENTO SUPUESTAS. FUENTE: PROPIA

Siendo la longitud crítica $l_k=0.7 L$ para el eje de pandeo z (condición de la izquierda) y $l_k= L$ para el plano x, se harán los cálculos para el caso del empotramiento desplazable por tener una carga crítica menor. La carga crítica es el valor que el elemento es capaz de soportar sin fallar. Se comprobará el resultado obtenido para el plano de pandeo z.

El procedimiento seguido para el cálculo del perfil es el siguiente:

1. A partir de la carga crítica, estimando en primera instancia que esta es igual a la carga aplicada, se obtiene el mínimo momento de inercia necesario.

$$N_{Cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(l_k)^2}$$

2. Conocido el valor mínimo de I_x (en este caso momento de inercia en x porque se orienta el perfil de manera que se mayor el momento de inercia en el plano más susceptible de pandeo) y se preselecciona un perfil.
3. Se obtiene del prontuario de perfiles laminados el área del perfil preseleccionado.
4. Se calcula la esbeltez reducida del perfil:

$$\lambda = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{Cr}}}$$

5. Con la gráfica que relaciona la esbeltez reducida y el coeficiente de pandeo se obtiene este último. Por ser un perfil armado en "I" y de espesor menor de 16 mm (hipótesis a corregir en caso de hacer varias iteraciones y aumentar el espesor del perfil):

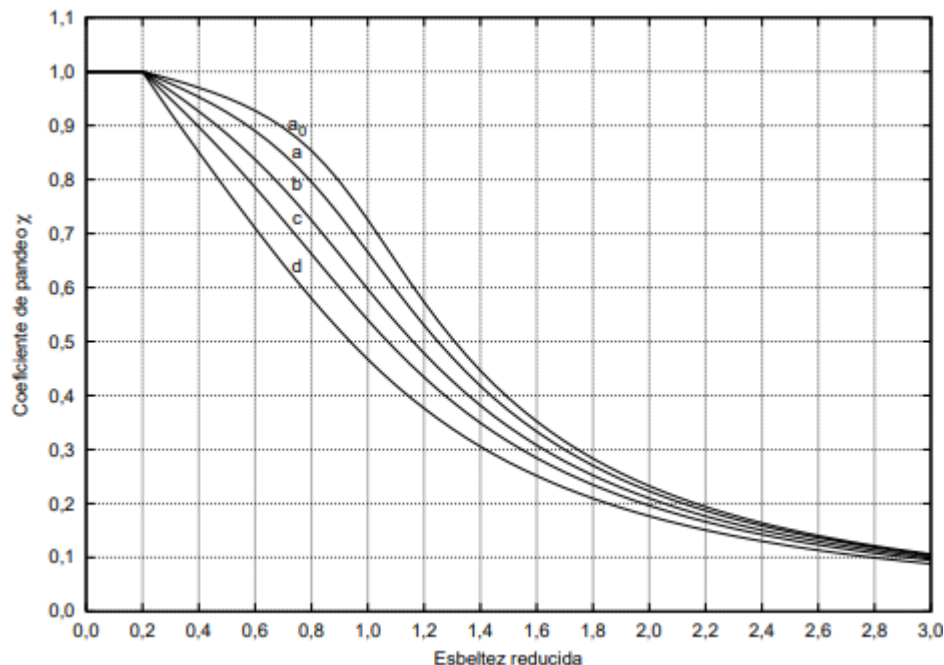


ILUSTRACIÓN 21 CURVAS DE PANDEO FUENTE: FIGURA 6.3 DEL DOCUMENTO SE-A

6. Finalmente, se comprueba que la carga aplicada sea inferior a la capacidad del perfil a pandeo por flexión:

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

7. $N_{b,Rd} > N_{aplicada} = 17.08 \text{ kN}$

Perfil	Orientación	Momento de inercia [cm ⁴]	I_k [m]	Área [cm ²]	Carga crítica [kN]	Esbeltez reducida	Coeficiente de pandeo	Capacidad a pandeo
HEB 100	X	450	$L = 3$	25	1036,31	0,75	0,87	486,79 kN
HEB 100	Z	167	$0,7L = 2,1$	25	784,87	0,06	1	559,52 kN

TABLA 10 PRIMERA ITERACIÓN PARA EL CÁLCULO DEL PERFIL. FUENTE: PROPIA

No es necesario realizar ninguna otra iteración; se ha comprobado que el perfil soporta en cualquiera de los planos de las condiciones de arriostramiento descritas. Analizamos también la situación más crítica de las condiciones de arriostramiento: en ménsula, donde $I_k = 2L = 6 \text{ m}$.

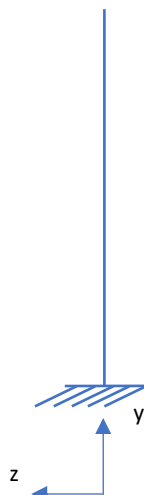


ILUSTRACIÓN 22 ESQUEMA DE ARRIOSTRAMIENTO EN MÉNSULA. FUENTE: PROPIA.

Perfil	Orientación	Momento de inercia [cm ⁴]	I_k [m]	Área [cm ²]	Carga crítica [kN]	Esbeltez reducida	Coefficiente de pandeo	Capacidad a pandeo
HEB 100	X	450	2 L= 6	25	259,08	1,51	0,35	196 kN

Conclusión:

Los pilares están muy sobredimensionados: son capaces de soportar una carga muy superior a la que están sometidos: incluso en el peor de los casos pueden soportar más de 10 veces la carga que sufren sin haber riesgo de fallo. Este sobredimensionamiento es un margen de seguridad de gran importancia porque:

- Se considera la posible existencia de defectos en los perfiles:
 - Las exigencias de fabricación son poco restrictivas: en España los estándares de calidad se han de ceñir a los parámetros pautados para el sector de la siderurgia de la unión europea: UNE-EN 10020:2001. Sin embargo, no tenemos constancia de que los fabricantes se rijan por una norma (internacional o propia).
 - Los procedimientos establecidos en la inspección de productos fabricados no son tan estrictos como cupiera esperar.
- Además, se contempla la posibilidad de que los depósitos sean de ferrocemento. Al hacer los depósitos de obra, el volumen de los mismos puede ser mayor. Esta solución se llevará a cabo en el caso de que el estudio del pozo resulte muy positivo: con una gran capacidad de suministro, por lo menos el doble de la supuesta de **10 m³/día**. En ese caso, la carga axial soportada por los pilares sería significativamente mayor.

9.2.5. Dimensionamiento a cortante

Es una mera comprobación ya que, por lo anteriormente expuesto, las cargas más restrictivas para elementos estructurales esbeltos son las cargas compresivas.

De acuerdo con el código de seguridad SE, se comprobará que la resistencia de las secciones a cortante sea igual a la resistencia plástica del material:

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

Se obtiene así un **área mínima** del perfil **25 mm²**: esto es, sería más que suficiente dimensionar con un HEB 100 si sólo tuviéremos en cuenta la carga del viento.

A la luz de los resultados, resulta evidente que el cortante es un factor de fallo insignificante con respecto al pandeo. Es por esto por lo que se descarta ajustar la hipótesis primera del área de incidencia. Se había supuesto un valor muy superior al valor real y pese a la estimación conservadora el área mínima de seguridad es inferior a la del menor de los perfiles tabulados. Esto es: el área mínima real es incluso menor a esos 25 mm², pues la carga del cortante está sobredimensionada en el cálculo realizado.

Conclusión:

Concluimos que, en caso de aplicarse la carga axil calculada de 12.65 kN, será suficiente construir la estructura con perfiles HEB100.

9.2.6. Elementos de seguridad

Antes de definir los elementos de seguridad cabe destacar la importancia de empotrar debidamente los pilares. Para ello se abrirá una cavidad de al menos un metro y medio de profundidad (1/2 de la altura final de la estructura), y tras introducir el pilar, se cementará garantizando así un buen empotramiento.

Se instalan unos cordones de seguridad que unirán los pilares formando una cruceta (o incluso en dos tramos para mayor seguridad), tal y como se muestra en las siguientes figuras:

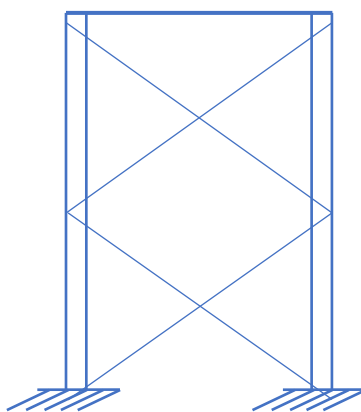


ILUSTRACIÓN 23 ESQUEMA I DE COLOCACIÓN ELEMENTOS DE SEGURIDAD. FUENTE: PROPIA

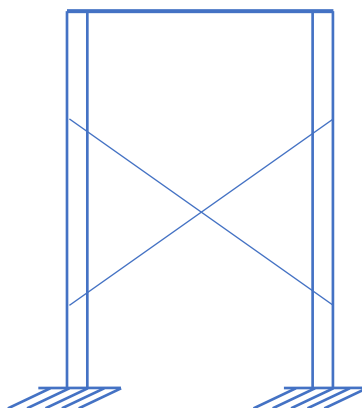


ILUSTRACIÓN 24 ESQUEMA II DE COLOCACIÓN ELEMENTOS DE SEGURIDAD. FUENTE: PROPIA

Varios serán los factores de decisión para elegir una disposición u otra:

1. Longitud de los cables disponibles
2. Firmeza de los empotramientos contruidos y consiguiente existencia de asientos en los mismos.

10. LA ESTACIÓN DE BOMBEO:

La estación de bombeo resulta necesaria para poder distribuir el agua del regadío por gravedad. Para poder hacer esto, se bombeará el agua del pozo a un depósito elevado desde el que se hará el transporte por gravedad. Dicha estación cuenta con diferentes elementos, cuyo diseño es objeto de estudio de este proyecto: conductos de aspiración, bombas y tuberías de impulsión, así como una cámara de toma reguladora de aspiración.

10.1. Cámara reguladora:

La misión de esta es garantizar un flujo regular de agua; la cámara almacena agua para asegurar que no entre aire en la bomba. Esta cámara además cuenta con un sistema de desbaste: unas rejillas han de retener impurezas que podrían obturar la bomba. En nuestro proyecto en cuestión la cámara reguladora es el propio pozo con el que ya cuenta el orfanato. Se ha de tener en cuenta que el conducto de aspiración ha de estar a una cota inferior al nivel freático para suministrar así un flujo regular sin turbulencias ni aire a la bomba.

Según George Seremwe, contacto de referencia en el orfanato, el pozo tiene una profundidad de 40 m. Se instalará la bomba, como se indicará más adelante en este capítulo, a una profundidad máxima tal que haya una cota de al menos 1 metro respecto al fondo. Dicho esto, cabe esperar que no sea una problemática que la bomba esté por encima del nivel freático.

10.2. Conducto de aspiración:

Se habrá de elegir el material idóneo para estos. Se proveerán de la correspondiente válvula de pie. Además, se habrá de adaptar la conexión entre las secciones de estos conductos y la de la entrada de la bomba.

10.3. La bomba:

Una bomba es una turbomáquina hidráulica generadora. A continuación, se muestra un esquema con los diferentes tipos de máquinas de fluido en el que queda reflejada la clasificación de las máquinas a emplear en este proyecto.

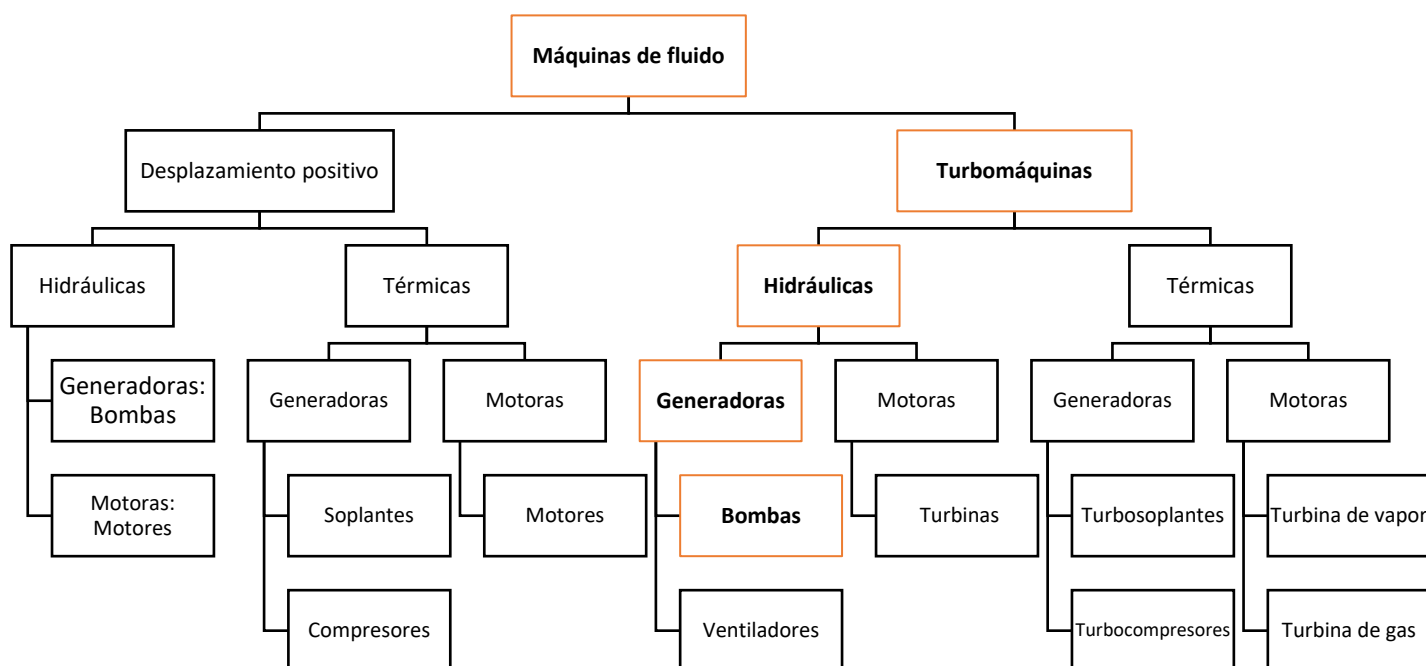


ILUSTRACIÓN 25 ESQUEMA DE LA CLASIFICACIÓN DE LAS MÁQUINAS DE FLUIDO. FUENTE: ICAI

10.3.1. Bombas: Elementos constitutivos

Una bomba hidráulica se compone de los siguientes elementos:

- Rodete: este es órgano intercambiador de energía (OIE).
- Sistema difusor: elemento encargado de transformar la energía cinética del fluido en energía de presión. Conduce el fluido desde la salida del rodete hasta la salida de la bomba.
- Eje: transmite la potencia mecánica desde el motor al OIE. El eje es un elemento rotativo; por lo que requiere unos rodamientos como soportes. Estos rodamientos se denominan cojinetes.

Además, las bombas están protegidas por una carcasa y cuentan con sistemas que garantizan su estanqueidad; los hay de diferentes clases: cierres (mecánicos o laberínticos), prensaestopas y retenes. Las conexiones con las tuberías de admisión e impulsión se denominan bridas.

Mientras que según la dirección de flujo del rodete las bombas de desplazamiento positivo pueden ser alternativas o rotativas, las turbomáquinas pueden ser radiales, diagonales o axiales.

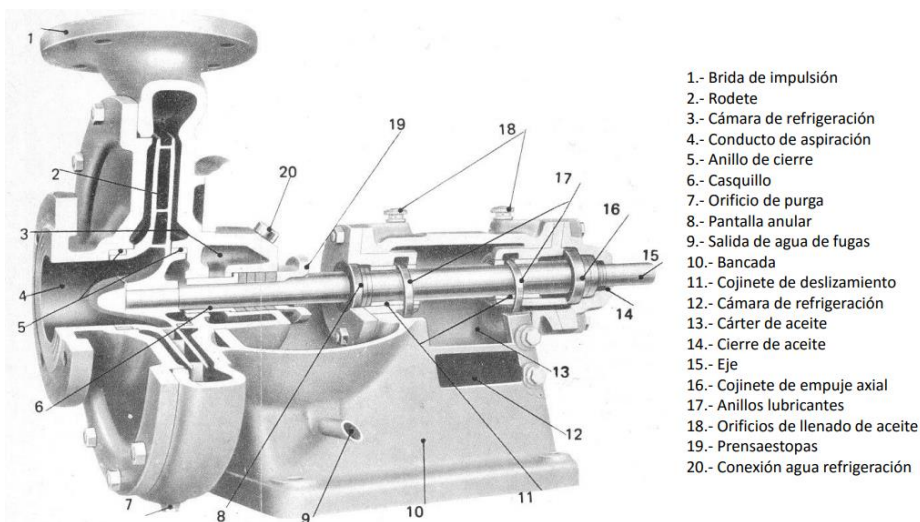


ILUSTRACIÓN 26 ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DE UNA BOMBA. FUENTE: ICAI

10.3.2. La bomba: Tipos de bombas

Existen diferentes criterios para clasificar los distintos tipos de bombas de extracción como se muestra en el siguiente esquema. En la práctica, para definir un modelo, se emplea una combinación de todos estos criterios.

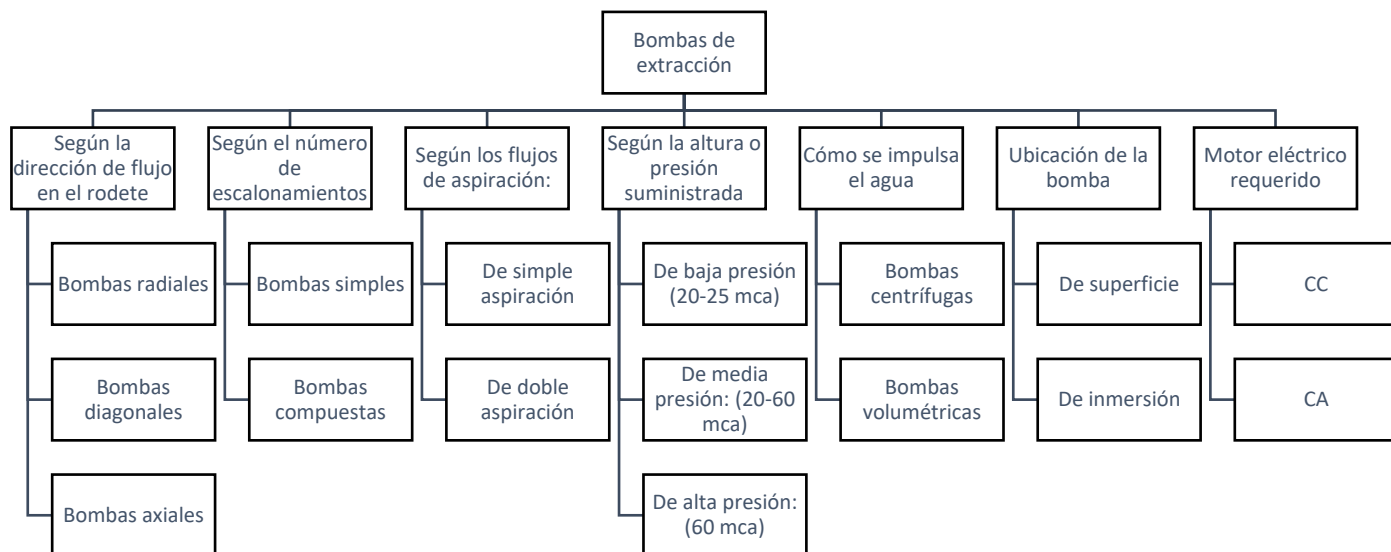
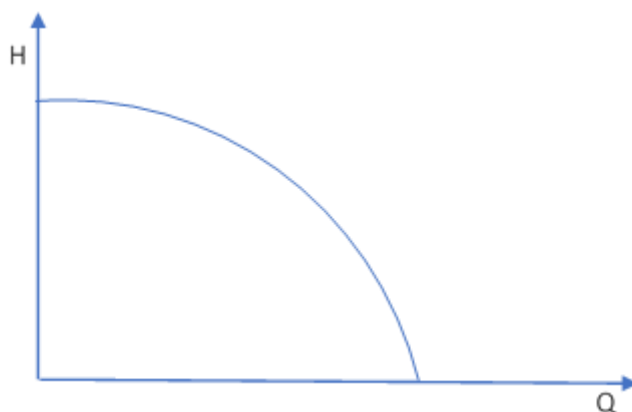


ILUSTRACIÓN 27 CLASIFICACIÓN DE BOMBAS. FUENTE: PROPIA.

Para seleccionar una bomba eficiente para la instalación, se estudian dos factores determinantes: el **caudal de servicio** y la **altura de elevación**. El caudal no es un factor condicionante en la instalación pues dado que el agua va a ser almacenada, no hay que satisfacer una demanda puntual alta. Por esto, se asume un caudal pequeño. Sin embargo, el factor cuya importancia prima es la altura. El objetivo de la instalación es aumentar la energía potencial del agua para que la distribución posterior de la misma se haga por gravedad. Queremos que la bomba pueda realizar la tarea con holgura más sin estar sobredimensionada pues eso encarecería el proyecto innecesariamente. El que el

funcionamiento de la bomba vaya a ser intermitente también es un factor que se ha de considerar al elegir la bomba.

El punto de funcionamiento de la estación de bombeo está condicionado por la instalación y la bomba. La bomba tiene una capacidad de transporte determinada, que se refleja en su curva característica. La bomba puede funcionar en cualquier punto de esta variando el caudal con el que trabaje. El caudal se modifica restringiendo con una válvula la entrada de fluido a la bomba. A menor caudal, mayor altura.



GRÁFICA 1 EJEMPLO DE CURVA CARACTERÍSTICA DE UNA BOMBA. FUENTE: PROPIA

Ecuación característica de la bomba:

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

A y B se obtienen mediante ensayos.

Conocer esos términos a unas revoluciones determinadas permite conocer el comportamiento de bombas geoméricamente semejantes, así como el funcionamiento de la misma bomba tanto instalada en otro emplazamiento como girando a diferentes velocidades.

La **curva de funcionamiento de la instalación** describe el comportamiento hidráulico de la misma.

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

- $\frac{p_z - p_A}{\rho \cdot g} + z_Z - z_A$, diferencia de altura entre la cámara de aspiración y la zona de descarga. Es independiente del caudal.
- $H_{rA-e} + H_{rs-Z}$, las pérdidas de carga aumentan con la velocidad. Por ello, a mayor caudal, mayores son las pérdidas. Aumentan también con el coeficiente de rugosidad de los conductos, la viscosidad del fluido que transportan, así como la longitud de estos. Disminuyen conforme menor es el diámetro de las tuberías.

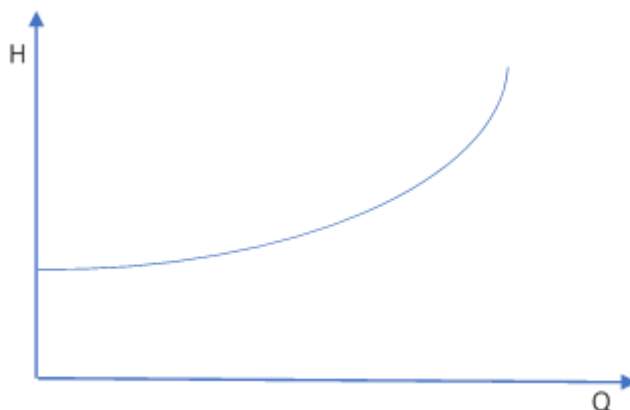


ILUSTRACIÓN 28 CURVA DE FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN. FUENTE: PROPIA

En la siguiente gráfica se representan las especificaciones de los distintos tipos de bombas. Estas se representan estimando la duración de un día solar promedio.

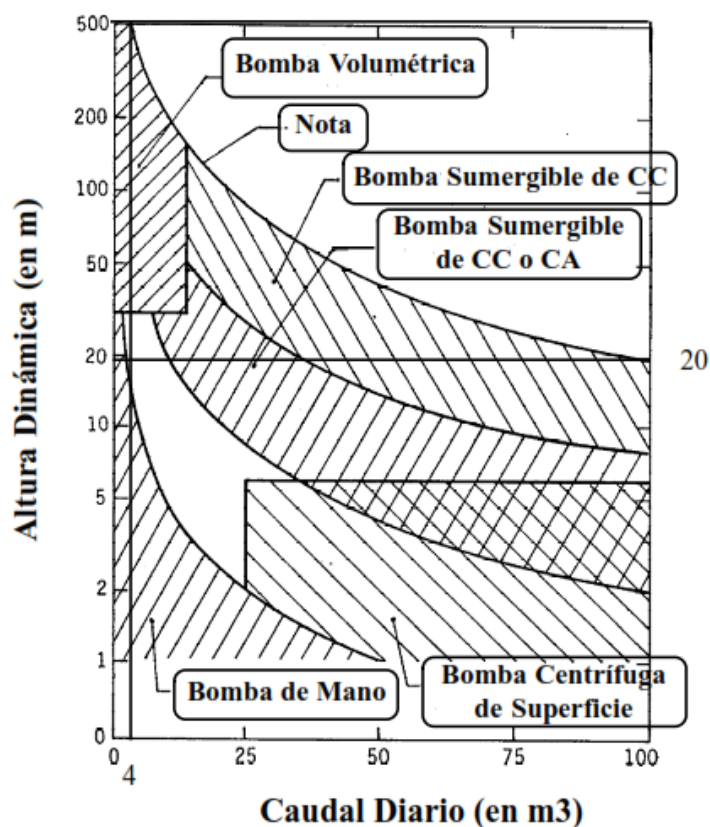
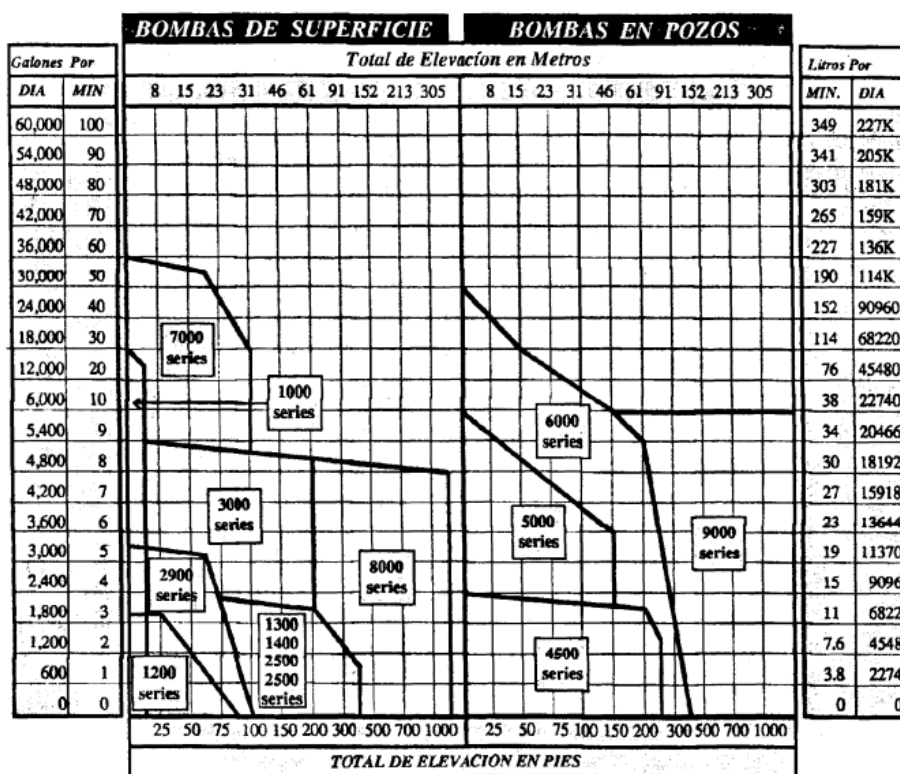


ILUSTRACIÓN 29 CURVAS DE FUNCIONAMIENTO SEGÚN EL TIPO DE BOMBA. FUENTE: CEDECAP.ORG

Como podemos observar en el gráfico, al aumentar la altura requerida de cualquiera de las bombas (la altura dinámica incrementa tanto con la elevación del depósito como con la profundidad del pozo), el caudal disminuye.

Dado que la consideración de los fabricantes del cálculo de caudal diario puede variar en gran medida con el caudal real del proyecto por la disponibilidad de recursos hídricos, la irradiación en el lugar de

instalación de la célula fotovoltaica, y la duración del día solar. Por ello empleamos para mayor precisión gráficas en las que se trabaje con el caudal instantáneo.



GRÁFICA 2 CURVAS DE FUNCIONAMIENTO SEGÚN EL TIPO DE BOMBA. FUENTE: DANKOFF SOLAR PUMPS

10.3.2.1. Bombas centrífugas

El agua es empujada por la bomba gracias al mecanismo rotativo de la bomba que impulsa el fluido. Las bombas centrífugas pueden ser tanto sumergibles como de superficie. Su aplicación es recomendada para instalaciones donde se quiere poca altura y un gran caudal; así como en aquellas cuya fuente hídrica es superficial (lagos, ríos...)

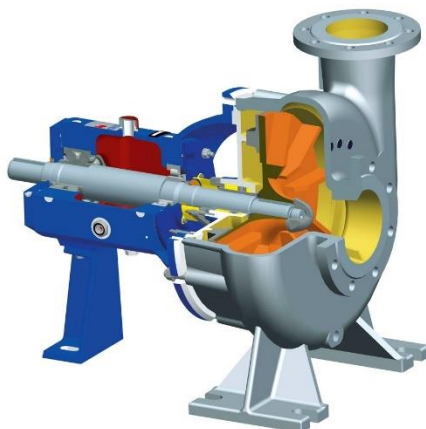


ILUSTRACIÓN 30 BOMBA CENTRÍFUGA. FUENTE: TODOPRODUCTIVIDAD.BLOGSPOT.COM

10.3.2.2. Bombas volumétricas

Estas bombas funcionan desplazando “paquetes” de agua. Impulsan volúmenes de agua confinados en las cámaras de la bomba. Con este procedimiento, por el que cada volumen es impulsado por su sucesor, se elevan grandes alturas (desde los 10 hasta los 500 m) caudales moderados. Se alcanza la fuerza estacionaria en el punto en que los volúmenes impulsados e impulsores se igualan.

Las bombas volumétricas pueden tener configuración sumergible o de superficie.

10.3.2.3. Bombas sumergibles

De entre los diferentes tipos de bombas, la bomba sumergible resulta la más indicada para la **extracción de agua subterránea**; para nuestro pozo.

En pozos de aguas profundas, resulta más eficiente la instalación de bombas sumergibles. En cualquier caso, se ha de tener presente el descenso que experimentará el pozo cuando comience el bombeo de agua. Se estudiarán las opciones de instalar una bomba sumergida, así como emplear una bomba de superficie. Independientemente de la anterior elección, se elegirá una **bomba lenta**: con un número específico de revoluciones bajo. Las bombas radiales suministran valores bajos de caudal y grandes alturas.

Este tipo de bombas son la mejor solución para instalaciones con grandes alturas de aspiración o con poco NPSH disponible. Una desventaja que presentan es, a la hora de realizar reparaciones y acciones de mantenimiento, se ha de extraer toda la tubería para poder acceder a la bomba.²³

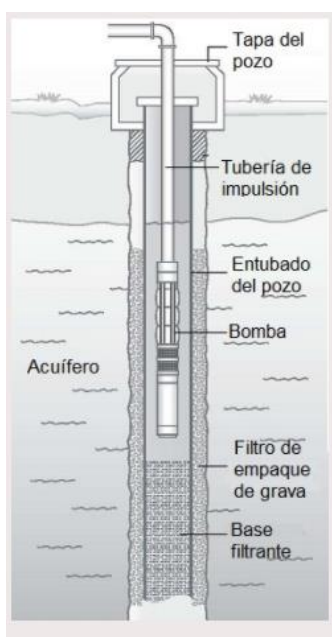


ILUSTRACIÓN 31 ESQUEMA DE BOMBA SUMERGIDA. FUENTE: WWW.INGEMECANICA.COM

¿Por qué gran altura? Queremos elevar el agua del pozo al depósito en altura.

¿Por qué bajo caudal? Atendiendo al propósito de este proyecto de garantizar la sostenibilidad de la “orfarm” diseñando el bombeo solar de la plantación, se respetará el principio fundamental del bombeo solar que consiste en **bombear un caudal instantáneo relativamente bajo durante tanto tiempo como la irradiación solar lo permita**. Esta técnica diverge de la práctica

²³ <http://cidta.usal.es/Cursos/redes/modulos/Libros/unidad%209/clasificacion.PDF>

habitual por la que motores de alta potencia accionan bombas que funcionan durante un periodo de tiempo muy corto.

En cualquier caso, cabe destacar que para calcular el caudal diario se debe tener en cuenta que las variaciones estacionales suponen fuertes cambios en la profundidad a la que se encuentra el agua del pozo. Por ello se procederá a la instalación del sistema durante la estación más seca, como se indica en la memoria.

Se ha tomado la decisión, nuevamente abogando por la simplicidad del proyecto de cara a posibles reparaciones o recambios que tendrían además un elevado coste, de no instalar baterías para almacenar la energía sino almacenarla en forma de energía potencial. Por ello, se consideran las horas de máxima radiación en Zimbabwe el tiempo medio de funcionamiento diario de la bomba, tal y como se muestra en la siguiente tabla.

Caudal de la bomba		
Duración día solar	5.41	horas
Volumen de agua total a bombear	10	m ³
Caudal de bombeo	1.85	m ³ /hora

TABLA 11 CAUDAL DE BOMBEO. FUENTE: PROPIA

Por lo tanto, se habrá de instalar una bomba capaz de suministrar **1.85 m³/hora**, o lo que es lo mismo, **30.81 L/min**. Este caudal se dividirá entre los dos depósitos.

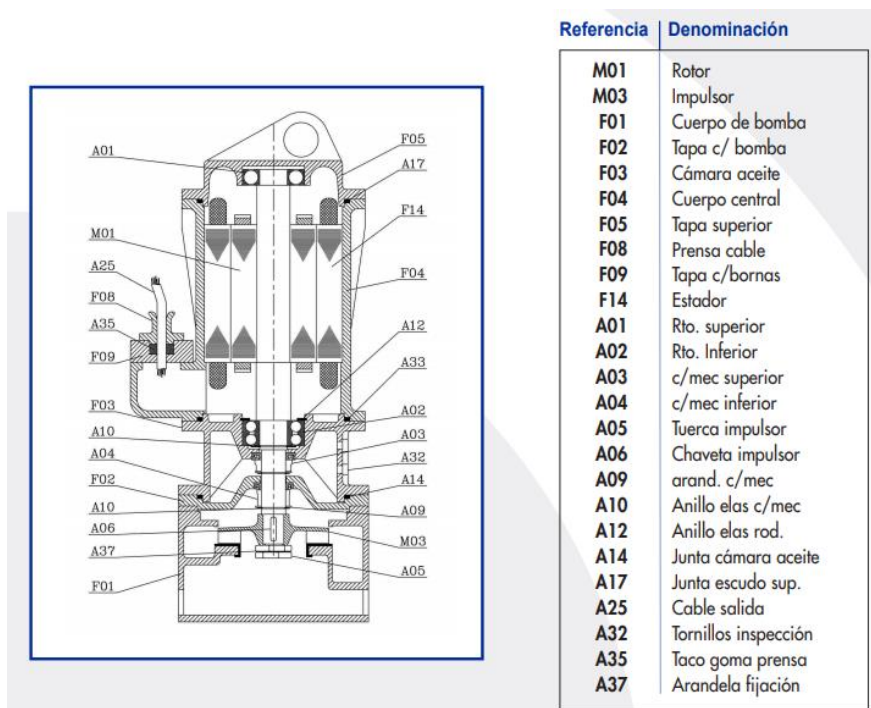


ILUSTRACIÓN 32 BOMBA SUMERGIBLE. FUENTE: BOMBAS OMEGA²⁴

De forma complementaria a los cálculos aquí presentados se tiene presente el hecho de que habrá que introducir múltiples modificaciones una vez se vaya a proceder a la implantación del proyecto.

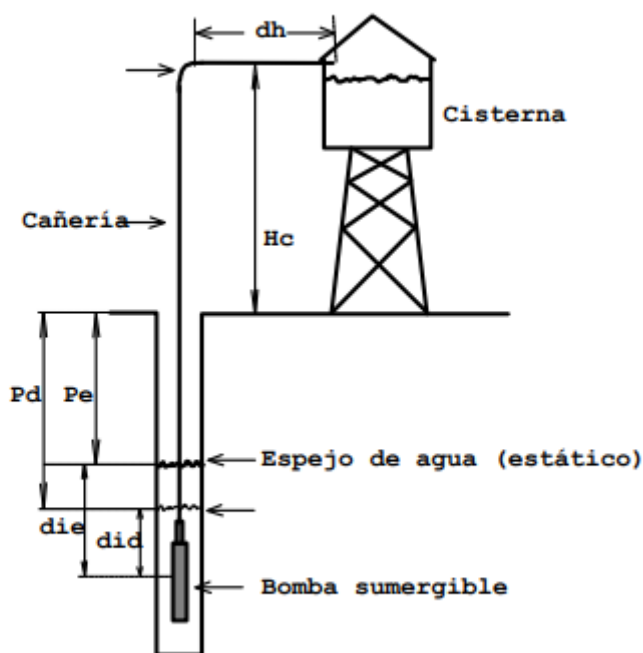
²⁴ http://www.bombasomega.com/documentos/catalogo_sumergibles.pdf

Es debido a la casuística ya planteada por la que el acceso a la información resulta complicado por lo que será preciso introducir las modificaciones necesarias in situ.

Uno de los factores que habrá de entrar en consideración a la hora de decidir el caudal, será la **altura dinámica**. (Se definen sus parámetros en el apartado siguiente) La altura dinámica depende del caudal de extracción. A mayor caudal, mayor es la caída que sufre el nivel del agua del pozo; esto es, mayor es la diferencia entre d_{ie} y d_{id} . La relación entre el caudal de extracción y la altura dinámica es compleja, pues depende tanto de la permeabilidad de las paredes del pozo, como del área de percolación y la profundidad del acuífero.

Además, se ha de considerar siempre una **distancia de seguridad de un metro entre el fondo del pozo y la bomba** para evitar daños en la bomba originados por la introducción de partículas de arena en la bomba. Consecuentemente, el máximo caudal de extracción será aquel para el cual el nivel dinámico del agua cae hasta la altura en la que se encuentra la entrada de la bomba. En el siguiente apartado se plantean y definen los conceptos necesarios para el cálculo de la altura.

10.3.3. La bomba: altura de elevación



ESQUEMA 1 ESQUEMA DE BOMBEO SOLAR. FUENTE: CEDECAP.ORG

En el presente esquema se representan los parámetros más representativos de una instalación para el dimensionamiento de según altura de elevación. Se procede a continuación a definir los diferentes factores.

La altura que hay desde la superficie del agua del pozo hasta la superficie libre del agua almacenada, se denomina **altura estática**. Esta altura es medible cuando la instalación no está en funcionamiento; cuando está estática.

$$H_e = d_{ie} + P_e + H_c$$



H_e = altura estática total

P_e = profundidad estática: distancia desde la superficie libre del agua del pozo hasta la boca del pozo

d_{ie} = distancia de inmersión estática: esta varía según la profundidad a la que se haya instalado la bomba y el nivel del agua del pozo

H_c = altura de la cisterna: distancia desde la boca del pozo hasta el punto de descarga en la cisterna. El punto de descarga será aproximadamente igual a la suma de la altura de la estructura y la altura de la cisterna.

La altura que la bomba ha de elevar el agua una vez se ha iniciado el proceso de bombeo se denomina **altura dinámica**. Esta altura toma en consideración tanto los nuevos niveles de succión como las pérdidas por fricción dentro de la cañería. Esta es la altura que determina la dimensión de la bomba necesaria para la instalación.

$$H_d = P_d - d_{id} + H_c + h_{eqt}$$

H_d = altura dinámica

P_d = profundidad dinámica: distancia, cuando el sistema está en funcionamiento, desde la superficie libre del agua del pozo hasta la boca del pozo

d_{id} = columna de agua por encima del punto de toma de agua; esta altura favorece el proceso de bombeo (por eso aparece con signo negativo en la ecuación). Representa una pequeña corrección en relación con el valor que alcanza la suma de $P_c + H_c$; habitualmente resulta despreciable

H_c = altura de la cisterna

h_{eqt} = altura equivalente: pérdidas totales sufridas en las tuberías del sistema, expresadas en unidades de longitud

Las pérdidas mecánicas de la cañería son reducidas a un valor de altura equivalente. De esta forma todos los términos para el cálculo de la altura dinámica se expresan en unidades de longitud. Se distingue entre dos tipos de pérdidas: por un lado, existe unas pérdidas generadas por la fricción del agua moviéndose dentro de la tubería rugosa; por otro, las causadas por la turbulencia que se genera debido a la presencia de elementos que producen irregularidades en el flujo de agua (codos, uniones...)

10.3.4. La bomba: cavitación

En las bombas de una estación en seco se ha de controlar el valor del NPSH en el punto de funcionamiento de la bomba. En función de este valor se efectuará la instalación de la bomba en un punto u otro. En el caso de instalar una bomba sumergible, el problema de la cavitación desaparece por estar la entrada de la bomba sumergida en el fluido.

Este fenómeno resulta especialmente dañino para las bombas. Aparece cuando la presión en el tubo de aspiración es considerablemente mayor que la presión de entrada a la bomba; esto es, cuando la presión de entrada en la bomba es demasiado baja. Cuando la presión es menor que la presión del vapor del fluido (valor tabulado), se produce el proceso termodinámico de la cavitación por el que el líquido cambia de estado a líquido a estado vapor. Se producen pequeñas burbujas de vapor contenidas en el líquido. A priori esto no supondría un problema para las bombas. El problema es que cuando el líquido llega a una zona en la que la presión es mayor (esto ocurre cuando la velocidad disminuye) y se supera el valor límite mencionado, las burbujas de vapor implosionan.

La presión mínima (velocidad máxima) en las bombas se alcanza en el rodete, justo a la entrada de los álabes. Es en los álabes donde empieza a recuperar presión; es al final del álabe donde se produce el colapso instantáneo de las burbujas. Este genera presiones muy elevadas que se traducen

desperfectos (por corrosión por picadura) en las bombas que con el tiempo llegan a inutilizar la máquina.

Las ondas de choque de las implosiones producen además de corrosión por picadura, fuertes vibraciones, ruidos, etc.

Con la instalación en carga, al estar el nivel de aspiración a la entrada de la bomba, no existe variación de presiones.²⁵

10.3.5. La bomba: consumo energético

Este depende del punto de funcionamiento de la bomba donde $Q [m^3/h]$ es el caudal suministrado por la bomba, $H [m]$ es la altura de impulsión, y $\eta [-]$ es el rendimiento de la bomba.

En función de la altura a la que se desee extraer el agua, la bomba requerirá una potencia u otra. Cuanto mayor sea la altura dinámica que ha de elevar la bomba el agua (esto es, mayor sea la profundidad del pozo, por estar el tanque elevado a una altura fija), mayor será la necesidad energética. La energía suministrada por el panel solar depende de la radiación que este reciba; por lo tanto, según la radiación instantánea, la bomba puede no ser capaz de elevar el fluido la altura requerida.

10.3.5.1. Potencias

Se definen a continuación los términos relativos a las diferentes potencias de la bomba:

- Potencia efectiva: $P = P_a - P_m - P_v - P_h = P_u - P_v - P_h$
- Potencia útil (potencia interna intercambiada en el rodete): $P_u = P_a - P_m$
- Potencia efectiva: $P = Q * \rho * g * H$
- Potencia absorbida: potencia transmitida al eje por el motor. $P_a = M * \omega$

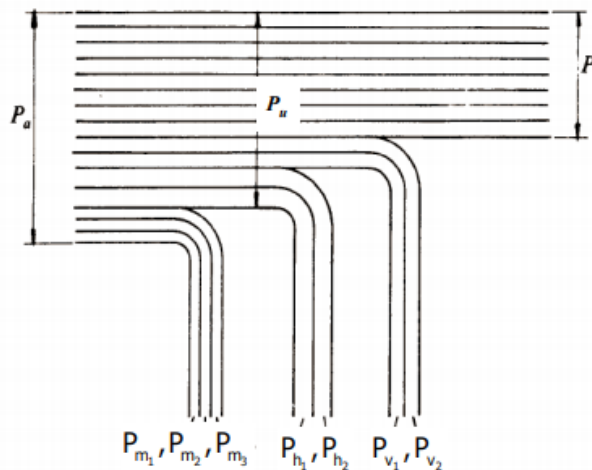


ILUSTRACIÓN 33 FLUJO DE POTENCIAS EN MÁQUINA HIDRÁULICA. FUENTE: ICAI - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA (TURBOMÁQUINAS)

²⁵ <http://www.bombasideal.com/wp-content/uploads/catalogos/25-LIBRO%20HIDRAULICA%20%5BD-020714%5D.pdf>



La potencia útil, es la potencia interna intercambiada en el rodete.

$$Pu = Q_{rod} * \rho * g * Hu$$

Definiendo la altura efectiva como $H = Hu - H_{rint}$, podemos reescribir la ecuación de la potencia útil:

$$Pu = (Q + q_e + q_i) * \rho * g * (H + H_{rint})$$

$$Pu = Pa - Pm$$

10.3.5.2. Rendimientos:

Se definen a continuación los términos con los que se designan los diferentes rendimientos.

- Rendimiento hidráulico: $\eta_h = \frac{H}{Hu} = \frac{H}{H+H_{rint}}$
- Rendimiento volumétrico: $\eta_v = \frac{Q}{Q_{rod}} = \frac{Q}{Q+q_e+q_i}$
- Rendimiento mecánico:

$$\eta_m = \frac{Pu}{Pa}$$

Reescribiendo la ecuación arriba planteada de la potencia útil se obtiene:

$$Pu = \frac{Q}{\eta_v} * \rho * g * \frac{H}{\eta_h} = \frac{P}{\eta_v * \eta_h}$$

Quedando así definido el rendimiento total:

$$\eta_t = \frac{P}{Pa} = \frac{P}{Pu} * \frac{Pu}{Pa} = \eta_v * \eta_h * \eta_m$$

Se plantea a continuación la ecuación por la que se calculará el consumo energético de la bomba.

$$Energía (kWh) = \frac{m * g * H}{\eta_t}$$

Con la fórmula planteada se establece la relación entre la energía potencial ganada y la eficiencia de la bomba. Por su mayor utilidad tanto a la hora de dimensionar la bomba necesaria para la instalación, como de cara a la compra tanto de las bombas como los paneles fotovoltaicos se harán los cálculos pertinentes en W y no Wh .

$$Potencia (W) = \frac{Q * H * \rho * g}{\eta_t}$$

Volumen total	10	m ³
HSP (horas solar pico)	5.41	h
Caudal	1.85	m ³ /h
Densidad del agua	998	kg/m ³
Gravedad - constante	9.81	m/s ²
Altura (elevación)	45	m
Rendimiento estándar bomba	0.8	
Rendimiento estándar motor	0.85	



Rendimiento total

0.68

TABLA 12 CÁLCULO DE LA POTENCIA NOMINAL DE LA BOMBA. FUENTE: PROPIA

$$Potencia \left(\frac{J}{s} = W \right) = \frac{1.85 * 45 * 998 * 9.81}{0.68} = 1197583.72 \frac{J}{h}$$
$$\frac{1197583.72 \frac{J}{h}}{3600 \frac{s}{h}} = 332.66 \frac{J}{s} = 332.66 W$$

La potencia nominal de la bomba habrá de ser como mínimo de 332.66 W.

10.3.6. La bomba: motor de accionamiento

Los motores de CC que se utilizan en las bombas suelen tener un mayor desgaste que los de corriente alterna por el rozamiento entre las delgas (elemento del colector del motor que establece el contacto necesario entre la parte móvil y la fija del rotor) y las escobillas o carbones que entran en contacto con las mismas de forma alternativa conduciendo así la corriente. Por estar tan sometidos a la fricción tienen unos periodos de revisión indicada de entre cinco y diez años, mucho más frecuentes que las bombas trifásicas.

El rotor puede tener tanto una configuración con bobinado (y su consiguiente imantación inducida cuando entra en funcionamiento), o bien con un imantado permanente. El valor de la resistencia eléctrica es menor cuando el campo magnético es permanente; de lo que se deduce que ese tipo de bomba es más eficiente.

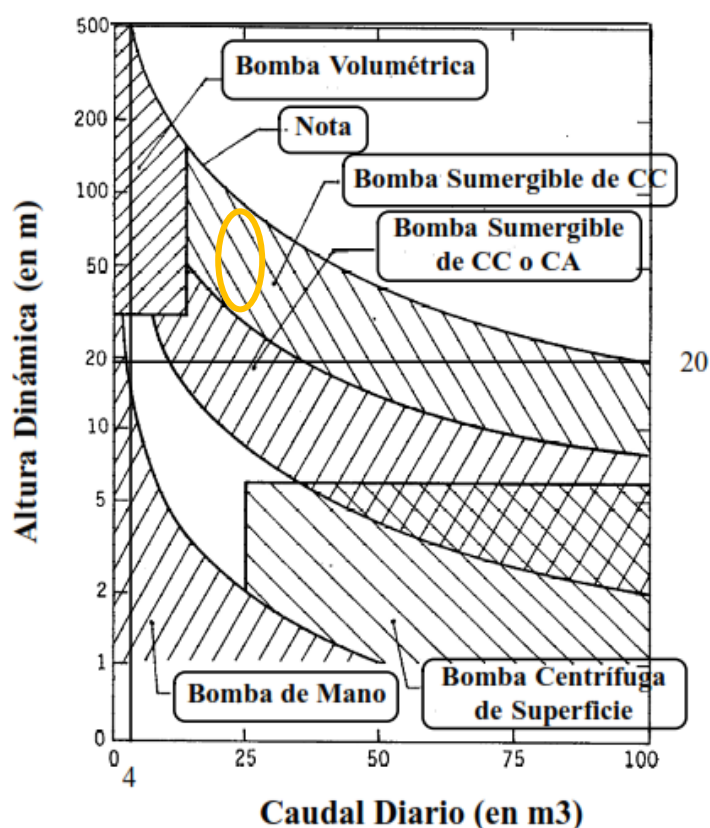
A continuación, se muestra una tabla donde se expresa la elección óptima del tipo de motor según la potencia de la bomba a accionar:

POTENCIA DE LA BOMBA	CONFIGURACIÓN ÓPTIMA DEL MOTOR
P < 2250 W	CC con rotor magnético
2250 W < P < 7500 W	CC con bobinado en el rotor *
7500 W < P	CA

* Nótese que para lograr un campo magnético rotativo con el bobinado se necesita un campo trifásico por lo que es necesario convertir el voltaje de corriente continua en uno de corriente alterna.

10.3.7. La bomba: dimensionamiento

Por todo lo anteriormente expuesto y con el apoyo de las curvas de funcionamiento representadas en la siguiente ilustración, se instalará una bomba sumergible de CC. Se representa a continuación el punto de funcionamiento deseado en las mencionadas curvas.



GRÁFICA 3 ÁREA DE FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN DE PROJECT ZIMBABWE. FUENTE: PROPIA

A la hora de elegir una bomba sumergible, un parámetro crucial para el diseño es la anchura del pozo. Cuanto mayor sea el diámetro de la bomba, mayor será su rendimiento. Dicha anchura se ve limitada por el diámetro del pozo pues se ha de garantizar que hay un espacio suficiente entre la bomba y las paredes del pozo de forma que no se generen turbulencias en dicho espacio por fricción del agua. Tales turbulencias afectan negativamente al rendimiento de la bomba. Tal y como la lógica dicta, la instalación recomendada de bombas sumergibles se hace de forma que estas queden centradas en el hueco del pozo. Cuando esto ocurre, la refrigeración es más eficiente.

Así, se obtiene el espacio mínimo recomendado que ha de haber entre la camisa de la bomba y la pared interior del pozo.

$$v = Q \cdot \frac{354}{(D^2 - d^2)} \leq 3 \text{ m/s}$$

v es, en [m/s], la velocidad del agua en el hueco alrededor de la bomba. Se limita a 3m/s para minimizar las pérdidas de carga por fricción.

Q es el caudal en el punto de diseño en [m^3/h]

D y d (ambos en milímetros) son, respectivamente, el diámetro interno de las paredes del pozo y el diámetro exterior de la camisa de la bomba.

Según las estimaciones previstas, la velocidad en las paredes alrededor del hueco de la bomba habrían de estar controladas. En cualquier caso, se harán las mediciones necesarias en el terreno para poder garantizar el correcto dimensionamiento de la bomba.



PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES
Caudal calculado	0,0308	m ³ /s
Diámetro del pozo	2	estimación
Diámetro de la bomba	0,5	Estimación
Velocidad en intersticio	2,908	m/s

TABLA 13 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD EN INTERSTICIO DEL POZO. FUENTE: PROPIA

Se contempló la opción de la instalación de dos bombas más pequeñas en lugar de sólo una; la distancia mínima entre las mismas habría de ser de 80cm para que no se generasen turbulencias entre las mismas. Se ha descartado esta opción puesto que incrementaría considerablemente los costes del proyecto el instalar dos bombas en serie. Además, dada la casuística particular del proyecto, se considera un factor crucial la **simplicidad** de la instalación dado que se busca minimizar las posibilidades de fallo del sistema.

10.3.7.1. Decisión primera: bomba trifásica o de corriente continua

Ante la presente incertidumbre sobre los datos del proyecto, se plantean diferentes posibles escenarios. A partir de las diferentes situaciones que podrán encontrarse en el terreno, se plantean soluciones adaptadas para cada una de ellas.

Se han considerado 6 posibles sucesos, con diferentes casuísticas contempladas dentro de estos. A partir de esos casos se ha desarrollado la siguiente tabla donde se reflejan tanto los datos de la hipotética instalación como los datos de la bomba seleccionada para dar respuesta a esa casuística. Este estudio inicial se ha llevado a cabo con el programa *ABSTEL PRO*, software de la empresa ABS.

Los resultados obtenidos son los siguientes:



Supuesto	INSTALACIÓN									BOMBA								
	Caudal [m³/h]	Altura dinámica [m]	Diámetro nominal conducto [mm]	Rugosidad tubería PVC [k/mm]	Presión nominal	Longitud tubería [m]	Velocidad del fluido [m/s]	Pérdidas (Colebrook) [m]	Modelo	rpm	Diámetro bomba [mm]	Q [m³/h]	H [m]	P2 [kW]	Rendimiento [-]	Coste energético [€/año]	Inversión inicial aprox. [€]	Tipo de rodete
1	30	20	40	0,04	10	100	-	44,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	5	20	35	0,04	10	100	1,444	7,394	J 54 HD	2850	196	8,292	41,54	3,957	23,75	4817,76	300	semi abierto
									JC 34 HD	2850	128	6,055	31,63	2,707	19,5	3619,41	210	semi abierto
3	24	12	50	0,04	10	100	4,155	40,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
						100	2,613	12,38	J 54 ND	2850	157	25,78	26,27	3,975	47,31	4051	290	semi abierto
						300		37,13	J 54 HD	2850	196	30,53	32,06	5,264	50,89	5684,75	300	semi abierto
									JC 54 HD	2565	196	24	27,5	3,7	48,84	4039,25	240	semi abierto
4	15	12	65	0,04	10	300	1,847	15,5	J 54 HD	2850	196	28,11	33,26	5,149	49,71	5595,85	300	semi abierto
									J 54 ND	2850	157	23,22	26,51	3,826	44,26	3946,9	290	semi abierto
									XJ 25 HD	2945	144	15,05	24	1,893	52,38	1947,8	170	rodete de canal
5	5	12	32	0,04	10	100	1,727	11,58	JC 54 HD	2945	196	21,46	36,37	4,789	44,6	5341,49	200	semi abierto
									XJ 25 HD	2964	144	5,425	26,35	1,364	28,82	1648,74	170	rodete de canal
6	5	8	40	0,04	10	100	1,105	3,803	JC 54 HD	2850	196	7,844	42,02	3,927	22,72	4799067	170	semi abierto
									XJ 25 HD	2958	144	8,455	25,84	1,537	39,04	1743,46	200	rodete de canal
									J 12 D/DKS	2800	125	5,256	14,89	0,6194	34,52	761,71	135	semi abierto

TABLA 1: ELECCIÓN DE BOMBAS SEGÚN DIFERENTES SUPUESTOS DE LA INSTALACIÓN. FUENTE: PROPIA

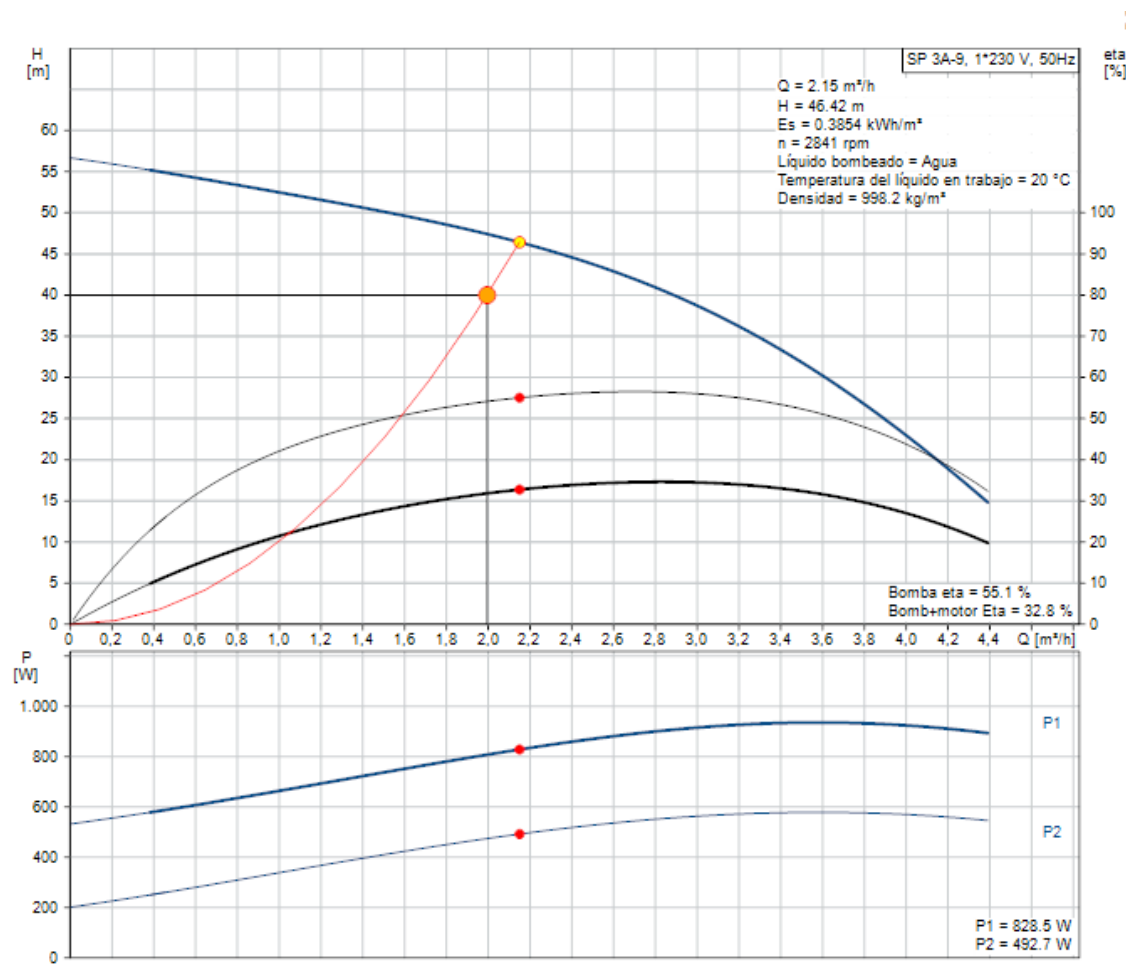


ILUSTRACIÓN 34 CURVA CARACTERÍSTICA DE BOMBA TRIFÁSICA CON PUNTO DE FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN DE PZ EN NARANJA. FUENTE: PROPIA. RECURSO: GRUNDFOS

Queda visto que los rendimientos de estas bombas en el punto de funcionamiento que planteamos son relativamente bajos. Todas las anteriores bombas funcionan con **motores trifásicos** y una **tensión de 400V**. Dadas las características de la hipotética instalación, al elegir cualquiera de las anteriores bombas, se estaría sobredimensionando la instalación.

Existe una contrariedad adicional asociada al uso de bombas tan potentes y es que la tensión que requieren para su funcionamiento es 16.67 veces mayor que la máxima tensión que una placa fotovoltaica es capaz de suministrar: 24V. Por lo tanto, para poder desarrollar el bombeo solar haría falta instalar un **inversor de corriente** que transformase la corriente monofásica de 24V que proporcionan los paneles solares, en una corriente trifásica de 400V. El coste de un inversor híbrido trifásico puede superar los 5.000€.

Concluimos que no se empleará en ningún caso ninguna de las bombas previamente seleccionadas por los siguientes motivos:

- Por el **peligro** que supone que la instalación funcione con una **tensión** tan elevada en circunstancias en las que hay desconocimiento técnico y falta de concienciación del riesgo que puede suponer manipular algún elemento de la instalación.



- Se necesitan **muchos paneles fotovoltaicos** para lograr la diferencia de potencial a la que funcionan las bombas trifásicas. Implantar esta configuración, además de mermar la eficiencia del sistema per se, supondría un coste muy elevado.
- Por la complejidad que supondría la incorporación de un **inversor**. Además, el inversor aumenta las pérdidas eléctricas: disminuye el rendimiento del sistema.
- Su **bajo rendimiento** en el punto de funcionamiento requerido; pues estas están limitadas por el caudal del pozo de CFA (estas bombas funcionan a su óptimo rendimiento con caudales del orden de los $1000\text{m}^3/\text{h}$).

Se decide por tanto descartar el uso de bombas con motores de accionamiento trifásicos.

10.3.7.2. Decisión segunda: cómo acotar entre las diferentes posibilidades

Las bombas que funcionan con un voltaje de **24V** son más caras que las anteriormente comentadas, pero tanto su instalación como su funcionamiento son más simples por lo que se considera oportuno hacer uso de ellas. Además, hay que tener en cuenta que esta elección supone el ahorro del inversor. Para más inri, los modelos que usan motores de CA al incorporar dicho inversor aumentan las pérdidas eléctricas, disminuyendo así la eficiencia del sistema.

Se presentan en la siguiente tabla generada con la información del proveedor de bombas volumétricas Shurflo, las diferentes características de una bomba monofásica con características apropiadas para la incorporación de esta en el sistema de regadío del orfanato Child Future Africa.

Usos típicos:	Pozos de agua potable	
Diseño de la bomba:	diafragma de desplazamiento positivo	
Número de cámaras	3	
Motor Imán permanente:	P/N 11-175-00	
Derivación interna:	105-110	PSI máximo
Voltaje:	24	V CC nominales
Amperaje:	4.0	A máximo
Elevación máxima:	70	m
Sumersión máxima:	30	m
Boca de expulsión:	12.7 mm de diámetro interno	
Materiales:	Plástico de alta resistencia. Sujetadores de acero inoxidable	
Peso neto:	2.7	mm
Dimensiones: Diámetro	95	mm
Dimensiones: Altura	305	mm
Número de modelo:	9325-083-101	

TABLA 14 ESPECIFICACIONES DE LA BOMBA SUMERGIBLE SHURFLO 9300. FUENTE: PROPIA.

Información recibida en estadios avanzados del desarrollo del presente trabajo indica que la profundidad del pozo es de unos 40 m. Por lo tanto, sería posible instalar la bomba Shurflo 9300, si bien atendiendo a su curva de funcionamiento, el caudal suministrado por la misma es significativamente menor que el que se prevé necesario. Consecuentemente con las limitaciones de caudal planteadas, se valorará la instalación de una bomba más potente.

Metros de Profundidad	Litros por Hora	Potencia Usada del Panel Solar	Amperios en Uso
6.1	420	58	1.7
12.2	413	65	2.0
18.3	398	78	2.3
24.4	390	89	2.6
30.5	379	99	2.9
36.6	360	104	3.2
42.7	352	115	3.5
48.8	337	123	3.8
54.9	329	135	4.0
61	318	141	4.3
70.1	300	155	4.6

TABLA 15 VALORES TABULADOS DE LA BOMBA SHURFLO 9300. FUENTE: SOLARMAT.ES

Tras llevar a cabo un pequeño estudio de mercado, se ha visto que el fabricante Grundfos provee a numerosos puntos de venta en Harare (capital de Zimbabwe). Se considera interesante por ello hacer una valoración sobre estas bombas cuyo acceso se prevé factible.

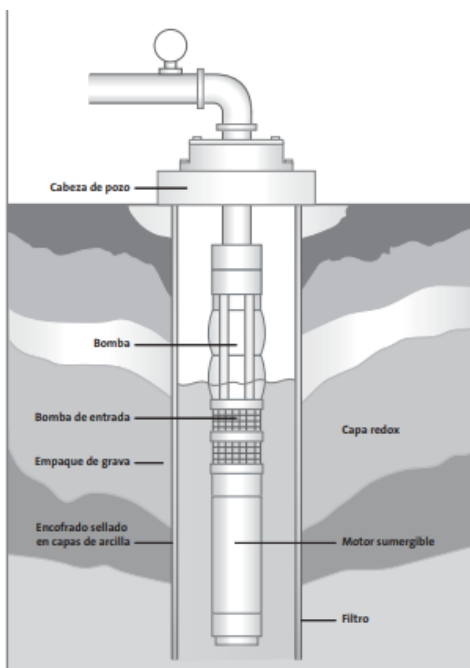
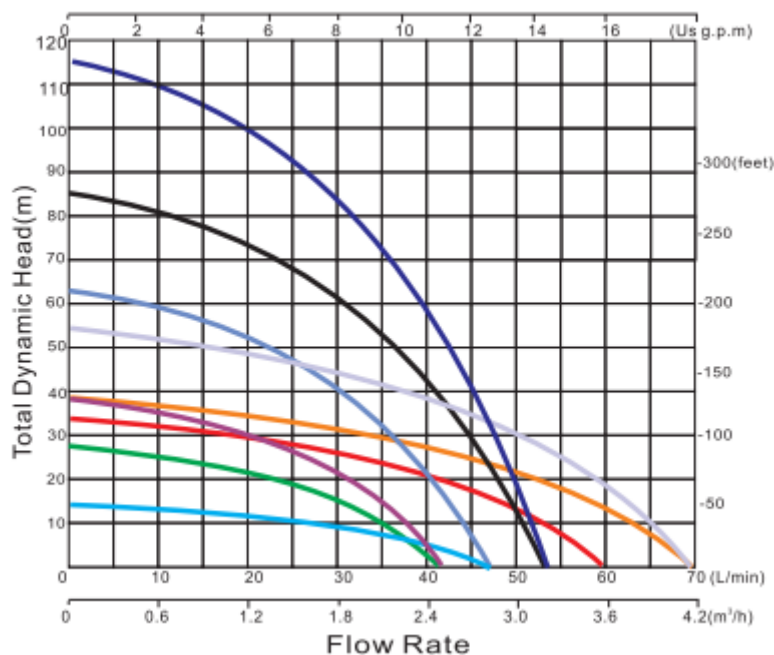


ILUSTRACIÓN 35 BOMBA SUMERGIBLE EN POZO. FUENTE: GRUNDFOS



GRÁFICA 4 CURVAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA JC3. FUENTE: SOLARCOOL (PROVEEDOR DE HARARE)

Se incluye a continuación una tabla con las bombas que mejor se adaptan a las necesidades del proyecto. Las cuatro bombas a continuación reflejadas tienen una única fase, soportan una presión ambiental máxima de 15 bar y cuentan con una válvula de retención integrada. Todas ellas son de la gama SQFlex, una serie de bombas sumergibles aptas para el accionamiento solar.²⁶

Producto	Precio del sistema [€]	Udc [V]	Uac [V]	Bomba [DIN W.-Nr.]	Descarga	Tipo de motor
SQF 1.2-2	2.789,00 EUR	30-300	90-240	1.4301	Rp 1 1/4	MSF3
SQF 1.2-2 N	2.927,00 EUR	30-300	90-240	1.4401	Rp 1 1/4	MSF3N
SQF 2.5-2	2.789,00 EUR	30-300	90-240	1.4301	Rp 1 1/4	MSF3
SQF 2,5-2 N	2.927,00 EUR	30-300	90-240	1.4401	Rp 1 1/4	MSF3N

TABLA 16 SELECCIÓN DE BOMBAS GRUNDFOS. FUENTE: PROPIA

Por tener curvas de funcionamiento muy similares y características de accionamiento prácticamente iguales, velando por la economía del proyecto, se decide analizar las características técnicas de las bombas SQF 1.2-2 y SQF 2.5-2. Véase capítulo de Anexos donde se incluyen las fichas técnicas de ambas bombas.

En caso de lograr instalar los dos depósitos objetivo, se optará por la bomba **SQF 2.5-2**; esta también podría accionarse con un único módulo solar si bien las **pérdidas eléctricas de los cables** son mayores: **2.3% con respecto al 1.5% de la SQF 1.2-2**. Las dimensiones de tal módulo son mayores que los comúnmente comercializados en Harare que se ha decidido utilizar, por lo que para este proyecto se emplearán dos módulos con configuración en paralelo.

²⁶ https://es.grundfos.com/bombas_grundfos/bombas_sistemas_bombeo

Asimismo, podemos ver que para un punto de funcionamiento de mayor caudal (en ese caso se haría un bypass que regase directamente toda el agua “sobrante” que no pudiese almacenarse en los depósitos durante las últimas horas del día. En este supuesto, la bomba a elegir sería la SQF 2.5-2.

Otro factor que sopesar en el terreno serán las perspectivas de futuro que se tengan: si se prevé que en el futuro se vaya a poder instalar una placa adicional, por ejemplo.

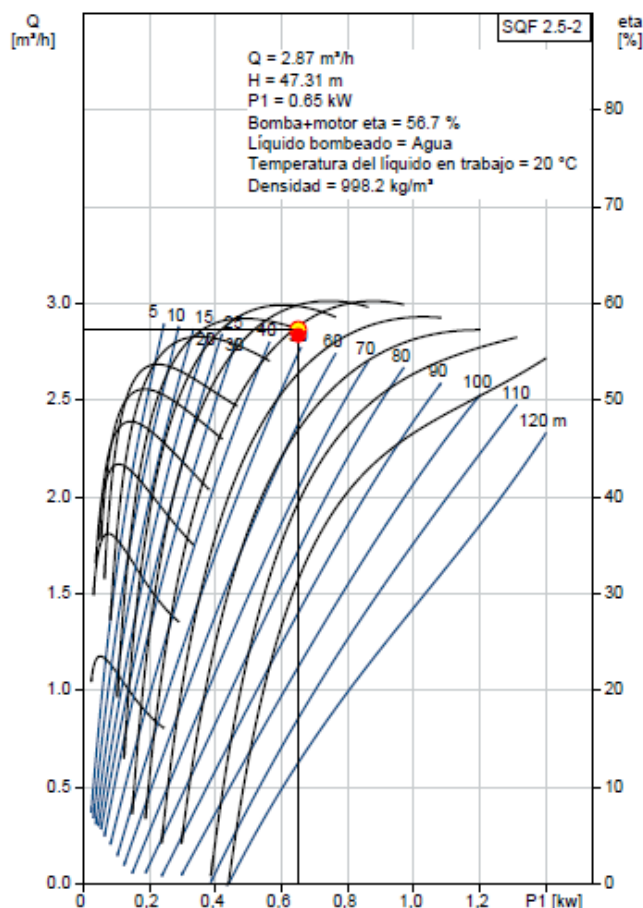
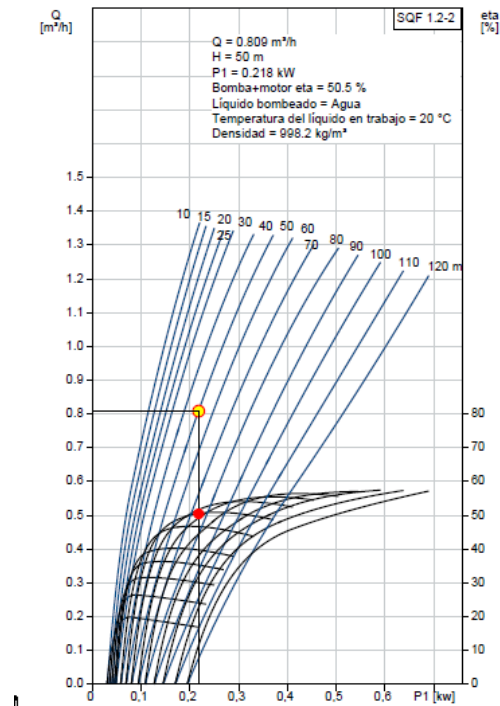


ILUSTRACIÓN 36 CURVA DE FUNCIONAMIENTO PARA UN CAUDAL "OPTIMISTA". RECURSO: GRUNDFOS.

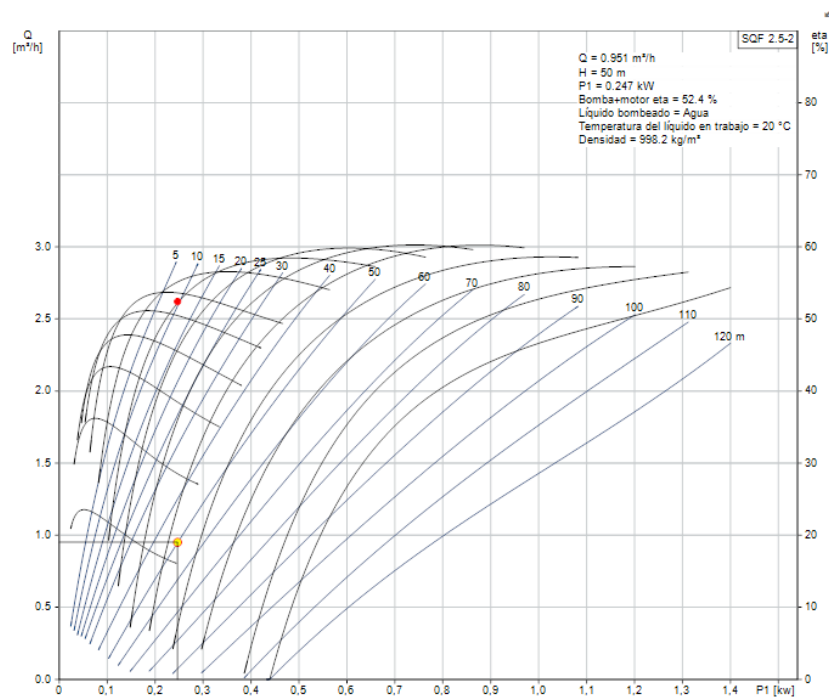
Si, debido al escaso presupuesto, solo pudiese instalarse un único depósito, analizamos si resultase rentable la instalación de la bomba SQF 1.2-2 frente a la SQF 2.5-2:

	SQF 1.2-2	SQF 2.5-2
Caudal	0.809 m³/h	0.951 m³/h
Altura	50 m	50 m
Potencia	0.218 kW	0.247 kW
Rendimiento bomba + motor	50.5%	52.4%

TABLA 17 COMPARATIVA DE RENDIMIENTOS DE LAS BOMBAS PLANTEADAS. FUENTE: PROPIA



GRÁFICA 5 CURVA DE FUNCIONAMIENTO BOMBA SQF 1.2-2. RECURSO: GRUNDFOS



GRÁFICA 6 CURVA DE FUNCIONAMIENTO BOMBA SQF 1.2-2. RECURSO: GRUNDFOS

A la vista de los resultados expuestos en la tabla comparativa y, sopesando las diferentes posibles casuísticas, que la mejor bomba para la instalación será la SQF 2.5-2.

Nótese que esta sencilla comparativa realizada es una simplificación de la que habrá que llevar a cabo en Zimbabwe. Se analizarán las diferentes posibilidades entre las existencias en el stock de bombas de los proveedores de Harare.

En cualquier caso, independientemente del proveedor que finalmente suministre la bomba, esta habrá de ser una **bomba lenta**: que proporcione mucha altura y poco caudal. Como se muestra en la siguiente ilustración, las bombas lentas (radiales) tienen el menor n_s (número específico de revoluciones) entre las bombas con configuración radial, diagonal y axial.

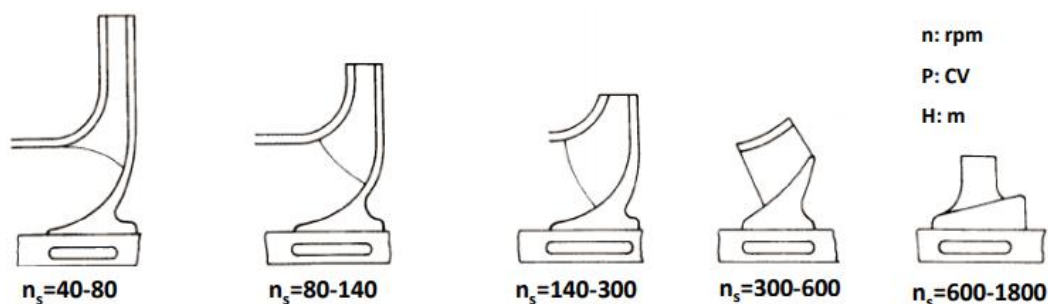


ILUSTRACIÓN 37 NÚMERO ESPECÍFICO DE REVOLUCIONES SEGÚN GEOMETRÍA DE LA BOMBA. FUENTE: ICAI

Cabe destacar, a la luz de los rendimientos esperados, sería posible mejorar el rendimiento de la instalación modificando la instalación con varios rodets conectados en serie con un n_q intermedio (estos tienen mejores rendimientos de por sí). Si bien, como ya se ha expresado en reiteradas ocasiones, entre los “targets” de este proyecto no está la optimización de rendimientos; se pretenden alcanzar los rendimientos óptimos con el mínimo coste y la máxima simplicidad posibles.

En definitiva, se instalará una bomba que requiera una potencia de unos **300 W** para su correcto funcionamiento. El rendimiento esperado del conjunto de la bomba será en torno al **60 %**, estimación relevante para el cálculo fotovoltaico.

10.4. La red de tuberías

De entre los diferentes parámetros a considerar para el diseño de las tuberías, se pone en relieve la economía. Establecido este planteamiento, se considerará, además:

1. El **diámetro** de las tuberías habrá de estar **normalizado**. En caso de no ser así, se encarecería el proyecto pues tanto los accesorios como las tuberías con dimensiones diferentes a las normalizadas tienen costes superiores.
2. La velocidad del fluido transportado en las tuberías ha de estar cumplir con las recomendaciones tabuladas (véase tabla 19). A velocidades muy bajas, el diámetro de la tubería está sobredimensionado. Si la velocidad es demasiado alta, por un lado, se incurre en mayores pérdidas de carga por rozamiento como se verá más adelante; por otro lado, se favorecería el fenómeno de la abrasión en el supuesto de haber partículas contenidas en el fluido transportado.



El diámetro de las tuberías a instalar está relacionado con la velocidad de transporte del fluido. En la siguiente tabla se recogen los rangos de velocidades recomendables en función del tipo de fluido y el punto de la instalación donde se mide tal velocidad. Se recurrirán a los datos referentes a los líquidos poco viscosos.

Fluido	Tipo de Flujo	Velocidad	
		ft/s	m/s
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0.5 – 1	0.15 – 0.30
	Entrada de bomba	1 – 3	0.3 – 0.9
	Salida de bomba	4 – 10	1.2 – 3
	Línea de Conducción	4 – 8	1.2 – 2.4
Líquidos viscosos	Entrada de bomba	0.2 – 0.5	0.06 – 0.15
	Salida de bomba	0.5 – 2	0.15 – 0.6
Vapor de Agua		30 – 50	9 – 15
Aire o gas		30 – 100	9 – 30

TABLA 18 VELOCIDADES RECOMENDADAS PARA FLUIDOS EN TUBERÍAS. FUENTE: WWW.UGR.ES/~AULAVIRTUALPFCIQ

En las tuberías de la **red de distribución** (tramo tanque-plantación), por tratarse de un flujo por gravedad desde tanques elevados, se han de utilizar **velocidades pequeñas**.²⁷

Así, a partir de los rangos de velocidades deseados, se definirán los diámetros de las tuberías (comprobando siempre que el material escogido sea compatible con tales velocidades):

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}}$$

D: diámetro nominal de tubería circular (m)

Q: caudal (m³/s)

v: velocidad de transporte del fluido (m/s)

Para poder dimensionar los diámetros de las tuberías, se calculan previamente los **caudales** de cada uno de los tramos de la instalación. Se consideran ocho horas la duración del tiempo de riego. A partir de los **cinco metros cúbicos** almacenados en **cada depósito**, y considerando un **caudal estándar de 8 l/h** (2,22·10⁻⁶ m³/s) para cada **emisor o gotero**; se muestran a continuación los valores calculados según los tramos diseñados:

Tramo	Q (m3/s)	v (m/s)	D (cm)
bomba-bifurcación	0,000513452	1,2	2,334
bifurcación-depósito	0,000256726	1,2	1,650
depósito-distribuidor	0,000173611	1,2	1,357
ramificación	1,1781E-05	0,15	1,000

TABLA 19 TABLA DE POSIBLES DIÁMETROS DE LA RED DE TUBERÍAS. FUENTE: PROPIA

L [m]	D normalizado [mm]
-------	--------------------

²⁷ McCabe et al., Operaciones Unitarias en Ingeniería Química, 4ª Ed., McGraw-Hill, 1991



38	50
7	30
100	10

TABLA 20 TABLA DE LAS LONGITUDES DE LAS TUBERÍAS CON SUS DIÁMETROS NORMALIZADOS. FUENTE: PROPIA

Se toman las menores de las velocidades consideradas para, al aumentar el diámetro, reducir tanto las pérdidas de carga como las vibraciones. Para el cálculo de estos diámetros se ha considerado razonable introducir seis ramificaciones a partir del distribuidor. Según las necesidades que se observen en el terreno, se harán las modificaciones pertinentes entre las que cabe sopesar:

- Modificación del caudal de goteo
- Variación de la duración del riego (se está considerando riego nocturno en los cálculos realizados)
- Aumento o reducción tanto del número de ramificaciones como del número de distribuidores, dependiendo de la distribución de las parcelas presentes.

Se escogerá, a partir del valor calculado, el diámetro óptimo de la conducción. Este es el diámetro normalizado inmediatamente superior al mínimo valor calculado y supone el menor coste posible que cumple con las exigencias definidas de la conducción.

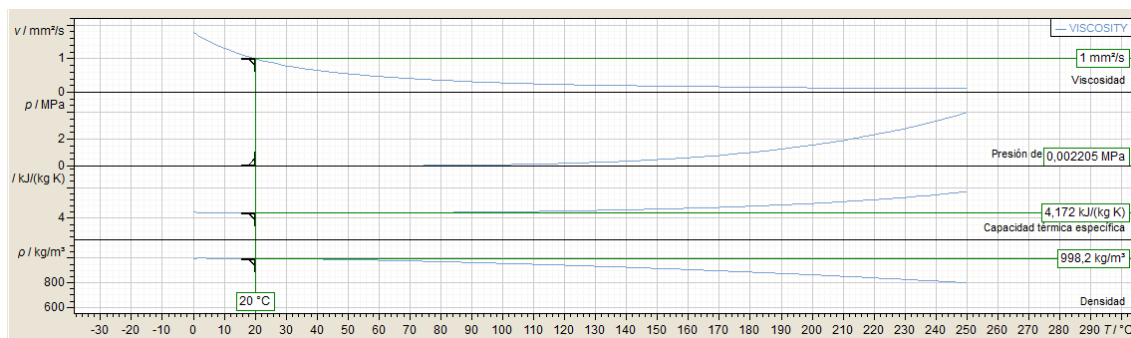
Respecto a la nomenclatura de los tubos de materiales plásticos, esta alude al diámetro exterior de los mismos. Su espesor difiere en función de su validez para diferentes rangos de presión, siendo su espesor mayor conforme aumenta la presión de utilización.

10.4.1. Fluido de la instalación:

El fluido a bombear es el agua limpia que se extraerá del pozo. Existen normas reguladoras que limitan la cantidad de los sólidos en suspensión en **10 mg/L**. Habitualmente este valor es menos **restrictivo** (35 mg/L) más por tratarse de una red de riego, se restringe más este valor con el objeto de garantizar el correcto funcionamiento de las tuberías de modo que no sufran **obturaciones**.

Propiedad	Valor	Unidad
Temperatura	20	°C
Densidad	998.2	kg/m ³
Relación de densidad	0.9982	-
Viscosidad	1	mm ² /s
Viscosidad dinámica	0.9986	mPa s
Presión de vapor	0.002205	mPa
Capacidad térmica específica	4.172	kJ/ (kg K)
Valor pH	7	-

TABLA 21 PROPIEDADES DEL FLUIDO DE LA INSTALACIÓN. FUENTE: PROPIA



GRÁFICA 7 PROPIEDADES DEL FLUIDO A BOMBLEAR. FUENTE: PROPIA. RECURSO: ABSTEL PRO

Diámetro nominal exterior	Presiones nominales en kg/cm² *			
	4	6	10	15
	Espesores de los tubos en milímetros			
10	—	—	—	1,0
12	—	—	—	1,0
16	—	—	—	1,2
20	—	—	—	1,5
25	—	—	1,5	1,9
32	—	—	1,8	2,4
40	—	1,8	2,0	3,0
50	—	1,8	2,4	3,7
63	1,8	1,9	3,0	4,7
75	1,8	2,2	3,6	5,6
90	1,8	2,7	4,3	6,7
110	2,2	3,2	5,3	8,2
125	2,5	3,7	6,0	9,3
140	2,8	4,1	6,7	10,4
160	3,2	4,7	7,7	11,9
180	3,6	5,3	8,6	13,4
200	4,0	5,9	9,6	14,8
225	4,5	6,6	10,8	16,8
250	4,9	7,3	11,9	18,5
280	5,5	8,2	13,4	20,8
315	6,2	9,2	15,0	23,4
355	7,0	10,4	16,9	26,3
400	7,9	11,7	19,1	29,7
450	8,8	13,1	21,5	33,4
500	9,8	14,6	23,9	37,1
560	11,0	16,3	26,7	41,5
630	12,4	18,4	30,0	46,7

TABLA 22 DIMENSIONADO DE TUBERÍAS SEGÚN PRESIONES DE TRABAJO. FUENTE: IMACIFP.COM/WP-CONTENT/UPLOADS/2013/09/C.F.G.M.-TUBERÍAS.PDF

10.4.2. Material de las tuberías: Tuberías plásticas

Actualmente, los materiales plásticos son utilizados en una amplia variedad de aplicaciones y técnicas constructivas, y es muy común emplear estos materiales en bombas pequeñas y medianas. Uno de los motivos en los que radica este hecho son las ventajas que ofrecen las tuberías de este material sobre las metálicas.

Entre las múltiples posibilidades, se consideran como preferidas el PVC (policloruro de vinilo), propileno y el PE (polietileno). Los tres tienen un bajo coeficiente de rozamiento y una muy alta resistencia mecánica; sin embargo el polietileno tiene mejores propiedades de resistencia térmica, por lo que es preferida para instalaciones de exterior. Por el emplazamiento de la instalación de las



tuberías, estas habrán de soportar temperaturas elevadas durante la estación de verano y esta fibra sintética tiene un muy buen comportamiento ante la abrasión y circunstancias climáticas adversas.

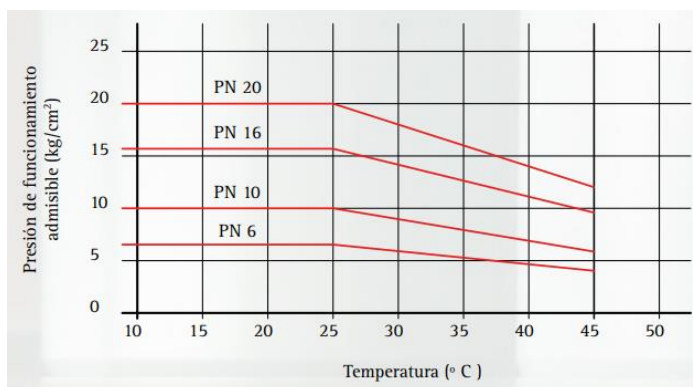
Algunas ventajas de este material son:

- Ligereza: El polietileno tiene una densidad de 0.94 g/cm^3 ; se trata de uno de los materiales más livianos. Por esta razón, los tubos de este material se conforman como los más ligeros empleados hasta la fecha. Esta propiedad, asociada a su fácil montaje, resultan especialmente convenientes de cara a la ejecución del proyecto considerando que no se va a contar con mano de obra especializada.
- Facilidad de trabajo: los materiales plásticos resultan sencillos de curvar o desviar si son debidamente calentados. También resulta fácil trabajarlos ya que pueden ser unidos por encolado termo fusión o manguito o cortados mecánicamente.
- Baja rugosidad: poseen una lisura interior considerable. Se favorece la circulación de líquidos por su interior. Esta característica permite la disminución de pérdidas de carga y a su vez impide la aglomeración de partículas.
- Resistencia: las tuberías conformadas por estos materiales resisten adecuadamente a las presiones de funcionamiento en las redes de instalación. Tienen un elevado módulo de elasticidad por lo que resisten muy bien presiones exteriores.
- Aislamiento térmico: presentan un menor coeficiente de conductividad térmica que las tuberías metálicas. Este hecho reduce pérdidas y ganancias de calor indeseadas.
- Transmisión de ruidos: la circulación en estas tuberías resulta más silenciosa.
- Resistencia a la corrosión: los materiales plásticos presentan una enorme resistencia tanto a la corrosión del agua y las impurezas contenidas en esta como a la acción de algunos aglomerantes de uso habitual en la construcción, como por ejemplo el yeso o el cemento.
- Aptas a las aguas agresivas: las tuberías conformadas por materiales plásticos resultan adecuadas para la circulación de estas aguas, si bien esta propiedad en nuestro proyecto no resulta de especial relevante porque se espera que la calidad del agua del pozo sea buena.
- Aspecto: poseen una buena apariencia externa, siendo posible su fabricación en colores incorporados al material, siendo así innecesario pintarlas. Se reduce así el impacto visual que causa la instalación, como se refleja en el estudio de sostenibilidad del proyecto.
- Además, considerando las circunstancias económicas del proyecto, el factor económico toma un papel principal, por lo que asociado a sus buenas propiedades, el bajo costo del polietileno (siendo este el plástico más comunmente utilizado del mundo²⁸) este material lo hace idóneo para la construcción del sistema de tuberías.

²⁸ <http://www.porex.com/es/technologies/materials/porous-plastics/pe/>

A pesar de las ventajas mencionadas, estos materiales presentan algunos inconvenientes. Entre los más notables destacan:

- El descenso de resistencia por encima de los 25 grados centígrados, como se muestra en la siguiente tabla (siendo PN la presión hidrostática nominal admisible para el transporte de agua en condiciones normales, 20°C).



GRÁFICA 8 VALOR DE LA PRESIÓN DE FUNCIONAMIENTO ADMISIBLE SEGÚN LA TEMPERATURA DEL AGUA CIRCULANTE.

FUENTE: TUYPER.ES/OPENCMS

- El posible envejecimiento prematuro en ciertos medios.
- Un mayor coeficiente de dilatación.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	VALOR		
	PE-40	PE-80	PE-100
Densidad media	> 0,93 g/cm ³	0,93-0,95 g/cm ³	> 0,95 g/cm ³
Coeficiente de dilatación térmica lineal	0,17 mm/m °C	0,22 mm/m °C	0,22 mm/m °C
Conductividad térmica	0,35 Kcal/hm °C	0,36 Kcal/hm °C	0,37 Kcal/hm °C
Contenido en negro de carbono	2,0% - 2,5%	2,0% - 2,5%	2,0% - 2,5%
Dispersión negro de carbono	≤ grade 3	≤ grade 3	≤ grade 3
Contenido en materias volátiles	< 350 mg/Kg	< 350 mg/Kg	< 350 mg/Kg
Contenido en agua	< 300 mg/Kg	< 300 mg/Kg	< 300 mg/Kg
Módulo de elasticidad a corto plazo	400-500 MPa	500-800 MPa	1.000-1.200 MPa
Módulo de elasticidad a largo plazo	130 MPa	150 MPa	160 MPa
Tensión de diseño σ	3,2 MPa	6,3 MPa	8,0 MPa
Coeficiente de seguridad C mín.	1,25	1,25	1,25
Coeficiente de Poisson ν	0,4	0,4	0,4
Constante dieléctrica	2,3	2,4	2,5
Rugosidad hidráulica	0,007 K (mm)	0,007 K (mm)	0,007 K (mm)
	0,008 n (Manning)	0,008 n (Manning)	0,008 n (Manning)
	150 C (H Will.)	150 C (H Will.)	150 C (H Will.)

TABLA 23 PROPIEDADES PE. FUENTE: FERROPLAST

Se presentan a continuación los diferentes coeficientes de rugosidad y se observa que tienen las mismas propiedades el PVC y el PE. Como criterio de diseño, atendiendo a la seguridad, se considera siempre el máximo de los coeficientes de rugosidad dados. El mínimo coeficiente de rozamiento produce la mínima altura equivalente de pérdidas.

Material de la tubería			
Denominación	k / mm	Mín.	Máx.
PE, usado	0,04	0,02	0,04
PE, nuevo	0,01	0,01	0,01
PVC-h, usado	0,04	0,02	0,04
PVC-h, nuevo	0,01	0,01	0,01
Acero, usado, oxidado	0,2	0,1	0,2
Acero, usado, incrustado	0,7	0,2	0,7
Acero nuevo, soldado longitudinalmente, embetunado	0,06	0,03	0,06
Acero nuevo, soldado longitudinalmente, zincado	0,2	0,12	0,2

TABLA 24 COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE DISTINTOS MATERIALES. FUENTE: RECURSO SPAIX SELECTOR

Se han estudiado otras posibilidades de cara a la elección de materiales para las tuberías de impulsión. Estas, siguiendo la premisa planteada por la que se prioriza controlar el factor económico del proyecto, se han descartado por suponer elevados costes: aceros y tuberías Wellmaster.

Aceros:

Por sus excelentes propiedades mecánicas, aceros: acero inoxidable o acero galvanizado o recubierto. Estos son aptos para el transporte tanto para agua de consumo como para agua de riego.

El acero galvanizado es además un material fácilmente maleable y soldable, lo que resultaría beneficioso durante el proyecto de instalación. El galvanizado proporciona la protección superficial que requiere el acero para no oxidarse por estar en contacto con el aire y la humedad.

El acero inoxidable es resistente a la corrosión por la fina película de óxido de cromo que se forma al entrar el acero con bajo contenido en cromo con el oxígeno del aire. Además, se considera un material no combustible; por lo que resiste muy bien las altas temperaturas.

Características	Tipo de material: acero inoxidable
Resistencia a la tracción (Kgf/mm ²)	76,7
Alargamiento (%)	48,2
Dureza HB	190
Presión máxima admisible (bar)	100 aprox.
Coefficiente de dilatación x 10 ⁻⁵ (°C ⁻¹)	1,73
Punto de fusión (°C)	1400
Temperatura máxima de trabajo en continuo	95°C
Presión nominal de trabajo en continuo	16 bar

TABLA 25 PROPIEDADES DEL ACERO INOXIDABLE. FUENTE: [HTTP://IMACIFP.COM/WP-CONTENT/UPLOADS/2013/09/C.F.G.M.-TUBER%C3%ADAS.PDF](http://imacifp.com/wp-content/uploads/2013/09/C.F.G.M.-TUBER%C3%ADAS.PDF)

Tuberías Wellmaster

Se estudió la alternativa que contempla el empleo de tuberías flexibles (manguera Wellmaster). Estas funcionan bien a tracción soportando el peso de la bomba pues se fabrican con poliéster de alta resistencia y poliuretano elastómero o corcho sintético.

Estas tuberías flexibles presentan la ventaja de que su diámetro se expande cuando están bajo presión; esto supone que se reduce la pérdida de carga por fricción y que las posibles incrustaciones de cal se desprenden debido a dicho cambio de diámetro.

Materiales	Agua caliente	Calefacción	Para exterior	Tipo de conexión	Fácil instalación	Características	Coste instalación
Polibutileno	✓	✓	✗	Empujar	+	Soporta hasta 12 bares, Flexible, No corrosión	+
Multicapa compresión	✓	✓	✗	Roscar	+	Soporta hasta 20 bares, Flexible, No corrosión	+
PPR	✓	✓	✗	Máquina Termofusión	+	Soporta hasta 20 bares, Rígido, No corrosión	+
Cobre	✓	✓	✗	Soldar	+	Soporta hasta 20 bares, Rígido, Muy resistente	+
Poliétileno	✗	✗	✓	Roscar	+	Soporta hasta 10 bares, Flexible, No corrosión	+
PVC Presión	✗	✗	✗	Encolar	+	Soporta hasta 16 bares, Rígido, No corrosión	+

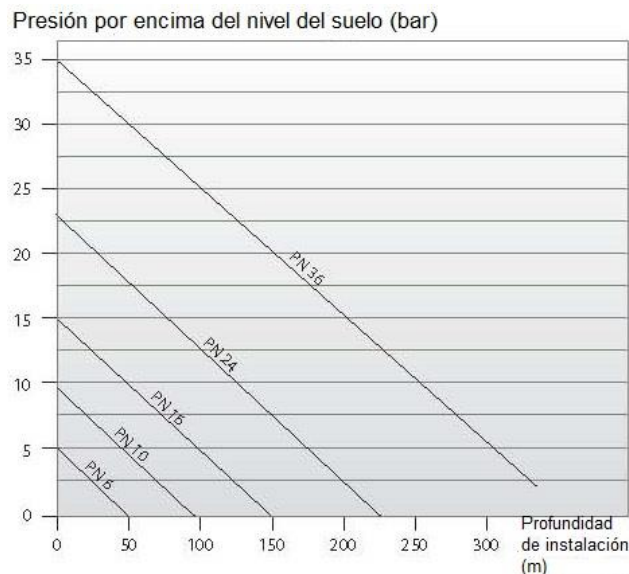
TABLA 26 COMPARATIVA ENTRE SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN. FUENTE: LEROY MERLÍN

10.4.3. Tuberías de impulsión:

Reciben el agua a presión de la estación de bombeo y la transportan hasta el punto de descarga: el depósito de almacenamiento en este proyecto. El diseño del diámetro del conducto de éstas se hace según consideraciones económicas. Se estudiarán pues los costes de acondicionamiento de la conducción, de amortización de la turbomáquina, de explotación y de mantenimiento.²⁹ Se tratará de una impulsión única, con trazado regular y descarga en un depósito de acumulación de bombeo. Por tratarse de una aplicación de elevación, la **impulsión** será **de media-alta presión**.

La presión máxima que soportar por las tuberías de la instalación será en todo caso inferior a los 10 bar, a la luz de los datos expresados en la siguiente gráfica podría deducirse que en la tubería de impulsión habrá una presión media de 5 bar.

²⁹ http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/curso/uni_03/u3c4s5.htm#Anchor13



GRÁFICA 9 PRESIÓN REQUERIDA PARA LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN EN FUNCIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE LA INSTALACIÓN DE LA BOMBA Y LA PRESIÓN DE DESCARGA. FUENTE: WWW.INGEMECANICA.COM

El golpe de ariete es un fenómeno de sobrepresión que puede causar desperfectos en las tuberías. Se ha calculado el valor de las posibles sobrepresiones, obteniendo un resultado de, aproximadamente, **0,04 bar**. Este valor no resulta crítico sobre las tuberías instaladas, que tendrán un valor de presión nominal superior a los **5 bar**. Se escogerá un espesor tal que soporte la presión interior a la que fluya el agua.

10.4.4. Tuberías de distribución:

Con el objeto de facilitar la operación del sistema de riego, se procederá a la sectorización de la red de distribución. De este modo será más sencillo controlar los caudales de entrada en cada uno de los sectores, así como la demanda y el consumo de cada uno de ellos. Así mismo, atendiendo tanto a las diferentes necesidades según el estadio de maduración del maíz como a la posibilidad de cultivar otros productos, podría ajustarse el caudal satisfaciendo la demanda específica del sector.

Ø ext. (mm)	Ø int. (mm)	Espesor (mm)	Longitud (m/rollo)
12	10,0	1,0	500
16	14,0*	1,0	400
16	13,4	1,3	400
20	17,2	1,4	300

TABLA 27 DIÁMETRO DE TUBERÍAS DE RAMALES DE RIEGO POR GOTEO FABRICADAS SEGÚN NORMA UNE 53367. FUENTE: FERROPLAST

En el hipotético caso de que la capacidad del pozo sea superior a los 10 m³ almacenables, podría haber problemas de sobrepresión en las válvulas finales de las tuberías de riego por goteo. Para evitar aumentar la complejidad del diseño, se toma la decisión de en cualquier caso bombear toda el agua a los depósitos y permitir su descarga a la red de distribución durante las horas que se calculen como excedentes. Podrían así habilitarse diferentes zonas según necesidades hídricas y permitir su abastecimiento en función de la disponibilidad según las épocas del año y el tipo de cultivo.

10.4.5. Emisor o gotero

Estos son dispositivos que vierten el agua al suelo en forma de gotas continuadas y van insertados en la propia tubería de distribución (o tubería porta goteros). Estos dispositivos introducen elevadas pérdidas de carga gracias a su configuración interior laberíntica que reducen la presión del agua significativamente: prácticamente a cero. Estos elementos pueden funcionar con presiones muy bajas y descargar un caudal de agua que puede oscilar entre 1 hasta los 10 l/h.³⁰



ILUSTRACIÓN 38 EMISOR O GOTERO DE TIPO BOTÓN. FUENTE: INGEMECANICA.COM

Caudal emisor o gotero	8	l/h
Caudal distribuidor-válvula goteo	2.22E-06	m3/s
N.º de emisores	78.125	-

TABLA 28 CÁLCULO DEL NÚMERO DE EMISORES. FUENTE: PROPIA

10.4.6. Uniones:

En el caso del PVC la unión más generalizada es la de enchufe cilíndrico encolado. El encolado se hace utilizando un disolvente que proporciona una unión equiparable a una soldadura.

10.4.7. Estudio mecánico de las tuberías

Con el fin de escoger entre los distintos productos del mercado los tipos de tubería más adecuados para la zona donde se van a emplear, bajo criterios de los esfuerzos mecánicos que soportarán, se ha considerado correcta la elección previa de material (polietileno).

Tras sopesarse la situación de la instalación de las tuberías, se ha determinado que no resulta necesario aplicar una protección mecánica a las tuberías. Podrían soterrarse las tuberías por ser el método correcto y comúnmente aplicado, pero no resulta vital ya que no interrumpen ningún paso de vehículos.

10.5. Pérdidas de carga en la conducción

En toda conducción, debido al rozamiento del fluido con las paredes de la tubería por la que circula, así como el rozamiento interno, se generan pérdidas de carga. Estas se consideran pérdidas primarias

³⁰ ingemecanica.com



y resultan en una caída de presión, la cual ha de ser contemplada durante el dimensionamiento de la instalación: tanto bombas como tuberías.

Por otro lado, los diferentes accesorios (como válvulas, distribuidores, codos, goteros...) también introducen pérdidas de carga, secundarias en este caso. La corriente sufre remolinos y pequeños desprendimientos a causa de las discontinuidades en las paredes.

La bomba habrá de ser capaz de elevar el fluido teniendo en cuenta todas las pérdidas existentes a lo largo de la instalación; las tuberías han de tener un diámetro suficiente para que la pérdida de carga no sea excesiva.

Para caudales de hasta 60 m³/h se consideran razonables las siguientes caídas de presión³¹:

- Zona de aspiración: $\leq 0.40 \text{ kg/cm}^2$ (0.39 bar)
- Zona de impulsión: desde 0.6 hasta 0.8 kg/cm² (0.59 y 0.78 bar, respectivamente)

Si se superasen los valores recomendados, se valorará el aumentar los diámetros de las tuberías para reducir la velocidad de circulación del fluido y, consiguientemente, la pérdida de carga. Cabe la posibilidad de que resulte más rentable tener mayores pérdidas de carga y no modificar las dimensiones de la instalación por la limitación que pueden suponer las conexiones de los equipos (dependiendo estas últimas del fabricante escogido).

10.5.1. Pérdidas de carga primarias

Se suele utilizar la ecuación de Darcy para calcular las pérdidas de carga en una conducción. Expresada en términos de altura es la siguiente:

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

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

f : coeficiente de fricción de Darcy [-]

L : longitud de la tubería donde se están calculando las pérdidas [m]

v : velocidad de conducción del fluido [m/s]

D : diámetro interno de la tubería [m]

g : constante de la gravedad terrestre, 9.81 m/s².

El coeficiente de fricción de Darcy, f , depende del carácter del flujo que tenga el fluido: laminar o turbulento. Para determinarlo, se emplea el número de Reynolds:

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

Re : número de Reynolds [-]

ρ : densidad [kg/m³]

v : velocidad del fluido [m/s]

d : diámetro interno de la tubería [m]

μ : viscosidad dinámica ($\mu_{\text{agua}} = 10^{-3} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$)

Tramo	Q (m3/s)	v (m/s)	D (m)	Re
bomba-bifurcación	0.000513452	3	0.044286	132618.70

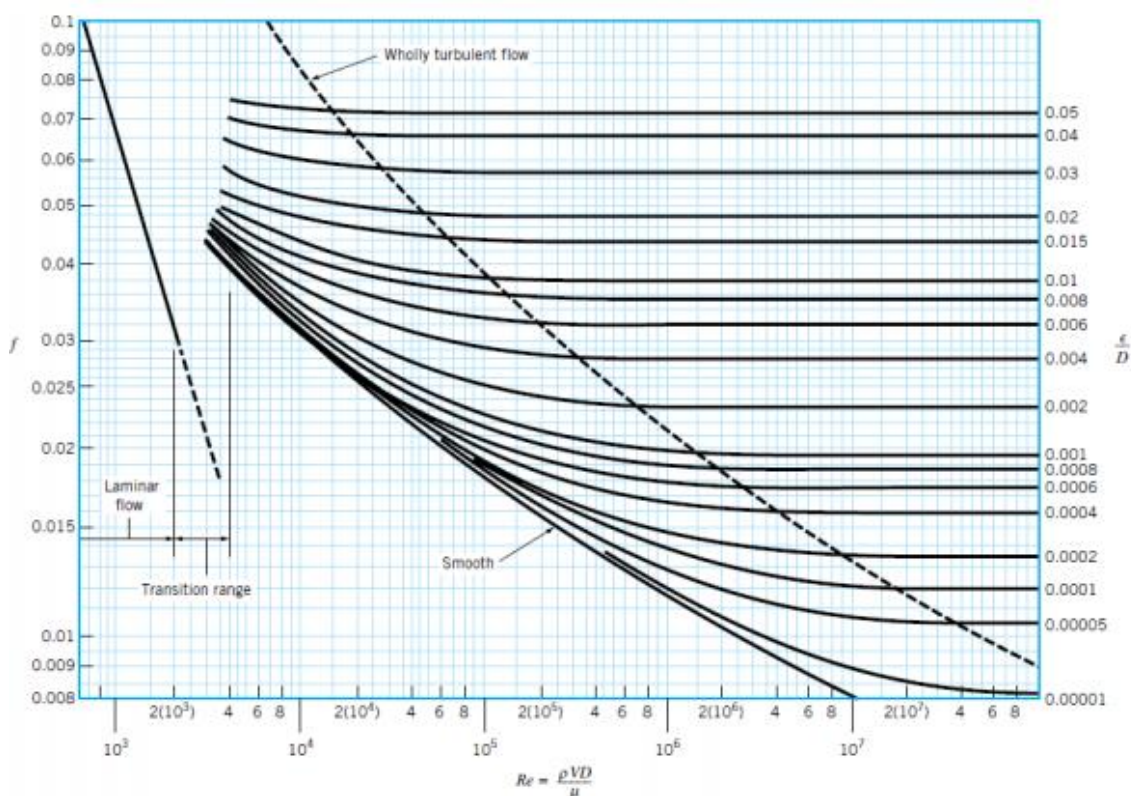
³¹ <http://www.ugr.es/~aulavirtualpfcicq/descargas/documentos/BOMBAS%20Y%20TUBERIAS.pdf>

bifurcación-depósito	0.000256726	2.4	0.028009	67100.32
depósito-distribuidor	0.000173611	0.3	0.008143	2438.62

TABLA 29 CÁLCULO DEL REYNOLDS DE CADA TRAMO DE LA INSTALACIÓN. FUENTE: PROPIA

El **flujo** es por tanto **turbulento en toda la instalación**. En todos los puntos de la instalación el Reynolds es superior al valor crítico de 2300, que distingue entre flujo laminar ($Re < Re_{crítico}$) y turbulento ($Re > Re_{crítico}$).

Se empleará el diagrama de Moody para el cálculo del coeficiente de fricción. Nótese que una alternativa a este método sería emplear la ecuación de Colebrook. Para obtener gráficamente los coeficientes de fricción, se calculan las rugosidades relativas de los diferentes tramos:



GRÁFICA 10 DIAGRAMA DE MOODY. FUENTE: RECURSOS DE LA ASIGNATURA MECÁNICA DE FLUIDOS - ICAI

Tramo	Re	D (mm)	k [mm]	k/D [-]
bomba-bifurcación	132618.7	44.286	0.04	0.000903
bifurcación-depósito	67100.32	28.009	0.04	0.001428
depósito-distribuidor	2438.615	8.143	0.04	0.004912

TABLA 30 CÁLCULO DE LA RUGOSIDAD RELATIVA. FUENTE: PROPIA

En el coeficiente de rozamiento se consideran todos los factores que originan los rozamientos: tanto interno (debido a la viscosidad del fluido de trabajo) como externo (por el rozamiento con las paredes). El coeficiente de fricción se ve afectado en mayor medida por la velocidad del fluido (considerada en el Reynolds) y por la rugosidad de la tubería (k).

Tramo	k/D [-]	f [-]
bomba-bifurcación	0.000903	0.018

bifurcación-depósito	0.001428	0.022
depósito-distribuidor	0.004912	0.035

TABLA 31 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN DE DARCY. FUENTE: PROPIA

10.5.2. Pérdidas de carga secundarias

Estas pérdidas son ocasionadas por válvulas, reducciones, codos, desembocaduras y demás accesorios instalados en la conducción. Estas se calculan según la siguiente expresión:

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

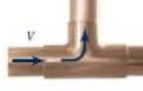
h_{f2} : pérdidas de carga secundarias [m]

k : coeficiente de pérdida de carga secundaria [-]

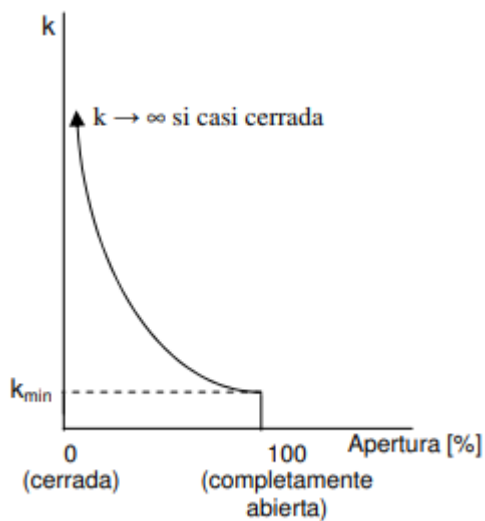
v : velocidad de conducción del fluido [m/s]. Al analizar tramos donde se produce un cambio de velocidad se toma la mayor de estas, pues es la que produce una pérdida mayor.

g : constante de la gravedad terrestre, 9.81 m/s².

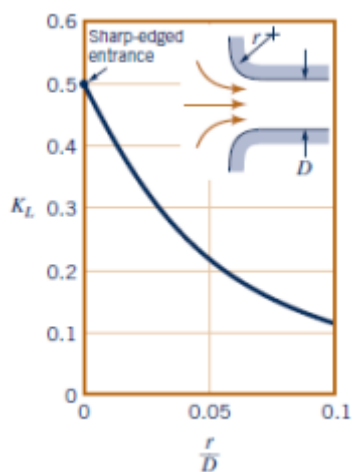
El coeficiente de pérdida de carga secundaria es un valor tabulado que depende de las dimensiones del accesorio y del punto de apertura en el caso de las válvulas. En el caso de descargas sumergidas a depósitos, $k=1$; o $k=0$ en caso de no estarlo, como en el caso de nuestra instalación. A continuación, se muestran las tablas para el cálculo de los respectivos coeficientes de codos, válvulas, entradas y salidas de tuberías; y, contracciones y ensanchamientos.

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

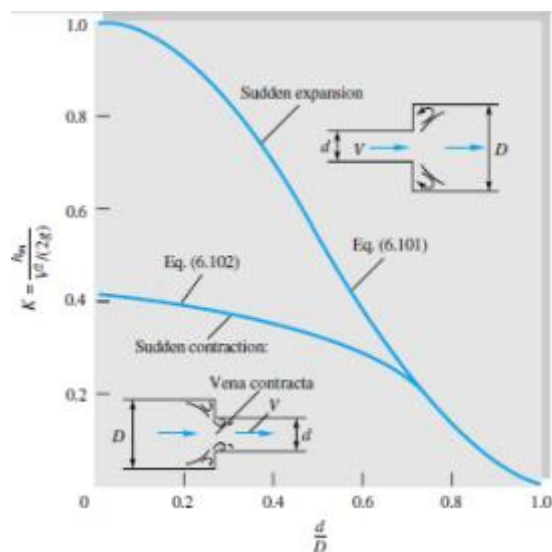
GRÁFICA 11 VALORES DEL COEFICIENTE DE PÉRDIDAS EN CODOS, SEGÚN GEOMETRÍA. FUENTE: RECURSOS DE LA ASIGNATURA MECÁNICA DE FLUIDOS - ICAI



GRÁFICA 12 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE PÉRDIDAS EN VÁLVULAS, SEGÚN APERTURA. FUENTE: RECURSOS DE LA ASIGNATURA MECÁNICA DE FLUIDOS - ICAI



GRÁFICA 13 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE PÉRDIDAS EN ENTRADAS Y SALIDAS DE TUBERÍAS. FUENTE: RECURSOS DE LA ASIGNATURA MECÁNICA DE FLUIDOS – ICAI



GRÁFICA 14 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE PÉRDIDAS EN ENSANCHAMIENTOS Y CONTRACCIONES. FUENTE: RECURSOS DE LA ASIGNATURA MECÁNICA DE FLUIDOS – ICAI

Válvulas de seguridad: Únicamente se utilizarán en caso de avería o rotura; se emplean para seccionar la red. Se accionan de forma manual. Según las dimensiones de las mismas serán de un tipo u otro:

TAMAÑO	TIPO DE VÁLVULA
< 315 mm	Válvulas de compuerta
> 400 mm	Válvula de mariposa

TABLA 32 TIPO DE VÁLVULA DE CORTE DE RED PRINCIPAL. FUENTE: PROPIA

Estas válvulas de seguridad (corte de la red principal) suponen una pérdida de altura equivalente inferior a medio metro; no resultan significativas.

Ventosas: Son las válvulas que regulan la entrada y salida de aire a la red. Se prevé la instalación de un único tipo: **ventosa bifuncional**. Son de pequeño tamaño. No se utilizarán ventosas del tipo trifuncional compuesta pues estas son indicadas para cambios bruscos de pendiente, situación que no aplica al proyecto.

10.5.3. Resultados

La altura geodésica esperada es de **41 metros**: unos **40 metros** hasta el **fondo del pozo**, donde se colocará la bomba dejando una **distancia de seguridad** de entre uno y tres metros (escogemos un término medio de **2 m**) para evitar elevadas turbulencias que pongan en suspensión los sólidos sedimentables de los fangos; y **3 metros**, que es la **altura de la estructura** con la que se elevarán los depósitos para el riego por gravedad.

Tramo	v [m/s]	D [m]	f [-]	L [m]	hf1 [m]
bomba-bifurcación (tramo común)	3	0.044286	0.018	38	7.085
bifurcación-depósito (tramo exclusivo de cada depósito)	2.4	0.028009	0.022	7	1.614



TOTAL TRAMO IMPULSIÓN *					8,699
depósito-distribuidor (tramo exclusivo de cada depósito)	0.3	0.008143	0.035	100	1.972

TABLA 33 CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA PRIMARIAS. FUENTE: PROPIA

*Por tener configuración en paralelo, las pérdidas en ambas tuberías son iguales desde la bifurcación hasta la desembocadura en el depósito.

Con respecto las longitudes definidas de cada tramo de tubería, estas seguramente habrán de ser redimensionadas una vez se analice el terreno en cuestión. Si se diese la situación por la que fuere necesario instalar tuberías de mayor longitud que la prevista, las pérdidas de carga podrían ser tales que la velocidad sería insuficiente para alcanzar toda la red. En ese caso, habría que valorar aumentar la altura de elevación para incrementar la presurización de la línea de salida.

Se han valorado diferentes configuraciones de la disposición de los depósitos. Se ha optado por la más eficiente. Las pérdidas de carga, por la velocidad a la que circula el fluido por cada uno de los tramos, son mucho mayores si en lugar de colocar los depósitos cerca de la boca del pozo (a unos tres metros de distancia y cuatro de altura: **se descargará por la parte superior del tanque**), se colocasen a, por ejemplo, a 50 metros de distancia del pozo; lo cual se traduciría en unas pérdidas de más de 12 metros.

Tomando los valores de k de la gráfica anterior “Valores del coeficiente de pérdidas en codos, según geometría”, obtenemos las siguientes pérdidas secundarias para la impulsión:

Accesorio	k [-]	v [m/s]	hf2 [m]
Codo 1 salida pozo 90º	0,3	3	0.137615
Bifurcación: flujo de entrada en T	0.9	3	0.412844
Codo 2 90º	0.3	2.4	0.088073
Descarga depósito: salida NO sumergida	0	2.4	0
TOTAL PÉRDIDAS SECUNDARIAS			0.638532

TABLA 34 CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA SECUNDARIAS. FUENTE: PROPIA

Las pérdidas secundarias de las tuberías de distribución son muy elevadas por el ya mencionado mecanismo de los goteros. En cualquier caso, queda visto que las pérdidas primarias son razonables (1.97 m)

Por lo tanto, se calculan las pérdidas totales de la impulsión según la expresión:

$$\Delta h_{tot} = h_{f1} + \sum_i k_i \frac{v_i^2}{2 \cdot g} = h_{f1} + h_{f2}$$

$$\Delta h_{tot} = h_{f1} + h_{f2} = 8.699 + 0.639 = \mathbf{9.338 \text{ metros}}$$

11. ACCIONAMIENTO SOLAR

Si bien se analizan los beneficios del accionamiento solar en el estudio de la sostenibilidad del proyecto, los cálculos relativos al diseño de los paneles fotovoltaicos están fuera del alcance del presente PFG. El cálculo y diseño de las protecciones y los elementos de accionamiento del sistema han sido realizados en el PFG intrínsecamente relacionado con este: “Alimentación de sistemas de captación de aguas con pequeña red de distribución para regadíos”.

En el mencionado PFG, se especifica que serán necesarios **dos** módulos fotovoltaicos de **265 W** y **24 V** de tensión, que se conectarán en **paralelo**. La tensión pico real de los paneles escogidos es de **30,4 V**, más se han tenido ya en cuenta las caídas de tensión existentes.

Estos paneles tendrán que suministrar una potencia capaz de accionar la bomba sumergible de baja tensión en corriente continua, así como de salvar las pérdidas mecánicas y eléctricas generadas.

Nota: Se tiene conciencia de que esta parece no ser la solución idónea por estar sobredimensionados los paneles; sin embargo, ante la incertidumbre actual, es el resultado óptimo al que se ha llegado.



ILUSTRACIÓN 39 CONJUNTO DE DOS PANELES SOLARES POLICRISTALINOS DE 265W. FUENTE: MERCADOLIBRE.COM.

11.1. Pérdidas

Así, estos dos módulos de células fotovoltaicas accionarán la bomba seleccionada (esta necesita unos 300 W de potencia y tensión nominal de **24 V**) y el conjunto de bomba (**60%**) y caja de conexiones (supuesto **90%**) tiene un rendimiento conjunto del **54%**.

Resulta de especial relevancia destacar que el sistema fotovoltaico habrá de compensar las pérdidas mecánicas por fricción en las cañerías calculadas. Se ha de generar más potencia de la necesaria para el funcionamiento de la bomba. A las pérdidas mecánicas calculadas habrán de agregarse las pérdidas eléctricas.

Las pérdidas eléctricas esencialmente se deben al calor disipado en los cables y al rendimiento tanto de la bomba como de su correspondiente motor de accionamiento.

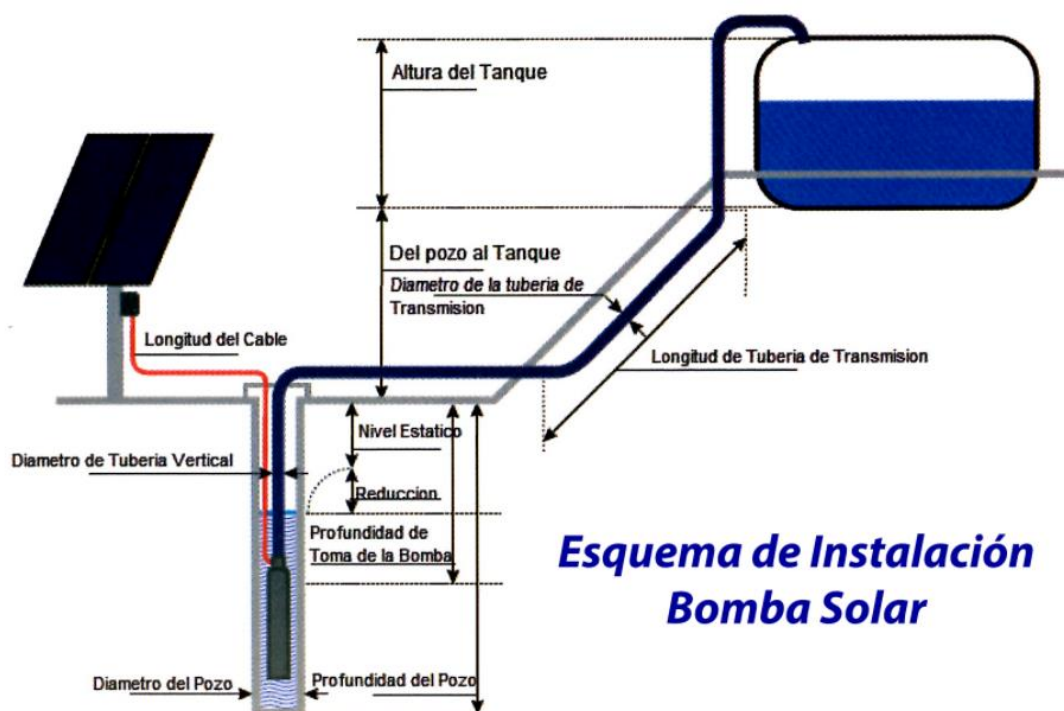


ILUSTRACIÓN 40 ESQUEMA DE INSTALACIÓN BOMBA SOLAR. FUENTE: [HTTP://WWW.PASSA.COM/INDEX.PHP/ENERGIA-SOLAR/BOMBAS-AGUA](http://www.passsa.com/index.php/energia-solar/bombas-agua)

12. EL POZO

Resulta de vital importancia, como ya se ha planteado, no exceder la capacidad de regeneración del pozo: esto es, el ritmo al que el pozo es capaz de “rellenarse”. Por esta razón, se llevará a cabo el estudio de la capacidad del pozo previo a la ejecución del proyecto.

Para realizar el estudio del pozo, se hará un **bombeo de prueba**. Durante el mismo, se irá reduciendo el nivel dinámico del agua paulatinamente a base de ir aumentando a intervalos fijos el caudal bombeado. Dibujando tal descenso en función del caudal se obtiene una parábola aproximada. En caso de obtener un descenso lineal y no parabólico, esto supondrá que un incremento del caudal de $1 \text{ m}^3/\text{h}$, tendrá un consecuente descenso del nivel de agua de 10 cm/m^3 .³²

³² <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/figutut207/Manual de Ingenieria SP ES.pdf>

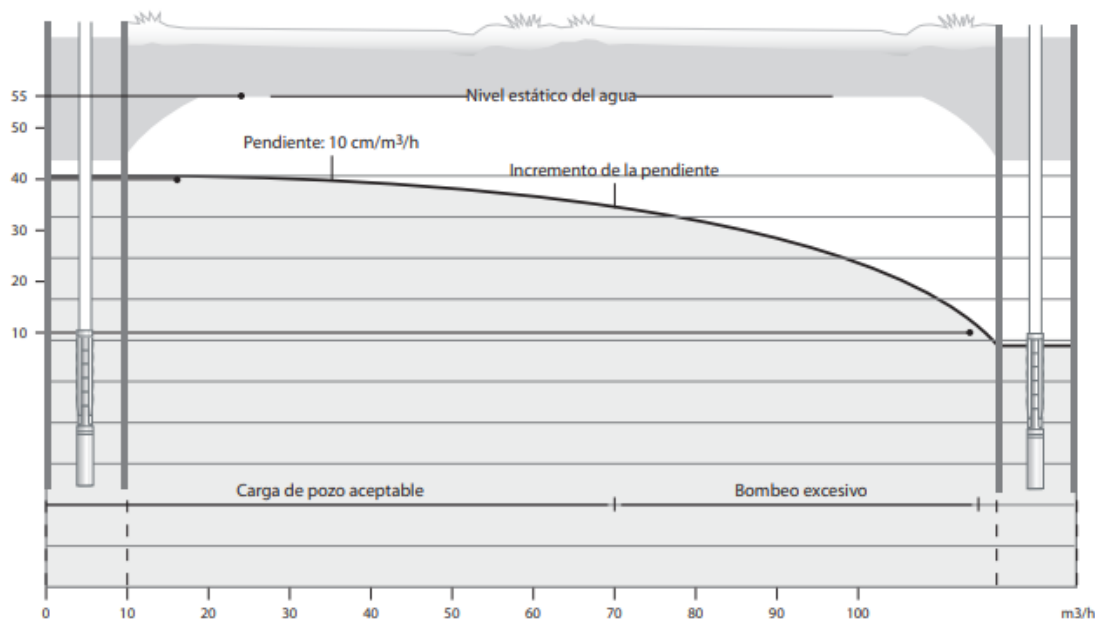


ILUSTRACIÓN 41 VARIACIONES EN EL NIVEL DINÁMICO DEL AGUA MEDIANTE BOMBES DE PRUEBA. FUENTE: INGEMECHANICA.COM

En función de los resultados de este, según cuál sea la hipótesis estudiada que más se ajuste a la realidad, se escogerá una bomba.

En dicho estudio entrará en consideración la Ley de Darcy. Esta establece que el caudal Q que es capaz de atravesar un medio permeable es proporcional a la superficie de paso del medio en cuestión (S). Esta superficie es normal al flujo y al gradiente de niveles piezométricos entre la entrada y la salida de dicho flujo.

Flujo volumétrico: caudal [m^3/s]

$$Q = \iint (\vec{v} \cdot \vec{n}) dA = \vec{v} \cdot A$$

Flujo másico: [kg/s] Donde ρ es constante por ser incompresible el fluido de trabajo (agua).

$$\dot{m} = \iint \rho(\vec{v} \cdot \vec{n}) dA = \rho Q$$

Es condición necesaria para la aplicación de la ley de Darcy que el flujo tenga régimen laminar. Este suele darse cuando el medio es poroso granular y el acuífero está a presión atmosférica. En caso de darse factores como fallas muy abiertas o fracturas en el acuífero, la permeabilidad aumenta sustancialmente; esto se traduce en una mayor velocidad de paso del fluido: régimen turbulento.

Si el régimen es laminar,

$$\vec{v} = v_{max} \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right)$$

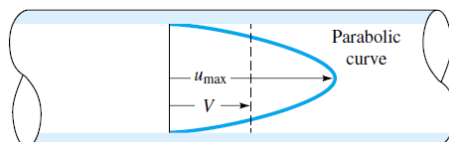


ILUSTRACIÓN 42 RÉGIMEN LAMINAR EN CONDUCTO. FUENTE: ICAI

El régimen que lleva el fluido se determina con el número de Reynolds. Se empleará el número de Reynolds en conductos considerando el valor de transición $Re_{d,crit} \approx 2300$. Se decide emplear la forma de cálculo de conductos mejor que la de estudio de flujos alrededor de cuerpos por simplicidad.

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

Re : número de Reynolds [-]

ρ : densidad [kg/m^3]

v : velocidad del fluido [m/s]

d : diámetro interno de la tubería [m]

μ : viscosidad dinámica ($\mu_{\text{agua}} = 10^{-3} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$)

En la práctica, con fundamento en la ley de Darcy, se medirá la regeneración del pozo en términos de m^3/h , según la velocidad a la que este recupere su nivel estacionario tras haber sido explotado.

13. CONSIDERACIONES AGRÓNOMAS: LA RED DE RIEGO

13.1. Descripción de la red de riego: diseño agrónomo

En la orfarma se producen esencialmente maíz y patatas. Se efectúan los cálculos de las necesidades hídricas de los cultivos según las indicaciones del informe “Las necesidades de agua de los cultivos” (1977), desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

$$ET = \text{riego} + \text{precipitación} - \text{escorrentía} - \text{percolación profunda} \\ + \text{capilaridad} \pm \Delta \text{flujo horizontal} \\ \pm \Delta \text{contenido de agua en el suelo}$$

ECUACIÓN 1 CÁLCULO DE LAS NECESIDADES DEL AGUA. FUENTE: PROPIA

La evotranspiración (ET) de un cultivo, definida como las pérdidas de agua tanto por transpiración de la planta como por la evaporación directa de la superficie, depende de: el clima (radiación, humedad, temperatura, viento...), la planta (tipo de cultivo y estado del desarrollo) y la disponibilidad de agua en el suelo (capacidad de almacenamiento y distribución del mismo).

$$\text{Agua que entra} = \text{Agua que sale} + \text{Agua que se almacena}$$

ECUACIÓN 2 BALANCE HÍDRICO EN LOS CULTIVOS. FUENTE: UNIVERSIDAD DE CASTILLA LA MANCHA - INGENIERÍA RURAL



Según la FAO, para el cálculo de las necesidades hídricas se ha de multiplicar el valor de referencia de evotranspiración (ET_o), que depende del clima, con el coeficiente de cultivo (K_c), que depende tanto del cultivo como de su fenología.

$$ET_c = ET_o * K_c$$

ECUACIÓN 3 CÁLCULO DEL ETC. FUENTE: FAO

Para comparar los datos de ET_o de Zimbabue se ha elegido el clima de Almería por ser el espacio más árido de la península y habiendo por ende condiciones equiparables en verano. Almería tiene cerca de 3000 horas de exposición solar anual.³³ Durante el resto del año, las condiciones del país africano resultan menos desfavorables. A estos efectos, se considera una ET_o media máxima de 150mm.³⁴

Factores de K_c del maíz según las distintas fases de desarrollo		
K_c inicial	K_c medio	K_c fin
0.3	1.15-1.25	1.00-1.05

TABLA 35 FACTORES DE K_c DEL MAÍZ. FUENTE: PROPIA

La duración total de las diferentes fases del cultivo asciende a un total de 150 días.

Atendiendo al siguiente diagrama de cálculo de las necesidades brutas de riego, se estiman las necesidades totales de agua han de responder a un volumen de irrigación capaz de mojar un espesor de 70cm de la capa superficial del suelo. El uso diario del maíz varía, según la etapa de desarrollo, entre los 2mm/día y los 6.5mm/día.³⁵ Estos cálculos agrónomos son coherentes con los presentados anteriormente tanto en el caudal de diseño como en los diámetros de las tuberías.

Para satisfacer tales necesidades hídricas, se estima en unos 5000-6000 m³/ha para el desarrollo del ciclo de cultivo completo. Tal estimación es dependiente de la disponibilidad hídrica del terreno, así como de las condiciones climáticas y la técnica de cultivo a emplear. En cuanto a la técnica de cultivo a emplear, se considera apropiado adoptar la técnica de riego por goteo en lugar de la habitual práctica de riego por aspersión.

Se calcula una media de 5000 m³/ha para los mencionados el ciclo completo de cultivo. Teniendo la granja 4 hectáreas, la necesidad total de agua será de 20000 m³/ha; gracias a la técnica de riego por goteo elegida, será suficiente aportar diariamente 2.5 m³ por hectárea.

Estas consideraciones tendrían relevancia a la hora de dimensionar el depósito de almacenamiento. El caudal del riego por goteo se ajustará según las necesidades del cultivo que, como se ha mencionado anteriormente, depende de la etapa de desarrollo de la planta.

Se recomienda dar **riegos frecuentes**: por ejemplo, para producir una precipitación total de 45mm se regaría un día sí y otro no con cuatro riegos de dos horas.³⁶ Por ello, se ha procurado en los cálculos planteados que la sección de las tuberías del sistema sea suficientemente elevada para poder satisfacer las necesidades hídricas.

³³ <https://noticias.eltiempo.es/sequia-espana-las-zonas-mas-aridas/>

³⁴ Fuente: <http://eportal.mapama.gob.es/websiar/ResultadoConsultaDatos.aspx>

³⁵ agronoticias2012.blogspot.com.es

³⁶ assets.wwf.es/downloads/curso_de_riego_definitivo





CAPÍTULO 3: ESTUDIO ECONÓMICO



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

Beatriz Marín Alcalá



CONTENIDO CAPÍTULO 3:

14.	RENTABILIDAD.....	95
15.	FIABILIDAD.....	98
16.	INTERÉS ECONÓMICO	98



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

Beatriz Marín Alcalá



En el presente capítulo se lleva a cabo un estudio de la viabilidad económica del proyecto. Para ello, se centran los esfuerzos en un análisis de la rentabilidad del mismo, de su fiabilidad económica y del interés económico del mismo.

14. RENTABILIDAD

Para determinar la rentabilidad del proyecto, se analiza el rendimiento de la principal característica del proyecto: el sistema de riego. Se ha tomado la decisión de instalar el sistema de riego por goteo por las múltiples ventajas que presenta con respecto al riego por aspersión:

- **AHORRO HÍDRICO:** no sólo por la creciente concienciación ambiental sino por la casuística específica del proyecto dónde la escasez de recursos hídricos resulta evidente. Con esta técnica se prevén sensibles mejoras como un **ahorro hídrico del 30%** dado que se minimizan las pérdidas por evaporación y por el factor viento.
- **AHORRO ENERGÉTICO:** respecto al tradicional riego por aspersión del maíz, con el riego por goteo resulta más que suficiente una de 1.0 bar; significativamente menor a la requerida por la aspersión; esto incurre en un **ahorro energético del 60%**.
- **EFICIENCIA:** La técnica de riego por goteo tiene una **eficiencia del 90%**, un 20% superior a la aspersión.³⁷ Asimismo se estima un **aumento promedio del rendimiento del 30-40%**; una mejor calidad de los granos gracias a la reducción de los períodos de estrés hídrico.³⁸

Visto que la tecnología escogida presenta evidentes ventajas tanto energéticas, se determinará a continuación si económicamente resulta rentable:

Desde el punto de vista del beneficiario del proyecto es indudable que este estudio de la rentabilidad económica resulta favorable dado que se trata de un proyecto de carácter benéfico. La inversión inicial del usuario es nula. Además, tal y como se recoge en los objetivos del proyecto, el fin último es generar rédito económico y lograr la independencia económica del orfanato (respecto a las donaciones). El objetivo primario es mejorar la productividad y la eficiencia de la plantación; esto busca la consecución de excedentes con los que el orfanato de CFA pueda comenzar el desempeño de sus actividades económicas.

Llegados a este punto, parece relevante estudiar quién o cómo se asume la inversión inicial: financiación social. La autora del presente PFG, quién ha trabajado junto a otros compañeros de la Escuela, para la consecución de la inversión inicial necesaria, formando "ProjectZimbabwe". ProjectZimbabwe es la iniciativa que engloba los Proyectos de Fin de Grado que se llevarán a cabo este verano para la ONG Child Future Africa. Desde ProjectZimbabwe se han llevado a cabo diferentes eventos y campañas desde el mes de marzo para la recaudación de fondos. Se muestran a continuación algunas de las actividades desarrolladas:

³⁷ <http://blog.agrologica.es/disenio-paso-a-paso-de-un-sistema-de-riego-por-goteo-en-una-parcela-real/>

³⁸ <https://www.irritec.com/es/soluciones/agricultura/maiz/>

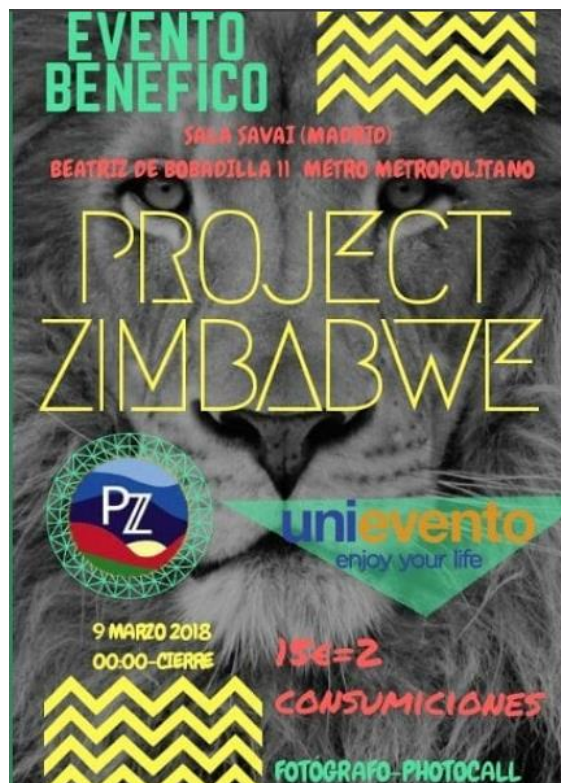


ILUSTRACIÓN 43 CARTEL DE LA FIESTA BENÉFICA ORGANIZADA PARA LA FINANCIACIÓN DE LOS PFGS DE PROJECTZIMBABWE. FUENTE: PROPIA



ILUSTRACIÓN 44 CARTEL DEL TORNEO DE FÚTBOL SALA ORGANIZADO PARA LA FINANCIACIÓN DE LOS PFGS DE PROJECTZIMBABWE. FUENTE: PROPIA



ILUSTRACIÓN 45 CARTEL DEL TORNEO DE PÁDEL BENÉFICO ORGANIZADO PARA LA FINANCIACIÓN DE LOS PFGS DE PROJECTZIMBABWE. FUENTE: PROPIA

Además, se ha organizado una campaña de crowdfunding online:

<http://www.fundacionicai.org/projectzimbabue>



ILUSTRACIÓN 46 IMPRESIÓN DE PANTALLA DE LA CAMPAÑA E CROWDFUNDING INTEGRADA EN LA WEB DE LA FUNDACIÓN DE INGENIEROS DEL ICAI PARA EL DESARROLLO. FUENTE: PROPIA

Para poder concluir que el sistema es rentable se ha de estudiar también el coste de mantenimiento. Dada la lejanía a los puntos de venta de repuesto y difícil acceso para los técnicos a la instalación



(por la localización de esta), se incrementa el coste de utilización. Se procederá a la formación del personal beneficiario con el objeto de minimizar el riesgo de fallo del sistema y optimizar su vida útil.

A la luz de los resultados obtenidos y visto que tanto el desempeño energético como el económico resultan favorables, se afirma que el **estudio de la rentabilidad** del proyecto resulta **positivo**.

15. FIABILIDAD

En este apartado se analiza la seguridad a largo plazo, durante la vida útil de la instalación, del usuario respecto de los equipos constituyentes de su sistema. Para que el proyecto sea fiable, se ha de cumplir:

- El **usuario** sea **solvente** para poder hacer frente a posibles derramas originadas por averías.
- La etapa de **implantación** del proyecto ha de ser **eficiente y económica**: se buscarán obtener los mejores rendimientos posibles con el reducido presupuesto del que cuenta el proyecto.
- Durante la **vida útil** del sistema, se habrán de llevar a cabo **revisiones** periódicas que garanticen la máxima eficiencia de los equipos y, por ende, optimicen la recuperación de la inversión inicial (independiente de que para el usuario haya sido nula).

Para la consecución de estos objetivos, se recogen en el apartado de mantenimiento preventivo de la memoria del proyecto diferentes medidas a llevar a cabo. Por lo que, se concluye, dependerá del usuario y su compromiso con la puesta a punto de los equipos que el proyecto resulte fiable económicamente.

16. INTERÉS ECONÓMICO

El examen del interés económico del proyecto está intrínsecamente ligado al estudio de la sostenibilidad del capital económico del proyecto. Si el factor a estudiar genera crédito económico, es un bien. Se consideran por tanto positivos factores como la generación de electricidad, el garantizar agua potable o el suministrar agua para el cultivo. Del mismo modo, se consideran negativos aquellos factores que generan costes como la construcción de infraestructuras.

El **capital económico** será el que mayor impacto perciba dado que el objetivo último del proyecto es generar beneficios para el orfanato. Con la optimización del uso del agua se busca, como se ha mencionado anteriormente, mejorar la productividad de la plantación y así no sólo obtener los alimentos suficientes para alimentar a los niños del orfanato, sino generar **excedentes** para poder **comerciar** con estos.

Además, con la instalación de las células fotovoltaicas se proporcionará al orfanato de **autonomía energética**. Dados los desorbitados y fluctuantes precios de la electricidad en Zimbabue, esto tendrá una repercusión sensible sobre la economía del orfanato.

El **coste** de la construcción de las **infraestructuras** se puede estudiar haciendo distinción entre el coste de construcción y el coste de operación. En Mount Darwin, dicho coste se verá limitado a la instalación del tanque de captación (se comprarán tanques de polietileno prefabricado), de las



tuberías y de la bomba en el pozo. No se incurrirá en el elevado coste de construcción del pozo por estar ya construido; sin embargo, si existirá el coste de no emplazamiento correspondiente a la construcción de las estructuras para soportar los tanques. El coste de la mano de obra queda reflejado en la sección “OBRA CIVIL” de los presupuestos (véase documento correspondiente de este PFG).

Con un planteamiento conservador, se compara el mayor de los hipotéticos costes del bombeo solar con la instalación eléctrica. Por un lado, se plantea el coste total del primer año del uso de una bomba trifásica: este contempla tanto la inversión inicial como el coste de funcionamiento de la bomba durante tal periodo. Para el desarrollo de esta comparación se han supuesto excelentes rendimientos y mínimas pérdidas tanto eléctricas como mecánicas, de modo que fuere suficiente con un único módulo en ambos casos.

Contemplando además el coste que supondría la instalación del inversor que necesitarían las bombas con motor de accionamiento trifásico para poder ser acopladas al panel solar; ello supondría un sobrecoste de unos **5.000€**

Por otro lado, se plantea el uso de una bomba que funcione directamente con una diferencia de potencial de 24 V (potencial suministrado por el panel solar). Estas bombas tienen una potencia menor y funcionan con corriente continua. Nótese que en el presupuesto siguiente se ha tomado una bomba de 155 W, pero es muy probable que se requiera una mayor potencia, para que esta sea capaz de suministrar un caudal mayor caudal de 10 m³/día que se estima necesario.

En caso de emplear una bomba trifásica de 400V, el ahorro producido en el primer año será de: **42.38€**. Sin embargo, con la instalación del bombeo solar de una bomba de 24 V, se conseguirá un ahorro de **570.17€**. Se consideran diferentes intervalos de tiempo para las bombas y su conexión a la red pues se considera que el caudal total que han de bombear es comparable.

En la siguiente tabla se refleja el cálculo del coste de funcionamiento durante 8 años de la bomba sumergible trifásica, así como el coste de la instalación de bombeo solar; siendo el precio del kWh en Zimbabue de 0,0809€.

ELEMENTO	Precio unitario [€]	Potencia requerida/ generada [W]	Uso diario [h]	Coste diario RED [€]	Coste anual RED [€]	Tiempo amortización [años]	Coste total 8 años [€]
bomba sumergible (5149W)	300	5149	5	2,08 €	760,21 €	8	6.381,69 €
panel fotovoltaico (5300W)	937	5200	5,4		- €	8	6.339,31 €
Precio inversor de corriente	5102,31	-	5,4		- €	8	
bomba sumergible 24V CC (155W)	698,28	155	24	0,30 €	109,85 €	8	1.577,05 €
panel fotovoltaico (270W)	308,6	180	8		- €	8	1.006,88 €

TABLA 36 COMPARATIVA ENTRE EL USO DE UNA BOMBA TRIFÁSICA Y UNA DE CORRIENTE CONTINUA. FUENTE: PROPIA

Los cálculos de esta comparación se han efectuado considerando el peor de los casos planteados.



Por la significativa reducción del coste del proyecto que supondría la instalación de la bomba de corriente continua se decide finalmente que el proyecto se ejecutará con una bomba de ese tipo. Se pone en valor la simplicidad de la instalación, la seguridad de esta que supone con respecto a la de alta tensión, así como a la eliminación de elementos cuyo recambio o reparación son de gran complejidad (el inversor).



CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE SOSTENIBILIDAD DEL PROYECTO





CONTENIDO DEL CAPÍTULO 4

17.	CASO DE ESTUDIO	105
17.1.	Tecnología escogida.....	105
17.2.	Aplicación concreta.....	105
18.	ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD	105
18.1.	Variación de capitales	105
18.1.1.	Ke: Capital económico	105
18.1.2.	Kn: Capital natural	105
18.1.3.	Ks: capital social	107
18.1.4.	Kh: capital humano	108
18.2.	Cercanía a límites críticos.....	108
18.3.	Distribución intrageneracional.....	110
19.	PROPUESTAS PARA MEJORAR LA SOSTENIBILIDAD	110





17. CASO DE ESTUDIO

17.1. Tecnología escogida

Se realiza en este capítulo un estudio de la sostenibilidad de la implantación de un **sistema de regadío** en tierras áridas como las de la sabana africana en Zimbabue.

El presente PFG se centra en dar respuesta a la sostenibilidad del orfanato Child Future Africa: mejorar su situación y la calidad de vida de las personas beneficiarias.

El estudio de la sostenibilidad se realizará en dos bloques. En el primero se hará un análisis de la sostenibilidad que se pretende obtener una vez implantado el proyecto, es decir, las propuestas para mejorar la situación actual. En segundo lugar, se comentarán posibles alternativas para mejorar la situación a priori insostenible.

17.2. Aplicación concreta

La aplicación como se ha descrito anteriormente es dar solución a una situación crítica garantizando el acceso al agua: provisión de agua para el cultivo. De este modo se mejorará sustancialmente la calidad de vida de los huéspedes afectados por la orfandad y, por tanto, la sostenibilidad de la zona y sus modos de vida.

18. ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD

18.1. Variación de capitales

18.1.1. Ke: Capital económico

El estudio de la sostenibilidad del mismo se ha desarrollado en el capítulo anterior: “Estudio económico”

18.1.2. Kn: Capital natural

Este capital se verá fortalecido con la mejora de las condiciones del terreno para el cultivo y con la reducción de emisiones de dióxido de carbono, por ejemplo. Se verá afectado negativamente si algún elemento del proyecto produce pérdidas de terreno (bien por la anegación de este o por su uso para la edificación) o impactos negativos tanto sobre la fauna y flora, como en la vida acuática (por alteración del caudal de un río o, por ejemplo, aumento de la temperatura del agua colindante con una central), o el paisaje del emplazamiento.

Por lo expuesto, resulta lógico comprender que el capital natural sí será alterado, más no tendrá fuertes repercusiones. Para construir el sistema en cuestión, se hará uso del terreno de la comunidad.

Se estudian por separado los diferentes elementos del proyecto:

Estructura: Se procederá a la instalación de la estructura tras hacer un estudio del terreno: existe la posibilidad de encontrar una elevación natural que, aprovechándola convenientemente reduciría. Se ha diseñado la estructura de manera que se consiga la máxima seguridad con el mínimo material para procurar un impacto visual mínimo.



Estación de bombeo: Se ha decidido emplear una bomba sumergida. Esta tecnología reduce radicalmente cualquier efecto sobre el capital natural pues se introducirá la bomba en el pozo ya construido, por lo que no habrá ni pérdida de terreno debida a la instalación de la estación, ni impacto sobre el paisaje.

Las tuberías: El PE (o su alternativa más fiable: PVC) utilizado para las tuberías es un material obtenido con procesos de alta eficiencia energética; asimismo, el proceso de fabricación está exento de sustancias y gases contaminantes. Además de tener una vida útil de más de 50 años, las tuberías son reciclables al final de su vida útil.

Su baja rugosidad las hace eficientes en el transporte del fluido, minimizando las pérdidas de carga.

Sistema de accionamiento solar: Tiene un impacto positivo sobre la contaminación local pues con la tecnología empleada se evitan emisiones de CO₂. Si bien es cierto que durante la construcción del panel en sí mismo y de la bomba se generan emisiones de dióxido de carbono. Igualmente ocurre con el tanque de captación de polipropileno. Se contabilizan a continuación las toneladas de CO₂ que se evitan a lo largo de un año de funcionamiento del sistema.

Según la siguiente tabla, se calculan las emisiones de CO₂ evitadas. Se asume que el motor de accionamiento de la bomba, en lugar de ser alimentado por el panel solar, podría ser un motor de gasolina (que fuese un motor eléctrico conectado a la red no es una solución válida dada la intermitencia de la red y los constantes cortes de luz que se producen).

Si se consume un quinto de litro de gasolina por cada jornada de funcionamiento (8 horas), semanalmente se generan:

$$2.38 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{litro}} \cdot 0.2 \frac{\text{litro}}{\text{día}} \cdot 365 \text{ días} = 159.94 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{año}}$$

Se plantean además las emisiones que se generarían empleando otro tipo de combustibles, siendo el diésel el menos ecológico.

Gasolina 95 o 98:	2.38	kg de CO ₂ /litro
Diésel:	2.61	kg de CO ₂ /litro
Bioetanol: bioetanol 5 (5 % de bioetanol)	2.26	kg de CO ₂ /litro
Biodiésel: biodiésel 30	1.83	kg de CO ₂ /litro
Consumo litro gasolina/día	0.2	litros gasolina/día
Emisiones CO ₂ semanales	3.33	kg de CO ₂
Emisiones CO ₂ anuales	159.94	kg de CO ₂

TABLA 37 EMISIONES DE CO₂. FUENTE: PROPIA

Se evitará, por tanto, la emisión de 160 kg de dióxido de carbono al año: 125 kg descontando los 35 kg que se estiman que se generan al producir el panel.

Sistema de regadío: Habrá un impacto positivo sobre la productividad del terreno agrícola. Inicialmente se plantea mejorar la explotación de las cuatro hectáreas hoy en día en uso; como la ONG posee un terreno mucho más extenso (hasta 20 ha), si fuese posible se trataría de extender la superficie de cultivo. (Es terreno de cultivo no explotado). En cualquier caso, no se plantea aumentar



el área destinada a la plantación sino mejorar su explotación, no se influirá sobre la flora ni la fauna local; no se invadirá terreno que hoy en día no esté ya destinado a la actividad en cuestión.

No existirá ningún impacto negativo sobre la vida acuática pues no habrá ninguna variación en la temperatura y se llevarán a cabo las medidas pertinentes para garantizar que el pozo no se explota por encima de su capacidad. Gracias a que el proyecto se implantará durante los meses más secos, se garantizará que el pozo no se seque; en caso de necesidad, se apoyaría el pozo con un sistema de captación pluvial. Siempre se dará prioridad al agua destinada para el consumo propio del orfanato, frente al agua destinada al cultivo.

18.1.3. Ks: capital social

En lo que al capital social respecta, la implicación de instituciones locales e internacionales se considera beneficioso para el mismo, y su mutua colaboración; el desplazamiento de la población local es un evidente impacto negativo sobre el capital social.

La valoración de los impactos sobre el capital social resulta difícil de cuantificar previa a la implantación del proyecto; si bien, se pueden analizar diferentes factores:

La implicación de stakeholders afecta positivamente a este capital. En el caso de este proyecto con financiación solidaria, resulta evidente que la participación y colaboración de las partes interesadas es vital para su desarrollo; más también es importante que haya implicación por parte de actores locales.

Se pretende lograr un desplazamiento positivo de la población; esto es, aumentar la capacidad del orfanato. Existe una severa crisis de orfandad en Zimbabue, con más de un 21%³⁹ de huérfanos del total de niños. Con los futuros excedentes que generará la plantación, los responsables del orfanato aumentarán su poder adquisitivo. De este modo, podrán ofrecer refugio a más necesitados, así como mejorar las condiciones de los beneficiarios con los ingresos obtenidos. Del mismo modo, se pretende fomentar el comercio local, lo cual resultará beneficioso tanto para el orfanato como la comunidad de Mount Darwin.

³⁹ www.unicef.org/spanish/sowc06/pdfs/pub_5270_Orph_sp.pdf



ILUSTRACIÓN 47. RESPONSABLES DEL COLEGIO DE CFA. FUENTE: MIREN TELLERÍA.

18.1.4. Kh: capital humano

En cuanto al capital humano, resulta beneficioso el aportar **conocimientos técnicos a las comunidades** implicadas y afectadas, así como el **perfeccionamiento en la técnica** con el desarrollo del proyecto en cuestión.

Con el proyecto en la localidad africana se contribuirá favorablemente al capital humano pues será necesario formar con los conocimientos básicos del funcionamiento de la instalación. No sólo para que estén preparados para poder rearmar el sistema en caso de interrupción en su funcionamiento, sino que puedan operar de forma semiautónoma en caso de necesitar recambios. Al tratarse de una zona aislada es probable que no haya un técnico disponible para asistir in situ al orfanato; con unas sesiones de formación en cuanto a los componentes y sus posibles fallos, se dota a los responsables de una cierta autonomía en lo que a la resolución de situaciones puntuales respecta.

Además, este proyecto **no** incurrirá en **efectos negativos** como podría ser la pérdida de conocimientos o culturas ancestrales. Al fin y al cabo, grosso modo, el proyecto consiste en dar acceso al agua: no exige modificar sus técnicas de regadío ni sus hábitos de cultivo. Si bien se ha diseñado el sistema de riego por goteo, está previsto un análisis de la situación previo a la ejecución del proyecto. De este modo, además de implicar a los agentes locales, se podrá adaptar perfectamente la solución dada y paliar los posibles defectos que esta tenga.

18.2. Cercanía a límites críticos

Se estudia la proximidad a los límites críticos; poniendo el foco en estos, queremos garantizar no comprometer ninguno de los capitales.

No queremos mantener sólo el capital agregado sino mantener, por lo menos, el nivel actual de todos los capitales. Se estudian los diferentes impactos del proyecto sobre los nueve límites planetarios.



Por ello, se exponen cuáles son tales límites y cuál es su situación a nivel global, siendo clasificados según el nivel de control que se tiene de los mismos:

1. **Zona segura:** se han aplicado las medidas necesarias para tener los problemas pertinentes bajo control.
 - Ozono atmosférico: No se interviene de forma positiva ni negativa
 - Acidificación del océano: Este problema se produce por la elevada concentración del CO₂ en la atmósfera, casi una cuarta parte de las emisiones pasan al océano. Con la implantación de la energía fotovoltaica de este proyecto se contribuye a la reducción del CO₂ por evitar emisiones de este (160 kg/año, según los cálculos realizados en el apartado del capital natural.)
2. **Zona de incertidumbre:** resulta difícil cuantificar cómo de comprometidos se encuentran estos límites.
 - Cambio climático: Con la energía limpia que se produce con el panel fotovoltaico se evita contribuir al acelerado proceso del cambio climático.
 - Usos del suelo: los problemas que genera la agricultura extensiva. Con la implantación del sistema de regadío por goteo se pretende favorecer la actividad agrícola de forma respetuosa con el medio. Al mejorar el acceso al agua, la plantación podrá ser regada con normalidad de modo que no resultará necesario emplear fertilizantes ni abonos que mejoren la productividad de la cosecha y exploten el uso del suelo.
3. **Zona neutra:** se ha de tener cuidado con estos límites pues actualmente están en un estado de equilibrio temporal, que podría no durar.
 - Contaminación química: presencia de residuos químicos; es difícil de cuantificar y todavía tiene un amplio rango de investigación. Este proyecto no interviene, de forma positiva ni negativa.
 - Aerosoles: pequeñas partículas que afectan negativamente tanto a la salud de los seres vivos como al clima. No aplica al proyecto de este PFG.
 - Usos del agua: escasez de agua dulce. No sólo el acceso es complicado, sino que los recursos son muy limitados. Por eso se presta especial atención en el proyecto en no agotar las escasas existencias del pozo. Es por ello por lo que se plantea la posibilidad de instalar tanques de captación de agua donde almacenar las aguas pluviales en caso de ser necesario por ser la necesidad de extracción mayor que la capacidad del pozo.
4. **Zona de riesgo:** se han de centrar los esfuerzos en no influir negativamente en estos problemas pues actualmente se están aunando esfuerzos por tratar de controlarlos
 - Ciclos bioquímicos: Ciclos bioquímicos: Fertilizantes nitrogenados y fosforados. Hay un exceso de nutrientes: exceso de plancton y bacterias en los ríos que hacen que los ríos mueran. Favoreciendo el acceso al agua para su uso agrícola se reduce la necesidad de uso de fertilizantes.
 - Integridad de la biosfera: se ha de mantener el equilibrio de la compleja diversidad de especies que coexisten; este problema tampoco aplica al proyecto en cuestión.



18.3. Distribución intrageneracional

Con el presente proyecto se pretende mejorar la distribución intrageneracional. La idea de trabajar en un proyecto de cooperación al desarrollo fue precisamente engendrada por un fuerte sentimiento de injusticia respecto a la equidad tanto intrageneracional como intergeneracional (pues la pobreza tiende a transmitirse de una generación a otra si no se aplican las medidas necesarias). Se cree imperativo que haya una distribución justa de agua; de facto, la declaración universal de los derechos humanos recoge que el acceso al agua debería estar garantizado para todo el mundo.

«En virtud del derecho humano a disponer de agua, todas las personas deben tener agua suficiente, asequible, accesible, segura y aceptable para usos personales y domésticos.»⁴⁰

En el caso del centro de Child Future Africa, resulta evidente que dicha equidad no es real. El orfanato acoge a niños huérfanos por el VIH, el cólera... Estas enfermedades, además de haberles sido transmitidas, producen exclusión social, lo cual acentúa incluso más la situación de esos niños.

19. PROPUESTAS PARA MEJORAR LA SOSTENIBILIDAD

Se parte del supuesto de que la situación actual es insostenible. A continuación, se plantean alternativas y ampliaciones al proyecto desarrollado en aras de mejorar la situación actual; son o bien otros posibles enfoques, o bien extensiones que se harían de forma adicional al proyecto.

Potabilización: Se contempla la instalación adicional de un sistema de potabilización. Actualmente cuentan con unos filtros de arena muy rudimentarios que potabilizan el agua extraída del pozo. Por una parte, cabría la posibilidad de tratar de forma más exhaustiva esa agua; por otra, existe la opción de tomar el agua de consumo de una fuente alternativa. Con el sistema de captación de agua de la lluvia no sólo el agua problema inicial sería más limpia, sino que además no sería necesario añadir reactivos químicos al agua.

Tanque elevado de obra: El depósito a instalar en una cota suficiente para poder regar la plantación por gravedad se ha estudiado que lo mejor es que sea prefabricado de polietileno. Una alternativa en caso de no haber disponibilidad en los comercios de la zona de uno del tamaño deseado sería hacer un depósito de obra empleando ferrocemento.

Con la construcción de este, menos eficiente y barata que la solución preferida, se daría trabajo a personas de la zona. El generar puestos de trabajo es siempre un factor muy positivo. Si bien no se opta de primeras por esta opción porque es una tarea compleja que requeriría más tiempo del que se dispone para la ejecución del proyecto.

Tanque elevado personalizado: Dado que uno de los impactos negativos que se estiman podría tener el proyecto es el visual generado por el tanque, se plantea la posibilidad de personalizar el tanque. Se cree que puede resultar una actividad sencilla (y divertida) con la que implicar de forma activa en el proyecto tanto a los niños y responsables del orfanato como a los trabajadores de la plantación.

⁴⁰ OMS “Agua para la salud”



Así, podrán sentir el proyecto como suyo y lograremos un mayor compromiso. Este se traduciría en mejoras en los capitales humano y social.





CAPÍTULO 5: ANEXOS





CONTENIDO CAPÍTULO 5:

ANEXO A: FICHA TÉCNICA DE LA BOMBA SQF 1.2-2.....	117
ANEXO B: FICHA TÉCNICA DE LA BOMBA SQF 2.5-2	122
ANEXO C: PRONTUARIO DE PERFILES HEB LAMINADOS.....	129
BIBLIOGRAFÍA	131



ANEXO A: FICHA TÉCNICA DE LA BOMBA SQF 1.2-2

		Empresa: Creado Por: Teléfono:
		Datos: 21/06/2018
Posición	Contar	Descripción
	1	SQF 1.2-2  Advierta! la foto puede diferir del actual producto Código: 95027328 La bomba SQF 3" rotor de hélice es para grandes alturas y caudales bajos. Características y beneficios: -Protección contra la marcha en seco. -Alto rendimiento del motor de imán permanente -Protección sobrevoltaje y bajo voltaje -Protección contra sobrecarga -Máximo Punto de Rastreo de Potencia (MPPT) -Amplia gama de voltaje Líquido: Líquido bombeado: Agua Temperatura máxima del líquido: 40 °C Liquid temperature during operation: 20 °C Densidad: 998.2 kg/m³ Viscosidad cinemática: 1 mm²/s Técnico: Homologaciones en placa del motor: CE,RCM,EAC Materiales: Bomba: Acero inoxidable DIN W.-Nr. 1.4301 AISI 304 Impulsor: DIN W.-Nr. 1.4301 Instalación: Máxima presión ambiental: 15 bar Descarga: Rp 1 1/4 Diámetro mínimo de la perforación: 76 mm Datos eléctricos: Tipo de motor: MSF3 Potencia de entrada - P1: 1.4 kW Tensión nominal ac: 1 x 90-240 V Tensión nominal dc: 30-300 V Corriente nominal: 8.4 A Factor de potencia: 1.0 Velocidad nominal: 500-3600 rpm



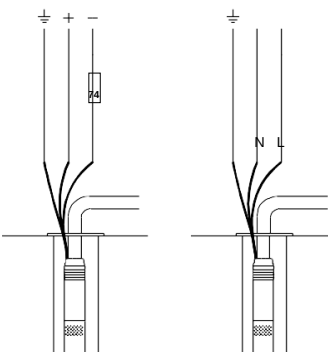
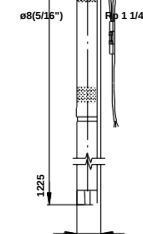
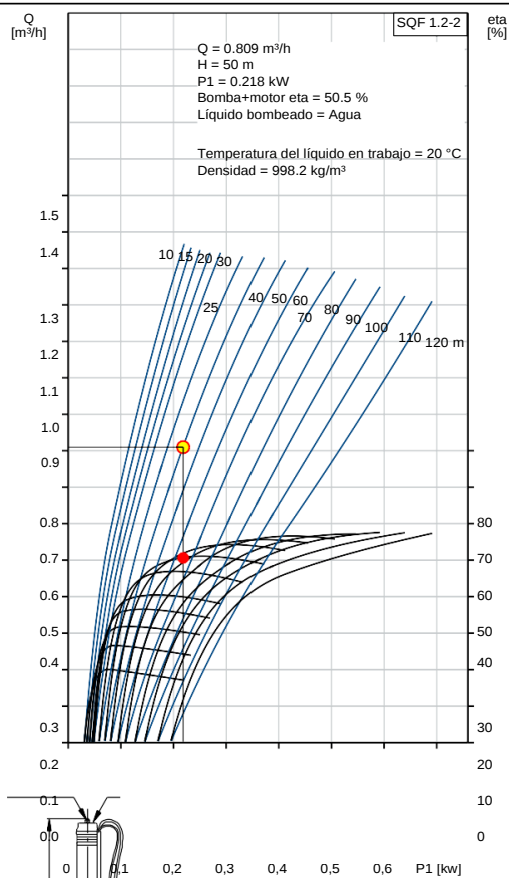
 Empresa: Creado Por: Teléfono: Datos: 21/06/2018		
Posición	Contar	Descripción
		Clase de aislamiento (IEC 85): F Longitud de cable: 2 m Udc: 300 V 30 V Otros: Índice eficiencia mínima, MEI ≥: --- Peso neto: 9.49 kg Peso bruto: 10.6 kg Volumen: 0.024 m3 Country of origin: MX Custom tariff no.: 84137029



Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 21/06/2018

Descripción	Valor
Información general:	
Producto::	SQF 1.2-2
Código::	95027328
Número EAN::	5700834791727
Precio:	2.789,00 EUR €
Técnico:	
Etapas:	2
Homologaciones en placa del motor:	CE,RCM,EAC
Bomba N°:	
95027411	
Válvula:	bomba con válvula de retención integrada
Materiales:	
Bomba:	Acero inoxidable
	DIN W.-Nr. 1.4301
	AISI 304
Impulsor:	DIN W.-Nr. 1.4301
Rotor:	
Acero inox.	
DIN W.-Nr. 1.4301	
AISI 304	
Estátor:	
Acero inoxidable/EPDM	
DIN W.-Nr. 1.4301	
AISI 304	
Instalación:	
Máxima presión ambiental:	15 bar
Descarga:	Rp 1 1/4
Diámetro mínimo de la perforación:	76 mm
Líquido:	
Líquido bombeado:	Agua
Temperatura máxima del líquido:	40 °C
Liquid temperature during operation: 20 °C	
Densidad:	998.2 kg/m³
Viscosidad cinemática:	1 mm²/s
Datos eléctricos:	
Tipo de motor:	MSF3
Potencia de entrada - P1:	1.4 kW
Tensión nominal ac:	1 x 90-240 V
Tensión nominal dc:	30-300 V
Corriente nominal:	8.4 A
Factor de potencia:	1.0
Velocidad nominal:	500-3600 rpm
Tipo de arranque:	directo
Grado de protección (IEC 34-5):	IP68
Clase de aislamiento (IEC 85):	F
Protección del motor:	Y
Protección térmica:	interior
Longitud de cable:	2 m
Motor N°:	96275336
Udc:	300 V
	30 V
Otros:	
Índice eficiencia mínima, MEI ≥:	---
Peso neto:	9.49 kg
Peso bruto:	10.6 kg



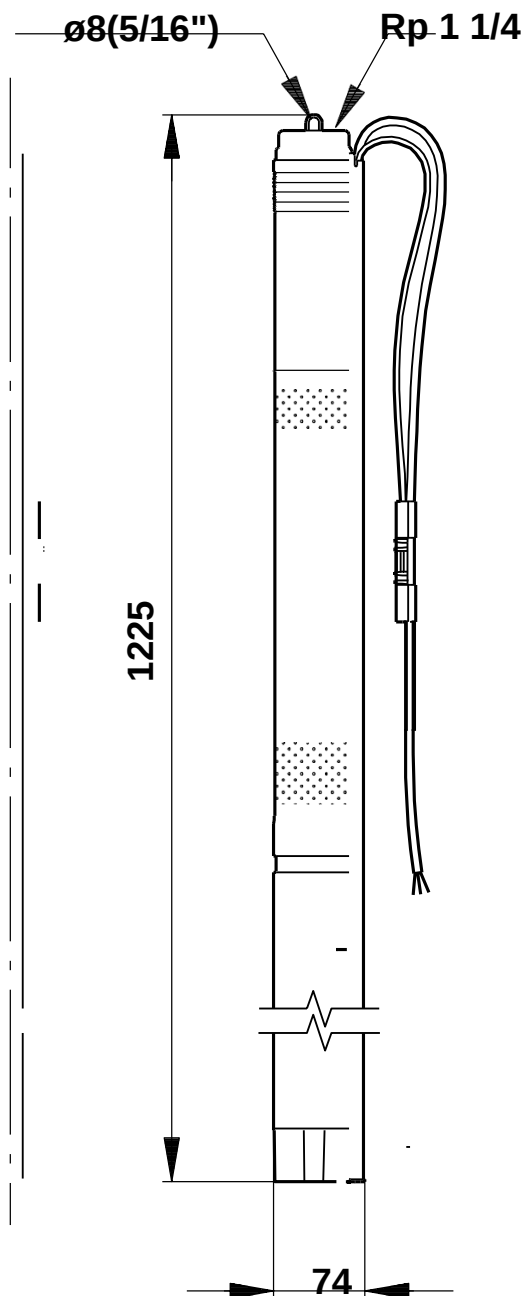


GRUNDFOS

Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 21/06/2018

95027328 SQF 1.2-2 50 Hz



Nota: Todas las unidades están en (mm) a menos que se establezcan otras.



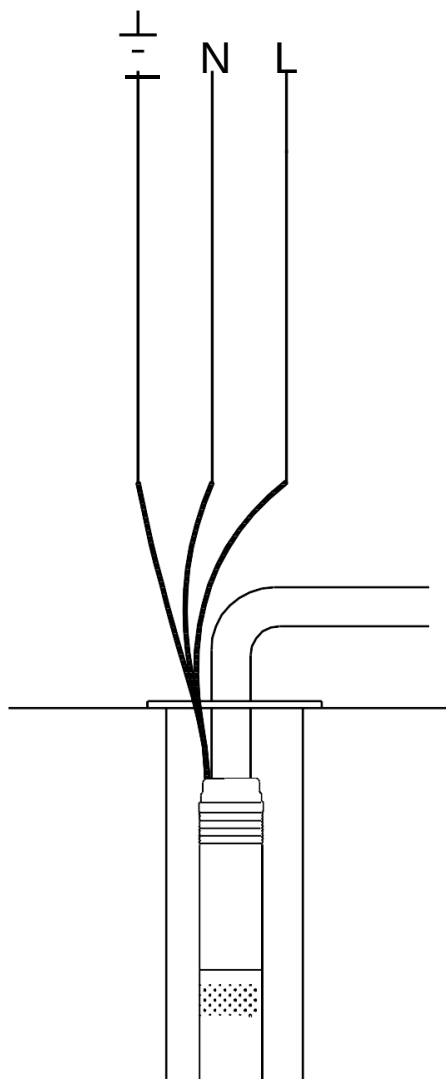
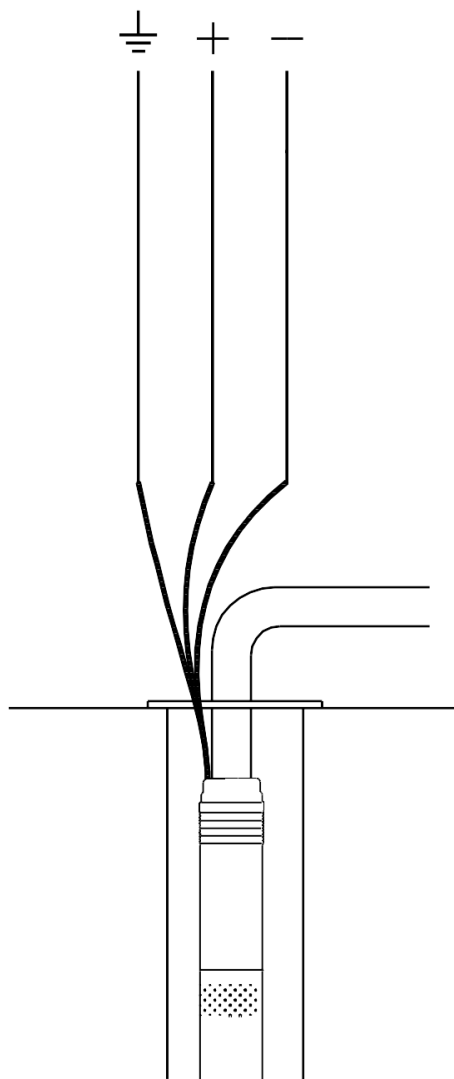
GRUNDFOS



Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 21/06/2018

95027328 SQF 1.2-2 50 Hz



Nota: Unidades en [mm] a menos que otras estén expresadas

ANEXO B: FICHA TÉCNICA DE LA BOMBA SQF 2.5-2

		Empresa: Creado Por: Teléfono:
		Datos: 17/04/2018
Proyecto: Beatriz Marín Alcalá Código:		Cliente: Nº Cliente: Contacto:
Text. prop.		
		
Advierta! la foto puede diferir del actual producto		
Código: Bajo pedido SQF 2.5-2 La bomba SQF 3" rotor de hélice es para grandes alturas y caudales bajos.		
Características y beneficios: -Protección contra la marcha en seco. -Alto rendimiento del motor de imán permanente -Protección sobrevoltaje y bajo voltaje -Protección contra sobrecarga -Máximo Punto de Rastreo de Potencia (MPPT) -Amplia gama de voltaje		
Líquido: Líquido bombeado: Agua Temperatura máxima del líquido: 40 °C Liquid temperature during operation: 20 °C Densidad: 998.2 kg/m³ Viscosidad cinemática: 1 mm²/s		
Técnico: Homologaciones en placa del motor: CE,RCM,EAC		
Materiales: Bomba: Acero inoxidable DIN W.-Nr. 1.4301 AISI 304 Impulsor: DIN W.-Nr. 1.4301		
Instalación: Máxima presión ambiental: 15 bar Descarga: Rp 1 1/4 Diámetro mínimo de la perforación: 76 mm		
Datos eléctricos: Tipo de motor: MSF3 Potencia de entrada - P1: 1.4 kW		



Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 17/04/2018

Proyecto: Beatriz Marín Alcalá
Código:

Cliente:
Nº Cliente:
Contacto:

Tensión nominal dc: 30-300 V
Corriente nominal: 8.4 A
Factor de potencia: 1.0
Velocidad nominal: 500-3600 rpm
Tipo de arranque: directo
Grado de protección (IEC 34-5): IP68
Clase de aislamiento (IEC 85): F
Longitud de cable: 2 m
Udc: 300 V
30 V

Otros:

Índice eficiencia mínima, MEI ≥: ---
Peso neto: 10.2 kg
Peso bruto: 11.3 kg
Volumen: 0.024 m3
Country of origin: MX
Custom tariff no.: 84137029



GRUNDFOS

Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 17/04/2018

Proyecto: Beatriz Marín Alcalá
Código:

Cliente:
Nº Cliente:
Contacto:

Posición	Contar	Descripción
	1	SQF 2.5-2  Advierta! la foto puede diferir del actual producto Código: Bajo pedido La bomba SQF 3" rotor de hélice es para grandes alturas y caudales bajos. Características y beneficios: -Protección contra la marcha en seco. -Alto rendimiento del motor de imán permanente -Protección sobrevoltaje y bajo voltaje -Protección contra sobrecarga -Máximo Punto de Rastreo de Potencia (MPPT) -Amplia gama de voltaje Líquido: Líquido bombeado: Agua Temperatura máxima del líquido: 40 °C Liquid temperature during operation: 20 °C Densidad: 998.2 kg/m³ Viscosidad cinemática: 1 mm²/s Técnico: Homologaciones en placa del motor: CE,RCM,EAC Materiales: Bomba: Acero inoxidable DIN W.-Nr. 1.4301 AISI 304 Impulsor: DIN W.-Nr. 1.4301 Instalación: Máxima presión ambiental: 15 bar Descarga: Rp 1 1/4 Diámetro mínimo de la perforación: 76 mm Datos eléctricos: Tipo de motor: MSF3 Potencia de entrada - P1: 1.4 kW Tensión nominal ac: 1 x 90-240 V Tensión nominal dc: 30-300 V



Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 17/04/2018

Proyecto: Beatriz Marín Alcalá
Código:

Cliente:
Nº Cliente:
Contacto:

Posición	Contar	Descripción
		Factor de potencia: 1.0 Velocidad nominal: 500-3600 rpm Tipo de arranque: directo Grado de protección (IEC 34-5): IP68 Clase de aislamiento (IEC 85): F Longitud de cable: 2 m Udc: 300 V 30 V Otros: Índice eficiencia mínima, MEI ≥: - Peso neto: 10.2 kg Peso bruto: 11.3 kg Volumen: 0.024 m3 Country of origin: MX Custom tariff no.: 84137029



GRUNDFOS

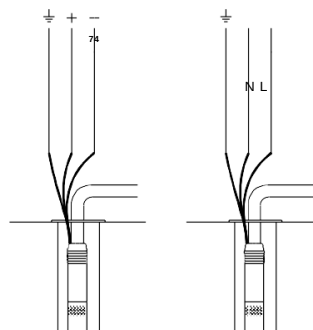
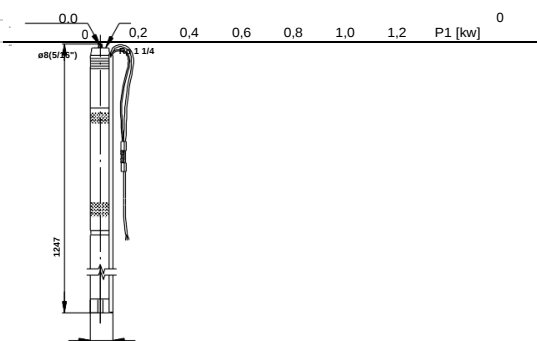
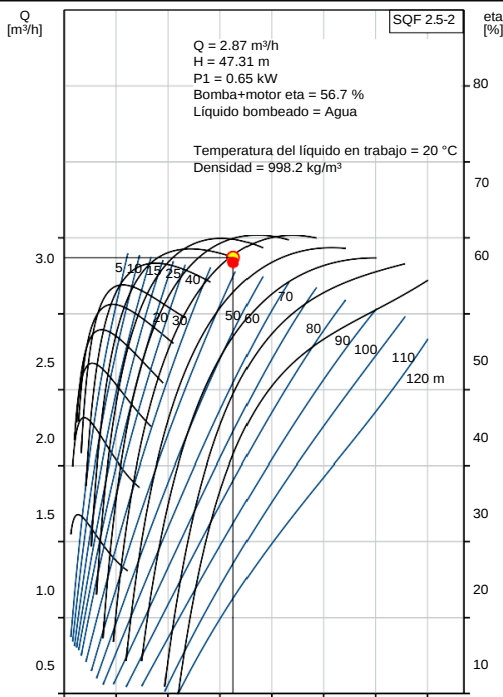
Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 17/04/2018

Proyecto: Beatriz Marín Alcalá
Código:

Cliente:
Nº Cliente:
Contacto:

Descripción	Valor
Información general:	
Producto::	SQF 2.5-2
Código::	Bajo pedido
Número EAN::	Bajo pedido
Precio:	2.789,00 EUR €
Técnico:	
Etapas:	2
Homologaciones en placa del motor:	CE,RCM,EAC
Bomba Nº:	95027414
Válvula:	bomba con válvula de retención integrada
Materiales:	
Bomba:	Acero inoxidable
	DIN W.-Nr. 1.4301
	AISI 304
Impulsor:	DIN W.-Nr. 1.4301
Rotor:	Acero inox.
	DIN W.-Nr. 1.4301
	AISI 304
Estátor:	Acero inoxidable/EPDM
	DIN W.-Nr. 1.4301
	AISI 304
Instalación:	
Máxima presión ambiental:	15 bar
Descarga:	Rp 1 1/4
Diámetro mínimo de la perforación:	76 mm
Líquido:	
Líquido bombeado:	Agua
Temperatura máxima del líquido:	40 °C
Liquid temperature during operation:	20 °C
Densidad:	998.2 kg/m³
Viscosidad cinemática:	1 mm²/s
Datos eléctricos:	
Tipo de motor:	MSF3
Potencia de entrada - P1:	1.4 kW
Tensión nominal ac:	1 x 90-240 V
Tensión nominal dc:	30-300 V
Corriente nominal:	8.4 A
Factor de potencia:	1.0
Velocidad nominal:	500-3600 rpm
Tipo de arranque:	directo
Grado de protección (IEC 34-5):	IP68
Clase de aislamiento (IEC 85):	F
Protección del motor:	Y
Protección térmica:	interior
Longitud de cable:	2 m
Motor Nº:	96275336
Udc:	300 V
	30 V
Otros:	
Índice eficiencia mínima, MEI ≥:	---
Peso neto:	10.2 kg
Peso bruto:	11.3 kg





GRUNDFOS

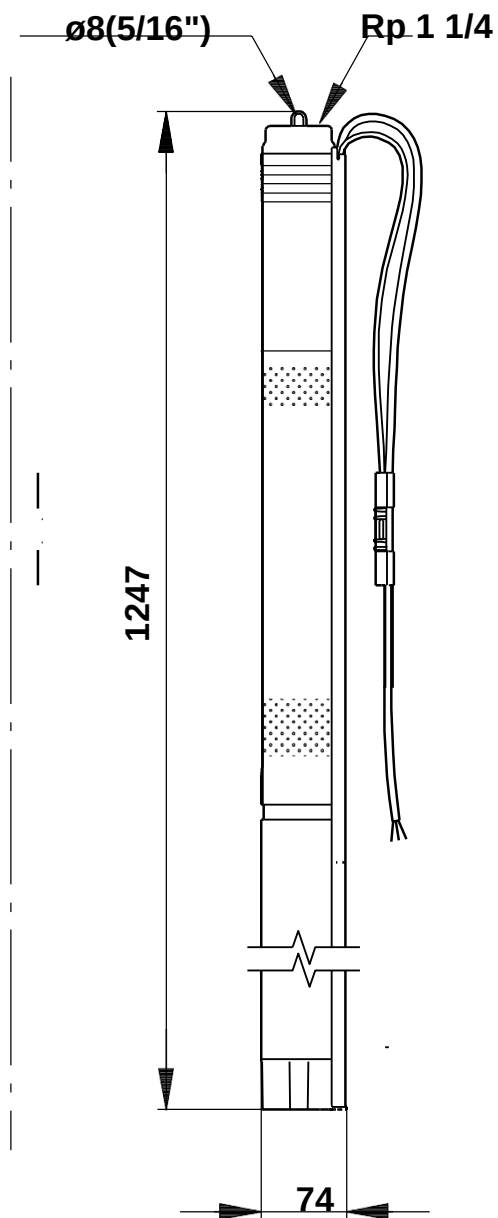
Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 17/04/2018

Proyecto: Beatriz Marín Alcalá
Código:

Cliente:
Nº Cliente:
Contacto:

Bajo pedido SQF 2.5-2 50 Hz



Nota: Todas las unidades están en [mm] a menos que se establezcan otras.



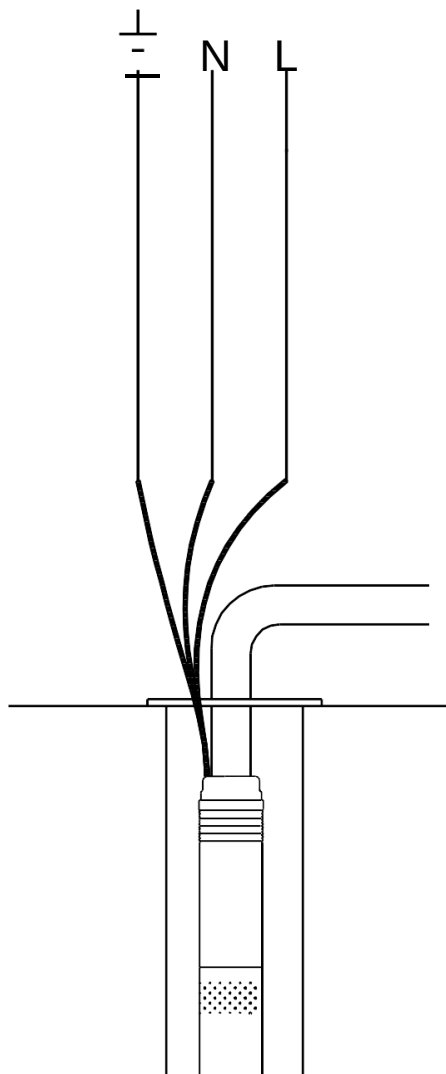
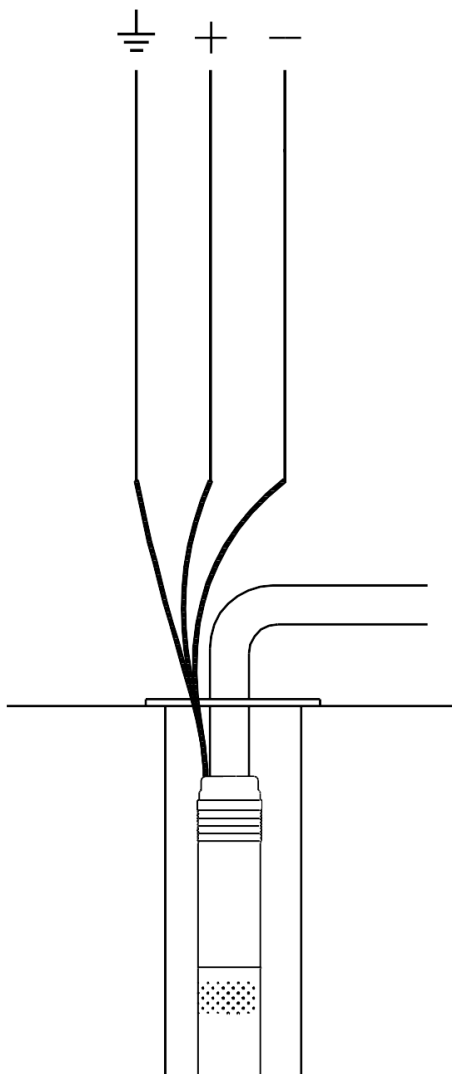
Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 17/04/2018

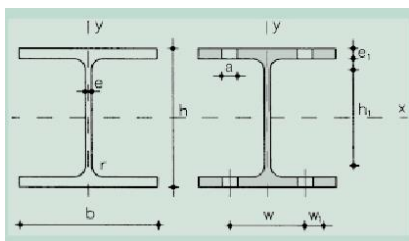
Proyecto: Beatriz Marín Alcalá
Código:

Cliente:
Nº Cliente:
Contacto:

Bajo pedido SQF 2.5-2 50 Hz



ANEXO C: PRONTUARIO DE PERFILES HEB 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		
	<i>h</i> mm	<i>b</i> mm	<i>e</i> mm	<i>e</i> ₁ mm	<i>r</i> ₁ mm	<i>h</i> ₁ mm	<i>u</i> mm	<i>A</i> cm ²	<i>S</i> _x cm ³	<i>I</i> _x cm ⁴	<i>W</i> _x cm ³	<i>i</i> _x cm	<i>I</i> _y cm ⁴	<i>W</i> _y cm ³	<i>i</i> _y cm	<i>I</i> _t cm ⁴	<i>I</i> _p cm ⁶	<i>w</i> mm	<i>w</i> ₁ mm	<i>a</i> mm	<i>ρ</i> kg/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	8.856.000	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)



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

Beatriz Marín Alcalá

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

Perfil	Dimensiones								Términos de sección									Agujeros			Peso	
	<i>h</i> mm	<i>b</i> mm	<i>e</i> mm	<i>e</i> ₁ mm	<i>r</i> ₁ mm	<i>h</i> ₁ mm	<i>u</i> mm	<i>A</i> cm ²	<i>S</i> _x cm ³	<i>I</i> _x cm ⁴	<i>W</i> _x cm ³	<i>i</i> _x cm	<i>I</i> _y cm ⁴	<i>W</i> _y cm ³	<i>i</i> _y cm	<i>I</i> _z cm ⁴	<i>I</i> _z cm ⁶	<i>w</i> mm	<i>w</i> ₁ mm	<i>a</i> mm	<i>p</i> kg/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

- [BOE07] DOCUMENTO SE-A: DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL ACERO: Texto modificado por RD 1371/2007, de 19 de octubre (BOE 23/10/2007) y corrección de errores (BOE 25/01/2008)
- [BOE09] DOCUMENTO SE: SEGURIDAD ESTRUCTURAL (abril 2009)
- [IEESTICH05] Instituto de Energía Solar, Instituto de electrotécnica e Energía Da Universidade De Sao Paulo, Association Tichka. "Best practices in the implementation of photovoltaic pumping systems." 2005. Publicación: Agencia Española de cooperación internacional
- [LAGUMARIN18] Beatriz Marín Alcalá y Laura Laguía García "Estudio de la sostenibilidad de dos proyectos de cooperación al desarrollo." Mayo 2018.
- [MART15] Martin, A. Hipertextual. Web. <https://hipertextual.com/2015/06/inflacion-zimbabwe-junio-2015>
- [MCCABE91] McCabe et al., Operaciones Unitarias en Ingeniería Química, 4ª Ed., McGraw-Hill, 1991
- [THMA07] T.H.Thomas and D.B. Martinson. 2007 "Roofwater Harvesting: a handbook for practitioners".
- [SERRMOR10] Serratos Ríos, K., Morales Graciano, F. "Oferta-demanda de agua potable en la cabecera municipal de El Salto, Jalisco 1970-2009" 2010. Web. <http://sincronia.cucsh.udg.mx/serratosfall2010.html>
- [UNIC10] UNICEF. "Las generaciones huérfanas de África" 2010.
- Acredited Language Services. Web. <https://www.alsintl.com/resources/countries/Zimbabwe/>
- Africa Fundación Sur. Web. <http://www.africafundacion.org/spip.php?article21545>
- BBC Weather. "Average Conditions Harare, Zimbabwe". Web. <https://www.bbc.com/weather/890299> Mayo 2011.
- BLOG AGROLOGICA agrologica.es
- Central Intelligence Agency (CIA) "The World Factbook" <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/zi.html>
- Centro de demostración y capacitación de tecnologías apropiadas: CEDECAP. Web. <http://www.cedecap.org.pe/>
- Child Future Africa. Web. <http://childfutureafrica.org/>
- Freemeteo. Web. <https://hn.freemeteo.com/eltiempo/harare/pronostico-diario/hoy/?gid=890299&language=spanishar&country=zimbabwe>



Fundación de Ingenieros del ICAI para el desarrollo. Web. <http://www.fundacionicai.org/>

Fundación Solidaritat. Universitat de Barcelona. Web. <http://www.solidaritat.ub.edu/observatori/esp/dossiers/zimbabwe/zimbabue.htm>

GRUNDFOS. Web. <https://es.grundfos.com/>

Ingeniería Mecánica. Imagen. Web. www.ingemecanica.com

IRRITEC www.irritec.com

Labaronne. Imagen. Web. https://www.labaronne-citaf.es/aplicaciones-de-almacenamiento/4_reserva-de-agua-potable

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Web. http://www.mapama.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/MEMORIA_ZORITA_tcm7-335331.pdf

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Web. http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/captacion_agua_de_lluvia.pdf

ONG RESCATE. “ONG Rescate realiza un proyecto autoconsumo energético a Etiopía” Web. <https://www.ongrescate.org/ong-rescate-realiza-un-proyecto-autoconsumo-energetico-a-etiofia/>

Organización de las naciones unidas para la alimentación. Web. <http://www.fao.org/docrep/019/i3247s/i3247s.pdf>

PASS. Bomba solar. Web. www.passa.com/index.php/energia-solar/bombas-agua

Schneider electric. “La fiabilidad económica no es opcional para la energía solar” Web. <https://www.schneider-electric.es/es/work/insights/bankability-is-not-optional-for-solar.jsp>

Sol i clima. Web. <http://www.soliclima.es/aguas-pluviales>

Todo Productividad. Imagen. Web. www.todoproductividad.blogspot.com

UNICEF. Fundación Aquae. Web. <http://www.fundacionaquae.org/proyectos/agua-para-la-amazonia-peruana/>

World Meteorological Organization. Hong Kong Observatory (1961-1990) Web. <http://worldweather.wmo.int/en/city.html?cityId=212>



DOCUMENTO 2: PRESUPUESTO





CAPÍTULO 1: SUMAS PARCIALES





CONTENIDO CAPÍTULO 1

20.	SUMAS PARCIALES.....	139
20.1.	Activo fijo	139
20.1.1.	Costes directos.....	139
20.1.2.	Costes indirectos.....	139
20.2.	Otros costes	139
20.3.	Inversión total	140





“Estudios recientes, llevados a cabo por las Naciones Unidas, estiman en 90.000 millones de dólares el monto de la inversión necesaria para resolver el problema del agua potable en el mundo.”⁴¹

En este documento se recogen los diferentes costes del proyecto a desarrollar. Hay estimaciones realizadas en lo que a los costes de los equipos respecta: debido a la difícil comunicación con los proveedores locales se ha tomado el precio en el mercado español y se ha ponderado considerando tanto el cambio de moneda como la inflación del país (de la que se ha hablado en la memoria).

20. SUMAS PARCIALES

20.1. Activo fijo

Este se divide en costes directos e indirectos. A su vez, en los costes directos se distinguen costes de emplazamiento y de no emplazamiento.

20.1.1. Costes directos

Se contabiliza en estos el coste debido a los materiales a emplear y que pertenecen a la construcción del proyecto, los equipos del mismo, la mano de obra directa, el costo de la obra civil... En definitiva, todos aquellos costes que de aquello que intervenga en el proyecto con carácter permanente (quedan excluidas herramientas y transportes, por ejemplo).

Costes de emplazamiento: Son aquellos que consideran la compra del material y de los equipos que pertenecen a la infraestructura del proyecto. Estos suponen **3033,32 €**.

Los costes de no emplazamiento son los costes debidos a la adquisición de terrenos y construcción de infraestructuras. El terreno en el que se desarrolla el proyecto pertenece a la ONG CFA, por lo que no incurre en el coste. En cuanto al coste de instalación, se contará con la ayuda de voluntarios que colaborarán en la misma. En cualquier caso, se considera importante contar con la supervisión de un especialista por dos motivos: uno, para garantizar la correcta instalación y poder tener una garantía del equipo por haber sido puesto en marcha con la supervisión de un especialista; dos, porque es importante que los beneficiarios puedan tener un contacto con un experto de cara a futuras revisiones o reparaciones. Los costes de la contratación de expertos se estiman de **84 €**.

20.1.2. Costes indirectos

Estos costes incluyen el coste de, por ejemplo, transporte de materiales, equipos y responsables; alquiler de herramientas, y todos los demás costes que pudieran ser necesarios para el desarrollo del proyecto pero que no forman explícitamente parte del mismo. Además, consideran los costes de explotación (nulos en nuestro caso) y mantenimiento (que serán asumidos por la ONG).

Se estiman por norma general como un 25% de los costes directos del proyecto. Se estima pues un valor de costes indirectos de **779,33 €**.

20.2. Otros costes

Aquí se contemplan, entre otros, el coste de puesta en marcha, costes de tipo financiero, costes de investigación y desarrollo continuado, etc. Por las características del proyecto, no habrá gasto en investigación ni desarrollo; asimismo, los costes de tipo financiero serán prácticamente nulos pues

⁴¹ CEDECAP: Capítulo 14 “Bombeo de agua solar”.



se pagará en efectivo todo lo contemplado en los costes directos. Hay una fuerte crisis de liquidez en el país por lo que la ONG ha solicitado se lleve el dinero previsto para el proyecto en efectivo desde España. Es por estas consideraciones por lo que se ha reducido el común porcentaje asociado a este tipo de costes del 47% a un 10%, suponiendo **389,67 €**.

20.3. Inversión total

Es la suma total de los diferentes costes del proyecto; se compone de los costes directos, indirectos y demás gastos contemplados. EL presupuesto total asciende a **4286,32 €**.



CAPÍTULO 2: PRESUPUESTO GENERAL





CONTENIDO CAPÍTULO 2

21.	PRESUPUESTO GENERAL	145
-----	---------------------------	-----





21. PRESUPUESTO GENERAL

En la siguiente tabla se recogen los diferentes costes detallados en las sumas parciales.

	ELEMENTO	MODELO	PRECIO UNITARIO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
EQUIPOS SUPUESTOS	Panel fotovoltaico (270W)		308,6	€	2	617,2
	Bomba sumergible 24V CC (155W)	Shurflo 9300 24V	698,28	€	1	698,28
	Control de bombeo*	24V PM5 ATERSA	117,76	€	1	117,76
	Sonda de nivel		53,96	€	1	53,96
	Cableado		2,15	€/m	50	107,5
	Tuberías	PE 10 ø10mm 6atm con emisores	0,17	€/m	200	34
		PE 30 ø30mm 6atm	0,34	€/m	14	4,76
		PE 50 ø40mm 6atm	0,97	€/m	38	36,86
ESTRUCTUR	Soporte bomba en pozo		87	€	1	87
	Soporte panel solar		60	€	1	60
	Tanque agua		470	€	2	940
	Soporte tanque		138	€	2	276
OBRA CIVIL	Reacondicionam. estructura	Finalmente se decide nueva por emplazamiento	0	€	1	0
	Instalación del tanque	Voluntarios	0	€	1	0
	Instalación red tuberías	Voluntarios	0	€	1	0
	Instalación bomba	Se precisará ayuda técnica	42	€	1	42
	Instalación alimentación solar	Se precisará ayuda técnica	42	€	1	42
	TERRENO	Pertenece a CFA	0	€	1	0
	COSTES DIRECTOS					3117,32 €
	COSTES INDIRECTOS					779,33 €
	ACTIVO FIJO (CD+CI)					3896,65 €
	OTROS GASTOS					389,67 €
	PRESUPUESTO TOTAL DEL PROYECTO					4286,32 €

Nota: El coste del control de bombeo se refiere al coste de la caja de conexiones, la cual incluye las protecciones de sobreintensidad y de trabajo en vacío de la bomba.



DOCUMENTO 3: PLANOS





CONTENIDO DOCUMENTO 3:

PLANO 1: VISTA DEL ALZADO DE LA INSTALACIÓN.....	152
PLANO 2: VISTA DE LA PLANTA DE LA INSTALACIÓN.....	154





En este tercer documento se ilustra el diseño descrito en el primer documento (memoria) y especificado en el documento que le sigue (cálculos).

Las medidas en estos recogidas, tal y como se ha dejado remarcado a lo largo del proyecto, son orientativas y se han tomado las estimaciones necesarias para poder hacer un diseño de referencia sobre el que trabajar cuando se esté ejecutando el proyecto sobre el terreno.

Por un lado, se ilustra el diseño esperado para la instalación de los depósitos y la estructura aplicando una vista al alzado de la instalación.

En un segundo plano se hace una propuesta preliminar de la distribución por gravedad del agua a la plantación. Se propone hacer dos ramales con estructura en T. En cualquier caso, se consensuará con la comunidad cuáles son sus preferencias y cómo consideran que resultaría más eficiente el diseño de riego.



