



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO DEFINICIÓN DEL MODELO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA UNA COMUNIDAD RURAL EN ZIMBABUE

Autor: Lucía Mariño Galindo
Director: Miren Tellería Ajuriaguerra

Madrid
Julio de 2019

ESTE PROYECTO CONTIENE LOS SIGUIENTES DOCUMENTOS:

Documento I: Memoria

I.I Memoria	pág. 11 a 34.	24 páginas
I. II Cálculos	pág. 35 a 61.	27 páginas
I. III Estudio Económico	pág. 63 a 69.	7 páginas
I.IV Anexos.	pág. 71 a 90.	20 páginas

Documento II: Presupuesto

II.I Presupuesto general	pág. 93 a 98	6 páginas
--------------------------	--------------	-----------

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

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

El autor Dña. **Lucía Mariño Galindo**

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

2º. Objeto y fines de la cesión.

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

3º. Condiciones de la cesión y acceso

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

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

4º. Derechos del autor.

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

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

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

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

d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

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

- Madrid, a 12 de JULIO de 2019



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

[illegible]

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
**“DEFINICIÓN DEL MODELO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA UNA COMUNIDAD
RURAL EN ZIMBABUE”**,

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2019 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de
otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Lucía Mariño Galindo

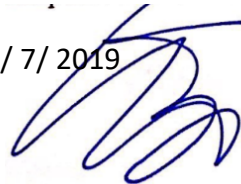
Fecha: 10/ 7/ 2019



Autorizada la entrega del proyecto
EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Miren Tellería Ajuriaguerra

Fecha: 10/ 7/ 2019





GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO DEFINICIÓN DEL MODELO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA UNA COMUNIDAD RURAL EN ZIMBABUE

Autor: Lucía Mariño Galindo
Director: Miren Tellería Ajuriaguerra

Madrid
Julio de 2019

DEFINICIÓN DEL MODELO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA UNA COMUNIDAD RURAL EN ZIMBABUE

Autor: Mariño Galindo, Lucía

Director: Tellería Ajuriaguerra, Miren

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

En el presente Proyecto de Fin de Grado se pretende dar respuesta al problema de acceso de agua de la comunidad rural de Njenge, situada al noreste de Zimbabwe.

El objeto de este proyecto de ingeniería solidaria es acercar el punto de agua más cercano, a 3 kilómetros de distancia, a la comunidad de Njenge, abasteciendo de agua de calidad a un total de 300 habitantes. Para ello, se diseñará un sistema de captación de agua apropiado a las condiciones específicas de contorno, así como se planteará un sistema de distribución sostenible desde el depósito al reservorio.

Este proyecto surge en colaboración con la ONG Child Future Africa y la participación en el mismo, además de abordar el ámbito del diseño teórico, también incluye participar en el proceso de financiación y la puesta en marcha en terreno.

En el desarrollo de la solución se han tenido en cuenta tres variables fundamentales: sencillez, sostenibilidad y durabilidad. El proyecto debe ser sencillo para facilitar su implementación debido a que el sistema va a ser auto gestionado por la comunidad; tiene que ser sostenible, por lo que se utilizarán materiales locales para tener acceso a recambios y mano de obra en caso de avería; y duradero, para ello se llevarán a cabo labores preventivas de mantenimiento.

Además, se han priorizado decisiones con el objetivo de minimizar costes, debido al presupuesto limitado y a favorecer la posibilidad de desarrollar otros proyectos.

A continuación, se expone el seguimiento del proceso seguido en el desarrollo del proyecto.

En primer lugar, se ha estudiado el contexto socio cultural de Zimbabue, así como la utilización y distribución de los recursos hidrográficos del país. Se ha considerado fundamental comprender la situación actual y las necesidades de los zimbabuenses para la correcta realización del proyecto.

Así mismo, se han estudiado soluciones similares implantadas en un mismo contexto de ayuda a comunidades rurales aisladas a obtener agua limpia de una forma sostenible y auto gestionada. Extrapolándolo a nuestra zona de actuación, se han estudiado proyectos realizados en el noreste de Zimbabue que aseguran el correcto funcionamiento de la tecnología a aplicar.

Una vez recopilada la información técnica y tras analizar diferentes alternativas, se toma la decisión de diseñar un sistema de captación alimentado por una bomba solar y un sistema de distribución a la comunidad por gravedad.

A continuación, se presentan las dimensiones de los elementos del proyecto, desarrolladas en la sección de cálculos.

El pozo: La construcción del pozo se contratará a una empresa el país especializada. Se ha supuesto la profundidad del pozo basada en el promedio de los pozos de la zona de 40 m.

La estación de bombeo: Se ha decidido instalar una bomba sumergible de CC de 24 V, dadas las condiciones iniciales de gran profundidad y caudal reducido debe ser una bomba lenta. La bomba se alimentará de energía renovable, para su funcionamiento es necesario instalar un módulo fotovoltaico de 200 W p y 24V y una estación de control.

El tanque: El elemento del tanque elevado tiene dos funciones: dar altura al sistema de distribución por gravedad y funcionar como reserva en el caso de que se produzca una avería en el pozo. Su dimensionamiento se ha calculado en función de la demanda de agua de la comunidad en un día, obteniendo una dimensión máxima de 8,000 L.

La estructura: Se ha elegido construir una estructura simple de un acero común (S235) con un perfil HEB100. La estructura esta sobredimensionada a consciencia para garantizar que no colapse y proporciona una altura de 2m al tanque elevado.

La red de distribución: El sistema de gravedad utiliza la carga disponible para transportar el agua de una manera sostenible. Se realizan cálculos de mecánica de fluidos para calcular el diámetro y la altura del depósito en función del caudal y el gasto del diseño. Al no conocer la topografía de la zona se ha asumido una diferencia de cota de 5 metros. Finalmente, se ha elegido un diámetro normalizado de 25 mm, que aporta una velocidad de llegada de 0.14 m/s. Se escoge el PVC como material para las tuberías por ser resistente y adecuado en proyectos de abastecimiento de agua.

Calidad de agua: Se diseña un modelo de desinfección por cloro para implementar una cultura de limpieza de agua en la comunidad y evitar riesgos sanitarios asociados con el consumo de agua no desinfectada.

En último lugar, se presentan unas guías de mantenimiento del sistema y diferentes alternativas de ampliación en el caso de que se disponga de mayor financiación.

El impacto de este proyecto en la comunidad de Njenge es muy positivo, abastecerá agua de calidad a 300 habitantes.

El segundo documento presenta el presupuesto calculado, que asciende a una suma de 11068,81 €.

DESIGN OF THE WATER SUPPLY SYSTEM FOR A RURAL COMMUNITY IN ZIMBABWE

Author: Mariño Galindo, Lucía

Director: Tellería Ajuriaguerra, Miren

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

This final degree Thesis aims to address the problem of access to water in the rural community of Njenge, located in northeastern Zimbabwe.

The purpose of this solidary engineering project is to bring the nearest water point, 3 kilometres away, to the community of Njenge, providing quality water to a total of 300 inhabitants. To this end, a water collection system appropriate to the specific contour conditions will be designed, as well as a sustainable distribution system from the deposit to the reservoir.

This project arises in collaboration with the NGO Child Future Africa and the participation in it, in addition to addressing the scope of theoretical design, also includes participating in the funding process and field implementation.

Three fundamental variables have been taken into account in the development of the solution: simplicity, sustainability and durability. The project must be simple to facilitate its implementation, since the system will be self-managed by the community; it must be sustainable, for this purpose local materials will be used to have access to spare parts and labour in the event of a breakdown; and long-lasting, preventive maintenance work will be carried out for this purpose.

In addition, decisions have been prioritized with the aim of minimizing costs, due to limited budget and the possibility of developing other projects.

Hereunder is the follow-up of the process followed in the development of the project.

Firstly, the socio-cultural context of Zimbabwe has been studied, as well as the use and distribution of the country's hydrographic resources. An understanding of the current situation and the needs of Zimbabweans was considered essential for the successful implementation of the project.

Similar solutions implemented in the same context of helping isolated rural communities to obtain clean water in a sustainable and self-managed manner have also been studied. Extrapolating it to our area of action, we have studied projects carried out in the northeast of Zimbabwe that ensure the proper functioning of the technology to be applied.

Once the technical information has been compiled and after analyzing different alternatives, the final decision is to design a solar pump collection system and a gravity-fed distribution system to the community.

The dimensions of the project elements, developed in the calculations section, are presented below.

The well: The construction of the well will be contracted to a specialized company in the country. It has been assumed the depth of the well based on the average of the wells in the area of 40 m.

Pumping station: It has been decided to install a 24 V DC submersible pump, given the initial conditions of great depth and reduced flow. The pump will be supplied with renewable energy, for its operation it is necessary to install a photovoltaic module of 200 W p and 24V and a control station.

The tank: The element of the elevated tank has two functions: to give height to the gravity distribution system and to function as a reserve in the event of a failure in the well. Its dimensioning has been calculated according to the water demand of the community in one day, obtaining a maximum dimension of 8,000 L.

The structure: It has been chosen to build a simple structure of a common steel (S235) with a HEB100 profile. The structure is consciously oversized to ensure that it does not collapse and provides a height of 2m to the elevated tank.

The distribution network: The gravity-fed system uses the available load to transport the water in a sustainable way. Fluid mechanics calculations are made to calculate the diameter and height of the tank as a function of the flow rate and design expense. Since the topography of the area is not known, a difference in height of 5 metres has been assumed. Finally, a standardized diameter of 25 mm was chosen, which provides an arrival speed of 0.14 m/s. PVC was chosen as the material for the pipes as it is resistant and suitable for water supply projects.

Water quality: A chlorine disinfection model is designed to implement a culture of water cleanliness in the community and avoid health risks.

Finally, maintenance guides for the system are presented, as well as different alternatives for expansion if more funding is available.

The impact of this project in the community of Njenge is very positive, it will supply quality water to 300 inhabitants.

The second document presents the calculated budget, which amounts to 11068.81 €.

DOCUMENTO I: MEMORIA

INDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1: Niños del colegio Rukururwi. Fuente: Child Future Africa</i>	15
<i>Ilustración 2: Mapa del mundo con Zimbabwe. Fuente: Wikipedia</i>	16
<i>Ilustración 3: Mapa político de Zimbabwe. Fuente: Depositphotos</i>	18
<i>Ilustración 4: Clima de Zimbabwe. Fuente: Expert Africa</i>	19
<i>Ilustración 5: Diagrama de bomba de agua solar. Fuente: UNICEF</i>	20
<i>Ilustración 6: Sistema de distribución de agua por gravedad. Fuente: Agrisud International</i>	21
<i>Ilustración 7: Filtro de arena. Fuente: BID</i>	22
<i>Ilustración 8: Sistema de riego por goteo sostenible. Fuente: www.suelosolar.com</i>	22
<i>Ilustración 9: Esquema del diseño de captación. Fuente: Propia</i>	23
<i>Ilustración 10: SQFlex Solar. Fuente: Grundfos</i>	24
<i>Ilustración 11: Diagrama del sistema de captación con interruptor de nivel</i>	31
<i>Ilustración 12: Esquema general de un sistema de cloración. Fuente: (Calvet i Roca, Corbella Ferras, & Garcia Cruz, 2008)</i>	31
<i>Ilustración 13: Filtro de arena abierto. Fuente: (Calvet i Roca, Corbella Ferras, & Garcia Cruz, 2008)</i>	32
<i>Ilustración 14: Sistema de bombeo solar con bomba sumergible a un tanque de almacenamiento. Fuente: (Campos, 2017)</i>	39
<i>Ilustración 15: Diagrama de alturas. Fuente: CEDECAP editada</i>	41
<i>Ilustración 16: Tipo de bomba recomendada según la altura dinámica y el caudal diario bombeado. Fuente: CEDECAB</i>	42
<i>Ilustración 17: Esquema captación con bomba sumergible. Fuente: Shurflo editada</i>	43
<i>Ilustración 18: Gama de rendimientos. Fuente: Grundfos</i>	44
<i>Ilustración 19: Curva de rendimiento SQF 0.6-2</i>	45
<i>Ilustración 20: Curva de rendimiento SQF 1.2-2</i>	45
<i>Ilustración 21: SQFlex Solar. Fuente: Grundfos</i>	46
<i>Ilustración 22: Perfiles HEB. Fuente: Prontuario de perfiles laminados; recurso de la asignatura Resistencia de Materiales – ICAI</i>	50
<i>Ilustración 23: Longitud de pandeo. Fuente: (barras)</i>	51
<i>Ilustración 24: Curvas de pandeo. Fuente: Figura 6.3 del documento SE-A</i>	52
<i>Ilustración 25: Esquema de la línea de conducción. Fuente (Agüero, 1997)</i>	54
<i>Ilustración 26: Diagrama de Moody. Fuente: Asignatura Mecánica de Fluidos</i>	58

Ilustración 27: Diagrama de flujo. Fuente: (Calvet i Roca, Corbella Ferras, & Garcia Cruz, 2008)	61
Ilustración 28: Carteles promocionales de eventos benéficos organizados por Project Zimbabwe	68

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Mantenimiento de la línea de tuberías entre la captación y el reservorio. Fuente: (Organización Panamericana de la Salud, 2014).....	29
Tabla 2: Información bobas Grundfos. Fuente: Propia	45
Tabla 3: Características placa fotovoltaica 200 W p. Fuente: Propia	46
Tabla 4: Esfuerzos sobre la estructura. Fuente: Propia	49
Tabla 5: Propiedades de los aceros. Fuente: Propia	50
Tabla 6: Características mecánicas mínimas de los aceros. UNE EN 10025. Fuente: Documento Básico SE-A: Seguridad estructural Acero (RD 1371/2007).....	51
Tabla 7: Resultado de dimensionamiento a compresión.....	53
Tabla 8: Velocidades recomendadas para fluidos en tuberías. Fuente (BOMBAS).....	56
Tabla 9: Resultados de los diámetros a partir del caudal y velocidad. Fuente: Propia	56
Tabla 10: Resultado perdida de cargas primaria método 1. Fuente: Propia.....	58
Tabla 11: Resultados de perdidas de carga primarias método 2. Fuente: Propia.....	59
Tabla 12: Números y coeficiente de localización de perdida secundaria. Fuente: Asignatura Mecánica de Fluidos.....	60
Tabla 13: Resultados de perdidas de carga. Fuente: Propia.....	60
Tabla 14: Presupuesto general. Fuente: Propia.	98

CAPÍTULO I: MEMORIA

INDICE DE LA MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN	15
1.1 Zimbabue	16
1.2 Demografía y sociedad	17
1.3 Recursos hidrográficos	18
2. ESTADO DE LA CUESTIÓN	20
1.1 Soluciones similares	20
a) Sistema de bomba de agua solar	20
b) Sistema de agua de alimentación por gravedad	21
c) Filtros de arena y calidad de agua	21
d) Sistema de Regadío Sostenible para Pequeña Plantación en Zimbabue	22
1.2 Solución del diseño	23
a) Sistema de captación	23
b) Sistema de distribución	25
c) Sistema de calidad de agua	25
3. MOTIVACIÓN	26
4. OBJETIVOS DEL PROYECTO	26
5. RECURSOS A EMPLEAR	27
6. MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN	28
6.1. Mantenimiento del sistema de captación	28
6.2. Mantenimiento de la red de distribución	29
7. AMPLIACIONES O FUTUROS PROYECTOS A REALIZAR	30
7.1. Interruptor de nivel en el tanque	30
7.2. Mejora del sistema de calidad de agua	31
8. METODOLOGÍA DE TRABAJO	33

1. INTRODUCCIÓN

En este Proyecto de Fin de Grado (PFG) se expone un proyecto de ingeniería para el desarrollo del diseño y la construcción de un sistema de abastecimiento de agua para la comunidad rural de Njenge, situada al noreste de Zimbabue.

Cada mañana, en la región de Njenge, mujeres y niños caminan de tres a cinco kilómetros para llegar al punto de agua más cercano; estos suelen estar contaminados y no son seguros para el consumo de la comunidad. Child Future Africa es una organización con base en Zimbabue que tiene como objetivo ayudar a niños huérfanos y vulnerables. Además, colabora en proyectos de ingeniería para el desarrollo con el objetivo de ayudar a comunidades rurales a poder alcanzar mejores condiciones de vida.



Ilustración 1: Niños del colegio Rukururwi. Fuente: Child Future Africa

El presente proyecto, surgido en colaboración con la ONG Child Future Africa, pretende acercar el punto de agua más cercano, 3 kilómetros de distancia, a la comunidad de Njenge. Para ello, se deberá plantear y desarrollar un sistema de captación de agua apropiado a las condiciones específicas de la comunidad rural, así como definir el método constructivo para su ejecución. Además, se deberá diseñar el sistema de distribución del agua y, si fuera necesario, un sistema de mejora de la calidad de la misma.

Las decisiones tomadas en la solución del diseño tienen el principal objeto de optimizar el sistema, considerando las características de contorno reales y concretas, para que el proyecto sea viable y pueda ejecutarse en el corto plazo. En todo momento se trabaja bajo la consideración de que se cumplan las características de: sencillez, sostenibilidad y durabilidad.

1.1. Zimbabwe

La República de Zimbabwe, antigua Rhodesia del Sur, es un país situado en el sur del continente africano. Limita con Sudáfrica al sur, Botsuana al suroeste, Zambia al noroeste, y Mozambique al este. La capital es Harare.



Ilustración 2: Mapa del mundo con Zimbabwe. Fuente: Wikipedia

Zimbabwe fue colonia británica hasta el año 1980, atractiva por sus recursos de agricultura intensiva y minería de oro. Tras su independencia, el país sufrió un deterioro en su economía debido a mala gestión, corrupción del gobierno de Mugabe, escasez de recursos, y la epidemia de VIH/SIDA.¹

Según los datos de UNDP, Zimbabwe ocupa uno de los peores puestos en el ranking de desarrollo humano (IDH). El índice de desarrollo humano mide el progreso de un país en cuanto a tres variables: vida larga y saludable, educación y nivel de vida digno. En 2017, la cifra del IDH fue de 0,535, situando a Zimbabwe en el puesto 156 entre los peores países del mundo.

Actualmente, el país se enfrenta a una gran crisis humanitaria que amenaza a más de seis millones de zimbabuenses, alrededor de la mitad de la población². Los resultados de las acciones políticas y consecuencias económicas solo agravan la crisis alimentaria y la situación extrema de sequía, siendo las zonas rurales las más afectadas.

¹ (EcuRed, s.f.)

² (UNICEF, Africa meridional - Países en crisis, 2019)

1.2. Demografía y sociedad

A) Población

Según los datos de la CIA, la población total de Zimbabue fue de 14 millones de habitantes en el 2018. Está compuesta en un 98% del grupo étnico Bantú, pueblos melano-africanos de habla bantú, se distinguen los dos grupos principales: los Shona y los Ndebele. Una gran parte de la población blanca abandonó el país tras la campaña del gobierno de Mugabe de la expropiación de terrenos extranjeros.

Zimbabue tiene 16 lenguas oficiales; aunque el inglés es el idioma tradicional en los negocios, las lenguas más habladas son el Shona y el Ndebele. La religión principal es el sincretismo, una mezcla de cristianismo y creencias indígenas, también existen minorías de religiones étnicas tradicionales, musulmanes, judías e hinduistas.

B) Distribución de la población

La distribución de la población de Zimbabue por edades en el 2018, según los datos publicados por la CIA, era la siguiente:

- 0-14 años: 38,62% (hombres 2.681.192 /mujeres 2.736.876)
- 15-24 años: 20,42% (hombres 1.403.715 /mujeres 1.461.168)
- 25-54 años: 32,22% (hombres 2.286.915 / mujeres 2.234.158)
- 55-64 años: 4,24% (hombres 233.021 / mujeres 361.759)
- 65 años y más: 4,5% (hombres 255.704 / mujeres 375.860)

Zimbabue presenta una pirámide de población expansiva, altas tasas de natalidad y una baja esperanza de vida, característica de un país del Tercer Mundo. La esperanza de vida es de 61.1 años, que sitúa al país en el puesto 205 del mundo.³

C) Población activa

Zimbabue tiene una fuerza laboral potencial de 7,66 millones de adultos de 15 años o más. Sin embargo, la población activa esta estimada en tan solo 5,1 millones por el censo nacional de 2012. La población activa se distribuye en los diferentes sectores:

- Agricultura: 66%
- Industria: 24%
- Servicios: 10%

³ (Central Intelligence Agency, s.f.)

El censo nacional de 2012, estimó la tasa de desempleo en el 11,1% de la fuerza de trabajo activa.

1.3. Recursos hidrográficos

A) Geografía y recursos naturales

La mayoría del territorio de Zimbabwe está elevado por la meseta central, Highveld. Los ríos Zimbeze, al noroeste, Sabi, al este, y Limpopo, al sur, forman las fronteras de Zimbabwe con Zambia, Mozambique y Sudáfrica, respectivamente.



Ilustración 3: Mapa político de Zimbabwe. Fuente: Depositphotos

El país tiene una abundancia en recursos naturales que incluyen tierras silvestres y cultivables, minerales, y agua superficial y subterránea. Zimbabwe tiene el segundo mayor número de presas en la región de la Comunidad del África Meridional para el Desarrollo (SADC), después de Sudáfrica.⁴ El lago Kariba es el embalse más grande del mundo, en volumen.

Zimbabwe tiene un clima subtropical con cuatro estaciones: estación seca- fresca, caliente, lluviosa y pos-lluviosa, moderadas por las altitudes de la meseta. Por lo general, es un país semiárido con bajas precipitaciones anuales con media de 650 mm (⁵).

⁴ (IES, 2014)

⁵ (IES, 2014)

En el siguiente gráfico se muestran las temperaturas medias y precipitaciones en Zimbabwe:

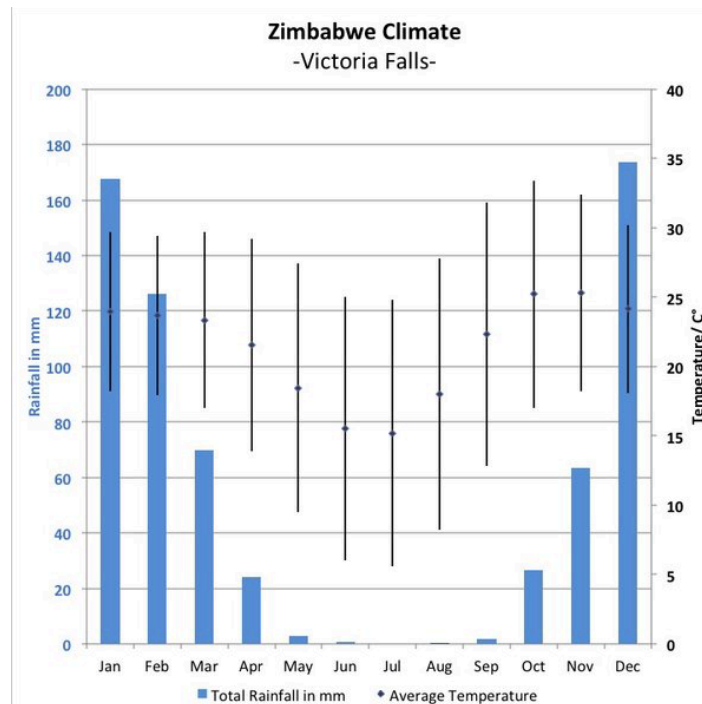


Ilustración 4: Clima de Zimbabwe. Fuente: Expert Africa

Zimbabwe se enfrenta a diversas amenazas naturales. Estas incluyen sequías frecuentes en un extremo e inundaciones en el otro, específicamente en el valle del bajo Zambezi. Así mismo, el país afronta problemas medioambientales que incluyen la deforestación, la degradación de la tierra y la contaminación del aire y del agua, provocadas por las malas prácticas de la industria minera y el crecimiento de la población urbana.

B) Utilización de los recursos hidrográficos

Zimbabwe es un país con grandes problemas en cuanto a los recursos hídricos de los que dispone. La mala gestión de la distribución de agua afecta en todo ámbito diario a los zimbabuenses, en especial a la agricultura, que utiliza la mayoría de los recursos.

La escasez de agua afecta sobre todo a los pobres en zonas aisladas que no pueden permitirse escavar un pozo privado y arriesgan sus vidas por un bien fundamental. La mayoría de las zonas rurales de Zimbabwe tienen dificultades para acceder a agua potable.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

El proyecto se plantea en las tres vías claras de ejecución:

- i. Captación del agua
- ii. Distribución del reservorio a la comunidad
- iii. Mejora de la calidad de agua

Debido a que el sistema de diseño va a ser auto gestionado por la comunidad, se deberán considerar los siguientes factores: minimizar la necesidad de energía y bombeos, compra de productos químicos que estén disponibles a nivel local, apoyo técnico de ingenieros externos, ayuda económica del gobierno o de alguna ONG, etc...

2.1. Soluciones similares

Hoy en día existen organizaciones que tienen como objetivo ayudar a comunidades rurales remotas a obtener agua limpia de una forma sostenible y auto gestionada. Entre estas organizaciones se encuentran: UNICEF, Water Aid y Pump Aid. Se ha considerado estudiar las soluciones tomadas por estas organizaciones en contextos similares, así como las conclusiones obtenidas. Por último, se ha estudiado un proyecto similar en la misma zona de trabajo realizado en el año 2018.

a) Sistema de bomba de agua solar

UNICEF ha realizado un estudio sobre cómo enfocar el abastecimiento de agua en comunidades aisladas con sistemas asequibles, sostenibles e inteligentes. En su informe *Scaling Up Social Powered Water Supply Systems: a review of experiences* realiza un análisis detallado de la tecnología de bombas de agua solar y su implantación en países en desarrollo. Como se puede ver en la figura, estas son máquinas eléctricas que funcionan con paneles solares.

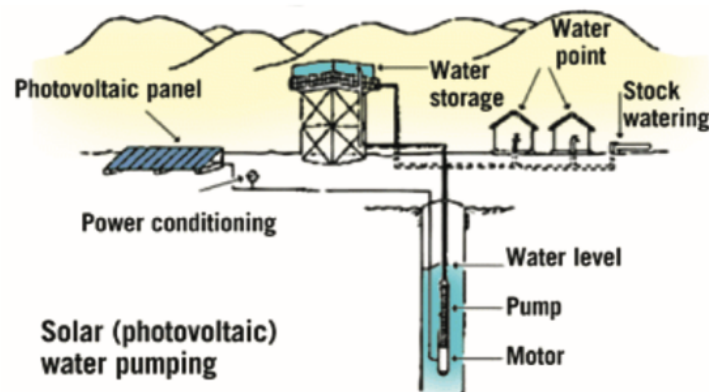


Ilustración 5: Diagrama de bomba de agua solar. Fuente: UNICEF

Aunque su coste inicial es superior a otras bombas de diésel, su tecnología está especialmente adaptada a comunidades aisladas. Entre sus ventajas se encuentran: fácil transporte e instalación, bajo mantenimiento, larga durabilidad y cero emisiones. En sus conclusiones, UNICEF señala que esta tecnología, cuando está correctamente dimensionada, es un sistema efectivo para proveer agua limpia a regiones rurales que posean recursos energéticos tradicionales limitados⁶.

b) Sistema de agua de alimentación por gravedad

En 2011, se realizó un proyecto de abastecimiento de agua por un sistema de gravedad en trece comunidades del distrito de Viengkam, Lao, a través de la ONG de Agrisud International.⁷ Para su puesta en marcha se recogieron datos de la topografía de la zona, la calidad y el flujo de los puntos de agua y la demanda de las comunidades. Una de las partes más importantes del proyecto fue la colaboración de los locales en la construcción del sistema de tuberías y la creación y entrenamiento de un comité de mantenimiento y limpieza del sistema.

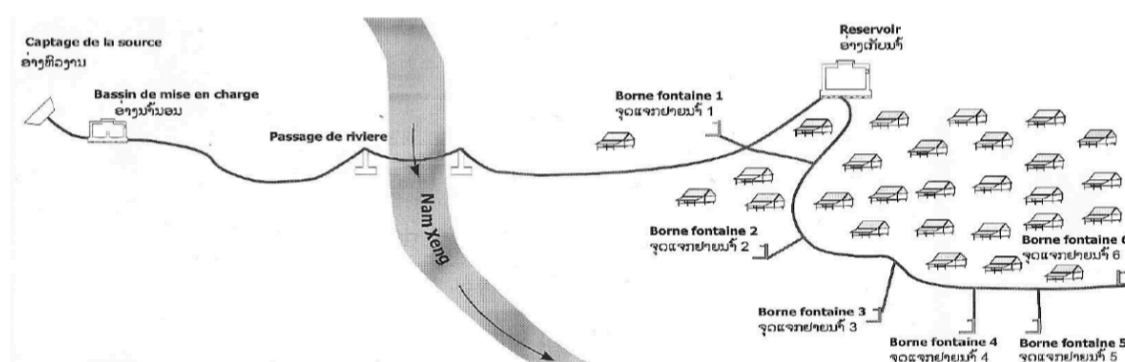


Ilustración 6: Sistema de distribución de agua por gravedad. Fuente: Agrisud International

Si las condiciones lo permiten, un sistema gravitatorio sería la mejor opción para el proyecto de Zimbabwe, ya que es un sistema auto suficiente de energía gratuita.

c) Filtros de arena y calidad de agua

La solución práctica más inmediata para proveer agua potable a comunidades rurales es tratarla a nivel individual, es decir, descontaminarla una vez recogida de los puntos de abastecimiento y almacenarla en un lugar seguro. Otra forma de afrontar el problema es implementar una tecnología para llevar a cabo un tratamiento de limpieza en el punto de distribución.

⁶ (UNICEF, Scaling Up Social Powered Water Supply Systems: a review of experiences, 2016)

⁷ (International, 2011)

Un ejemplo de un sistema de bajo coste y bajo mantenimiento son los filtros de arena.

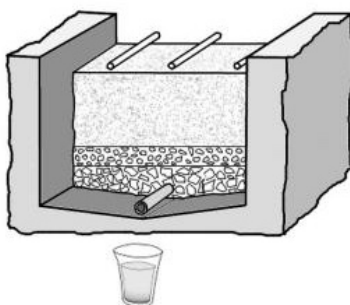


Ilustración 7: Filtro de arena. Fuente: BID

El startup Maji Safi International LCC con base en Kenia ha diseñado unos filtros a medida con resultados muy eficaces. Su diseño incluye materiales de bajo coste y fácilmente accesibles; un recipiente, arena y agua. Al final del proceso de filtrado añaden una pequeña cantidad de cloro.

d) Sistema de Regadío Sostenible para Pequeña Plantación en Zimbabue

En último lugar, se han estudiado proyectos de desarrollo en la zona de trabajo de Zimbabue por la ONG Child Future Africa. En especial, se ha analizado el Proyecto de Fin de Grado de Beatriz Marín Alcalá de junio 2018 al llevarse a cabo bajo unas condiciones de contorno y objetivos similares.

El proyecto presenta la solución a un sistema solar de riego por goteo. El sistema consiste en el bombeo de agua desde pozo a un deposito elevado por el cual se realiza la distribución para regadío por gravedad. Este proyecto implementa las técnicas vistas anteriormente para proporcionar un sistema sostenible de bajo mantenimiento en la comunidad demostrando su eficacia en contexto.

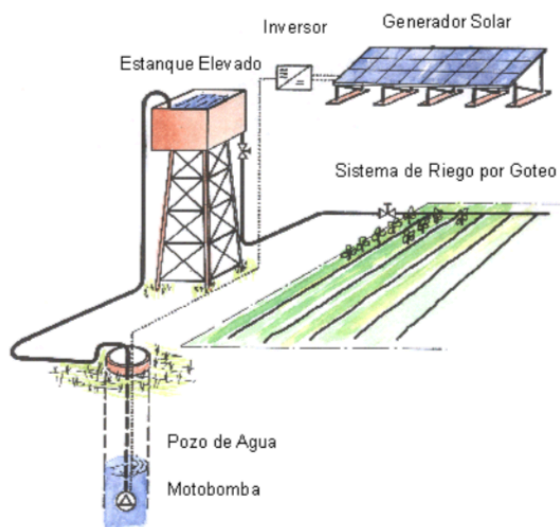


Ilustración 8: Sistema de riego por goteo sostenible. Fuente: www.suelosolar.com

2.2. Solución del diseño

La solución obtenida, basada en las características específicas de nuestro contexto, es la construcción de un pozo con un sistema de **bombeo solar** que elevará el agua a un **depósito** para su distribución por un **sistema de gravedad** a la comunidad

Se presentan la solución al diseño y las consideraciones a la hora de implementarlo en función de las tres vías de actuación. Los cálculos realizados para los dimensionamientos se presentan en la siguiente sección “Cálculos”.

a) Sistema de captación

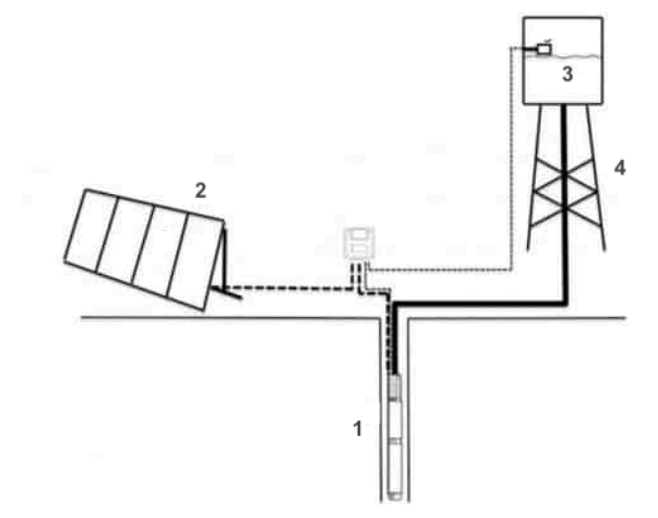


Ilustración 9: Esquema del diseño de captación. 1. Estación de bombeo, 2. Módulo fotovoltaico, 3. Depósito, 4. Estructura Fuente: Propia

➤ El pozo:

El inicio del proyecto comienza con la construcción de un pozo en el punto de abastecimiento de agua actual, situado a 3 kilómetros de la comunidad de Njenge. La construcción del pozo la realizará una empresa del país especializada.

La construcción se realizará en el punto más elevado de la zona, para favorecer el sistema de distribución por gravedad.

Entre los beneficios de construir el pozo se encuentra el control de la calidad del agua suministrada. Actualmente, el punto de agua se comparte con animales, el agua subterránea del pozo eliminará un factor de riesgo higiénico.

Además, la construcción del pozo fomentará la participación de la comunidad durante el proceso y el uso de materiales y herramientas locales.

➤ Estación de bombeo

Se ha decidido implementar un sistema de bombeo con **tecnología solar** para elevar el agua al depósito elevado con una **bomba sumergible de CC**.

La bomba de CC tendrá un potencial de 24 V, por lo que no hará falta instalar un inversor de corriente.

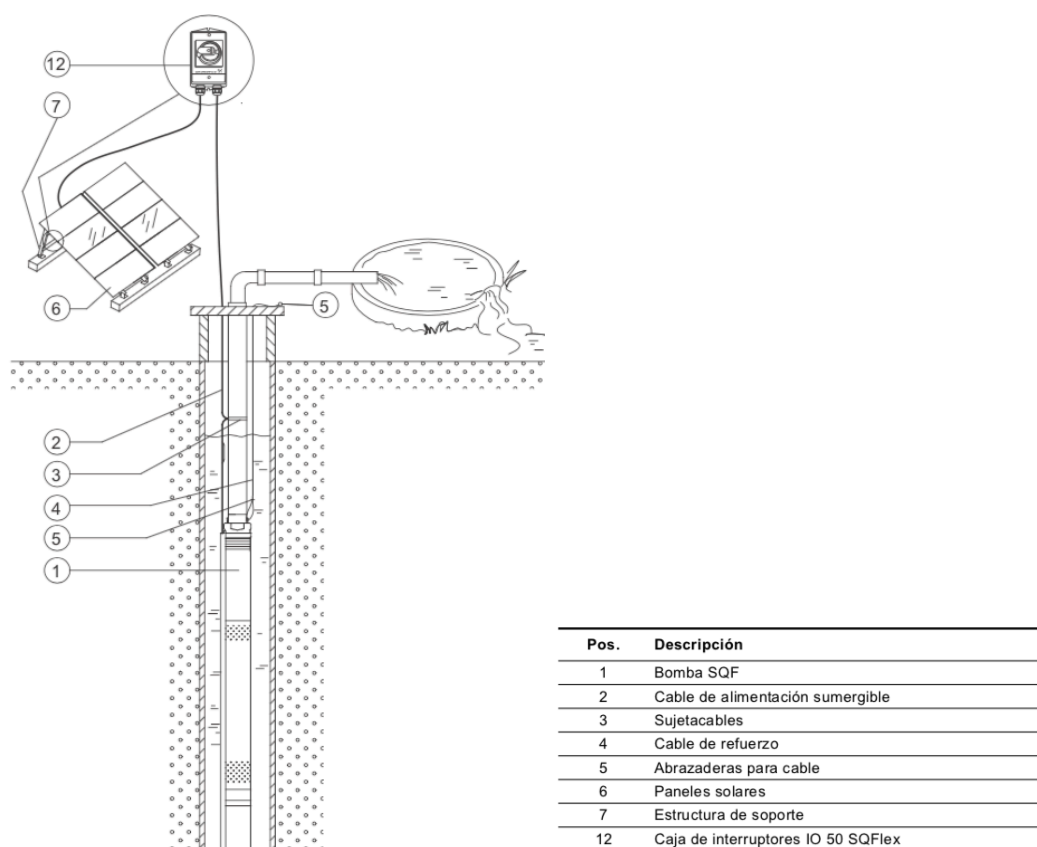


Ilustración 10: SQFlex Solar. Fuente: Grundfos

➤ Módulos fotovoltaicos

Se instalará un módulo fotovoltaico de 200 W p de 24 V.

➤ Tanque elevado

La dimensión del tanque elevado será de **8.000 l**, este será prefabricado y adquirido a proveedores locales de Harare. Así mismo, el tanque estará sostenido por una estructura metálica de **2 m**.

➤ Estructura

Al ser el tanque elevado prefabricado contamos con que exista una estructura adecuada al mismo.

Por motivos teóricos se ha dimensionado una estructura de un acero común (S235) con un perfil HEB100. Se ha obtenido que la estructura aguanta los esfuerzos de pandeo y esta sobredimensionada para garantizar que no colapsa. Como elemento de seguridad, se pueden añadir ligamentos en forma de cruceta en las barras para distribuir el peso.

b) Sistema de distribución

El objetivo del sistema de gravedad es utilizar la carga estática existente evitando el uso de motores. Al ser la distancia de la línea de conducción de 3 km y no tener datos topográficos concretos se han tenido que realizar los cálculos bajo la suposición que la diferencia de cota es de 5 a 10 m.

Como es de esperar en una distancia tan grande se encontrarán diferentes tramos a lo largo de la línea de conducción con obstáculos. Por ello, los datos obtenidos se utilizarán como base pero se tendrá que analizar en profundidad el estado del terreno, así como las variaciones de cota a lo largo de este que producirán cambios en la presión dentro de las tuberías

Como resultado teórico se ha obtenido un **diámetro normalizado de 25 mm** a una velocidad de llegada del agua de 0,4 m/s, que se encuentra dentro de los límites de velocidades en un sistema de conducción por gravedad.

c) Sistema de calidad de agua

Por último, se implantarán las medidas de calidad de agua necesarias dependiendo del tipo de contaminación que sufra la misma.

Según la información proporcionada por la persona de AFC, el punto de agua existente se encuentra compartido con animales; sin embargo, en nuestro proyecto se va a construir un nuevo pozo que eliminará ese riesgo higiénico. Por otro lado, en la construcción del pozo se elegirá una profundidad suficiente para que el agua este limpia y cumpla los requisitos fundamentales.

Ante todo, aplicaremos un sistema de desinfección por cloro manual para implementar una cultura de limpieza de agua en la comunidad y evitar riesgos sanitarios. Las cantidades de cloro a utilizar se exponen en la sección de Cálculos.

3. MOTIVACIÓN

La justificación de la realización del proyecto es evidente: mejorar la calidad de vida de la comunidad de Njenge provisionándoles de un bien indispensable, agua potable.

A nivel personal, realizó este proyecto siguiendo mi pasión por el campo de la cooperación internacional. Anteriormente, he realizado una Apps en Madrid y un voluntariado internacional en Chile, ambos estuvieron relacionados con temas de integración social y colaboración. Como futura ingeniera, este proyecto me da la gran oportunidad de poder aplicar conocimientos obtenidos a lo largo de mi carrera en la resolución de un problema real. Además, me permite llevar a cabo su realización de principio a fin, desde el análisis de la mejor bomba a elegir, hasta la colaboración con locales en Njenge.

Mi responsabilidad no se termina cuando realice la presentación a finales de este curso; la recaudación de fondos y la implantación en terreno son mi mayor motivación por la que participo en este proyecto. En un futuro, me gustaría aplicar mis conocimientos de ingeniería en el campo de la cooperación internacional y este proyecto me permite tener una primera experiencia en terreno.

4. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo global de este proyecto es reducir la distancia entre los puntos de abastecimiento de agua en la comunidad rural de Njenge; suministrando agua de calidad para evitar el esfuerzo que sufren hoy en día.

Para la satisfacción del proyecto se tendrán que cumplir las siguientes metas fundamentales:

1. Realización de los cálculos de dimensionamiento del sistema de captación y distribución.
2. Análisis de viabilidad económica, sostenibilidad y presupuesto.
3. Obtención de financiación a través de recaudaciones de fondos y donaciones.
4. Implantación en terreno durante el verano de 2020.

5. RECURSOS A EMPLEAR

Se comprarán todos los materiales en la capital de Zimbabwe, Harare. La decisión de obtener los materiales de proveedores locales viene dada por tres razones:

- i. *Sostenibilidad*: a lo largo del proyecto se ha buscado siempre una solución sencilla, sostenible y duradera. En la compra de los materiales la sostenibilidad es de especial importancia, ya que en el caso de avería o rotura de alguna pieza los proveedores locales podrán encontrar recambios o atenderles de forma rápida.
- ii. *Favorecer el comercio local*: en este proyecto se pretende involucrar a agentes locales siempre que sea posible para favorecer el comercio y fomentar la colaboración. Al ingresar dinero en Zimbabwe, un país en vías de desarrollo, activamos la economía local aunque sea a pequeña escala. Por otro lado, al involucrar a agentes locales en el proyecto se favorece su implicación en el cuidado y mantenimiento de la instalación.
- iii. *Coste de transporte y compra*: En el estudio de mercado se ha observado que los precios de los materiales son parecidos a los de España. Por tanto, a nivel económico, es más rentable comprar los materiales en Harare para abaratar costes.

En la elección del proveedor se realizará un estudio de mercado para verificar que cumple con los siguientes requisitos⁸:

- 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.

Por último, el factor determinante vendrá dado por el precio ya que el presupuesto es limitado.

⁸ (Electric, 2019)

6. MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN

Uno de los mayores retos del proyecto se presenta una vez instalado el sistema: el mantenimiento a largo plazo. Para que se cumpla la variable de durabilidad es fundamental que se realice un mantenimiento regular de la instalación.

Esta sección tiene como objetivo exponer los posibles fallos que puedan ocurrir en el sistema para poder identificarlos y tratarlos a tiempo. Estas medidas se presentarán a los usuarios con una sesión de formación y se establecerán medidas de mantenimiento preventivo.

6.1. Mantenimiento del sistema de captación

- Pozo: Será necesario instalar una tapa sanitaria. El mantenimiento del pozo consistirá en la revisión del brocal y la zona que lo rodea, asegurando de que no hay posibles grietas ni daños. Se asegurará de que no haya agua estancada y de que no exista ninguna fuente externa cercana que pueda contaminar el agua del pozo. Se tomará una muestra para analizar⁹.
- Bomba: Se tiene que asegurar que las condiciones de contorno de la bomba sean las óptimas para su correcto funcionamiento y evitar averías. Estas condiciones de contorno vienen siendo: niveles de sedimento del agua, cavitación, correcta regeneración del pozo...
- Sistema fotovoltaico: Las placas solares son de silicio, un material muy resistente a los agentes meteorológicos. Es necesario mantener una limpieza de una vez o como máximo dos veces al año, debido a que partículas de polvo levantadas por el viento pueden disminuir su rendimiento. Otra posible alternativa sería instalar un dispositivo de motorización de rendimiento que mida la variación en directo¹⁰.
- Depósito y estructuras: Se establecerán protocolos de revisión de las estructuras para comprobar su integridad. Los elementos más susceptibles a fallo son los: pilares, tornillos y tirantes.

⁹ (Life Rural Supplies, 2019)

¹⁰ (Soty Solar, 2019)

6.2. Mantenimiento de la red de distribución

- **Tuberías:** La red de tuberías está expuesta a una gran variedad de problemas de fugas, entre ellos se encuentran:
- **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.
 - **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.
 - **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.
 - **Obturación:** Una deficiente limpieza supondría pérdidas de presión en la red; o lo que es lo mismo, variaciones de caudal.

La siguiente tabla muestra las medidas de mantenimiento de la longitud de la tubería comprendida entre la captación y el reservorio del manual “Operación y mantenimiento para líneas de conducción e impulsión de abastecimiento de agua rural”¹¹.

Tabla 1: Mantenimiento de la línea de tuberías entre la captación y el reservorio. Fuente: (Organización Panamericana de la Salud, 2014)

Frecuencia	Trabajos a realizar	Herramientas y materiales
▪ Semanal	- Inspeccionar la línea para detectar posible fugas y repararlas. - Maniobrar válvulas de purga o aire, si hubiera. - Inspeccionar el estado de los buzones de reunión y de la cámara rompe-presión.	- Pala, pico, arco de sierra, tuberías y pegamento.
▪ Mensual	- Inspeccionar el interior de los buzones de reunión, cámaras distribuidoras y cámaras rompe presión.	- Pala, pico, arco de sierra, escobilla, tubería, accesorios y pegamento.

¹¹ (Organización Panamericana de la Salud, 2004)

Frecuencia	Trabajos a realizar	Herramientas y materiales
▪ Trimestral ▪ Semestral ▪ Anual	- Purga de válvulas (figura 3). - Limpieza y desbroce de la línea de conducción. - Se resana la estructura, si es necesario. - Inspección del funcionamiento hidráulico y mantenimiento de la línea. - Corregir la conducción en lugares donde esté instalada profundidad insuficiente. - Pintar elementos metálicos en la línea (figura 4). - Revisión de válvulas y reparación, de ser el caso (figura 5).	- Llave francesa o de boca. - Machete - Cemento, agregados. - Badilejo - Pala - Pico - Pintura anticorrosiva. - Brocha. - Juego de llaves. - Lubricante

Por último, se concienciará a los representantes de Child Future Africa de realizar una revisión de todos los equipos cada seis meses.

7. AMPLIACIONES O FUTUROS PROYECTOS A REALIZAR

7.1. Interruptor de nivel en el tanque

Una posible ampliación del sistema de captación sería instalar un interruptor de nivel en el tanque elevado.

Este dispositivo está conectado a la caja de control y detiene la bomba de agua cuando detecta que el depósito está lleno. De esta manera se evita el riesgo de desbordamiento del tanque en el caso de que algún día no se consuma el caudal calculado, y así también se evita un malgasto de energía y agua.

Existen diferentes variaciones de diseño en los interruptores de nivel, el tipo más utilizado por su sencillez de instalación y mantenimiento es el interruptor de flotador.

A continuación, se muestra el esquema de su instalación:

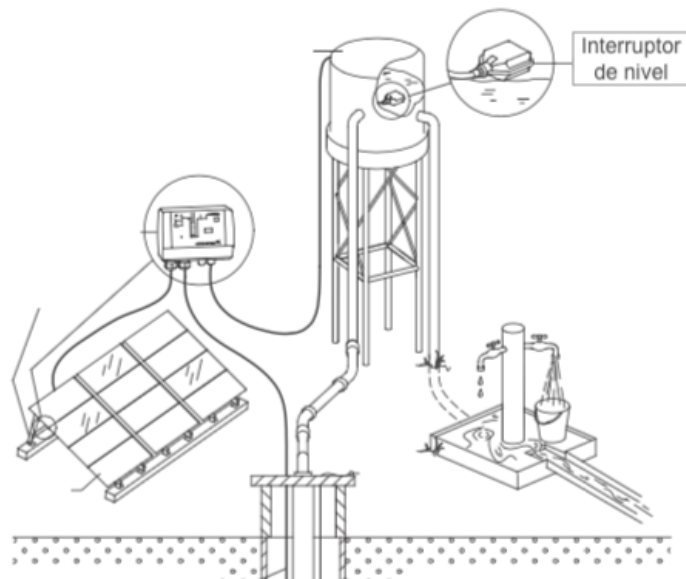


Ilustración 11: Diagrama del sistema de captación con interruptor de nivel

7.2. Mejora del sistema de calidad de agua

➤ Automatización de la desinfección por cloro

Una posible ampliación al proyecto que asegura que el agua captada del pozo es siempre apta para el consumo humano es instalar un sistema de análisis de agua y potabilización automático en el depósito.

La desinfección, operación con la que se reduce temporalmente el número de microorganismos, se realiza mediante el cloro. La cantidad de cloro se establece según las características del agua.

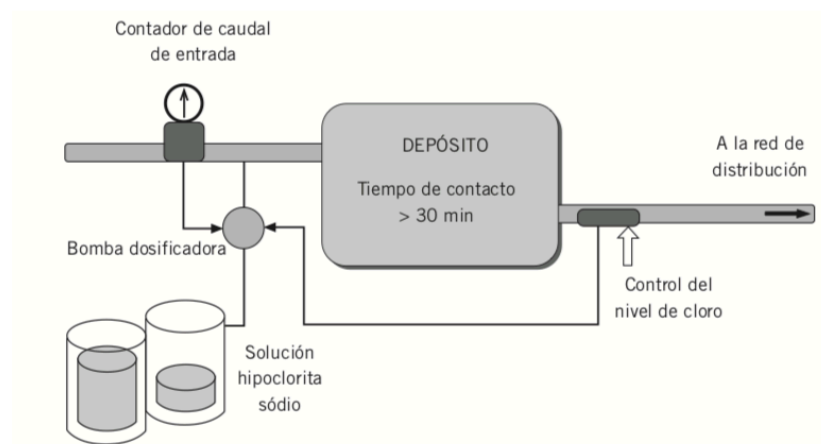


Ilustración 12: Esquema general de un sistema de cloración. Fuente: (Calvet i Roca, Corbella Ferras, & Garcia Cruz, 2008)

En el sistema de la figura, el cloro se añade por medio de dosificadores automáticos que van inyectando la cantidad determinada en la tubería de entrada al depósito¹².

La dosis se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Dosis} = (C \times Q) / S \times 1000$$

Dosis = Caudal de la bomba dosificadora (ml/ hora)

C = Concentración de cloro final (g / m³).

Q = Caudal de entrada (m³/ hora)

S = Concentración de la solución de hipoclorito sódico (g /l)

➤ Filtros de arena

Otro nivel de tratamiento que se puede implementar es una etapa de filtración. La filtración consiste en el paso del agua por un medio poroso que no deja salir la materia que se encuentra en suspensión. Los filtros más comunes son filtros de arena, que pueden ser abiertos o cerrados.

En los filtros abiertos el agua decantada entra por la parte superior y en el descenso atraviesa un lecho de arena que recoge las partículas en suspensión.

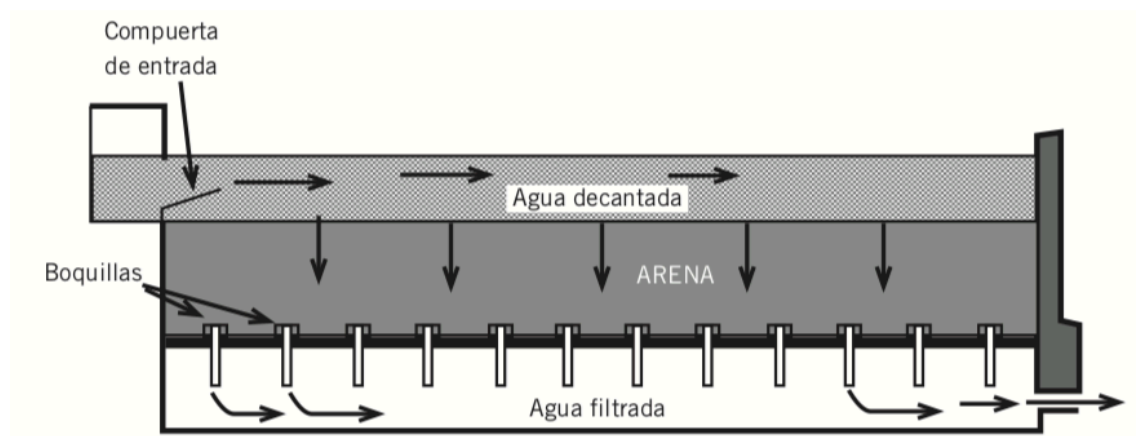


Ilustración 13: Filtro de arena abierto. Fuente: (Calvet i Roca, Corbella Ferras, & Garcia Cruz, 2008)

¹² (Calvet i Roca, Corbella Ferras, & Garcia Cruz, 2008)

8. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El presente Proyecto de Fin de Grado está programado para realizarse durante el verano de 2020, un año después de la presentación del mismo. Por ello, en la planificación de los objetivos se distinguen dos etapas: teórica y ejecución.

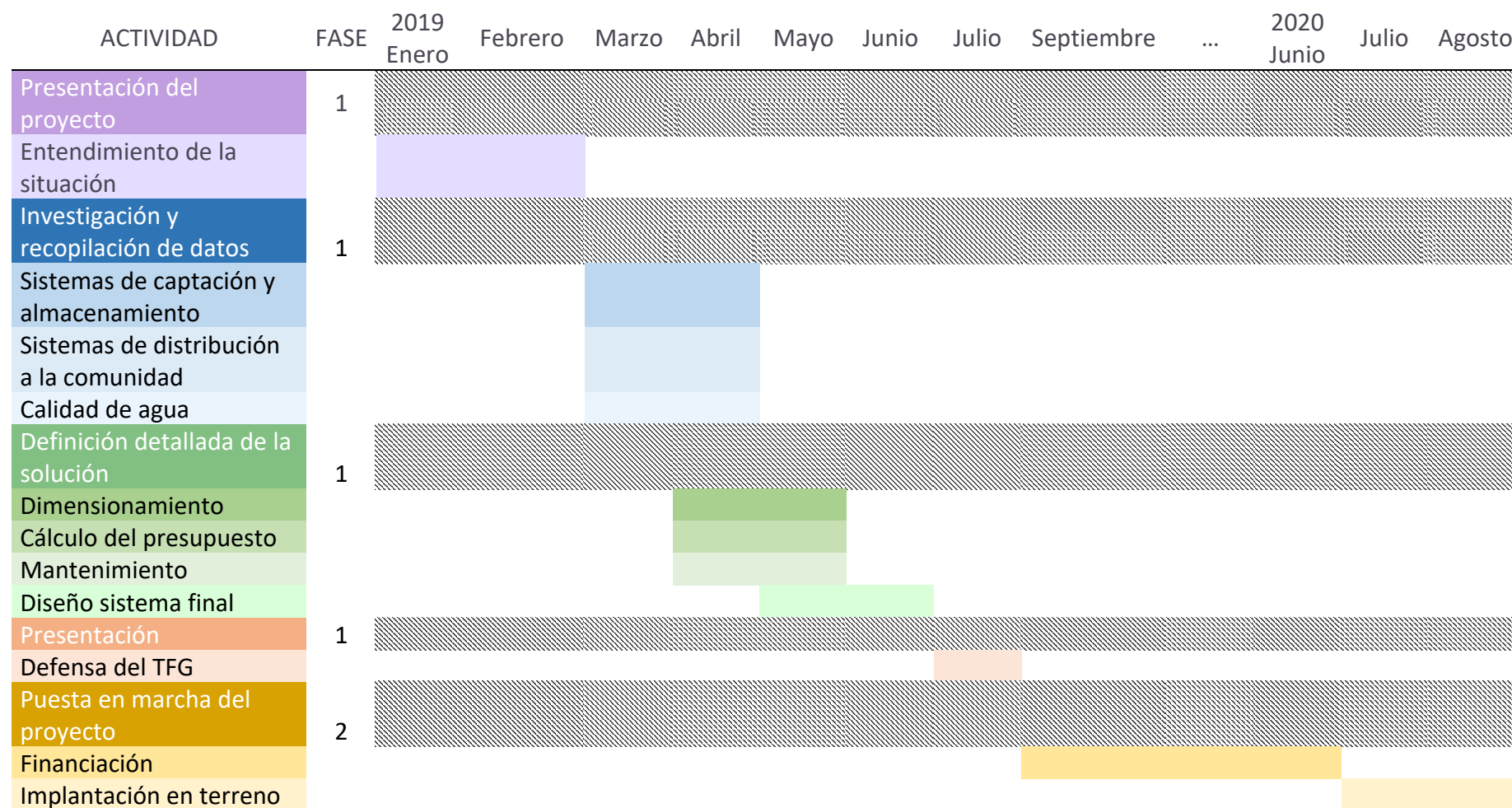
En la primera etapa se llevan a cabo los cálculos de dimensionamiento y presupuesto para poder tomar una decisión de diseño basada en la optimización de recursos y costes. Los dos primeros objetivos del proyecto, realización de los cálculos de dimensionamiento del sistema de captación y distribución, y análisis de viabilidad económica, sostenibilidad y presupuesto, se completarán en el mes de junio 2019.

Una vez presentado el proyecto comenzará la segunda etapa de ejecución. En el curso 19-20, se recaudarán los fondos de financiación del proyecto a través de actividades sociales, entre las que se pueden incluir: eventos benéficos, campaña de crowdfunding y mercadillos solidarios.

Por último, la implantación en terreno se realizara en los meses de julio y agosto de 2019. Este objetivo incluye la puesta en contacto con los proveedores de Harare, conocer a la comunidad de Njenge, evaluar las condiciones presentes del terreno y, si fuera necesario, modificar el sistema de diseño del proyecto para su mejor funcionamiento. Las personas de la comunidad participarán en la construcción del sistema y se intentarán obtener los materiales necesarios de negocios locales. Así mismo, se ayudará a implantar un programa de mantenimiento en la comunidad para que el sistema sea autogestionable.

La distribución de los objetivos se presenta en el siguiente cronograma:

CRONOGRAMA DEL PROYECTO



CAPÍTULO II: CÁLCULOS

INDICE DE CÁLCULOS

9.	SISTEMA DE CAPTACIÓN DEL AGUA.....	39
9.1.	El pozo	39
9.2.	Estación de bombeo.....	39
9.2.1.	La bomba.....	40
9.2.2.	Estudio de mercado	44
9.2.3.	Accionamiento solar	46
9.3.	Tanque elevado	47
9.3.1.	Dimensionamiento del tanque	47
9.3.2.	Estudio de mercado	48
9.4.	Estructura del tanque.....	48
9.4.1.	Definición de Esfuerzos.....	49
9.4.2.	Diseño de Perfiles	50
9.4.3.	Material de la estructura	50
9.4.4.	Diseño a compresión	51
10.	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.....	54
10.1.	Carga disponible: Altura del tanque	54
10.2.	Tuberías.....	55
10.2.1.	Diámetros.....	55
10.2.2.	Perdidas de carga en la conducción	57
10.2.3.	Material.....	60
11.	SISTEMA DE CALIDAD DE AGUA.....	61

9. SISTEMA DE CAPTACIÓN DEL AGUA

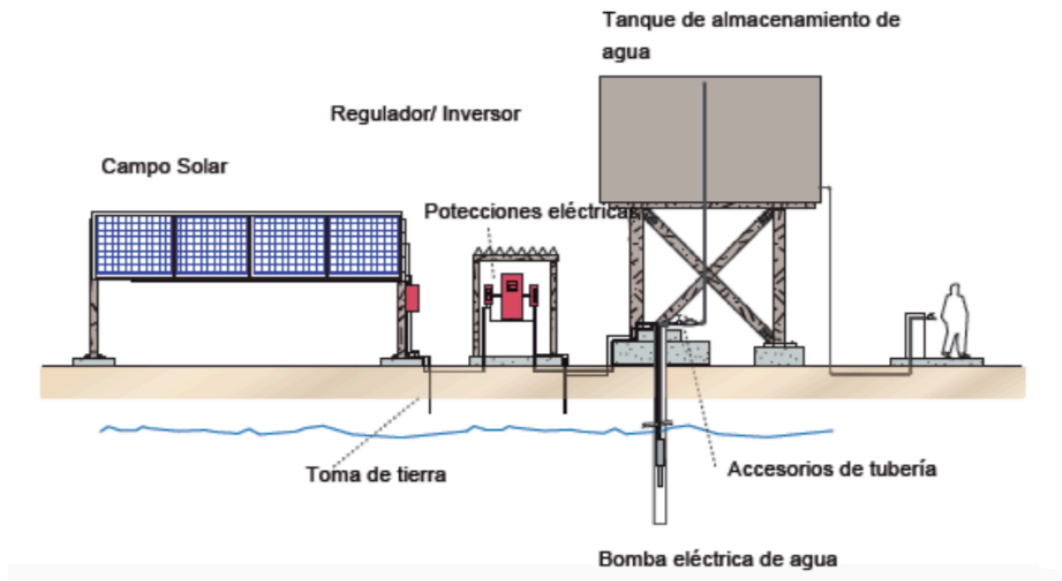


Ilustración 14: Sistema de bombeo solar con bomba sumergible a un tanque de almacenamiento. Fuente: (Campos, 2017)

9.1. El pozo

En la memoria se exponen los beneficios de la construcción del pozo; sin embargo, el método constructivo del mismo no entra en el alcance de este proyecto.

9.2. Estación de bombeo

Se ha decidido trabajar con una bomba solar, un sistema que utiliza paneles solares fotovoltaicos para suministrar energía a un motor eléctrico. Una estación sencilla de un bombeo solar se compone de:

- Bomba eléctrica de agua
- Unidad de control
- Sistema de alimentación eléctrica por paneles solares
- Regulador o inversor si fuera necesario

Se ha decidido no instalar baterías para almacenar energía, con el objetivo de simplificar el diseño de la estación de bombeo y abaratar costes.

En el siguiente apartado se realizará un estudio de las diferentes bombas disponibles, se busca encontrar la opción que mejor se adapte a nuestra instalación. Para ello, se expondrán cálculos de caudal y altura basados en datos numéricos aproximados. En el momento de implantación del proyecto, se revisarán y aplicarán las modificaciones necesarias.

9.2.1. La bomba

En los sistemas de bombas solares, existen tres criterios de clasificación para las bombas de extracción:¹³

- i. Según el movimiento del agua entre los dos niveles:
 - *Bombas centrífugas*: Mecanismo rotativo que “empuja” el agua hacia arriba, entre ellas se encuentran las bombas de chorro. Proporcionan abundantes caudales en poca profundidad.
 - *Bomba volumétricas*: Más eficientes, proporcionan un caudal menor a gran profundidad. Pueden usar cilindro y pistón o diafragmas, son menos resistentes y requieren recambios de sus partes periódicamente.¹⁴
- ii. Ubicación de la bomba respecto al nivel del agua:
 - *Bombas de superficie*: Fácil acceso para reparaciones y mantenimiento, pero limitadas en su capacidad de succión.
 - *Bombas sumergibles*: Más comunes, existen variedad de modelos. Su coste inicial es mayor.
- iii. Tipo de motor eléctrico:
 - CC: más económicos y diseñados para aplicaciones de menor volumen.
 - CA: Necesitan un inversor de corriente que incrementa su precio, se utilizan en estaciones que requieran mayor potencia.

¹³ (Solar)

¹⁴ http://cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/110bib_arch.pdf

La bomba elegida combinará los tres criterios para ofrecer una solución: sencilla, sostenible y duradera. Para seleccionar la bomba adecuada se estudiarán los factores determinantes de contorno de la instalación:

a) Altura de impulsión:

Distancia vertical entre la bomba y el depósito más las pérdidas de carga por la tubería.

Altura de impulsión: Altura del pozo + Altura del depósito + Perdidas de carga

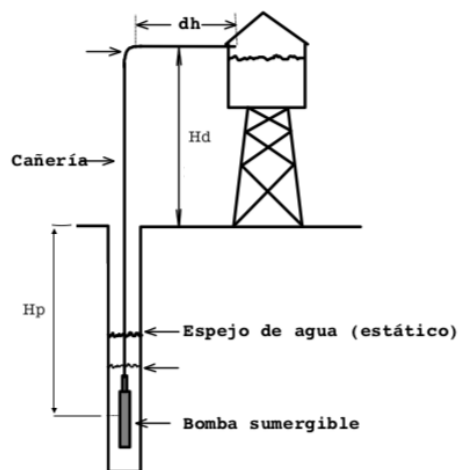


Ilustración 15: Diagrama de alturas. Fuente: CEDECAP editada

La profundidad del pozo se puede estimar con el promedio de los pozos de la zona, que varía entre 30 y 40 m.

Así mismo, la altura del depósito es de 2 m, calculada en el apartado 2.1 de este TFG.

La pérdida de carga por fricción o turbulencia se puede estimar con el uso de tablas de fricción. Sin embargo, a priori, no se conoce el diámetro o el material de la tubería hasta que no se elija la bomba. Por ello, se asumen despreciables y más adelante se corregirá por su valor.

El valor estimado de la altura de impulsión se encuentra entre los 32 y 42 m.

b) Caudal:

Dada la población actual de Njenge, 300 personas, el consumo de agua estimado por la comunidad es de 6.000 l/día.

Calculamos el caudal diario con un margen de seguridad del 10%, obteniendo **6.060 l/día**, lo que es lo mismo que 6,06 m³/día.

Es importante destacar, que contamos con un deposito de almacenamiento que ayudará con el suministro de agua en los periodos de alta demanda. Cuando se haya utilizado esta reserva, se debe bombear un caudal “extra” para poder reestablecer el volumen sin disminuir la demanda de agua. Si calculamos el caudal extra como el 10% del caudal diario, el tanque, si se vaciara por completo, tardaría 134 días en llenarse.

Por último, para calcular el volumen o caudal instantáneo, estimamos que el promedio de la duración del día solar es de 5 horas. El caudal instantáneo es de 20,2 l/min o 0,34 l/s.

Una vez expuestos los factores determinantes, se procede a la toma de decisión con la ayuda de las curvas de funcionamiento. El siguiente diagrama, muestra el tipo de bomba recomendada según la altura dinámica y el caudal diario:

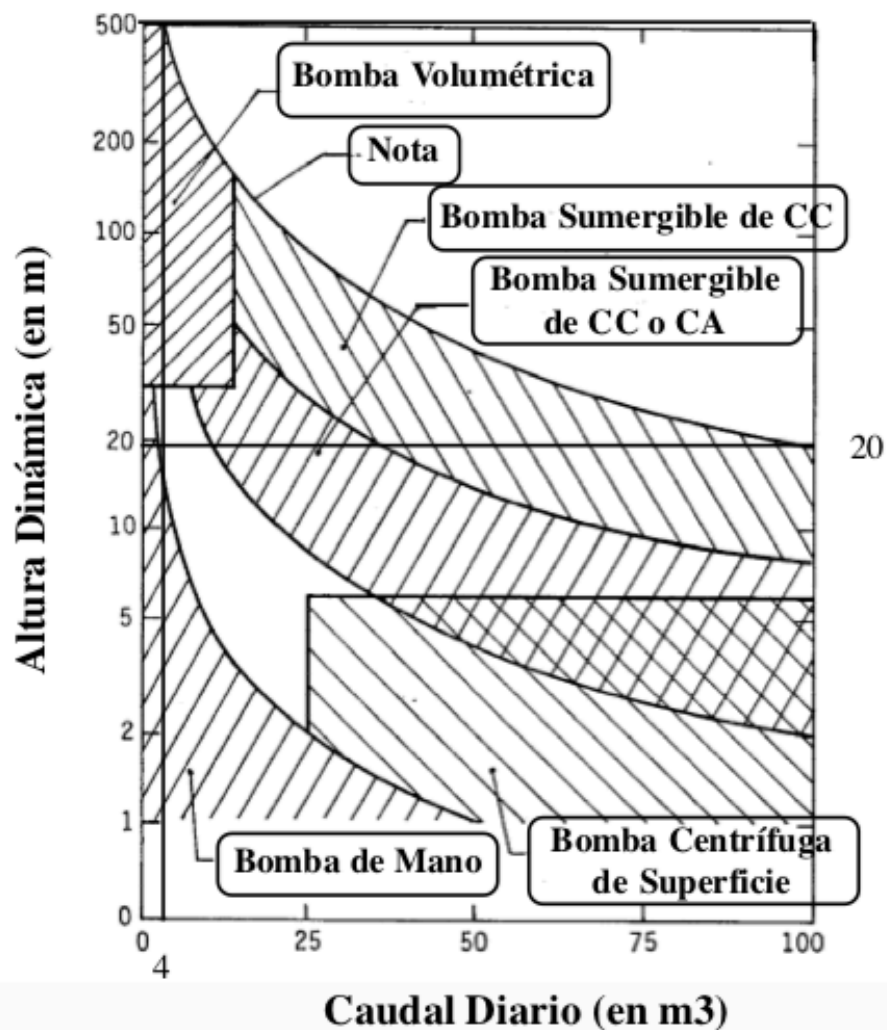


Ilustración 16: Tipo de bomba recomendada según la altura dinámica y el caudal diario bombeado. Fuente: CEDECAB

El volumen de caudal diario estimado por el fabricante asume estimaciones del promedio del día solar y recursos hidráulicos que pueden ser diferentes en nuestra instalación. Por ello, es recomendable utilizar el valor del caudal instantáneo para comparar el funcionamiento de motores a utilizar.

En conclusión;

- Se ha decidido instalar una **bomba sumergible de CC**.

La bomba sumergible resulta la más indicada en nuestro pozo, por ser de gran profundidad y caudal reducido, trabajará a bajas revoluciones.

La elección del motor de CC viene dada por ser la solución mas sencilla y económica, se ajusta a nuestra fuente de energía fotovoltaica.

Antes de su instalación, se tendrá que llevar a cabo un estudio del cambio de nivel de agua en el pozo entre estaciones para evitar que la bomba trabaje en seco. Además, se colocará a una distancia mínima del fondo para evitar que entren partículas de arena que puedan dañar el motor, aproximadamente 1 m.

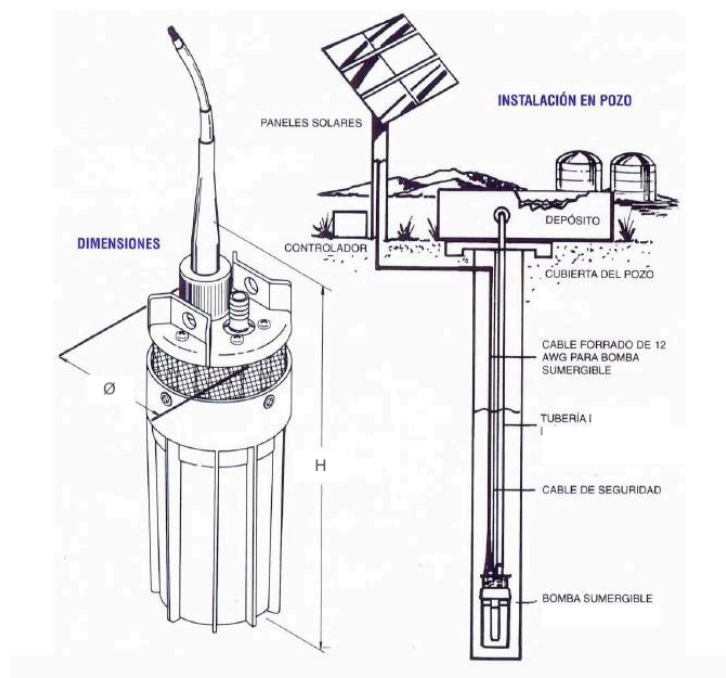


Ilustración 17: Esquema captación con bomba sumergible. Fuente: Shurflo editada

9.2.2. Estudio de mercado

Se ha observado que el fabricante Grundfos provee bombas sumergibles de aplicación solar en Harare, la capital de Zimbabwe. Por ello se va a realizar una valoración sobre las bombas que ofrece y cual encaja mejor en nuestro proyecto a partir de la curva de rendimientos.

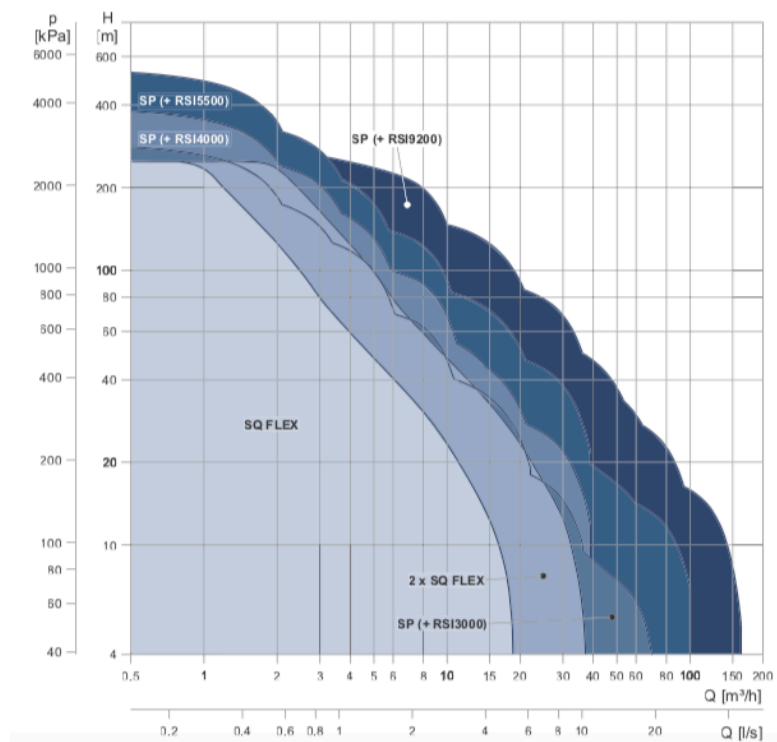


Ilustración 18: Gama de rendimientos. Fuente: Grundfos

Grundfos ofrece la gama SQFlex¹⁵, una solución económicamente responsable con un suministro de energía renovable, sistemas electrónicos incorporados y fácil instalación. Este sistema de suministro de agua está especialmente diseñado para aplicaciones en zonas remotas. Dentro de la gama estudiaremos las bombas que proporcionan altura de carga superior a bajo caudal.

En la siguiente tabla se recogen algunas de las características de las bombas, el informe técnico completo se encuentra en el Anexo. Como se puede observar en la tabla, sus características de accionamiento y su precio son idénticos.

¹⁵_(Grundfos, 2019)

Tabla 2: Información bombas Grundfos. Fuente: Propia

Producto	Precio del Sistema (€)	Udc (V)	Uac (V)	Bomba [DIN W.-Nr.]	Descarga	Tipo de motor
SQF 0.6-2	2.974,00	30-300	90-240	1.4301	Rp 1 1/4	MSF3
SQF 1.2-2	2.974,00	30-300	90-240	1.4301	Rp 1 1/4	MSF3

Para obtener una comparación mas detallada, se han analizado sus curvas de rendimiento bajo las condiciones normales de funcionamiento.

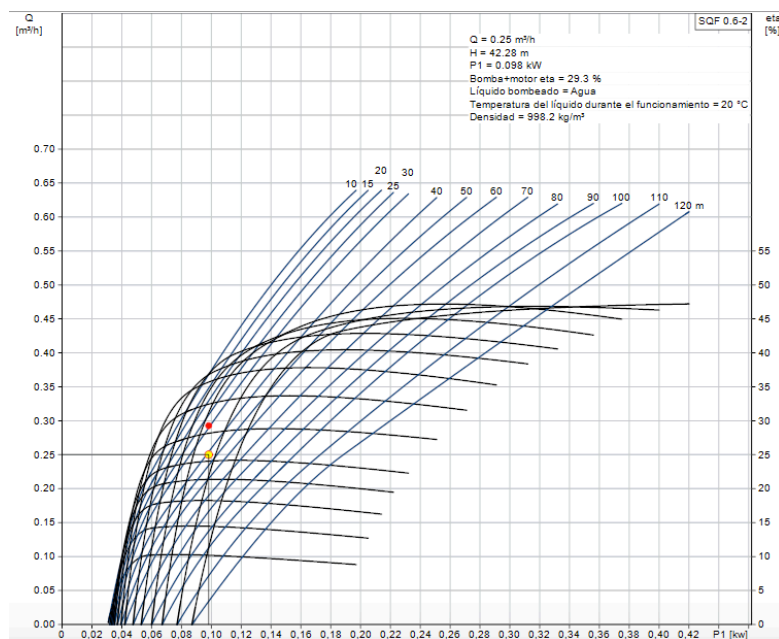


Ilustración 19: Curva de rendimiento SQF 0.6-2

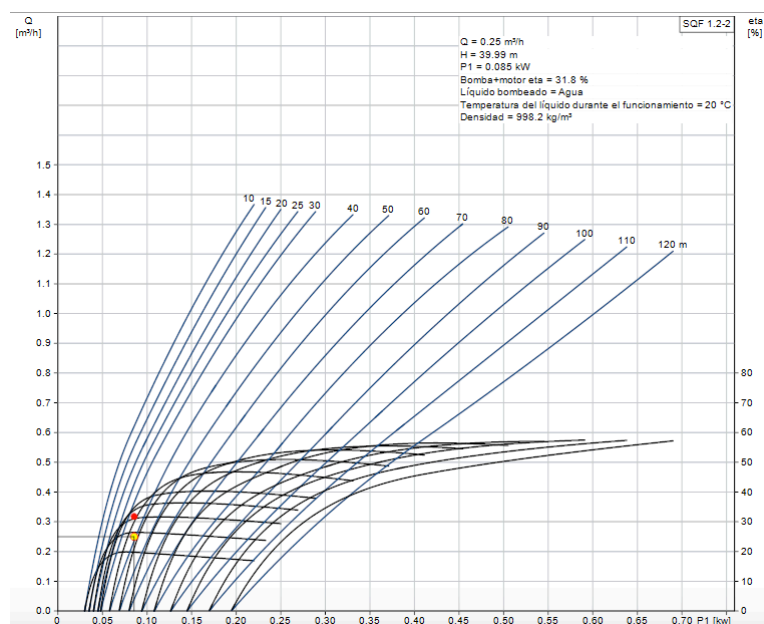


Ilustración 20: Curva de rendimiento SQF 1.2-2

Se puede observar que las dos bombas tienen rendimientos similares en las condiciones de funcionamiento. En la decisión final, una vez conocidos los parámetros reales de la instalación, se elegirá la bomba más grande, ya que es mejor sobredimensionar.

9.2.3. Accionamiento solar

El accionamiento solar es el sistema de energía renovable más sencillo para nuestra instalación, vamos a estudiar el modelo fotovoltaico apropiado a partir del gráfico de Grundfos SQFlex Solar.

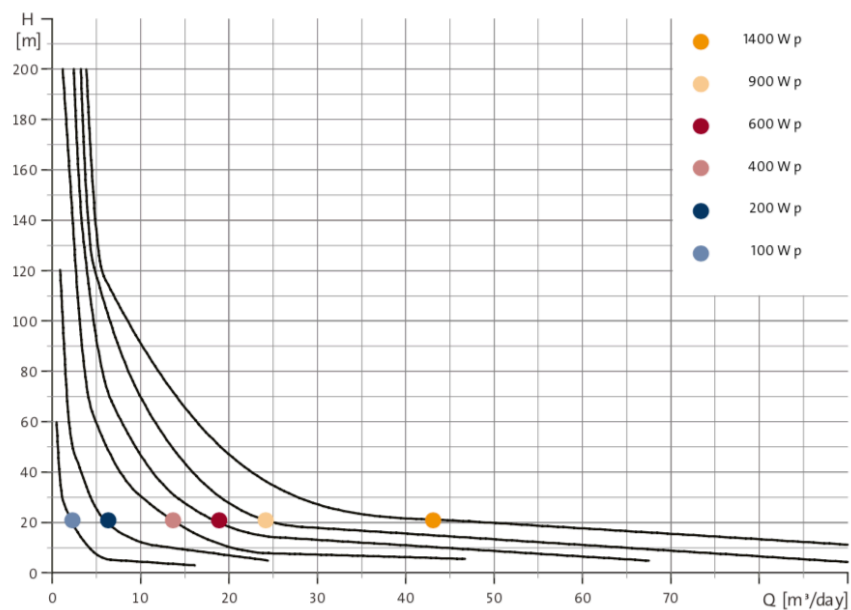


Ilustración 21: SQFlex Solar. Fuente: Grundfos

Según el gráfico anterior, necesitaremos una placa solar de 200 W p. Las placas de estas características más comunes son las de 72 células de silicio cristalino de 24 V, apropiadas para instalaciones aisladas.

La siguiente tabla muestra las características de una placa solar de 200 W de la marca Tecnosol, la ficha técnica se adjunta en el Anexo.

Tabla 3: Características placa fotovoltaica 200 W p. Fuente: Propia

Potencia Nominal (Pmax) [w]	200
Voltaje a potencia máxima (Vmp) [V]	3,8
Intensidad a potencia máxima (Imp) [A]	5,44

Decidimos utilizar un módulo fotovoltaico de 200 W ya que es capaz de accionar la bomba sumergible.

9.3. Tanque elevado

El elemento del tanque elevado tiene dos funciones: dar altura al sistema de distribución por gravedad y proporcionar una reserva de agua.

En su dimensionamiento, vamos a asumir que el pozo nunca va a estar indisponible en un periodo superior a 24 horas, es decir, si surge algún problema o avería en el sistema de bombeo se arreglará durante ese tiempo.

Por tanto, realizaremos el cálculo de dimensionamiento en función de la demanda de agua de la comunidad de Njenge en un día.

9.3.1. Dimensionamiento del tanque

La dotación o la demanda por cápita es la cantidad de agua requerida por cada persona expresada en litros/habitante/día.¹⁶

Calcularemos la demanda en un día con los datos de: la población total de Njenge y los litros por persona recomendados por la Organización Mundial de la Salud. La cifra mínima aceptable que permite satisfacer las necesidades básicas de consumo e higiene es de **20 litros** de agua por persona al día¹⁷.

Esperamos que el sistema de abastecimiento tenga una larga vida, por tanto, no solo se tiene que satisfacer la demanda actual sino también la demanda futura.

Según la información suministrada por la persona encargada de la ONG Child Future Africa, la población actual en la comunidad de Njenge es de **300 habitantes**. El crecimiento de la población de Zimbabwe se estima en un 2,3 %, según los datos del Banco Mundial.

Se puede hacer una aproximación al cálculo de la población futura analíticamente con la curva matemática¹⁸:

¹⁶ (Agüero, 1997)

¹⁷ (Domestic Water Quantity, 2003)

¹⁸ (Agüero, 1997)

$$Pf = Pa(1 + r * t)$$

Pa = Población actual

r = coeficiente de crecimiento por habitante

t = periodo de diseño

Con un periodo de diseño de 15 años, estimamos una población futura aproximada de 400 habitantes.

Una vez realizado el análisis de la población, el cálculo de la demanda, que representa el volumen final del tanque, es sencillo:

Volumen del tanque = Población de Njenge * litros de agua mínimos en 1 día

- Finalmente, obtenemos que la capacidad del tanque tiene que ser entre **6.000 l** y **8.000 l**. Utilizando como limitante la población actual y futura de Njenge.

Cabe destacar que los habitantes de las comunidades rurales aisladas de la zona han convido con periodos largos de sequía, y en una situación de emergencia sabrían distribuirse y dosificarse el agua de una forma responsable.

9.3.2. Estudio de mercado

Se ha realizado un estudio de mercado en Harare, la capital de Zimbabue, buscando la solución más económica, sostenible y sencilla.

Se ha decidido escoger un deposito prefabricado de 8000 l. La decisión de sobredimensionar el tanque asegura proveer reservas de agua suficientes a la comunidad y evitar riesgos. Además, al ser este de una medida estándar, nos permitirá encontrar estructuras a medida ya dimensionadas.

9.4. Estructura del tanque

El tanque elevado va a estar soportado por una estructura simple de cuatro pilares. En este apartado se realizan los cálculos para el diseño de la estructura y se tomaran las decisiones de perfil y material a utilizar.

Este estudio es puramente teórico, como se ha mencionado en el apartado anterior, al escoger un deposito prefabricado, ya existen estructuras estandarizadas compatibles en el mercado local.

9.4.1. Definición de Esfuerzos

El cálculo de esfuerzos determina la resistencia mínima de cada pilar; para que no haya riesgo de colapso se tienen que utilizar las condiciones de uso máximas. El esfuerzo total que sufre la estructura se divide en:

a) Esfuerzo axil:

Determinado por el peso del tanque. La carga máxima, considerando que el deposito esta totalmente lleno, se calcula como:

$$\text{Carga del tanque (kg)} = \text{Volumen del tanque (L)} * 1\text{kg/L} + \text{Peso del tanque (kg)}$$

Determinamos que el peso del tanque se encuentra entre los 90 y 180 kg.

La carga total es de 8.180 kg, es decir, **80,22 kN**.

b) Esfuerzo cortante:

Se tiene en cuenta la posible acción del viento sobre la plataforma. Aproximando la carga variable del viento a 670 N/m² y estimando el área que incide en cada columna se obtiene una carga máxima de **2,15 kN** por pilar.

Los esfuerzos obtenidos se ponderan de acuerdo con los coeficientes establecidos por el Documento básico SE-C: Seguridad estructural, del Código Técnico de la Edificación en España.

Tabla 4: Esfuerzos sobre la estructura. Fuente: Propia

Tipo de Esfuerzo	Coeficiente desfavorable	Carga Calculada	Carga Ponderada
Esfuerzo Axil: carga permanente	1,35 (-)	80,22 kN	108,30 kN
Esfuerzo cortante: carga variable	1,5 (-)	2,15 kN	3.22 kN

➤ Obtenemos un esfuerzo axil de **108.30 kN** y un esfuerzo cortante de **3.22 kN**.

9.4.2. Diseño de Perfiles

Se elegirá un perfil normalizado con el objetivo de reducir costes y simplificar el trabajo. El perfil escogido es el HEB, por ser robusto y resistente al pandeo. Los datos de este perfil se adjuntan en el Anexo.

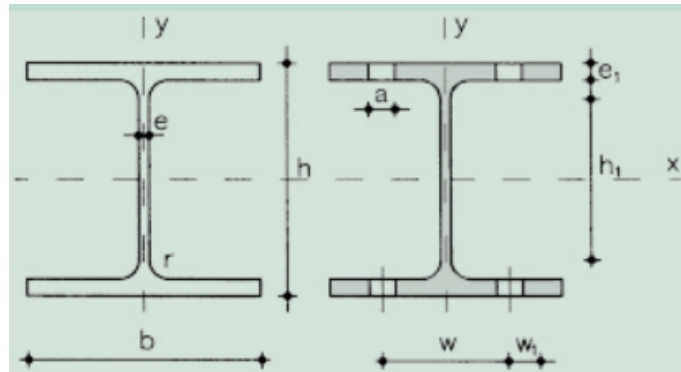


Ilustración 22: Perfiles HEB. Fuente: *Prontuario de perfiles laminados; recurso de la asignatura Resistencia de Materiales – ICAI*

9.4.3. Material de la estructura

La estructura se fabricará en acero. Las características comunes a todos los aceros son:

Tabla 5: *Propiedades de los aceros. Fuente: Propia*

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

Entre los diferentes aceros se decide emplear el S235, ya que es el más común de todos los aceros lo que abarata su coste y simplifica su obtención.

Con ayuda de la siguiente tabla se ha calculado la resistencia de este acero, siempre que tenga un grosor inferior a 16mm, será de 223 N/ mm². Calculado con un coeficiente parcial de seguridad de 1,05 relativo a la plastificación mediante la fórmula siguiente:

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

Tabla 6: Características mecánicas mínimas de los aceros. UNE EN 10025. Fuente: Documento Básico SE-A: Seguridad estructural Acero (RD 1371/2007)

DESIGNACIÓN	Espesor nominal t (mm)				Temperatura del ensayo Charpy °C
	Tensión de límite elástico			Tensión de rotura	
	f _y (N/mm ²)			f _u (N/mm ²)	
	t ≤ 16	16 < t ≤ 40	40 < t ≤ 63	3 ≤ t ≤ 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.

9.4.4. Diseño a compresión

En este apartado se dimensionan los pilares a compresión para evitar el riesgo del efecto pandeo.

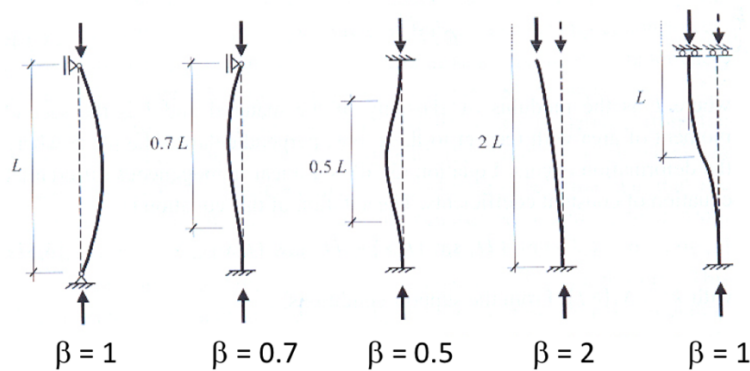


Ilustración 23: Longitud de pandeo. Fuente: (barras)

La carga crítica menor sucede para el desplazamiento superior desplazable, resultando en una longitud crítica de $l_k = 0,7 L$.

El procedimiento para el cálculo del perfil se lleva a cabo en los siguientes pasos¹⁹:

- i. A partir de la carga crítica obtenemos el mínimo momento de inercia con la siguiente fórmula:

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

- ii. Se preselecciona un perfil conocido el valor mínimo de I_k (eje 'x')
- iii. Obtenemos del prontuario de perfiles el área.
- iv. Calculamos la esbeltez con la siguiente fórmula:

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

- v. Obtenemos el coeficiente de pandeo a partir de la esbeltez a partir de la siguiente gráfica:

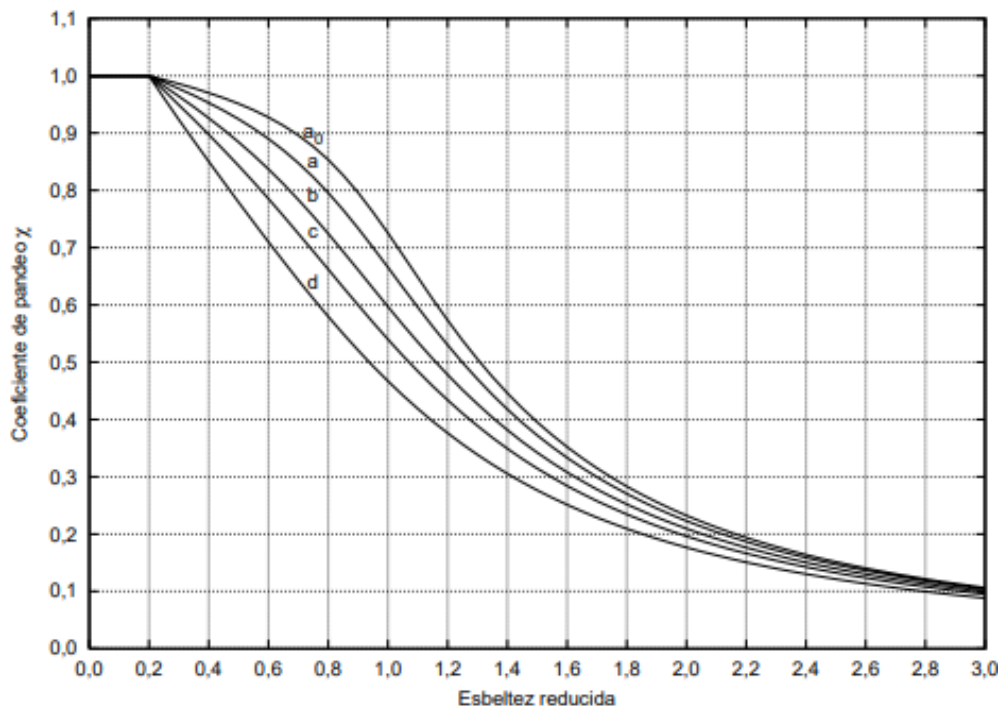


Ilustración 24: Curvas de pandeo. Fuente: Figura 6.3 del documento SE-A

- vi. Comprobamos que la carga debida al pandeo por flexión sea menor que la capacidad del perfil, mediante la siguiente fórmula:

¹⁹ (Marín Alcala, 2018)

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

vii. $N_{b,Rd} > N_{aplicada} = 108,3 \text{ kN}$

Tabla 7: Resultado de dimensionamiento a compresión

Perfil	Eje	Momento de Inercia (cm ⁴)	Ik (m)	Carga crítica (kN)	Area (cm ²)	Esbeltez reducida	Coeficiente de pandeo	Capacidad a pandeo (kN)
HEB 100	X	450	2	2331,7	26	0,51	0,9	501,7
HEB 100	Z	167	1,4	1765,9	26	0,59	0,85	473,9

Se comprueba que la estructura HEB 100 esta sobredimensionada y por tanto podrían soportar una capacidad mayor de la que están sometidos.

Por último, es importante destacar la importancia de empotrar debidamente los pilares en el suelo. Se cementará la estructura para evitar riesgo de caída. Definimos los siguientes pasos para cementar la estructura²⁰:

- 1) Cavar un agujero de medio metro de profundidad en el que se apoya la estructura para después cementarla. Hay dos opciones posibles:
 - a. Cavar un agujero por pilar con su determinada cementación.
 - b. Cavar un agujero que albergue todo el área entre los cuatro pilares, siendo este caso el más robusto, por tanto, el que escogemos.
- 2) Cementar la base con hormigón sobre la que se va a apoyar la estructura, para que tenga un apoyo firme.
- 3) Introducir la estructura en el agujero ya cementado.
- 4) Rellenar el agujero que alberga la estructura de hormigón hasta llegar a la superficie.
- 5) Dejar secar el hormigón durante aproximadamente 5 días para que adquiera sus propiedades.

Además, se puede considerar añadir unos elementos de seguridad a los pilares en forma de cables. Se pueden instalar tirantes en forma de cruceta para ayudar a dividir las cargas en la estructura.

²⁰ (Nuñez Marcos, 2018)

10. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

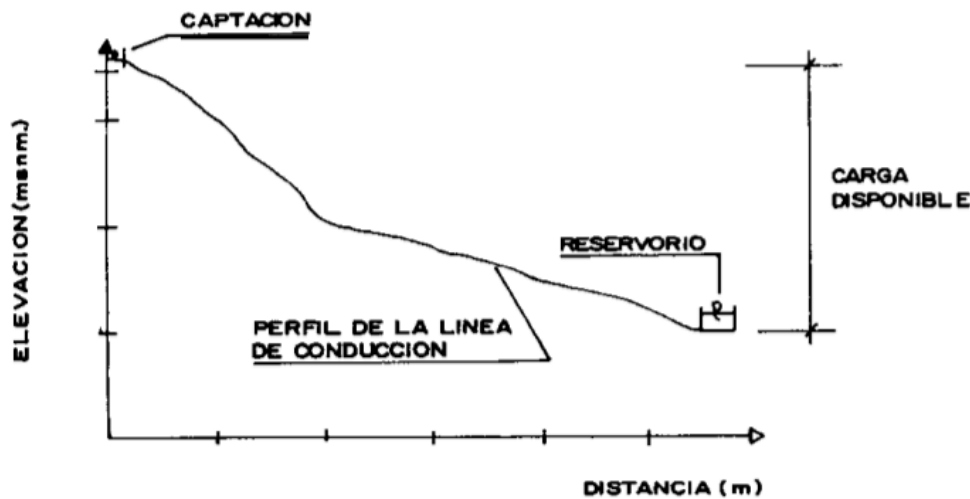


Ilustración 25: Esquema de la línea de conducción. Fuente (Agüero, 1997)

En este segundo apartado se presenta el diseño de la línea de conducción del deposito al reservorio aprovechando la carga estática existente sin uso de motores.

Como se ha comentado en la memoria, un sistema de distribución por gravedad cumple los requisitos de sostenibilidad del contexto de este proyecto. La viabilidad de su implantación depende de los factores de:

- i. carga disponible
- ii. dimensionamiento de las tuberías
- iii. gasto de diseño

10.1. Carga disponible: Altura del tanque

La carga disponible se calcula como la diferencia entre la cota de captación y la cota del reservorio.

A falta de datos del terreno, se va a asumir que el punto donde se va a construir el pozo se encuentra entre **5 y 10 metros** más elevado de donde se va a entregar el agua.

Con esta información y sabiendo que la distancia a la comunidad es de 3 km, se calcula la altura del tanque elevado con la pérdida de carga:

$$H_f = \text{Carga disponible} = h_{\text{TANQUE ELEVADO}} + \Delta h_{\text{COTA}}$$

Con un diámetro normalizado de 25 mm se obtiene una pérdida de carga de 5 m, calculada en la sección 2.2.2 de este TFG.

Obtenemos que la diferencia de cota del terreno ya consigue proveer la carga disponible; sin embargo, es necesario dar una altura de seguridad al tanque elevado por motivos de seguridad e higiene.

- La altura del tanque elevado será de **2 m**.

10.2. Tuberías

En el diseño de la red de tuberías se busca optimizar la simplicidad, la sostenibilidad y el presupuesto. Para ello, las decisiones finales tomarán como prioridad:

- Diámetros normalizados
- Materiales duraderos
- Reducir las pérdidas por conducción

10.2.1. Diámetros

El diámetro de una tubería circular viene dado por:

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

D: Diámetro nominal de la tubería circular (m)

Q: Caudal (m³/s)

V: velocidad (m/s)

La siguiente tabla expresa los rangos de velocidades de transporte recomendados en función del tipo de fluido y la instalación utilizada:

Tabla 8: Velocidades recomendadas para fluidos en tuberías. Fuente (BOMBAS)

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

Para simplificar el diseño, se utilizará un único diámetro para las tuberías del sistema.

En la siguiente tabla se calcula el rango de diámetros recomendados para el flujo por gravedad, utilizando el caudal máximo diario de 6.060 L/día, lo que es lo mismo que 0,00007m³/s.

Tabla 9: Resultados de los diámetros a partir del caudal y velocidad. Fuente: Propia

Q (m ³ /s)	V (m/s)	D (m)
7e-5	0,15	0,024
7e-5	0,3	0,017

El diámetro a escoger debe estar normalizado por los proveedores de Harare, Zimbabwe. Se van a considerar dos diámetros en el cálculo de pérdidas de carga en la conducción:

- i. D = **20 mm**, con una velocidad de **0,22 m/s**.
- ii. D = **25 mm**, con una velocidad de **0,14 m/s**

10.2.2. Pérdidas de carga en la conducción

a) Pérdidas de carga primarias

Método 1: Ecuación de Darcy

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

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 ($\rho = 997 \text{ kg/m}^3$)

v: velocidad del fluido [m/s]

d: diámetro interno de la tubería [m]

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

Si el número de Reynolds es superior al valor crítico de 2300 se demuestra que el flujo es turbulento y se procede a calcular el coeficiente de fricción de Darcy gráficamente con el diagrama de Moody:

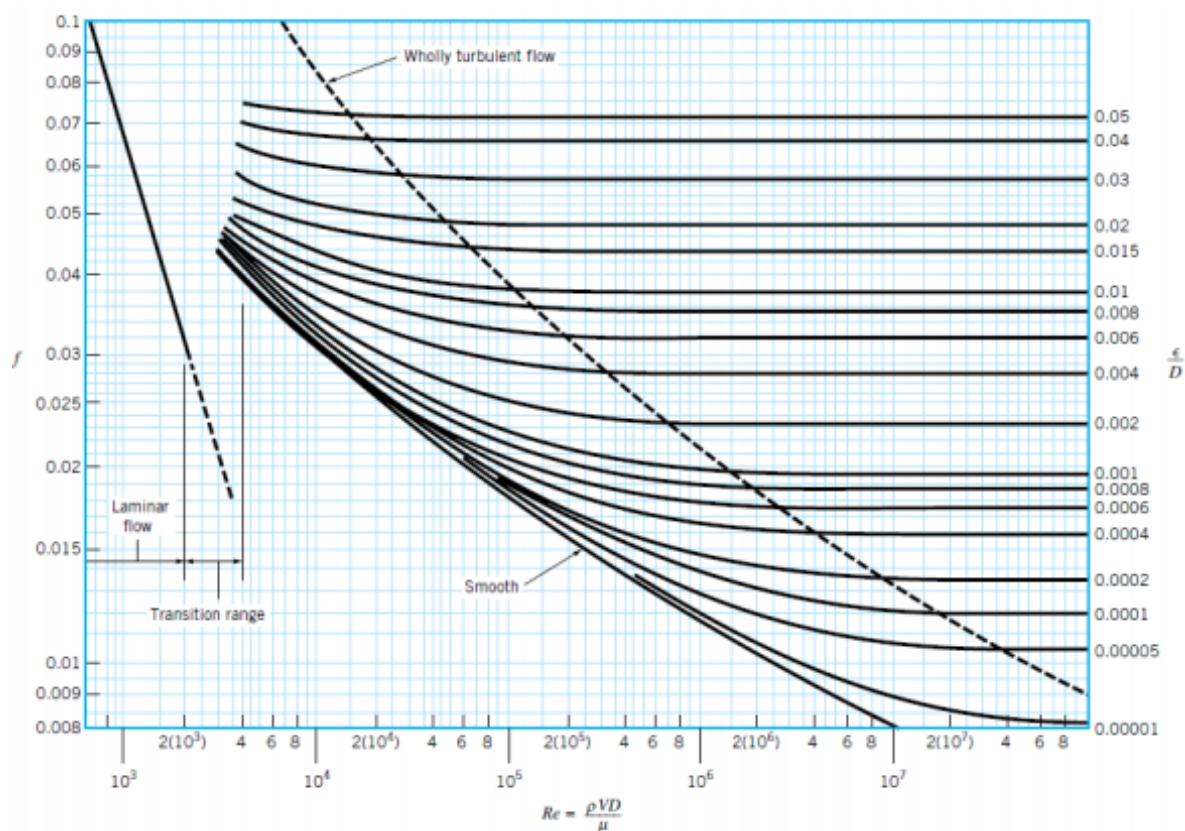


Ilustración 26: Diagrama de Moody. Fuente: Asignatura Mecánica de Fluidos

En la siguiente tabla se presentan los cálculos realizados y los resultados obtenidos:

Tabla 10: Resultado pérdida de cargas primaria método 1. Fuente: Propia

Diámetro normalizado (mm)	d interior (mm)	Velocidad (m/s)	Re (-)	k/d (-)	f (-)	hf1 (m)
20	17	0,22	3.729	0,002	0,004	16,28
25	22	0,14	3.071	0,0016	0,042	5,03

Método 2: Fórmula de Hazen-Williams

Utilizaremos la fórmula empírica de Hazen-Williams como método de comprobación. Se utiliza en el cálculo de las pérdidas por fricción en un conducto con flujo turbulento que trabaja a presión (Agüero, 1997):

$$hf = 10.67 \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.85} \frac{L}{D^{4.87}}$$

hf: Pérdida de carga (m)

Q: Caudal (m³/s)

C: Coeficiente de fricción de Hazen-Williams, C = 140 para el PVC.

D: Diámetro (m)

L: Distancia (m)

Introduciendo los datos del sistema:

Tabla 11: Resultados de perdidas de carga primarias método 2. Fuente: Propia

Caudal (m³/s)	Diámetro (m)	hf (m)
7 e-4	0,020	13,25
7 e-4	0,025	4,47

b) Perdidas de carga secundarias

Las perdidas secundarias son las perdidas menores o localizadas producidas por: entrada o salida de tuberías, ensanchamientos o contracciones, válvulas, curvas, codos u otros accesorios.

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

hf₂: Pérdida de carga (m)

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

g: constante de gravedad, 9.81 m/s²

k_i: coeficiente de carga secundaria

El sistema de tuberías tiene un mismo diámetro, por tanto, no hay perdidas secundarias de ensanchamiento o contracciones. Por otro lado, se considera que, si fuera necesario la inclusión de válvulas de seguridad, al ser la velocidad tan baja, sus perdidas serian muy pequeñas y no significativas.

Los coeficientes de carga secundaria se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 12: Números y coeficiente de localización de pérdida secundaria. Fuente: Asignatura Mecánica de Fluidos

Localización de Pérdida	Número	Coeficiente
Entrada sumergida	1	1
Salida no sumergida	1	0
Codos (90°)	2	0,3

c) Resultados:

Se presentan los resultados en la tabla siguiente:

Tabla 13: Resultados de pérdidas de carga. Fuente: Propia

Diámetro normalizado (mm)	Velocidad (m/s)	hf1 (m)	hf2 (m)	hf total (m)
20	0,22	16,28	0,003	16,28
25	0,14	5,03	0,001	5,03

- Para nuestras tuberías se elegirá un diámetro normalizado de **25 mm**.

10.2.3. Material

El material recomendado en proyectos de abastecimiento de agua potable para comunidades rurales en tuberías es el PVC²¹. Entre sus beneficios destacan: bajo precio, flexible, duradero, de poco peso y fácil transporte. Además, es fácil encontrar tuberías a diámetros nominales de este material.

Dentro del diámetro de tubería existen diferentes clases definidas por las máximas presiones que ocurren en la línea de conducción. Debido a que no tenemos los datos de la topografía este factor se tendrá que tener en cuenta al revisar los cálculos una vez en terreno.

²¹ (Agüero, 1997)

11. SISTEMA DE CALIDAD DE AGUA

En este apartado se va a exponer el proceso de tratamiento del agua para el consumo de la comunidad según el informe de “Autocontrol en el suministro de servicio de agua. Manual básico de gestión de los riesgos para la salud” de la Diputació de Barcelona.

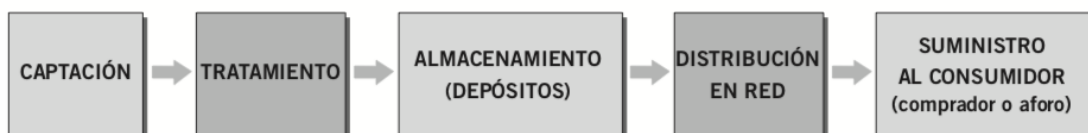


Ilustración 27: Diagrama de flujo. Fuente: (Calvet i Roca, Corbella Ferras, & Garcia Cruz, 2008)

La desinfección es una etapa del proceso de tratamiento el agua de consumo humano necesaria e indispensable para la protección de la salud del consumidor.

Un buen desinfectante ha de funcionar bien: ser efectivo en su acción.

- Debe eliminar bacterias, virus y parásitos.
- Su acción debe mantenerse durante un período largo de tiempo.
- Su acción no debe provocar la aparición de productos perjudiciales.

En este proyecto, el sistema de tratamiento de agua cruda se realizará por cloración de forma manual para abaratar costes. Un usuario tendrá que añadir la cantidad de hipoclorito sódico calculada a continuación todos los días para el consumo seguro en el hogar.

La cantidad de hipoclorito que debe añadirse a un depósito para desinfectarlo viene dada por la siguiente fórmula:

$$d = (V \times C) / S) \times 1000$$

d = Dosis o volumen a añadir (ml)

V = Volumen del depósito (m³)

C = Concentración de cloro final que se quiere conseguir (0,5 mg/l)

S = Concentración de hipoclorito sódico de la solución que se dispone (g/l)

La solución de hipoclorito más accesible es la legía, que contiene unas concentraciones de cloro activo entre 35 y 100 g / l.

Suponiendo que nuestra solución contenga una concentración de 35 g/l, la dosis que se tendría que añadir al depósito se calcula como:

$$\text{Dosis} = (8 \times 0,5) / 35) \times 1000 = \mathbf{114,3 \text{ ml}}$$

En último lugar, debe medirse la concentración de cloro libre una hora después de la mezcla que debe encontrarse entre los valores de 0,5 mg/ l y 1 mg/l.

CAPÍTULO III: ESTUDIO ECONÓMICO

INDICE DEL ESTUDIO ECONÓMICO

12. RENTABILIDAD	67
12.1. Criterio social	67
12.2. Criterio económico.....	67
12.3. Criterio energético	68
13. FIABILIDAD	68

En el presente proyecto de ingeniería solidaria no se pretende obtener ningún beneficio económico; por ello, este capítulo se va a realizar desde una perspectiva ilustrativa.

12. RENTABILIDAD

Como ya se ha mencionado anteriormente, todas las decisiones del proyecto se han tomado bajo las variables de: sencillez, sostenibilidad y durabilidad. Ante todo, se han optimizado recursos y priorizado costes mínimos.

La rentabilidad del proyecto se puede analizar desde diferentes criterios: social, económico y energético.

12.1. Criterio social

Dado que este proyecto es de carácter benéfico, desde el punto de vista del beneficiario, el rendimiento es favorable. La inversión inicial es nula y el impacto es sustancial.

El objetivo fundamental de este proyecto es la mejora de calidad de vida de los habitantes de Njenge previéndoles de un sistema de abastecimiento de agua potable. El fin último es solucionar el problema de acceso a agua de la comunidad, logrando este objetivo el proyecto sería socialmente rentable.

12.2. Criterio económico

La inversión inicial de los proyectos de Child Future Africa se realiza mediante financiación social. Cada año los alumnos que realizan el TFG con la ONG llevan a cabo diversas actividades desde la iniciativa “Project Zimbabwe” con el objetivo de recaudar esta financiación.

Este proyecto al realizarse en el verano de 2020 se financiará durante el curso 19-20. Algunos ejemplos llevados a cabo por los alumnos de este año 2019 han sido: la venta de camisetas y pulseras, organización de eventos benéficos y mercadillos benéficos. Para promover los eventos se han utilizado las redes sociales (Facebook, Instagram y Whatsapp) para llegar a un mayor número de gente.

Otras formas de financiación pueden obtenerse a través de crow funding.



Ilustración 28: Carteles promocionales de eventos benéficos organizados por Project Zimbabwe

12.3. Criterio energético

La rentabilidad del sistema se puede observar desde las tecnologías empleadas en la solución.

- Sistema de captación: La instalación de bombeo está alimentada por energía renovable, un sistema de placas fotovoltaicas.
- Sistema de distribución: El sistema de distribución por gravedad aprovecha la energía estática de la diferencia de cotas del deposito a la comunidad lo que evita el uso de bombas.

13. FIABILIDAD

Este apartado analiza la seguridad del sistema a largo plazo durante su vida útil.

El proyecto se realiza con el objetivo de que perdure en el tiempo, al considerar la sostenibilidad de mismo se han tomado decisiones para que la comunidad disponga de los recursos y ayuda técnica necesarias en el caso de que surja una avería en el sistema.

Además, se han sobredimensionado medidas teniendo en cuenta el crecimiento de la población y posibles extensiones a largo plazo.

Por otro lado, en el apartado de mantenimiento de la memoria de este TFG se recogen los procesos preventivos a llevar a cabo para que el proyecto sea duradero.

Sin embargo, al ser este proyecto auto gestionado por la comunidad, el compromiso de esta con el sistema será el factor definitivo en que el proyecto resulte económicamente fiable.

CAPÍTULO IV: ANEXOS

CONTENIDO CAPÍTULO IV: ANEXOS

Anexo A: Ficha técnica de la bomba SQF 0.6-2

Anexo B: Ficha técnica de la bomba SQF 1.2-2

Anexo C: Ficha técnica placa fotovoltaica 200 W p

Anexo D: Prontuario de perfiles HEB laminados

Bibliografía

ANEXO A: FICHA TÉCNICA DE LA BOMBA SQF 0.6-2

		Empresa: Creado Por: Teléfono: Datos: 03/07/2019
Contar	Descripción	
1	SQF 0.6-2  Advertencia! la foto puede diferir del actual producto Código: 95027324 La bomba SQFlex 3" con rotor de hélice está indicada para alturas elevadas y caudales bajos. El sistema SQFlex es un sistema de suministro de agua fiable basado en fuentes de energía renovables, como energía solar y eólica. Gracias a su suministro flexible de energía y a su rendimiento, el sistema SQFlex se puede combinar y adaptar para satisfacer cualquier necesidad del lugar de instalación. El sistema SQFlex tiene una amplia gama de tensión, seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT), así como protección contra funcionamiento en seco, tensión y sobrecarga. Líquido: Líquido bombeado: Agua Temperatura máxima del líquido: 40 °C Temperatura del líquido durante el funcionamiento: 20 °C Densidad: 998.2 kg/m³ Técnico: Homologaciones en placa de características del motor: CE,RCM,EAC Homologaciones en placa de características de bomba: CE,EAC Materiales: Bomba: Acero inoxidable DIN W.-Nr. 1.4301 AISI 304 Impulsor: DIN W.-Nr. 1.4301 Instalación: Máxima presión ambiental: 15 bar Salida de bomba: 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 CA: 1 x 90-240 V Tensión nominal CC: 30-300 V Intensidad nominal: 8.4 A Factor de potencia: 1.0 Velocidad nominal: 3600 rpm Tipo de arranque: directo Grado de protección (IEC 34-5): IP68 Clase de aislamiento (IEC 85): F Longitud de cable: 2 m Motor N.º: 96275336 Udc: 300 V	

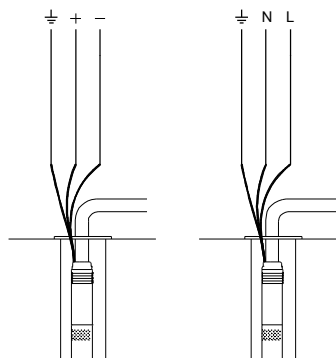
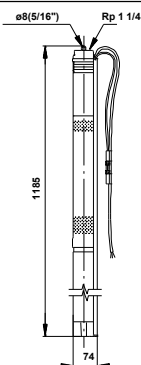
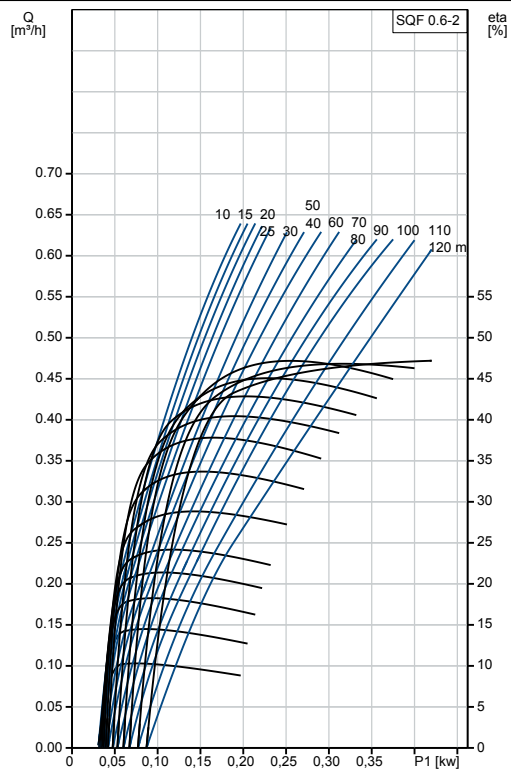


Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

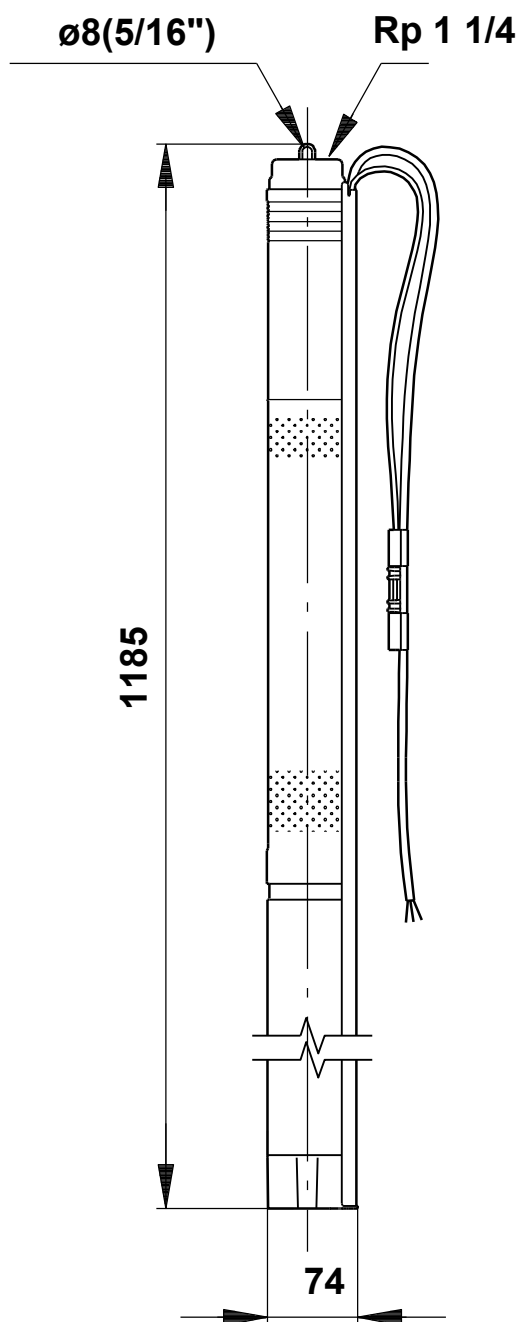
Datos: 03/07/2019

Contar	Descripción
	30 V
	Otros: Índice eficiencia mínima, MEI ≥: -- Peso neto: 7.6 kg Peso bruto: 9.4 kg Volumen de transporte: 0.024 m³ País de origen.: MX Tarifa personalizada n.º: 84137029

Descripción	Valor
Información general:	
Producto::	SQF 0.6-2
Código::	95027324
Número EAN::	5700834791574
Precio:	2.974,00 EUR
Técnico:	
Etapas:	2
Homologaciones en placa de características del motor:	CE,RCM,EAC
Homologaciones en placa de características de bomba:	CE,EAC
Bomba n.º:	95027405
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
Salida de bomba:	Rp 1 1/4
Diámetro mínimo de la perforación:	76 mm
Líquido:	
Líquido bombeado:	Agua
Temperatura máxima del líquido:	40 °C
Temperatura del líquido durante el funcionamiento:	20 °C
Densidad:	998.2 kg/m³
Datos eléctricos:	
Tipo de motor:	MSF3
Potencia de entrada - P1:	1.4 kW
Tensión nominal CA:	1 x 90-240 V
Tensión nominal CC:	30-300 V
Intensidad nominal:	8.4 A
Factor de potencia:	1.0
Velocidad nominal:	3600 rpm
Tipo de arranque:	directo
Grado de protección (IEC 34-5):	IP68
Clase de aislamiento (IEC 85):	F
Protec de motor:	Y
Protec. térmica:	interior
Longitud de cable:	2 m
Motor N.º:	96275336
Udc:	300 V
	30 V
Otros:	
Índice eficiencia mínima, MEI ≥:	---
Peso neto:	7.6 kg
Peso bruto:	9.4 kg
Volumen de transporte:	0.024 m³
Región de ventas:	Europe/South America/Japan

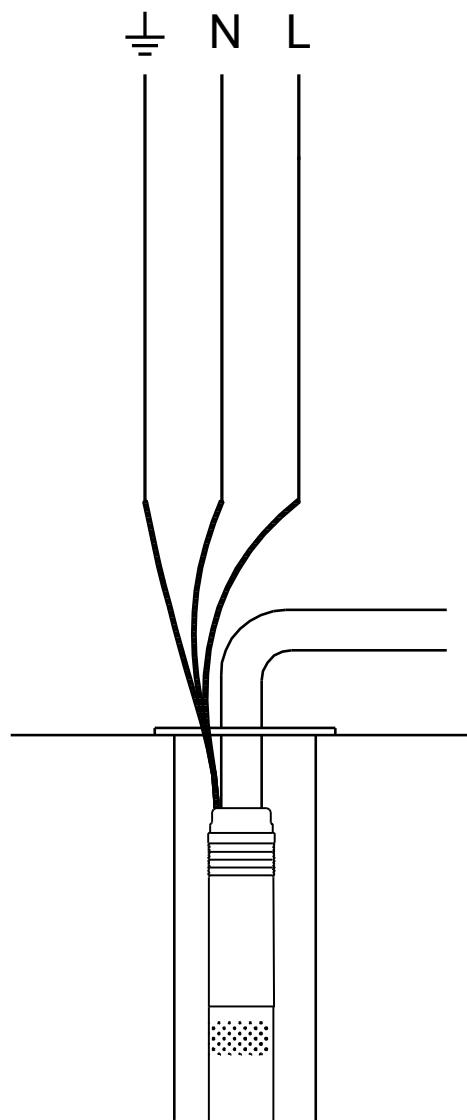
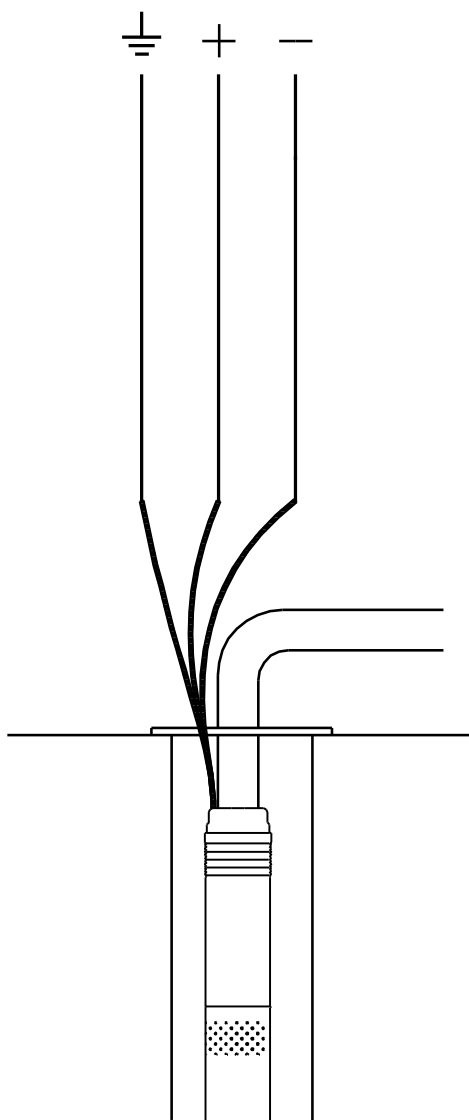


95027324 SQF 0.6-2 50 Hz



Nota: Todas las unidades están en [mm] a menos que se indiquen otras. Exención de responsabilidad: este esquema dimensional simplificado no muestra todos los detalles.

95027324 SQF 0.6-2 50 Hz



¡Nota! Uds en [mm] a menos que otras estén expresadas

ANEXO B: FICHA TÉCNICA DE LA BOMBA SQF 1-1.2



Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 03/07/2019

Contar	Descripción
1	SQF 1.2-2  Advierta! la foto puede diferir del actual producto Código: 95027328 La bomba SQFlex 3" con rotor de hélice está indicada para alturas elevadas y caudales bajos. El sistema SQFlex es un sistema de suministro de agua fiable basado en fuentes de energía renovables, como energía solar y eólica. Gracias a su suministro flexible de energía y a su rendimiento, el sistema SQFlex se puede combinar y adaptar para satisfacer cualquier necesidad del lugar de instalación. El sistema SQFlex tiene una amplia gama de tensión, seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT), así como protección contra funcionamiento en seco, tensión y sobrecarga. Líquido: Líquido bombeado: Agua Temperatura máxima del líquido: 40 °C Temperatura del líquido durante el funcionamiento: 20 °C Densidad: 998.2 kg/m³ Técnico: Homologaciones en placa de características del motor: CE,RCM,EAC Homologaciones en placa de características de bomba: CE,EAC Materiales: Bomba: Acero inoxidable DIN W.-Nr. 1.4301 AISI 304 Impulsor: DIN W.-Nr. 1.4301 Instalación: Máxima presión ambiental: 15 bar Salida de bomba: 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 CA: 1 x 90-240 V Tensión nominal CC: 30-300 V Intensidad nominal: 8.4 A Factor de potencia: 1.0 Velocidad nominal: 3600 rpm Tipo de arranque: directo Grado de protección (IEC 34-5): IP68 Clase de aislamiento (IEC 85): F Longitud de cable: 2 m Motor N.º: 96275336 Udc: 300 V

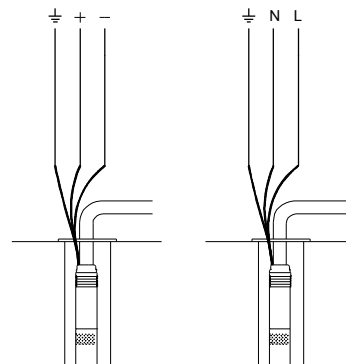
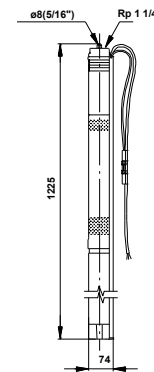
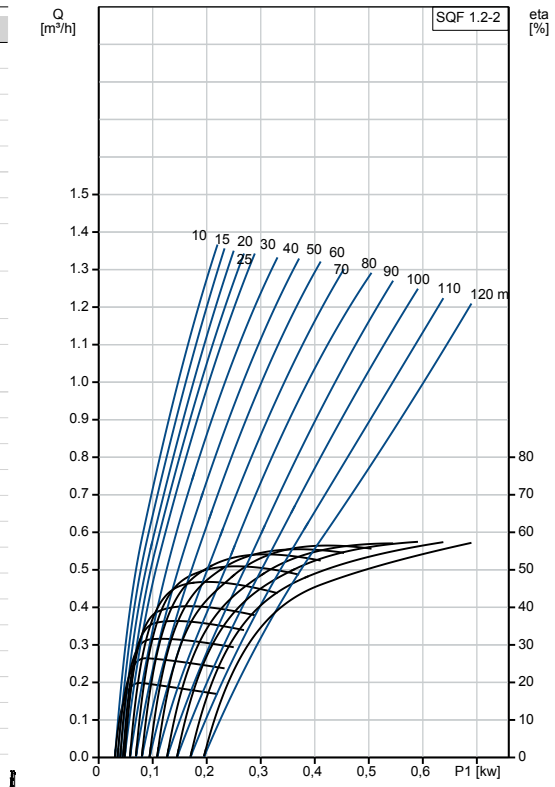


Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

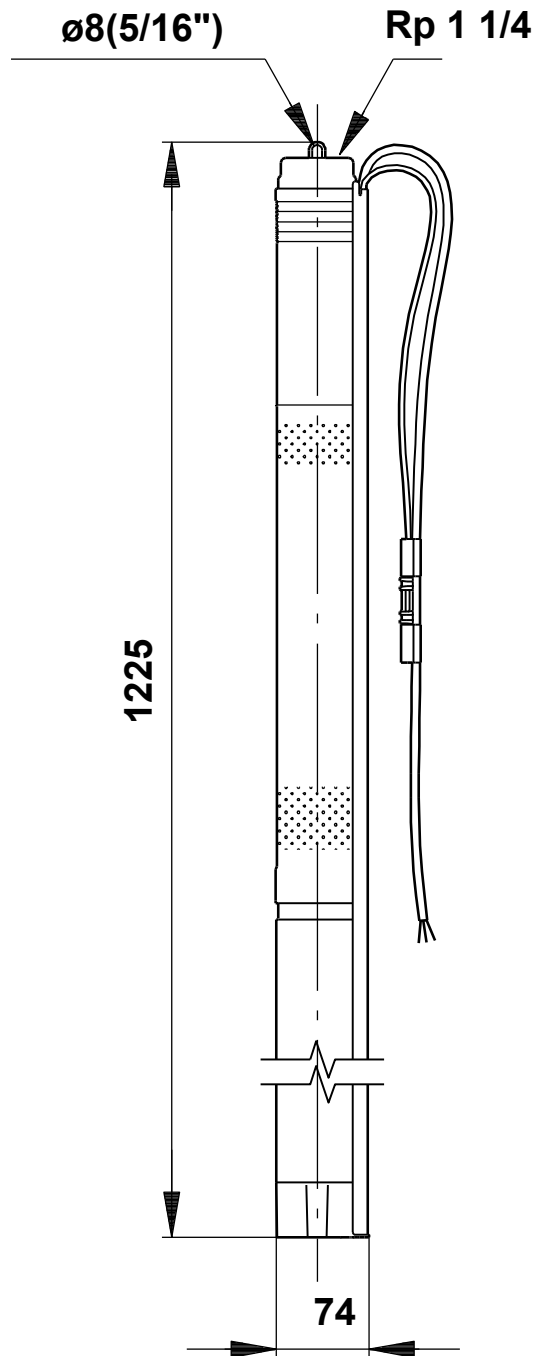
Datos: 03/07/2019

Contar	Descripción
	30 V
	Otros: Índice eficiencia mínima, MEI ≥: --- Peso neto: 9.49 kg Peso bruto: 10.6 kg Volumen de transporte: 0.024 m³ País de origen.: MX Tarifa personalizada n.º: 84137029

Descripción	Valor
Información general:	
Producto::	SQF 1.2-2
Código::	95027328
Número EAN::	5700834791727
Precio:	2.974,00 EUR
Técnico:	
Etapas:	2
Homologaciones en placa de características del motor:	CE,RCM,EAC
Homologaciones en placa de características de bomba:	CE,EAC
Bomba n.º:	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
Salida de bomba:	Rp 1 1/4
Diámetro mínimo de la perforación:	76 mm
Líquido:	
Líquido bombeado:	Agua
Temperatura máxima del líquido:	40 °C
Temperatura del líquido durante el funcionamiento:	20 °C
Densidad:	998.2 kg/m³
Datos eléctricos:	
Tipo de motor:	MSF3
Potencia de entrada - P1:	1.4 kW
Tensión nominal CA:	1 x 90-240 V
Tensión nominal CC:	30-300 V
Intensidad nominal:	8.4 A
Factor de potencia:	1.0
Velocidad nominal:	3600 rpm
Tipo de arranque:	directo
Grado de protección (IEC 34-5):	IP68
Clase de aislamiento (IEC 85):	F
Protec de motor:	Y
Protec. térmica:	interior
Longitud de cable:	2 m
Motor N.º:	96275336
Udc:	300 V
	30 V
Otros:	
Índice eficiencia mínima, MEI ≥:	---
Peso neto:	9.49 kg
Peso bruto:	10.6 kg
Volumen de transporte:	0.024 m³
Región de ventas:	Europe/South America/Japan

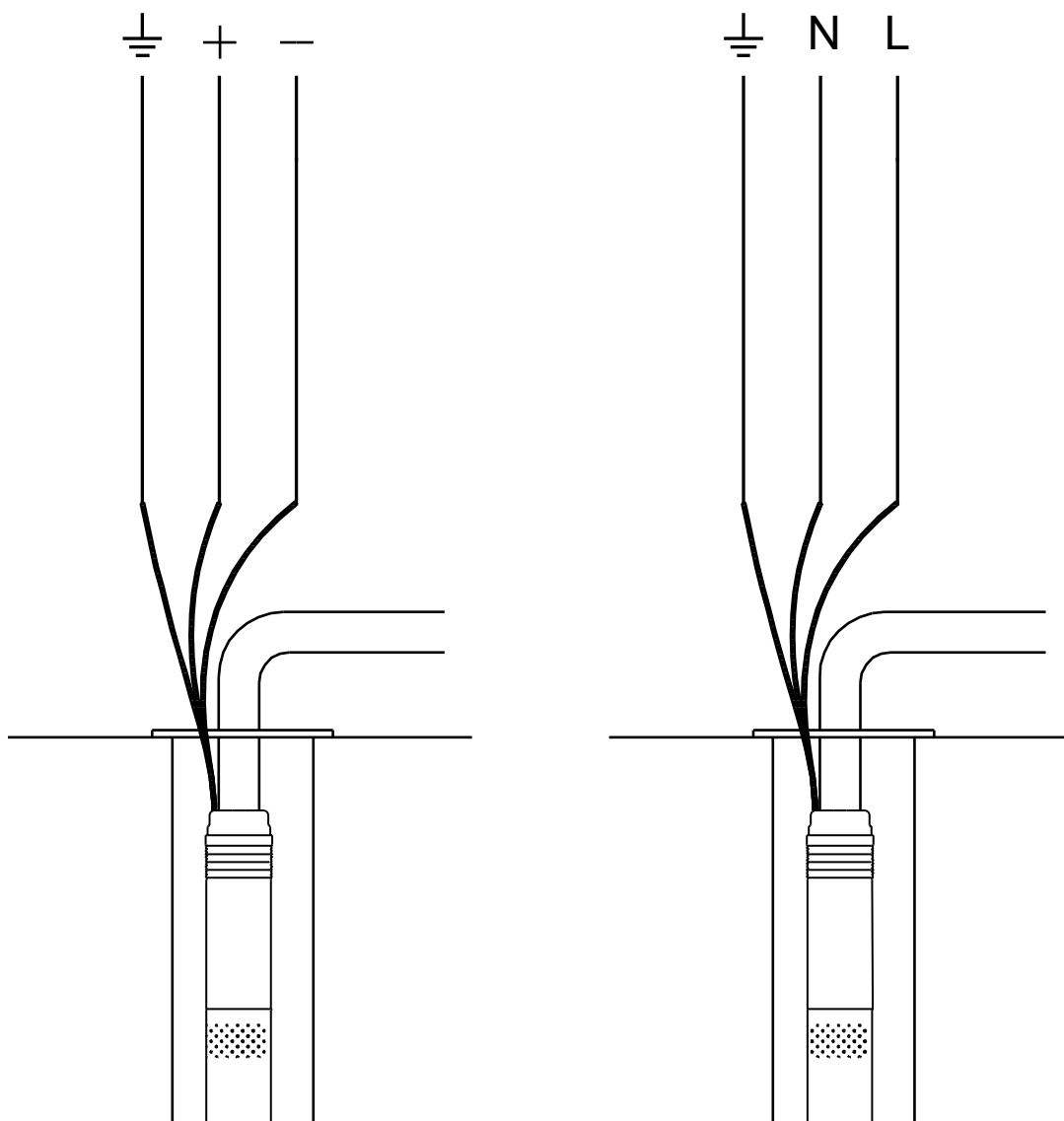


95027328 SQF 1.2-2 50 Hz



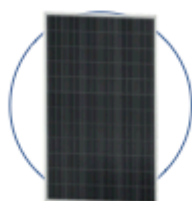
Nota: Todas las unidades están en [mm] a menos que se indiquen otras. Exención de responsabilidad: este esquema dimensional simplificado no muestra todos los detalles.

95027328 SQF 1.2-2 50 Hz



¡Nota! Uds en [mm] a menos que otras estén expresadas

ANEXO C: FICHA TÉCNICA PLACA FOTOVOLTAICA 200 W P



Módulo fotovoltaico SCLP4 200W - 72 Cells

La gama de módulos SCL cubre todas las necesidades de potencias demandadas en el mercado, de 5 a 300W. Gracias a su tecnología de fabricación los módulos SCL ofrecen eficiencias de conversión de hasta el 15.6%.

Proceso de fabricación bajo la norma ISO 9001 cumplen los estándares de calidad y disponen de certificados IEC, TUV, ETL, MCS, CE. Estos hechos atribuyen calidad, seguridad y fiabilidad a nuestros módulos ofreciendo una garantía de producto de 12 años y una garantía de potencia hasta 25 años.



Amplia gama



**Excelente relación
calidad-precio**

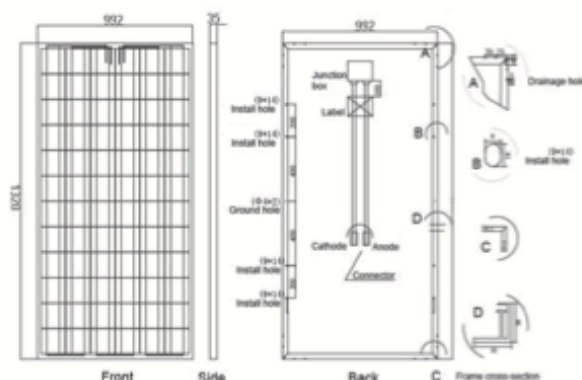


Tolerancia 0+3%

Aplicaciones

- ① Conexión a red en tejados residenciales
- ② Conexión a red en tejados comerciales/industriales
- ① Estaciones de energía solar
- ② Otras aplicaciones de red

Visualización



Características técnicas

Medida	SCL-200P4 - 72 Cells
Potencia máxima (Pmax) [w]	200
Voltaje a potencia máxima (Vmp) [V]	36.80
Intensidad a potencia máxima (Imp) [A]	5.44
Voltaje en circuito abierto (Voc) [V]	44.16
Intensidad de cortocircuito (Isc) [A]	6.00
Tolerancia de potencia [W]	0/3%

Módulos

Características mecánicas

Medida	SCL-200P4 - 72 Cells
Celulas	72=6x12 policristalinas
Conectores	MC4 Compatible
Caja conexión	TÜV Certificado
Cableado	Longitud 1000mm
Dimensión	1320x992x35 mm
Peso	16.40 kg
Carga máxima	Carga de viento: 2400 Pa /Carga peso: 5400 Pa

Características de temperatura

Medida	SCL-200P4 - 72 Cells
NOCT**	47+/- 2°C
Coeficiente de temperatura Pmax	-0.47% / °C
Coeficiente de temperatura Voc	-0.38% / °C
Coeficiente de temperatura Isc	+0.04% / °C
Coeficiente de temperatura Vm	-0.38% / °C
Temperatura de trabajo	-40/+85°C

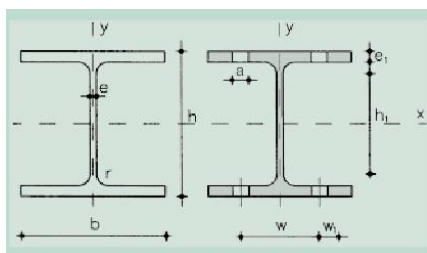
Embalaje

Tipo	SCL-200P4 - 72 Cells
Palet	26 uds.
Contenedor	840 uds./ 40ft.

Certificaciones



ANEXO D: 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

$W_x = 2I_x / h$: h . Módulo resistente de la sección, respecto a X

$i_x = \sqrt{I_x / A}$: A . Radio de giro de la sección, respecto a X

I_y = Momento de inercia de la sección, respecto a Y

$W_y = 2I_y / b$: b . Módulo resistente de la sección, respecto a Y

$i_y = \sqrt{I_y / A}$: A . Radio de giro de la sección, respecto a Y

I_t = Módulo de torsión de la sección

I_s = 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

p = Peso por m

Perfil	Dimensiones							Términos de sección										Agujeros			Peso	
	h mm	b mm	e mm	e_1 mm	r_1 mm	h_1 mm	u mm	A cm ²	S_x cm ³	I_x cm ⁴	W_x cm ³	i_x cm	I_y cm ⁴	W_y cm ³	i_y cm	I_t cm ⁴	I_s cm ⁴	w mm	w_1 mm	a mm	p kp/m	
HEB 100	100	100	6,0	10,0	12	56	567	26,0	52,1	450	90	4,16	167	33	2,53	9,34	3.375	55	—	13	20,4	P
HEB 120	120	120	6,5	11,0	12	74	686	34,0	82,6	864	144	5,04	318	53	3,06	14,90	9.410	65	—	17	26,7	P
HEB 140	140	140	7,0	12,0	12	92	805	43,0	123,0	1.509	216	5,93	550	79	3,58	22,50	22.480	75	—	21	33,7	P
HEB 160	160	160	8,0	13,0	15	104	918	54,3	177,0	2.492	311	6,78	889	111	4,05	33,20	47.940	85	—	23	42,6	P
HEB 180	180	180	8,5	14,0	15	122	1.040	65,3	241,0	3.831	426	7,66	1.363	151	4,57	46,50	93.750	100	—	25	51,2	P
HEB 200	200	200	9,0	15,0	18	134	1.150	78,1	321,0	5.696	570	8,54	2.003	200	5,07	63,40	171.100	110	—	25	61,3	P
HEB 220	220	220	9,5	16,0	18	152	1.270	91,0	414,0	8.091	736	9,43	2.843	258	5,59	84,40	295.400	120	—	25	71,5	P
HEB 240	240	240	10,0	17,0	21	164	1.380	106,0	527,0	11.259	938	10,30	3.923	327	6,08	110,00	486.900	90	35	25	83,2	P
HEB 260	260	260	10,0	17,5	24	177	1.500	118,4	641,0	14.919	1.150	11,20	5.135	395	6,58	130,00	753.700	100	40	25	93,0	P
HEB 280	280	280	10,5	18,0	24	196	1.620	131,4	767,0	19.270	1.380	12,10	6.595	471	7,09	153,00	1.130.000	110	45	25	103,0	P
HEB 300	300	300	11,0	19,0	27	208	1.730	149,1	934,0	25.166	1.680	13,00	8.563	571	7,58	192,00	1.688.000	120	50	25	117,0	P
HEB 320	320	300	11,5	20,5	27	225	1.770	161,3	1.070,0	30.823	1.930	13,80	9.239	616	7,57	241,00	2.069.000	120	50	25	127,0	P
HEB 340	340	300	12,0	21,5	27	243	1.810	170,9	1.200,0	36.656	2.160	14,60	9.690	646	7,53	278,00	2.454.000	120	50	25	134,0	P
HEB 360	300	300	12,5	22,5	27	261	1.850	180,6	1.340,0	43.193	2.400	15,50	10.140	676	7,49	320,00	2.883.000	120	50	25	142,0	P
HEB 400	400	300	13,5	24,0	27	298	1.930	197,8	1.620,0	57.680	2.880	17,10	10.819	721	7,40	394,00	3.817.000	120	50	25	155,0	P
HEB 450	450	300	14,0	26,0	27	344	2.030	218,0	1.990,0	79.887	3.550	19,10	11.721	781	7,33	500,00	5.258.000	120	50	25	171,0	P
HEB 500	500	300	14,5	28,0	27	390	2.120	238,6	2.410,0	107.176	4.290	21,20	12.624	842	7,27	625,00	7.018.000	120	45	28	187,0	C
HEB 550	550	300	15,0	29,0	27	438	2.220	254,1	2.800,0	136.691	4.970	23,20	13.077	872	7,17	701,00	8.856.000	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)

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

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

BIBLIOGRAFIA

- Agüero, R. (1997). *Agua potable para poblaciones rurales. Sistemas de abastecimiento por gravedad sin tratamiento*. Asociación Servicios Educativos Rurales (SER), Lima (Perú).
- barras, T. 5. (s.f.). *caminos.udc.es*. Obtenido de Universidade da Coruña:
http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado_itop/411/contenido_publico/recursos/tema05.pdf
- BOMBAS, D. D. (s.f.). *UGR*. Obtenido de
<https://www.ugr.es/~aulavirtualpfciq/descargas/documentos/BOMBAS%20Y%20TUBERIAS.pdf>
- Calvet i Roca, M., Corbella Ferras, E., & Garcia Cruz, A. (Julio de 2008). *Autocontrol en el suministro de servicio de agua. Manual básico de gestion de los riesgos para la salud*. Barcelona.
- Campos, F. d. (2017). *El bombeo solar fotovoltaico en países en desarrollo hacia una euforia racional*.
- Central Intelligence Agency. (s.f.). Obtenido de The World Factbook:
<https://www.cia.gov/-library/publications/the-world-factbook/geos/zi.html>
- Domestic Water Quantity, S. L. (2003). *World Health Organization*. Obtenido de
https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/WSH03.02.pdf?ua=1
- EcuRed. (s.f.). Obtenido de <https://www.ecured.cu/Zimbabwe>
- Electric, S. (2019). *La fiabilidad economica no es opcional para la energía solar*. Obtenido de Schneider Electric:
<https://www.se.com/es/es/work/insights/bankability-is-not-optional-for-solar.jsp>
- Grundfos. (2019). Obtenido de Grundfos:
<https://productselection.grundfos.com/catalogue.product%20families.sqflex.html?custid=BGE&familycode=SQFFAM&lang=ESP&time=1562053852957>
- IES, I. o. (2014). *Zimbabwe's National Climate Change Response Strategy*. Obtenido de
<https://www.google.com/search?client=safari&rls=en&q=Zimbabwe%27s+National+Climate+Change+Response+Strategy&ie=UTF-8&oe=UTF-8>
- International, A. (2011). *Gravity-Fed Water Supply System. Luang Prabang Province*.
- Life Rural Supplies. (2019). Obtenido de Construcción y mantenimiento del pozo:
<https://ruralsupplies.eu/4-informacion-al-usuario/abastecimiento-autonomo/11-construccion-y-mantenimiento-del-pozo/>
- Marín Alcala, B. (2018). *Sistema de regadio sostenible para una pequeña plantación en Zimbabwe*. Madrid.
- Núñez Marcos, C. (2018). *Sistema de distribución de agua para un colegio de primaria en Zimbabwe*. Madrid.
- Organización Panamericana de la Salud. (2004). *OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA LÍNEAS DE CONDUCCIÓN E IMPULSIÓN DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA RURAL*. Lima. Obtenido de
<http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/agua/e104-04O&Mimpuls.pdf>
- Renovables, C. (2016). *Bombeo solar en pozos ¿cómo elegir la bomba que necesito?* Obtenido de Click Renovables : <https://clickrenovables.com/blog/bombeo-solar-en-pozos-como-elegir-la-bomba-que-necesito/>

- Solar, B. d. (s.f.). Obtenido de CEDECAP:
http://cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/83bib_arch.pdf
- Soty Solar. (2019). *Soty Solar*. Obtenido de Guía para el mantenimiento de las placas solares y garantías: <https://sotysolar.es/placas-solares/mantenimiento-garantias>
- UNICEF. (2016). *Scaling Up Social Powered Water Supply Systems: a review of experiences*. Obtenido de https://www.unicef.org/wash/files/UNICEF_Solar_Powered_Water_System_Assessment.pdf
- UNICEF. (2019). *Africa meridional - Países en crisis*. Obtenido de unicef: https://www.unicef.org/spanish/emergencies/southernafrica/index_zimbabwe.html
- Zimbabue, P. e. (2019). *UNICEF*. Obtenido de https://www.unicef.org/spanish/emergencies/southernafrica/index_zimbabwe.html

DOCUMENTO II: PRESUPUESTO

CAPÍTULO I: PRESUPUESTO GENERAL

INDICE DEL PRESUPUESTO GENERAL

<i>14. JUSTIFICACIÓN DEL PRESUPUESTO</i>	<i>97</i>
<i>15. PRESUPUESTO GENERAL</i>	<i>98</i>

14. JUSTIFICACIÓN DEL PRESUPUESTO

En este documento se realiza una estimación de los costes totales del proyecto. Para su elaboración se ha trabajado bajo los siguientes supuestos:

- Los datos presentados de costes de instalación se han obtenido de la directora del proyecto Miren Telleria Ajuriaguerra basados en la experiencia de implementación de proyectos de años anteriores en la misma zona y con los mismos proveedores.
- Los costes de los equipos son similares a los españoles. Al ser difícil ponerse en contacto con los proveedores de Harare se han tomado los precios del mercado español en la elaboración del presupuesto de los elementos de las tuberías y el depósito.
- Se ha valorado la compra de una bomba más económica pero de las mismas condiciones que las presentadas en este TFG, con el objetivo de abaratar los costes.
- La construcción del pozo se ha valorado por el coste de hacer el agujero.
- El coste del transporte al terreno se incluye en el coste de la instalación de los siguientes elementos: instalación de bombeo e instalación de tuberías.
- Los costes de instalación se han inflado para contar con un margen de actuación. Los habitantes de Njenge y voluntarios participaran en la construcción del sistema y por tanto obtendremos una mano de obra gratuita.

15. PRESUPUESTO GENERAL

En la siguiente tabla se recogen los costes de los equipos y la instalación:

Tabla 14: Presupuesto general. Fuente: Propia.

	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
INSTALACIÓN DE BOMBEO	Panel Fotovoltaico (200 W)	Atersa 200 W 24 V	119,75	€	1	119,75
	Bomba sumergible 24V CC	Shurflo 9300 24 V CC	525,62	€	1	525,62
	Control de bombeo	Atersa 24 V PM5	151,54	€	1	151,54
ESTRUC.	Tanque	H-server poliester 8000 lt	560,9	€	1	560,9
	Estructura		100	€	1	100
	Cementación	Cemento	10	€	5	50
		Arena	1	€	10	10
		Piedras	1	€	10	10
L. D.	Tuberías	Tubo de 25 mm y 2,5 m para 3 km	1,65	€/2,5m	1200	1980
	Otros elementos	Codo 90º y 25 mm	0,5	€	2	1
MANO DE OBRA	Construcción pozo	Se contratara a un agente externo	4000	€	1	4000
	Instalación bomba e instalación fotovoltaica	Se precisara ayuda técnica	2000	€	1	2000
	Instalación del tanque y la estructura	Voluntarios	0	€	1	0
	Cementación de la estructura	Se precisara ayuda técnica	60	€	1	60
	Instalación red de tuberías	Se precisara ayuda técnica	1500	€	1	1500
TOTAL DEL PRESUPUESTO ESTIMADO (€)			11068,81			