



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

**Diseño e implantación de Sistema de distribución de
agua para comunidad rural de Zimbabwe**

Autor: Jorge Urrecho Díaz

Director: Miren Tellería Ajuriaguerra

Madrid

Junio 2020

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Diseño e implantación de sistema de distribución de agua para comunidad rural de
Zimbabue

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2019/20 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

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



Fdo.: Jorge Urrecho Díaz

Fecha: 08/07/2020

Autorizada la entrega del proyecto
EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Miren Tellería Ajuriaguerra

Fecha: 08/07/2020

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

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

El autor D. Jorge Urrecho Díaz

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: **“Diseño e implantación de sistema de distribución de agua para comunidad rural de Zimbabwe”**, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

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

3º. Condiciones de la cesión y acceso

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

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

4º. Derechos del autor.

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

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

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

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

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

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

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

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

Madrid, a 8 de Julio de 2020

ACEPTA

Fdo. Jorge Urrecho Díaz



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



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

**Diseño e implantación de Sistema de distribución de
agua para comunidad rural de Zimbabwe**

Autor: Jorge Urrecho Díaz

Director: Miren Tellería Ajuriaguerra

Madrid

Junio 2020

Agradecimientos

A mi familia por su gran apoyo durante estos cuatro años.

Diseño e implantación de sistema de distribución de agua para comunidad rural de Zimbabue

Autor: Urrecho Díaz, Jorge.

Director: Tellería Ajuriaguerra, Miren.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

El presente trabajo de fin de grado se plantea, en representación de la Fundación Ingenieros ICAI que trabaja desde hace tres años con la ONG *Child Future Africa*, con el objetivo de desarrollar distintos proyectos de infraestructuras en Kazai, una comunidad rural cercana a Mount Darwin al noroeste de Zimbabue.

En concreto, el proyecto consiste en la captación de agua desde un pozo ya existente, su distribución hasta el sistema de almacenamiento elegido y posteriormente desde este punto, hasta las casas u otras ubicaciones. Con este trabajo, se busca ofrecer una solución a la escasez de agua durante largos períodos de tiempo a lo largo del año con la que convive la población de Kazai, abasteciendo a la comunidad en la que viven familias que no disponen de agua potable. Consiste, por tanto, en un trabajo plenamente solidario, cuyo fin no es únicamente la ayuda humanitaria si no también la formación de las personas que pertenecen a la comunidad para que puedan hacerse cargo del mantenimiento futuro de las instalaciones e incluso tener la capacidad de repetir este proyecto más adelante si las condiciones se lo permitieran.

Se busca realizar un trabajo que tenga valor y que sea provechoso. Se trata, por tanto, de un proyecto que no se queda únicamente en el papel, puesto que a parte del diseño de la solución también se llevarán a cabo otras labores importantes, se deberá obtener la financiación necesaria para poder implementarlo, a través de recaudación de fondos y donaciones y, por último, se viajará a Zimbabue para dirigir y ayudar en la construcción del sistema.

Con el objetivo de cumplir todos los requisitos anteriormente mencionados, se deberá realizar un proyecto sencillo, simple, sostenible y duradero. Es decir, se deberá diseñar un sistema de fácil construcción, para poder contar con la ayuda de la comunidad y se deberán emplear tanto la maquinaria como los materiales disponibles en la región.

A continuación, se exponen los pasos que se han seguido para el diseño del sistema.

En primer lugar, se realiza un análisis en profundidad de la situación de Zimbabue, se estudian las condiciones políticas y económicas ya que resulta esencial para el correcto desarrollo del proyecto conocer y comprender las circunstancias en las se trabajará. De igual manera se hace un análisis exhaustivo de las condiciones climáticas, puesto que resultan de vital importancia por las peculiaridades del proyecto, ya que se busca proporcionar una solución económica y energéticamente viable para suministrar agua potable a la comunidad beneficiaria. Por lo tanto, resulta fundamental que la meteorología en el lugar de implantación sea favorable a la solución que se plantee. También, se estudian casos reales de sistemas de distribución de agua en países con condiciones semejantes a Zimbabue y que cumplan la mayor parte de las características de este proyecto.

Para realizar un correcto dimensionamiento de los elementos del sistema se realiza un estudio de las necesidades de consumo de la población y se concluye que un nivel de agua de aproximadamente 20 litros por persona y día serían suficientes para atender todas las necesidades básicas de la comunidad beneficiaria. Dicha cantidad permitiría cubrir las necesidades básicas de consumo, tanto para la bebida como limpieza y preparación de los alimentos, e higiene básica.

Una vez se han definido todas las especificaciones y limitaciones del proyecto se concluye que la solución más favorable y por lo tanto la que se ha escogido para el trabajo consiste en un sistema de bombeo solar y, por lo tanto, aislado de la red eléctrica. Ya que resulta muy difícil y costoso la instalación de un sistema de bombeo continuado se decidió la distribución del agua almacenada a la comunidad beneficiaria por gravedad. Es decir, el agua del pozo será elevada a un depósito en altura a través de una bomba hidráulica alimentada mediante una estación solar fotovoltaica, para su posterior distribución a las 5 aldeas por gravedad, es decir, sin la necesidad de una segunda bomba

El almacenamiento del agua en depósitos en altura proporciona energía potencial, de esta forma, se consigue presurizar la etapa de salida y que el agua llegue a los puntos de abastecimiento con la presión y velocidad adecuadas. Este tipo de distribución resulta muy favorable ya que garantiza el suministro de agua aun cuando se produzcan cortes en la red eléctrica, problema muy común en Zimbabue. La principal ventaja consiste en que, una vez

superada la inversión inicial, el sistema no supone ningún coste, salvo los de mantenimiento. Se trata de un sistema simple y eficiente ya que no requiere el uso e instalación de bombas hidráulicas, baterías, inversores o reguladores de carga. Tras realizar los cálculos necesarios se obtiene que entre el depósito y el punto de abastecimiento más alejado debe existir un desnivel de 10 metros. Para ello se deberá realizar un estudio del terreno y si no existiera la posibilidad de disponer de esta altura de forma natural será necesaria la compra de una estructura que permita su elevación.

El depósito deberá tener un volumen mínimo de 10000 litros cantidad suficiente para abastecer a la población y poder suministrar agua en caso de que la bomba dejase de funcionar. El depósito cubre las necesidades de consumo de la población. Por lo tanto, con dicha cantidad se podrá almacenar agua durante los meses húmedos y tener suficiente disponibilidad para la etapa seca. El depósito de almacenamiento debe situarse en zonas con sombra o bien bajo tierra con el objetivo de prevenir el crecimiento de patógenos, debido a las altas temperaturas. La intensa radiación solar incidente puede dañar la superficie del depósito, por lo tanto, estas condiciones permiten una mejor conservación, lo que derivará en una mejora de la calidad del agua almacenada.

Por otro lado, el sistema de alimentación de la bomba se decidió que fuera solar principalmente por los siguientes motivos:

- Localización del pozo: ya que el pozo del que se obtendrá el agua potable para su posterior distribución se encuentra alejado de las aldeas, no se puede obtener energía directamente de la red eléctrica.
- Inestabilidad de la red eléctrica: las zonas rurales de Zimbabue sufren numerosos cortes de red y por lo tanto solo disponen de electricidad a determinadas horas del día. Por otro lado, el coste de la electricidad es muy alto y la tensión suministrada por la red muy baja.
- Sostenibilidad: se trata de energía inagotable y limpia, lo que contribuye al desarrollo sostenible. Se evita el uso de carburantes lo que resultaría muy costoso

y contaminante. La energía solar permite la disminución de las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera.

- Elevada irradiación solar: Zimbabue es uno de los países del mundo con mayor irradiación solar ya que posee una media de aproximadamente 250 horas de sol al mes.

Se concluye que el bombeo solar constituye la mejor solución debido al ahorro energético y en mantenimiento, a su alta eficiencia y la capacidad de monitorización y automatización

La bomba elegida para el sistema se trata de una bomba hidráulica sumergible. Este tipo de bomba es la única capaz de elevar el agua de pozos de gran profundidad (hasta 300 metros), evita los problemas de cavitación, posee una alta eficiencia y es compatible con los paneles solares ya que debe ser alimentada a través de energía eléctrica.

En cuanto al modelo de la bomba hidráulica, se deberá elegir una bomba capaz de elevar un caudal mínimo de $0,96 \text{ m}^3/\text{hora}$, lo que corresponde con $5 \text{ m}^3/\text{día}$ a una altura de 110 metros según los cálculos realizados en el proyecto. Por lo tanto, se realiza un estudio de mercado a partir del dimensionamiento anterior y se concluye que la bomba que se debe emplear en el sistema debe ser una bomba SQF 1.2-3 o similar, de 1,4 KW de potencia nominal. Dicho tipo de bomba debe venir acompañada de 3 accesorios imprescindibles para su correcto funcionamiento y que consisten 2 módulos solar policristalinos en paralelo de tensión 31.6 V cada uno, una unidad combinada de control, estado y comunicación y, por último, un interruptor para cortar y permitir el paso de la corriente de alimentación de la bomba de 8,1 A.

Por el último, la parte restante de la instalación está constituida por una red de tuberías encargadas de la distribución del agua desde el pozo hasta el depósito de almacenamiento en altura y desde este hasta los puntos de abastecimiento situados en cada una de las cinco aldeas. La red de tuberías se ha diseñado de forma que se optimicen las pérdidas de carga. El material elegido para las tuberías se trata de PVC debido a su gran cantidad de ventajas: presentan excelentes propiedades físicas, un bajo peso específico por lo que se trata de un tubo ligero y fácil de manipular, pero no por ello débil, muestran una alta resistencia a la corrosión, a la presión y a la tensión, una baja rugosidad por lo que favorecen en movimiento

del flujo en su interior disminuyendo las pérdidas de carga y las aglomeraciones de partículas en las paredes, una larga vida útil y bajo coste.

Para la red de distribución se tuvo que elegir entre ramificada, mallada o mixta, siendo la red ramificada la ideal para el sistema debido su estructural lineal y alargada, en el que las longitudes de cada tramo pueden llegar hasta los 1000 metros y con la capacidad de dar servicio como máximo a 500 habitantes. Este tipo de redes presentan una forma arbórea en el que el líquido circula en un único sentido. Está formada por una tubería principal a partir de la cual van derivando otras tuberías secundarias que a la vez pueden derivar en tuberías terciarias.

Toda la red de tuberías será soterrada ya que disminuye la probabilidad de rotura puesto que se reduce su exposición a los rayos ultravioletas, paso de animales o a la contaminación; se disminuye el impacto en el ecosistema y como consecuencia se reduce el riesgo de accidentes; exigen un bajo mantenimiento y garantizan el funcionamiento del sistema sin interrupciones.

Con el objetivo de calificar el trabajo como exitoso, es necesario que los habitantes de la comunidad beneficiaria conozcan el funcionamiento de los equipos que intervienen en la instalación y, por lo tanto, se adjuntan especificaciones relativas al uso, el mantenimiento y conservación y los posibles fallos que pudieran existir en el sistema. Este mantenimiento es esencial para lograr un mayor rendimiento, eficacia y durabilidad del proyecto. Se plantean de igual manera posibles alternativas y ampliaciones del sistema y las cuales consisten en un sistema de potabilización del agua para mejorar su calidad y un sistema de captación del agua pluvial con el objetivo de aprovechar todos los recursos existentes.

Se adjunta un capítulo en el que se estudiará la viabilidad económica del sistema de abastecimiento de agua y con este objetivo se analizará la rentabilidad, la fiabilidad y el interés económico del proyecto.

Por último, se refleja el presupuesto final del proyecto, el cual asciende a una suma total de 7.866,95 €.

Design and implementation of a water distribution system for a rural community of Zimbabwe

Author: Urrecho Díaz, Jorge.

Supervisor: Tellería Ajuriaguerra, Miren

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas)

ABSTRACT

This final thesis is presented, on behalf of Fundación Ingenieros ICAI, which has been working for the past three years with the NGO Child Future Africa, with the aim of developing different infrastructure projects in Kazai, a rural community near Mount Darwin at Northwest Zimbabwe.

Specifically, the project consists of collecting water from an existing well, distributing it to the chosen storage system and then from this point, to the houses or other locations. With this work, the aim is to offer a solution to the water shortage for long periods of time throughout the year with which the population of Kazai coexists, supplying the community where families without drinking water live. It therefore consists of a fully supportive work, the purpose of which is not only humanitarian aid but also the training of people who belong to the community so that they can take charge of the future maintenance of the facilities and even have the ability to repeat this project later if the conditions allow it.

The aim is to carry out work that has value and is profitable. It is, therefore, a project that does not remain solely on paper, since apart from the design of the solution other important tasks will also be carried out, the necessary funding will have to be obtained in order to implement it, through fundraising and donations and, finally, travel to Zimbabwe to lead and help in the construction of the system.

In order to fulfill all the requirements mentioned above, a simple, sustainable and long-lasting project must be carried out. In other words, an easy-to-build system must be designed, in order to have the help of the community, and both the machinery and materials available in the region must be used.

Below all the steps that have been followed for the design of the system are shown.

Firstly, an in-depth analysis of the situation in Zimbabwe is carried out, the political and economic conditions are studied, since it is essential for the correct development of the project to know and understand the circumstances in which it will be worked. In the same way, an exhaustive analysis of the climatic conditions is made, since they are of vital importance due to the peculiarities of the project, since it seeks to provide an economically and energetically viable solution to supply drinking water to the beneficiary community. Therefore, it is essential that the meteorology in the place of implementation is favorable to the solution that is proposed. Also, real cases of water distribution systems in countries with similar conditions to Zimbabwe and that fulfill most of the characteristics of this project are studied.

In order to carry out a correct sizing of the elements of the system, a study of the consumption needs of the population is carried out and it is concluded that a water level of approximately 20 liters per person per day would be sufficient to meet all the basic needs of the beneficiary community. . This amount would make it possible to cover basic consumption needs, both for drinking, cleaning and food preparation, and basic hygiene.

Once all the specifications and limitations of the project have been defined, it is concluded that the most favorable solution and therefore the one that has been chosen for the work consists of a solar pumping system and, therefore, isolated from the electrical grid. Since the installation of a continuous pumping system is very difficult and expensive, it was decided to distribute the stored water to the beneficiary community by gravity. That is, the water from the well will be raised to a tank in height through a hydraulic pump fed by a solar photovoltaic station, for subsequent distribution to the 5 villages by gravity, that is, without the need for a second pump.

The storage of water in high altitude tanks provides potential energy, in this way, the output stage can be pressurized and that the water reaches the supply points with the appropriate pressure and speed. This type of distribution is very favorable since it guarantees the water supply even when there are power cuts, a very common problem in Zimbabwe. The main advantage is that, once the initial investment has been exceeded, the system does not involve any cost, except for maintenance. It is a simple and efficient system since it does not require the use and installation of hydraulic pumps, batteries, inverters or charge regulators. After making the necessary calculations, it is obtained that between the tank and the furthest supply

point there must be a difference in level of 10 meters. For this, a study of the terrain must be carried out and if there is no possibility of having this height naturally, the purchase of a structure that allows its elevation will be necessary.

The tank must have a minimum volume of 10,000 liters, which is sufficient to supply the population and to be able to provide water in case the pump stops working. The tank covers the consumption needs of the population. Therefore, with this amount, water can be stored during the wet months and have sufficient availability for the dry stage. The storage tank should be located in shaded areas or under the ground in order to prevent the growth of pathogens, due to high temperatures. The intense incident solar radiation can damage the surface of the tank; therefore, these conditions allow better conservation, which will lead to an improvement in the quality of the stored water.

On the other hand, the pump's power supply system was decided to be solar mainly for the following reasons:

- Location of the well: since the well from which drinking water will be obtained for its later distribution is located far from the villages, energy cannot be obtained directly from the electricity grid.
- Electricity instability: the rural areas of Zimbabwe suffer numerous power outages and therefore only have electricity at certain times of the day. On the other hand, the cost of electricity is very high, and the voltage supplied by the network is very low.
- Sustainability: it is inexhaustible and clean energy, which contributes to sustainable development. It avoids the use of fuel, which would be very expensive and polluting. Solar energy allows the reduction of carbon dioxide emissions to the atmosphere.
- High solar irradiation: Zimbabwe is one of the countries in the world with the highest solar irradiation since it has an average of approximately 250 hours of sunshine per month.

It is concluded that solar pumping constitutes the best solution due to the energy and maintenance savings, high efficiency and the monitoring and automation capacity.

The pump chosen for the system is a submersible hydraulic pump. This type of pump is the only one capable of raising water from deep wells (up to 300 meters), avoids cavitation problems, has high efficiency and is compatible with solar panels since it must be powered by electrical energy.

Regarding the model of the hydraulic pump, a pump capable of raising a minimum flow rate of $0.96 \text{ m}^3 / \text{hour}$ should be chosen, which corresponds to $5 \text{ m}^3 / \text{day}$ at a height of 110 meters according to the calculations made in the project. Therefore, a market study is carried out based on the above dimensioning and it is concluded that the pump to be used in the system must be an SQF 1.2-3 pump or similar, with 1.4 kW of nominal power. This type of pump must be accompanied by 3 essential accessories for its correct operation and which consist of 2, 31.6 V polycrystalline solar modules in parallel, a combined control, status and communication unit and, finally, a switch to cut off and allow passage of the pump supply current of 8.1 A.

Finally, the remaining part of the installation is made up of a network of pipes in charge of distributing water from the well to the high-altitude storage tank and from this to the supply points located in each of the five villages. The pipe network has been designed in such a way that the pressure losses are optimized. The material chosen for the pipes is PVC due to its large number of advantages: they have excellent physical properties, a low specific weight, making it a light and easy-to-handle tube, but not for this reason weak, they show a high resistance to corrosion, pressure and tension, low roughness, which favors the movement of the flow inside, reducing pressure drops and particle agglomerations on the walls, a long service life and low cost.

For the distribution network, it was necessary to choose between branched, meshed or mixed, with the branched network being the ideal one for the system due to its linear and elongated structure, in which the lengths of each section can reach up to 1000 meters and with the capacity to serve a maximum of 500 inhabitants. This type of network has a tree shape in which the liquid circulates in one direction only. It is made up of a main pipeline from which other secondary pipes are derived, which in turn can lead to tertiary pipes.

The entire network of pipelines will be buried as it decreases the probability of breakage since it reduces its exposure to ultraviolet rays, the passage of animals or contamination; the impact on the ecosystem is reduced and as a consequence the risk of accidents is reduced; They require low maintenance and ensures the operation of the system without interruptions.

In order to qualify the work as successful, it is necessary that the inhabitants of the beneficiary community know the operation of the equipment involved in the installation and, therefore, specifications regarding the use, maintenance and conservation and the possible faults that may exist in the system are attached. This maintenance is essential to achieve greater performance, efficiency and durability of the project. Possible alternatives and extensions of the system are also proposed, which consist of a water purification system to improve its quality and a rainwater harvesting system in order to take advantage of all existing resources.

A chapter is attached in which the economic viability of the water supply system will be studied and with this objective the profitability, reliability and economic interest of the project will be analyzed.

Finally, the final budget of the project is reflected, which amounts to a total sum of € 7,866.95.

Documento I

Memoria



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

Índice de tablas

Tabla	1	Datos políticos Zimbabwe.	Fuente:	
			https://www.lavanguardia.com/politica/20180727/451124562335/datos-basicos-y-evolucion-politica-de-zimbabue.html	14
Tabla 2		Datos económicos Zimbabwe.	Fuente: Banco Mundial	16
Tabla 3		Condiciones climáticas Zimbabwe.	Fuente: weather and climate	17
Tabla 4		Ventajas de tuberías de PVC.	Fuente: http://www.proindecsa.com/wp-content/uploads/2018/08/tuberia.pdf	38
Tabla 5		Parámetros a controlar en la potabilización.	Fuente: propia	58
Tabla 6		Cantidad de agua según nivel de servicio.	Fuente: OMS	66
Tabla 7:		Datos abastecimiento de agua para años 1990 y 2000.	Fuente: OMS	66
Tabla 8		Características del depósito.	Fuente: https://www.zbms.co.zw/shop/water-tanks-stands/10-000-litres/	72
Tabla 9		Ventajas de tuberías de PVC.	Fuente: http://www.proindecsa.com/wp-content/uploads/2018/08/tuberia.pdf	83
Tabla 10		Cuadro técnico tuberías de PVC.	Fuente: http://www.proindecsa.com/wp-content/uploads/2018/08/tuberia.pdf	85
Tabla 11		Cálculo del caudal de bombeo.	Fuente: propia	90
Tabla 12:		Cálculo área tuberías PVC.	Fuente: propia	91
Tabla 13		Cálculo velocidad en tuberías.	Fuente: propia	91
Tabla 14		Datos ecuación de Darcy-Weisbach.	Fuente: propia	94
Tabla 15		Datos ecuación Reynolds.	Fuente: propia	94
Tabla 16		Datos ecuación de coeficiente de fricción de Darcy.	Fuente: propia	95
Tabla	17	Rugosidad absoluta materiales.	Fuente:	
			https://previa.uclm.es/area/ing_rural/□□□Hidraulica/Temas/TablaRugosidadAbsolutaMateriales.pdf	96
Tabla 18		Datos ecuación pérdidas de carga primarias.	Fuente: propia	96
Tabla 19		Cálculo pérdidas de carga localizadas.	Fuente: propia	100
Tabla 20		Datos ecuación de Bernoulli.	Fuente: propia	100
Tabla 21		Caudales en los distintos tramos de la red de distribución.	Fuente: propia	103
Tabla 22		Cálculo área tuberías PVC.	Fuente: propia	103

Tabla 23 Velocidades de circulación del agua en el interior de la tubería. Fuente: propia	104
Tabla 24 Velocidades de circulación del agua en el interior de la tubería 2. Fuente: propia	104
Tabla 25 Datos ecuación de Darcy-Weisbach. Fuente: propia	109
Tabla 26 Coeficiente c. Fuente: recursos asignatura Mecánica de fluidos (ICAI)	110
Tabla 27 Cálculo pérdidas de carga primarias para la red de distribución. Fuente: propia	111
Tabla 28 Cálculo pérdidas de carga localizadas en la red de distribución. Fuente: propia	113
Tabla 29 Datos dimensionamiento bomba. Fuente: propia.....	116
Tabla 30 Datos bomba SQF 1.2-3. Fuente: Grundfos.....	117
Tabla 31 Datos sistema fotovoltaico. Fuente: Grundfos	118
Tabla 32 Datos CU 200. Fuente: Grundfos.....	119
Tabla 33 Datos IO 50. Fuente: Grundfos.	120
Tabla 34 Conclusiones cálculos 1º parte. Fuente: propia.....	121
Tabla 35 Conclusiones cálculos 2º parte. Fuente: propia.....	122

Índice de figuras

Ilustración 1 Ubicación región de Mount Darwin. Fuente: Google Maps	12
Ilustración 2 Esquema ciclos del proyecto de cooperación. Fuente: propia	20
Ilustración 3 Logo ONG Child Future Africa. Fuente: CFA	21
Ilustración 4 Logo Fundación Ingenieros ICAI. Fuente: ICAI	22
Ilustración 5 ODS. Fuente: ONU	24
Ilustración 6 Esquema distribución agua dulce. Fuente: recursos asignatura ingeniería medioambiental (ICAI)	27
Ilustración 7 Distribución agua subterránea por continente. Fuente: recursos asignatura ingeniería medioambiental (ICAI)	29
Ilustración 8 Suministro de agua en Chuscaj. Fuente: https://fundacioningenierosicai.org/nuestro-trabajo/trabajos-finalizados/suministro-de-agua-en-chuscaj-guatemala/	33
Ilustración 9 Instalación en hospital atupele. Fuente: Auara	34
Ilustración 10 Instalación "agua para los wampis" en Villa Gonzalo. Fuente: Fundación Ingenieros ICAI.....	35
Ilustración 11 Esquema de la solución elegida. Fuente: propia	36
Ilustración 12 Empuje axial y radial en bombas hidráulicas. Fuente: Recursos asignatura turbomáquinas (ICAI)	50
Ilustración 13 Sistema de captación del agua de la lluvia. Fuente: https://www.arrevol.com/blog/5-sistemas-metodos-para-reaprovechar-reutilizar-el-agua-de-lluvia	54
Ilustración 14 Esquema del movimiento de contaminantes por debajo de la superficie. Fuente: recursos asignatura ingeniería medioambiental	56
Ilustración 15 Esquema pretratamiento de potabilización en aguas de captación subterráneas. Fuentes: recursos asignatura ingeniería medioambiental (ICAI).....	57
Ilustración 16 Esquema planta potabilizadora. Fuente: propia	59
Ilustración 17 Esquema depósito de agua elevado. Fuente: https://aguaecosocial.com/mantenimiento-y-limpieza-de-tanques-elevados/	69
Ilustración 18 Depósito de almacenamiento. Fuente: https://www.zbms.co.zw/shop/water-tanks-stands/10-000-litres/	73
Ilustración 19 Esquema tipos de máquinas de fluido. Fuente: recursos asignatura Turbo máquinas (ICAI).....	74

Ilustración 20	Elementos constitutivos de una bomba hidráulica. Fuente: recursos asignatura turbomáquinas (ICAI).....	75
Ilustración 21	Esquema bomba de inyección. Fuente: https://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-electricas-y-accesorios/como-elegir-bomba-agua-para-pozos	79
Ilustración 22	Esquema bomba sumergible. Fuente: http://www.passsa.com/index.php/energia-solar/bombas-agua	80
Ilustración 23	Esquema de la estructura del pozo. Fuente: propia.....	82
Ilustración 24	Tubería de PVC. Fuente: https://www.bricomart.es/tubo-pvc-o-32-mm-3-m.html	84
Ilustración 25	Esquema red de distribución ramificada. Fuente: https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/red-de-distribucion-comunitaria	87
Ilustración 26	Esquema de red de distribución mallada. Fuente: https://www.eadic.com/disenio-de-redes-de-agua-potable/	88
Ilustración 27	Esquema primera parte de la instalación. Fuente: propia	90
Ilustración 28	Esquema de la instalación con mención a las pérdidas localizadas. Fuente: propia.....	99
Ilustración 29	Esquema red de distribución. Fuente: propia.....	101
Ilustración 30	Bifurcación caudal en tuberías. Fuente: propia.....	102
Ilustración 31	Esquema de la red de distribución con mención a las pérdidas localizadas. Fuente: propia.....	113
Ilustración 32	Esquema del sistema proporcionado por la empresa Grundfos durante el dimensionamiento. Fuente: Grundfos	115
Ilustración 33	Bomba sumergible SQF 1.2-3. Fuente: propia	117
Ilustración 34	Sistema fotovoltaico. Fuente: Grundfos.....	118
Ilustración 35	CU 200. Fuente: Grundfos	119
Ilustración 36	IO 50. Fuente: Grundfos	120
Ilustración 37	Esquema completo de la instalación. Fuente: propia	121

Índice de gráficos

Gráfica 1 Inflación en Zimbabue en el año 2018-2019. Fuente: BBC News.....	15
Gráfica 2 Precipitación media mensual Zimbabue. Fuente: Weather and climate	31
Gráfica 3 Causas fallo en la red de tuberías. Fuente: https://www.canaldeisabelsegunda.es/documents/20143/85614/24_Estudio+de+casuistica+red.pdf/a4094f0b-a000-92e0-c9ca-1bb436e88910?t=1562583330796	47
Gráfica 4 Tasa de crecimiento demográfico anual. Fuente: Banco Mundial.....	67
Gráfica 5 Punto de funcionamiento bomba hidráulica. Fuente: recursos asignatura turbomáquinas (ICAI)	77
Gráfica 6 Coeficiente de pérdidas de carga localizadas en entradas de tuberías. Fuente: Recursos de la asignatura Mecánica de fluidos (ICAI).....	97
Gráfica 7 Coeficiente de pérdidas en válvulas dependiendo del nivel de apertura. Fuente: recursos asignatura Mecánica de fluidos (ICAI).....	98
Gráfica 8 Coeficiente de pérdidas en accesorios. Fuente: recursos asignatura Mecánica de fluidos (ICAI)	98
Gráfica 9 Curva de la bomba SQF 1.2-3. Fuente: Grundfos.....	116

Capítulo I

Memoria

Contenido Capítulo I

1. INTRODUCCIÓN	12
1.1 Contexto histórico Zimbabwe	13
1.2 Situación política	14
1.3 Situación económica	15
1.4 Condiciones climáticas	16
2. CONTEXTO DEL PROYECTO: PROYECTO DE COOPERACIÓN	17
2.1 Ciclo del proyecto de cooperación	18
2.2 Child Future Africa	20
2.3 Fundación Ingenieros ICAI	21
3. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	22
3.1 Desarrollo en África	23
3.2 ODS en el trabajo de fin de grado	23
4. RECURSOS HÍDRICOS	27
4.1 Recursos en Zimbabwe	30
5. ESTADO DE LA CUESTIÓN	31
6. SOLUCIÓN ESCOGIDA	35
7. MOTIVACIÓN	39
8. OBJETIVOS DEL PROYECTO	39
9. METODOLOGÍA DE TRABAJO	40
10. RECURSOS A EMPLEAR	42
11. EJECUCIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA	44
11.1 EJECUCIÓN	44
11.1.2 INSTALACIÓN DEL SISTEMA	44
11.1.2 FORMACIÓN DE LOS VOLUNTARIOS	46
11.2 MANTENIMIENTO	46
11.2.1 Mantenimiento de la red de tuberías	47
11.2.2 Mantenimiento de la bomba	49
11.2.3 Mantenimiento del sistema fotovoltaico	50
11.2.4 Mantenimiento del pozo	51
11.2.5 Mantenimiento del depósito	52
12. AMPLIACIONES DEL SISTEMA	53
12.1 Sistema de captación del agua de la lluvia	53
12.2 Potabilización de aguas de captación	55
12.2.1 Contaminación de las aguas subterráneas	55
12.2.2 Potabilizadora	57

13. CONCLUSIONES..... 59

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de fin de grado se plantea, en representación de la Fundación Ingenieros ICAI que trabaja desde hace tres años con la ONG *Child Future Africa*, con el objetivo de desarrollar distintos proyectos de infraestructuras en Kazai, una comunidad rural cercana a Mount Darwin al noroeste de Zimbabwe.



Ilustración 1 Ubicación región de Mount Darwin. Fuente: Google Maps

En concreto, el proyecto consiste en la captación de agua desde un pozo ya existente, su distribución hasta el sistema de almacenamiento elegido y posteriormente desde este punto, hasta las casas u otras ubicaciones. Si es necesario, se diseñará un sistema de mejora de la calidad del agua. Por último, se deberán tener en cuenta todas las consideraciones del entorno para que el proyecto sea viable tanto técnica como económicamente y pueda ejecutarse en el corto plazo.

Con este trabajo, se busca ofrecer una solución a la escasez de agua durante largos períodos de tiempo a lo largo del año con la que convive la población de Kazai, abasteciendo a la comunidad en la que viven familias que no disponen de agua potable.

Consiste, por tanto, en un trabajo plenamente solidario, cuyo fin no es únicamente la ayuda humanitaria si no también la formación de las personas que pertenecen a la comunidad para que puedan hacerse cargo del mantenimiento futuro de las instalaciones

e incluso tener la capacidad de repetir este proyecto más adelante si las condiciones se lo permitieran.

Con el objetivo de cumplir todos los requisitos anteriormente mencionados, se deberá realizar un proyecto sencillo, simple, sostenible y duradero. Es decir, se deberá diseñar un sistema de fácil construcción, para poder contar con la ayuda de la comunidad, la cual dispone de limitados conocimientos técnicos, y se deberán emplear tanto la maquinaria como los materiales disponibles en la región. El sistema por su parte deberá abastecer al máximo número de habitantes, evitando impactos negativos en ninguna de las actividades de la comunidad y respetando el presupuesto marcado, debido a una fuerte limitación de este.

Este trabajo se implantará durante el verano de 2020, constituyendo ésta, la última fase del proyecto. Para poder llevarlo a cabo, se deberá conseguir financiación a través de distintos eventos, mercadillos solidarios, o mediante la donación de empresas o particulares. Para su construcción se contará con la ayuda de voluntarios locales y de expertos en los sectores de fontanería y electricidad.

1.1 CONTEXTO HISTÓRICO ZIMBABUE

La historia de Zimbabwe en los últimos 70 años ha evolucionado desde la lucha por la independencia británica a la violencia xenófoba. Hasta 1980 Zimbabwe era una colonia perteneciente a Gran Bretaña conocida como Rodesia del Sur. El imperio británico colonizó el país en 1890, desde entonces se fueron sucediendo diversos intentos por conseguir la independencia cuyos principales artífices fueron los propios colonizadores blancos que se establecieron en el país. Finalmente, en 1965 se proclamó como República Independiente, pero ni la Corona Británica ni la ONU la reconocieron como tal hasta los años 80.

Desde entonces, se produce el ascenso y posterior consolidación de Robert Mugabe como líder del país, su gobierno se ha caracterizado por su opacidad, promesas incumplidas y la manipulación electoral. Durante su mandato Mugabe pasó de ser el gran héroe de la independencia a un dictador que oprimió al país y hundió a la economía. En 2017, el ejército liderado por su vicepresidente y mano derecha, Emmerson Mnangagwa, derrocó

a Mugabe acabando con un gobierno dictatorial que había durado 37 años. En la actualidad, Manangagwa ostenta el cargo de jefe de estado acompañado de Constantino Chiwenga como vicepresidente, general que encabezó el Golpe de Estado militar. [5]

1.2 SITUACIÓN POLÍTICA

La República de Zimbabue, nombre oficial desde 1980, es un país situado al sur de África con una superficie de 390.580 kilómetros cuadrados, sin acceso al mar y delimitado por Zambia al noroeste, Mozambique al este, Sudáfrica al sur y Botsuana al oeste. Zimbabue cuenta con una población de 16,5 millones de habitantes. [5]

A continuación, se adjuntan los datos más relevantes del país.

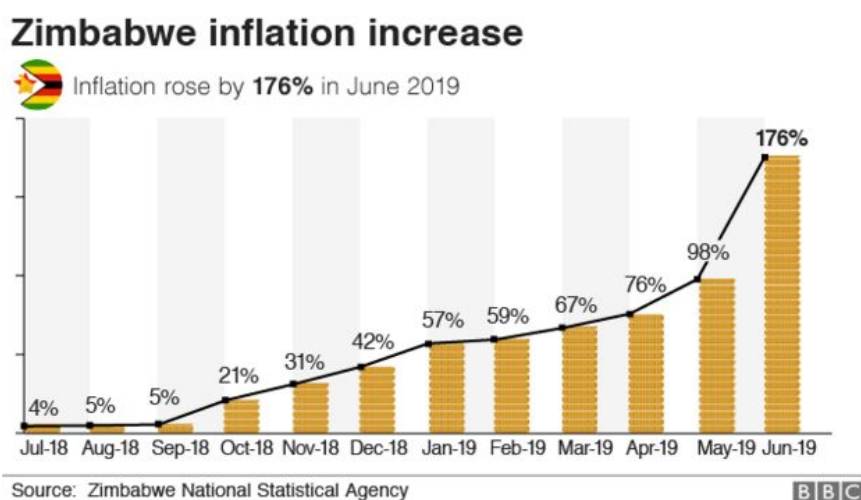
Capital	Harare
Idioma	Inglés (lengua oficial), shona, ndebele y dialectos locales
Moneda	US dólar
Forma de Estado	República multipartidista
Gobierno	Emmerson Mnangagwa
Partidos políticos	ZANU-PF (Unión Nacional Africana de Zimbabue – Frente Patriótico) y MDC (Movimiento por el Cambio Democrático)

Tabla 1 Datos políticos Zimbabue. Fuente: <https://www.lavanguardia.com/politica/20180727/451124562335/datos-basicos-y-evolucion-politica-de-zimbabue.html>

Desde la proclamación de la Independencia de La República de Zimbabue en 1980, Robert Mugabe gobernó el país de forma autoritaria hasta 2017. Su política se caracterizó por la eliminación de la legislación racista, a través de distintos mandatos como la reforma agraria en la que Mugabe permitió la ocupación de las granjas pertenecientes a los latifundistas blancos por los ciudadanos negros, acabando la mayor parte de las mismas en manos de altos funcionarios del gobierno o en manos de su propia familia. Todo esto, contribuyó al hundimiento de la producción agraria del país, más de 4000 granjeros blancos fueron expulsados y sus tierras fueron asignadas a personas sin ninguna experiencia en la agricultura. El 16 de marzo de 2013, se firmó una nueva constitución, en la que se limitaban los poderes ejecutivos del jefe del estado, así como se limitaban a dos mandatos de 5 años el período que podía permanecer el presidente en el poder. Tras el golpe de estado militar de 2017, Emmerson Mnangagwaa adoptó una nueva línea aperturista. [6]

1.3 SITUACIÓN ECONÓMICA

La débil situación de la economía zimbabuense se remonta al gobierno de Mugabe y a las políticas fiscales no sostenibles, la intervención militar de 1998 y a la reforma agraria del 2000 que redujo la producción agrícola a menos de la mitad. A finales de 2008, la inflación del país ascendió hasta 1000 millones por ciento, obligando al FMI a desactivar la moneda nacional y adoptar el dólar americano como moneda oficial del país. Sin embargo, el país cuenta con un gran número de infraestructuras construidas durante este período y una población con una buena formación.



Gráfica 1 Inflación en Zimbabwe en el año 2018-2019. Fuente: BBC News

En la actualidad, numerosos sectores productivos del país han ido reduciendo su actividad y el Gobierno no tiene la capacidad económica para hacerse cargo de la nómina de sus funcionarios. El desempleo asciende hasta el 80% de la población activa. El estado debe hacer frente a numerosas sanciones impuestas por los países occidentales por los asesinatos de opositores, lo que contribuye a asfixiar un poco más la débil economía del país. Las relaciones internacionales se centran principalmente en China, que desde la lucha por la independencia se ha convertido en su mayor aliado comercial, siendo Zimbabwe el país africano que recibe el mayor número de inversiones de este país. [8]

A continuación, se adjuntan los principales datos macroeconómicos del país

PIB	31 001 M \$
PIB per cápita	1800 M \$
Crecimiento	3,4%
Inflación	3,8%
Deuda	9 800 M \$

Tabla 2 Datos económicos Zimbabwe. Fuente: Banco Mundial

1.4 CONDICIONES CLIMÁTICAS

Zimbabwe posee un clima semiárido o de estepa, se trata de un subtipo de clima seco en el que las precipitaciones anuales oscilan entre los 500 y los 800mm. La temperatura media anual es de 26°C mientras que la precipitación media anual apenas supera los 500 mm y se concentra en los meses de noviembre a marzo. Los principales paisajes de Zimbabwe son de sabana o árbol seco y bosques de hoja perenne tropicales en las zonas de montaña. Podemos distinguir 3 estaciones a lo largo del año:

- Cálida y húmeda: en la época de lluvia (noviembre a marzo).
- Frío y seco: en los meses de invierno (mayo a agosto).
- Cálida y seca: meses en los que las precipitaciones son prácticamente nulas (septiembre a octubre)

En la tabla que se adjunta a continuación se muestran las temperaturas y precipitaciones medias según el mes del año, así como las horas de incidencia de sol. [9]

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Día	26 °C	26 °C	25 °C	24 °C	23 °C	22 °C	22 °C	25 °C	29 °C	30 °C	29 °C	27 °C
Noche	17 °C	16 °C	15 °C	13 °C	11 °C	9 °C	8 °C	10 °C	13 °C	16 °C	17 °C	17 °C
Precipitación	140 mm	99 mm	54 mm	23 mm	4 mm	1 mm	2 mm	1 mm	1 mm	7 mm	55 mm	115 mm
Días de lluvia	24	20	17	11	4	1	3	1	1	4	13	22
Días secos	7	8	14	19	27	29	28	30	29	27	17	9
Horas de sol por día	10	11	10	7	7	7	7	7	10	10	12	11
Fuerza del viento (Bft)	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2
Índice UV	6	5	5	5	5	4	5	5	6	6	6	5

Tabla 3 Condiciones climáticas Zimbabwe. Fuente: *weather and climate*

2. CONTEXTO DEL PROYECTO: PROYECTO DE COOPERACIÓN

En este apartado se busca dar una definición a qué es un Proyecto de Cooperación al desarrollo. A la hora de explicarlo de una forma precisa, aparecen diferentes definiciones debido a la gran variedad, a que cada uno cuenta con características distintas, así como ámbitos de actuación diferentes. Sin embargo, la mayoría de definiciones abarcan cuatro puntos fundamentales:

- En primer lugar, se trata de un conjunto de actividades cuyo principal objetivo es el desarrollo.
- El proyecto debe estar enmarcado en una localización concreta durante un período determinado.
- Se establece la relación existente entre las personas que en condiciones de igualdad intervienen en el desarrollo del proyecto.
- Se debe concretar previamente el grupo o colectivo beneficiario del proyecto.

La principal diferencia entre este tipo de proyectos con otras acciones que busquen de igual manera el desarrollo se encuentra en la definición previa de los beneficiarios de las

actividades que se van a desarrollar, los grupos que van a participar en los procesos de diseño e implantación, así como su aspecto más localizado y concreto. La finalidad de este tipo de proyectos consiste en la consecución de una serie de objetivos que permitan dar solución a los problemas relacionados con el desarrollo, concebido como humano, sostenible e interdependiente. Estos proyectos se deben entender como medios para la consecución de unos objetivos concretos y no como una serie de actividades y obras sin más.

La cooperación internacional definida como el conjunto de recursos procedentes de otros países que se reciben con el objetivo de promover el desarrollo económico y social. Está compuesta por proyectos de calidad que tratan de adaptarse a las necesidades del país donde se llevarán a cabo. Para su correcta ejecución se deben cumplir una serie de requisitos tales como una buena planificación que permita ahorrar costes, la participación de la comunidad beneficiaria del proyecto enseñándoles nuevas tecnologías y procesos y la mejora de la realidad sobre la que se va a trabajar. Para ello se debe promover la dignidad de las personas, favorecer la igualdad dentro de la comunidad y mejorar la calidad de vida y los derechos de los menores. [2]

2.1 CICLO DEL PROYECTO DE COOPERACIÓN

La planificación de un proyecto de cooperación al desarrollo consiste en primer lugar en definir los objetivos que se desean conseguir, describir el conjunto de acciones que se van a llevar a cabo para su consecución teniendo en cuenta distintos factores relacionados con el estado actual y, por último, buscar métodos organizativos imprescindibles para la realización del proyecto. Por lo tanto, antes de llevar a cabo la implantación del proyecto es necesario que se establezcan los mecanismos que se van a emplear para conseguir los objetivos, garantizando la eficacia y eficiencia de todos los procesos.

Los proyectos de cooperación están compuestos por una serie de ciclos, que a su vez se pueden dividir en etapas y fases y, que permiten solucionar el problema de una manera más sencilla. A continuación, se describen las principales fases:

- Identificación: la primera fase del proyecto consiste en el estudio y análisis exhaustivo de la realidad que se quiere mejorar, así como el lugar donde se va a trabajar. En esta etapa se identificarán a los beneficiarios, los medios existentes en la región y se realizará un análisis de la viabilidad del proyecto.
- Diseño: es la fase más creativa del proyecto, en ella se realizan todos los estudios y análisis necesarios para su posterior ejecución. Se puede dividir en tres etapas:
 - o Análisis: se estudian los objetivos que se desean conseguir con el proyecto y las soluciones aplicadas a casos reales que tengan características similares.
 - o Síntesis: se realiza un análisis de la planificación y gestión del proyecto, orientada a la consecución de los objetivos y en la que se debe hacer partícipe a la población beneficiaria.
 - o Financiación: se deben conseguir los recursos necesarios para la implementación del proyecto y cuya obtención no sea posible en la comunidad beneficiaria.
- Ejecución: se llevan a cabo las actividades planificadas con anterioridad para la correcta implantación del proyecto. Es fundamental, que las personas que realicen las tareas de ejecución tengan claro los objetivos y sean capaces de responder antes cambios en el proyecto.
- Seguimiento: se deben supervisar todas las actividades relacionadas con el proyecto y la correcta consecución de los objetivos. Esta fase sirve de aprendizaje continuo y permite dar una mejor respuesta a los problemas que puedan surgir.
- Evaluación: la última fase, tiene lugar una vez el proyecto ha finalizado y su objetivo es realizar un análisis en profundidad de las actividades que se han llevado a cabo con el fin de prevenir futuros problemas. [2]

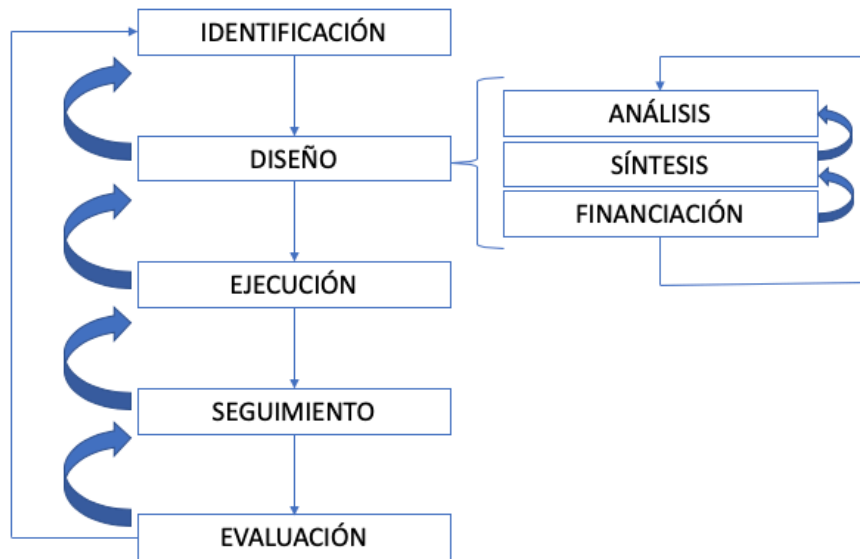


Ilustración 2 Esquema ciclos del proyecto de cooperación. Fuente: propia

2.2 CHILD FUTURE AFRICA

Child Future Africa (CFA) es una ONG fundada por George Seremwe, zimbabuense nacido en una zona rural del norte del país. La ONG tiene como principal objetivo crear un futuro mejor a través de una mejora de las oportunidades para los huérfanos.

Child Future Africa considera que uno de los mejores métodos para conseguir el desarrollo es la atención, educación y cuidado de los niños y, por lo tanto, realiza diversas actividades en orfanatos y centros de formación profesional. CFA coopera con las escuelas de las comunidades locales a través de proyectos satélites, que permiten el acceso a educación y hogar a los niños de la región. El orfanato combina la educación y el hogar familiar con actividades de agricultura para pagar los costes operativos del mismo. CFA fomenta un sistema auto sostenible, en el que forma a la población con el objetivo de que en un futuro sean capaces de ser independientes y puedan continuar mejorando su calidad de vida



Ilustración 3 Logo ONG Child Future Africa. Fuente: CFA

El principal proyecto que lleva a cabo la ONG es el mantenimiento del orfanato del distrito de Mount Darwin, mediante la venta de alimentos obtenidos a través de la agricultura y la ganadería. Con la venta de estos productos de primera necesidad, se pretenden evitar los largos desplazamientos de la población, favoreciendo el desarrollo de la comunidad rural. El orfanato permite que los menores de las zonas cercanas puedan tener acceso a educación, refugio y comida.

La ONG también ha participado en la creación del centro de formación profesional “Kazai Secondary School”, que imparte cursos teóricos y prácticos en agricultura y ganadería y en un futuro está previsto que albergue las especialidades de albañilería, cerrajería y carpintería. La formación que reciban en el centro permitirá a los alumnos cultivar muchos de los terrenos inutilizados de la región o tener animales, que les permita alimentar a sus familias, así como generar ingresos extras. Además, se busca lograr la creación de nuevos empleos en la zona. [15]

2.3 FUNDACIÓN INGENIEROS ICAI

La Fundación Ingenieros ICAI fundada en 2007 con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los más desfavorecidos, ha llevado a cabo más de 200 proyectos dedicados a abastecer de agua, electricidad y comunicación a quienes más lo necesitan. A través de la ingeniería y sus proyectos, la Fundación Ingenieros ICAI busca conseguir el desarrollo y bienestar de comunidades rurales, aisladas y vulnerables. La fundación centra sus proyectos en 4 programas principales:

- Acceso a la energía:
- Acceso al agua
- Acceso a las tecnologías de información y comunicación
- Formación técnica y de apoyo a emprendedores

Desde hace algo más de tres años, colabora de la mano de Child Future Africa desarrollando proyectos de ingeniería en Kazai, zona rural al norte de Zimbabue perteneciente al distrito de Mount Darwin. [10]



Ilustración 4 Logo Fundación Ingenieros ICAI. Fuente: ICAI

3. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

La Asamblea General de las Naciones Unidas aprobó en septiembre de 2015 la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Se trata de un plan de acción a favor de la humanidad, el planeta y la prosperidad. En esta agenda se busca dar solución tanto a los problemas actuales como a los que puedan surgir en los próximos 15 años. Entre estos problemas podemos identificar la creciente desigualdad mundial, la rápida e insostenible urbanización, el aumento de los desastres naturales que en la última década han provocado pérdidas de alrededor de \$ 300 000 millones al año y el consumo inestable de los recursos naturales. Uno de los principales requisitos para lograr el desarrollo consiste en la erradicación de la pobreza como labor indispensable.

En este documento se plantean 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible que sustituyen a los Objetivos de Desarrollo del Milenio (2000) y que representan los principios básicos para acabar con la pobreza, mejorar las condiciones de vida de la población, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad para 2030. Se tratan de ambiciosas metas que permitan cambiar la sociedad y movilizar a todos los

países a través de alianzas de colaboración. En los Objetivos de Desarrollo Sostenible se integran los objetivos no cumplidos en los ODM e incluyen nuevos aspectos relacionados con la desigualdad, el cambio climático, el crecimiento económico sostenible, la producción y unas instituciones inclusivas en todas las facetas. [3]

3.1 DESARROLLO EN ÁFRICA

África constituye el continente más subdesarrollado del planeta, sin embargo, en esta última década la tasa de crecimiento ha venido aumentando lo que indica que poco a poco va avanzando hacia el desarrollo. Gracias a la ayuda de las Naciones Unidas, se han conseguido grandes mejoras en aspectos relevantes de “La Nueva Alianza para el Desarrollo de África” relacionadas con la mejora de las infraestructuras existentes y la construcción de nuevas, el cultivo de las tierras, ganadería, seguridad alimentaria gracias a la mejora de acceso al agua, educación, tecnología, e igualdad entre hombres y mujeres.

El continente africano sufre constantes amenazas a la seguridad de sus habitantes y los efectos que el cambio climático pueda tener sobre el ecosistema. Sin embargo, se han conseguido solucionar problemas políticos relacionados con la manipulación electoral y se ha fortalecido la conexión entre la paz y el desarrollo. Las Naciones Unidas trabaja para mejorar la visibilidad y concienciar a la población de la importancia del liderazgo de las mujeres en la sociedad mediante agendas de la Unión Africana. El año 2015 se aprobó como el año del “empoderamiento y desarrollo de la Mujer” con perspectiva a la Agenda de 2030. [3]

3.2 ODS EN EL TRABAJO DE FIN DE GRADO

A continuación, se analizan los Objetivos de Desarrollo Sostenible en los que se enfoca directamente el proyecto y los que se satisfacen como consecuencia indirecta.

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE



Ilustración 5 ODS. Fuente: ONU

Objetivos directos

- **Fin de la pobreza (1)**

Conseguir poner fin a la pobreza es uno de los requisitos esenciales si se pretende avanzar hacia el desarrollo y, por lo tanto, supone uno de los desafíos más importantes a los que se enfrenta la humanidad. Se ha reducido en más de la mitad la cantidad de personas que viven en extrema pobreza, sin embargo, estos datos son dispares en regiones de África donde aproximadamente el 40% de la población continúan viviendo en estas condiciones. La pobreza se define como un problema relacionado con la ausencia de derechos humanos y va más allá de la escasez de recursos económicos, se manifiesta principalmente en la falta de alimentos, malnutrición, falta de una vivienda digna y el acceso a la educación y sanidad, además también está presente en la discriminación y en las desigualdades sociales.

El objetivo fundamental del proyecto consiste en abastecer de agua a la comunidad de Kazai en la que viven familias que no disponen de agua potable. Con el proyecto se busca eliminar los largos desplazamientos que los habitantes de la comunidad tienen que hacer

diariamente hasta el punto de agua más cercano. Gracias a esto, se consigue erradicar enfermedades causadas principalmente por el consumo de agua en malas condiciones, se cubren las necesidades de higiene y salud, y se consigue ahorrar tiempo que puede reinvertirse en la educación, trabajo o el cuidado de los niños, factores indispensables para avanzar hacia el desarrollo y poner fin a la pobreza. Indirectamente, se busca dar un impulso a la economía local mediante la compra de los elementos necesarios para el sistema, así como formar técnicamente a los habitantes de la población beneficiaria para que sean capaces de mantenerlo y reproducirlo si así lo desearan en un futuro.

- **Salud y Bienestar (3)**

Con el fin de cumplir con todos los Objetivos de Desarrollo Sostenible es fundamental garantizar la salud de la población mundial, así como promover el bienestar. Existen muchas zonas del planeta que se enfrentan a graves problemas relacionados con la salud lo que conlleva grandes tasas de mortalidad.

El acceso al agua y saneamiento constituyen el motor más importante en materia de salud pública. La mejora de sistemas de abastecimiento de agua, saneamiento y de instalaciones que permitan su potabilización contribuyen a la reducción de un gran número de enfermedades. El sistema de abastecimiento de agua permite que varias poblaciones dispongan de agua potable sin la necesidad de desplazarse largas distancias, se consigue, por tanto, disponer de una mayor cantidad de agua por familia, lo que permitiría cubrir las necesidades básicas de higiene, preparación y limpieza de los alimentos que contribuyen también a mejorar la salud de la población.

- **Agua limpia y Saneamiento (6)**

En la actualidad, continúa existiendo un gran número de personas que no disponen de agua limpia ni de una red adecuada de saneamiento. Con el objetivo de conseguir abastecer de agua potable a la población, son necesarias grandes inversiones en infraestructuras.

La construcción del sistema de abastecimiento de agua permite garantizar tanto la disponibilidad como el saneamiento adecuado del agua para la población beneficiaria. La

cantidad de agua que se hará llegar a cada habitante permitirá cubrir todas sus necesidades básicas tanto personales como domésticas. También se garantizará que el agua llegue en las condiciones idóneas para su consumo gracias al diseño de un sistema de potabilización que permite eliminar los patógenos del agua. Al acercar los puntos de abastecimiento de agua a las aldeas, se consigue disminuir el riesgo de que el agua sea contaminada durante los largos trayectos.

Objetivos indirectos

- Energía asequible y no contaminante (7)

En la actualidad uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible que más incidencia está teniendo en la sociedad consiste en que la energía que se consume se está transformando en energía mucho más sostenible y con mayor disponibilidad. Es así, que, gracias a los nuevos métodos de producción y obtención de energía, muchos de los países pobres son capaces de acceder a la energía.

Aunque no es uno de los objetivos principales del proyecto, el sistema de abastecimiento de agua utilizará energía procedente de paneles solares para la alimentación de la bomba encargada de elevar el agua desde el pozo hasta el depósito de almacenamiento en altura. Puesto que el pozo del que se obtendrá el agua potable para su posterior distribución se encuentra alejado de las aldeas, no se puede obtener energía directamente de la red eléctrica y, por tanto, se concluye que el bombeo solar constituye la mejor solución debido al ahorro energético y en mantenimiento, a su alta eficiencia y la capacidad de monitorización y automatización. El bombeo solar se trata de un sistema de energía no contaminante ya que se beneficia del sol, una fuente inagotable.

- Producción y consumo responsables (12)

La producción y el consumo en todo el mundo depende de los recursos que ofrece el medio ambiente. En los últimos años, el avance de la sociedad a nivel social y económico ha ido ligado en gran parte a una degradación del ecosistema con el consiguiente riesgo que supone esto para los sistemas de los que depende el futuro de la humanidad.

El proyecto de fin de grado diseña un sistema de abastecimiento de agua que permita a la población beneficiaria satisfacer todas sus necesidades. El sistema se ha dimensionado teniendo en cuenta los niveles de agua que la Organización Mundial de la salud establece como mínimos para que cada persona pueda satisfacer dichas necesidades. Por lo tanto, la población deberá consumir estos recursos que se les proporciona de manera responsable para que cada persona perteneciente a la comunidad pueda acceder al agua potable y para evitar la sobreexplotación del acuífero.

4. RECURSOS HÍDRICOS

En el siguiente apartado, se analizan los principales recursos hídricos del planeta, así como las necesidades y recursos existentes en Zimbabue.

El agua dulce, es decir el agua que el ser humano necesita para satisfacer sus necesidades básicas (consumo, higiene, alimentación, agricultura, industria y servicios) representa el 2,5% del agua presente en la Tierra tal y cómo aparece representado en el siguiente esquema:

Agua dulce (2.5%)	}	Agua subterránea	30.1%
		Hielos Perennes	0.8%
		Hielos polares + nieves	68.7%
		Ag. Superficial y atmosférica	0.4%
		Lagos + pantanos	67,4%
		Ríos	1.6%
		Plantas y animales	0.8%
		Atmosférica	9.5%
		Humedad Suelo	12.2%
		Otros humedales	8.5%

Ilustración 6 Esquema distribución agua dulce. Fuente: recursos asignatura ingeniería medioambiental (ICAI)

A pesar de que la demanda de agua en el planeta en la actualidad no supera la oferta de los recursos hídricos presentes, existe un grave problema relacionado con su distribución, en el que 10 países se reparten el 60% del suministro total del agua dulce disponible.

A continuación, se realiza un análisis de las principales fuentes de las que se obtiene el agua dulce en el planeta:

Aguas superficiales fluviales

Las aguas superficiales fluviales son las masas de agua que se desplazan en todo momento en la misma dirección, en esta clasificación, se incluyen ríos, riachuelos, arroyos y manantiales. Al igual que ocurre con el resto de los recursos hídricos del planeta se distribuyen de forma irregular dependiendo de la cantidad y distribución de las precipitaciones. Por lo tanto, los ríos pertenecientes a las zonas tropicales presentan un mayor volumen de agua, mientras que las zonas del centro de África únicamente disponen del 2% de los recursos. Las principales características de este tipo de fuente son:

- Presentan un alto contenido en sales disueltas.
- La concentración de oxígeno disuelto en el agua es bastante alta.
- La temperatura del agua varía con la temperatura de la atmosfera.
- Existe materia orgánica, es decir vida acuática.

Aguas superficiales lacustres y embalses

El agua de los lagos y embalses representa aproximadamente el 67% del agua dulce superficial. Estos depósitos de agua tienen una gran importancia para compensar la irregular distribución de las precipitaciones a lo largo del año. Los lagos son cuerpos de agua naturales que se abastecen principalmente de ríos, escorrentías fluviales e incluso a través de posibles infiltraciones procedentes de las aguas subterráneas, que se almacenan en depresiones de la superficie terrestre y sin enlaces con el mar. Los embalses son cuerpos de agua creados por el hombre. Sin embargo, su construcción se ve condicionada a la existencia de escorrentías superficiales que permitan abastecer de agua a dichos depósitos, así como la capacidad económica del país y las políticas gubernamentales. Las principales características de este tipo de fuente son:

- Presentan una profundidad superior a 8 metros lo que permite la estratificación térmica y como consecuencia se crean zonas independientes separadas por la termoclina.
- Existe una composición distinta para la zona alta y la zona con más profundidad originada por la existencia de procesos diferentes en cada una de ellas. En la zona

superficial aparecen especies oxidadas mientras que en la zona profunda las especies son más reducidas.

Aguas subterráneas

Las aguas subterráneas son las que circulan bajo la superficie terrestre ocupando los poros y las fisuras de las rocas. Representan con un 90% la mayor reserva del agua dulce del planeta y derivan principalmente del agua de la lluvia. Las principales características de este tipo de fuente son:

- Su temperatura permanece constante a lo largo del año
- Presentan un alto contenido en sales disueltas y restos de la descomposición de la materia orgánica presente en el suelo.
- Alto contenido en Fe^{2+} y Mn^{2+}
- La concentración de oxígeno disuelto en el agua es muy baja.

Las aguas subterráneas suministran de agua potable a aproximadamente el 50% de la población del mundo y representa más del 40% del agua que se emplea para el riego (FAO 2010). En todo el mundo más de 2500 millones de personas dependen únicamente de este tipo de fuente con el que logran satisfacer todas sus necesidades (UNESCO 2012).

A continuación, se adjunta un mapa del mundo donde se representa el volumen de agua subterránea presente en cada continente.

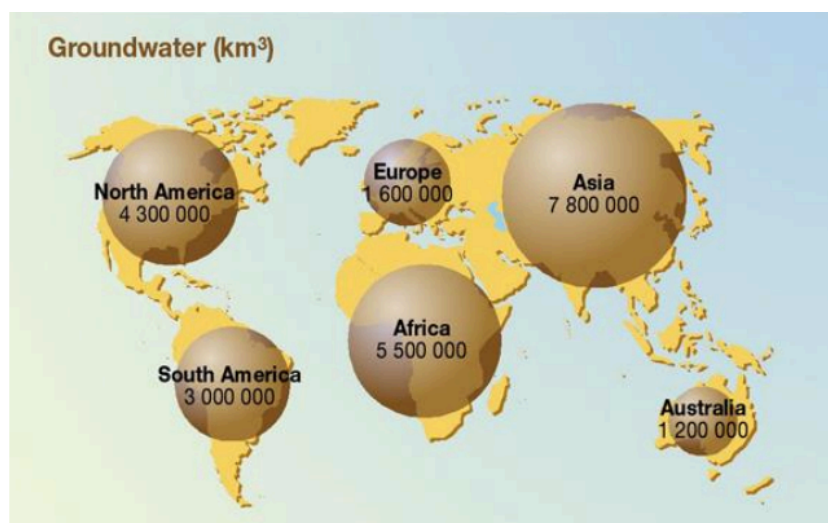


Ilustración 7 Distribución agua subterránea por continente. Fuente: recursos asignatura ingeniería medioambiental (ICAI)

4.1 RECURSOS EN ZIMBABUE

Desde 2016 Zimbabwe está haciendo frente a una de las peores crisis hídricas desde que se tiene registro. Desde entonces, más de 10000 pozos se han secado, lo que supone un grave problema tanto a nivel económico como sanitario. Una gran parte de la población depende de estas reservas de agua subterráneas para satisfacer sus necesidades básicas, muchos hospitales que atienden a pacientes de VIH dependen igualmente de esta fuente para realizar su labor y cubrir sus necesidades alimentarias. Los pozos se están cubriendo con arena lo que dificulta en gran medida la futura extracción de agua de estas reservas, pero aumenta la seguridad.

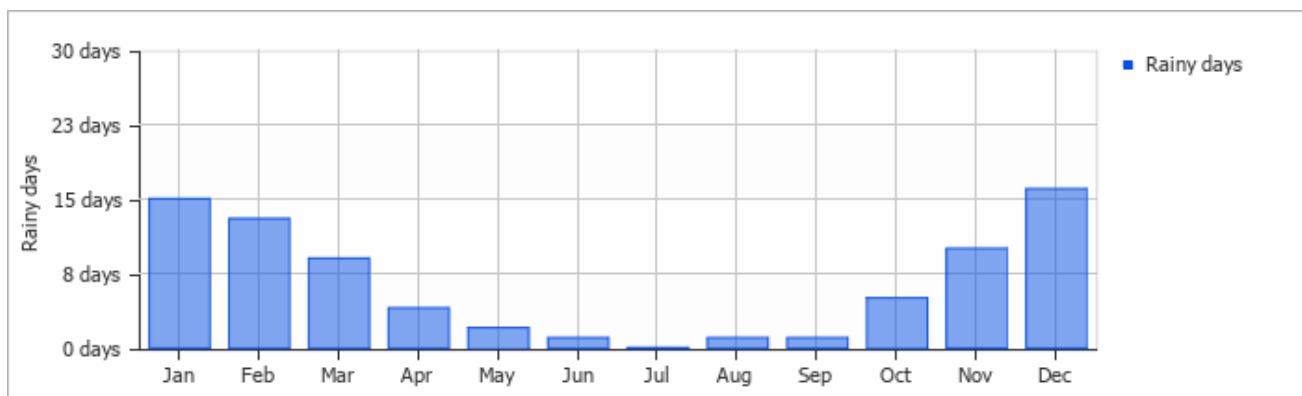
En Zimbabwe estos acuíferos constituyen el principal medio para la obtención de agua para actividades como la agricultura, ya que les permite disponer de agua durante los largos períodos de escasez de lluvias. Casi el 70% de la población zimbabuense depende exclusivamente del agua de los pozos y atendiendo a la última evaluación, el cambio climático estaba agravando y acelerando esta crisis de escasez de agua. En las zonas rurales muchas comunidades se han visto obligados a compartir el agua con otras actividades como la ganadería y casi aproximadamente el 90% de las plantaciones se tuvieron que desechar.

Los pozos de agua subterránea tienen una capacidad finita por lo que se debe mantener un equilibrio que permita su regeneración. Las comunidades urbanas cada vez más se ven obligadas a recurrir a este recurso debido a la escasez de agua y los periodos prolongados sin precipitaciones, lo que ha llevado a la sobreexplotación de los acuíferos y la consiguiente disminución de la capa freática.

El actual presidente, Emmerson Mnagagwa ha llevado a cabo políticas a nivel nacional con el objetivo de renovar todo el sistema hidráulico del país y rehabilitar el sistema de irrigación alimentado en gran parte a través del agua subterránea.

La solución propuesta por investigadores de la Universidad Abierta de Zimbabwe propone la construcción de tanques que permitan recolectar el agua de la lluvia, ya que durante ciertos días a lo largo del año ocurren numerosas inundaciones y se desperdicia una gran cantidad de agua.

En concreto, Mount Darwin está atravesado por el río Ruya, de poco caudal y seco durante los períodos sin precipitaciones, por lo que resulta imposible extraer agua directamente de él, pero genera que los niveles freáticos estén muy altos, lo que facilita la perforación de pozos. [11]



Gráfica 2 Precipitación media mensual Zimbabwe. Fuente: Weather and climate

5. ESTADO DE LA CUESTIÓN

El principal problema al que se busca dar una solución con este proyecto es la escasez de agua potable con la que conviven los habitantes de la comunidad de Kazai. Al acercar el agua potable a sus casas, los habitantes no tienen la necesidad de recorrer largas distancias hasta el punto de agua más cercano, se consigue erradicar enfermedades causadas por el consumo de agua no potable y se cubre las necesidades básicas de higiene y salud.

Las principales características de este proyecto, que se deben tener en cuenta a la hora de buscar trabajos semejantes para su estudio son:

1. Sistema de fácil construcción, en el que se utilizarán los materiales de la región y en el que participarán voluntarios locales no cualificados en la etapa de implementación.
2. El mantenimiento futuro de la instalación se llevará a cabo por la población de la zona.

3. El área donde se llevará a cabo la implementación del proyecto no dispone de electricidad, por lo que se deberán buscar otras fuentes de alimentación alternativas.
4. Todas las características del terreno son desconocidas, únicamente pudiendo acceder a ellas una vez en Zimbabue.

Soluciones aplicadas a casos reales

A continuación, se presentan casos reales de sistemas de distribución de agua en países con condiciones semejantes a Zimbabue y que cumplen la mayor parte de las características de este proyecto que se han detallado anteriormente.

Suministro de agua en Chuscaj – Guatemala

Este proyecto realizado por la Fundación Ingenieros ICAI, busca abastecer de agua potable al centro educativo de la Aldea de Chuscaj en Guatemala, el centro recibe a jóvenes estudiantes indígenas de los departamentos cercanos y busca combinar tanto la formación básica como la formación técnica mediante el desarrollo de nuevas infraestructuras que ayuden a mejorar la calidad de vida de la población

Guatemala al igual que Zimbabue, es un país en vías de desarrollo con elevados índices de pobreza y con un gran número de aldeas habitadas por indígenas. Por lo tanto, la educación es prácticamente inexistente y el analfabetismo alcanza cotas muy altas.

El sistema desarrollado por la Fundación de Ingenieros ICAI consta:

- Sistema de captación de agua: el sistema escogido busca una mayor eficiencia energética debido a los limitados recursos de los que disponen en la aldea ya que el sistema eléctrico es muy simple, una mayor seguridad en el abastecimiento y reducir el impacto medioambiental, disminuyendo el riesgo de contaminación.
- Depósito: situado en lo alto del terreno para aprovechar la energía potencial y facilitar su distribución por gravedad, de esta forma también se reduce el

impacto en la fauna. El depósito, por su parte, contiene una capacidad de 100000 litros lo que permite abastecer a un mayor número de habitantes.

- Red de distribución: reforzada con el objetivo de evitar fugas y de gran caudal.
- Sistema de potabilización: para evitar los problemas de salud en los estudiantes del centro.

Gracias a la construcción del sistema de suministro de agua, el centro educativo ha podido aumentar el número de estudiantes y tiene planeado futuras ampliaciones en el internado lo que les permitirá acoger a más de 500 estudiantes. El sistema de potabilización permitirá evitar las enfermedades causadas por el consumo de agua no potable en los estudiantes y de esta forma reducir el absentismo escolar. [16]



Ilustración 8 Suministro de agua en Chuscaj. Fuente: <https://fundacioningenierosicai.org/nuestro-trabajo/trabajos-finalizados/suministro-de-agua-en-chuscaj-guatemala/>

Bomba hospital Atupele - Malawi

El proyecto realizado por la fundación África Directo y financiado por la empresa AUARA, busca abastecer de agua potable el hospital de Atupele, donde se tratan a los enfermos del virus VIH, así como de otras enfermedades endémicas.

El hospital inaugurado en 2007 cuenta con diferentes salas para la atención tanto a pacientes externos como a pacientes ingresados en las diferentes unidades, lavadero,

comedor y farmacia. Por lo tanto, el abastecimiento de agua resulta primordial para poder atender a los pacientes, permitir la vida en el hospital y abastecer de agua una huerta y granja que permita alimentar a los pacientes.

El proyecto consiste en la captación del agua desde un pozo ya existente, su almacenamiento en depósito situados en lo alto de estructuras para facilitar su distribución por gravedad y el sistema de distribución que abastece al hospital. Este proyecto ha conseguido mejorar las condiciones medio ambientales y sanitarias, así como la calidad de vida de los pacientes y la población cercana. [17]



Ilustración 9 Instalación en hospital atupele. Fuente: Auara

Agua para los Wampis (Villa Gonzalo) – Perú

El proyecto realizado por la Fundación Ingenieros ICAI, busca mejorar las condiciones de acceso al agua potable de la comunidad indígena los Wampis, en Villa Gonzalo. La comunidad tiene grandes carencias a nivel de salud, educación y acceso a los servicios básicos. El principal problema con el que conviven se debe a la multitud de enfermedades causadas por el consumo de agua contaminada por bacterias fecales.

El sistema propuesto consiste:

- Sistema de captación de agua: mediante estructuras que permitan recoger el agua procedente de la lluvia, a través de techados de madera y chapa metálica.

- Sistema de almacenamiento: compuesto por una serie de tanques de polietileno y situados en lo alto de estructuras que faciliten la posterior distribución del agua por gravedad, así como limiten el impacto en el entorno.
- Red de distribución: que permita abastecer de agua a la población, el objetivo es dar suministro a entre 6 y 10 familias.
- Sistema de potabilización: uso de lejía para eliminar los patógenos y contaminantes.



Ilustración 10 Instalación "agua para los wampis" en Villa Gonzalo. Fuente: Fundación Ingenieros ICAI

Se trata de un proyecto de cooperación, en el que se exige la colaboración de la población en las labores tanto de financiación y suministro de los materiales, así como la construcción del propio sistema. Para los trabajos de mayor cualificación se empleó a mano de obra especializada con el fin de evitar problemas en la construcción, se encargaron de la conexión de los tanques, tubos y filtros. En la actualidad, gracias a este proyecto alrededor de 150 familias tienen acceso al agua potable. [18]

6. SOLUCIÓN ESCOGIDA

La solución que se ha escogido para el proyecto, teniendo en cuenta todas las especificaciones que se han venido mencionando a lo largo del trabajo de fin de grado,

consiste en un sistema de bombeo solar y, por lo tanto, aislado de la red eléctrica. Ya que resulta muy difícil y costoso la instalación de un sistema de bombeo continuado se decidió la distribución del agua almacenada a la comunidad beneficiaria por gravedad. Es decir, el agua del pozo será elevada a un depósito en altura a través de una bomba hidráulica alimentada mediante una estación solar fotovoltaica, para su posterior distribución a las 5 aldeas por gravedad, es decir, sin la necesidad de una segunda bomba

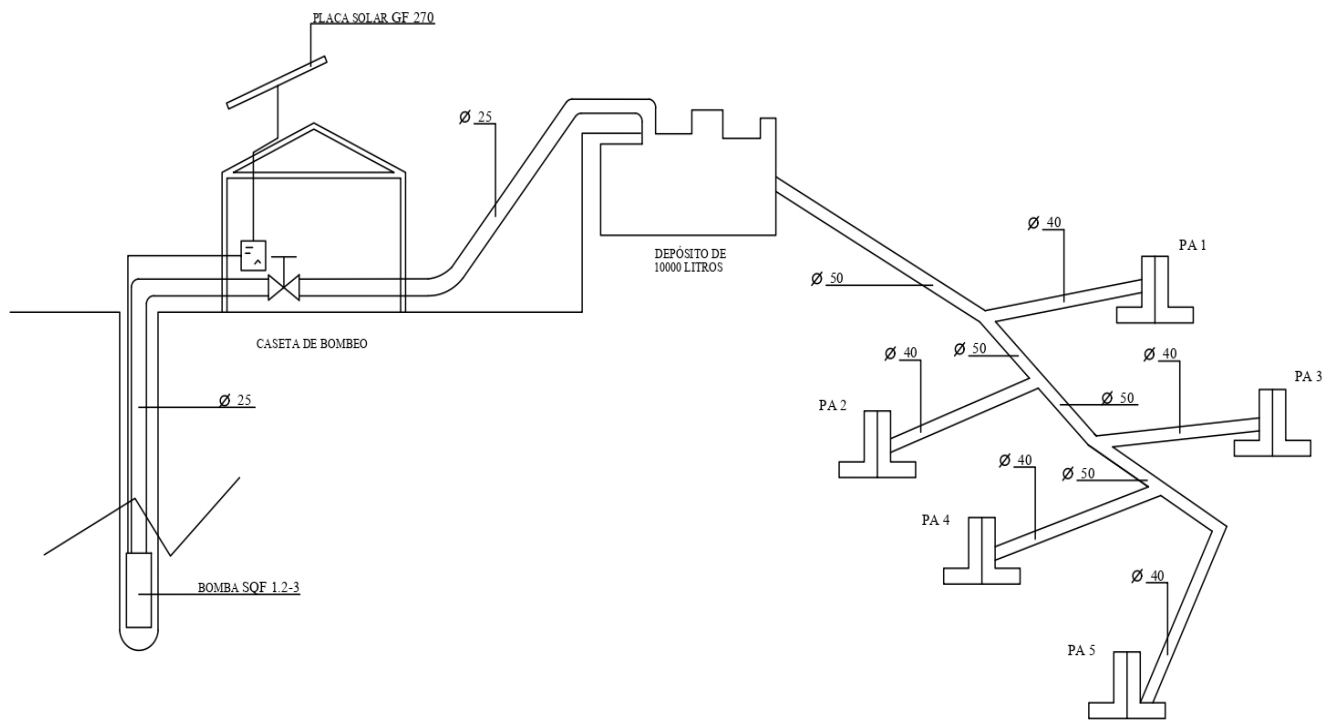


Ilustración 11 Esquema de la solución elegida. Fuente: propia

El almacenamiento del agua en depósitos en altura proporciona energía potencial, de esta forma, se consigue presurizar la etapa de salida y que el agua llegue a los puntos de abastecimiento con la presión y velocidad adecuadas. Este tipo de distribución resulta muy favorable ya que garantiza el suministro de agua aun cuando se produzcan cortes en la red eléctrica, problema muy común en Zimbabue. La principal ventaja consiste en que, una vez superada la inversión inicial, el sistema no supone ningún coste, salvo los de mantenimiento. Se trata de un sistema simple y eficiente ya que no requiere el uso e instalación de bombas hidráulicas, baterías, inversores o reguladores de carga.

El depósito deberá tener un volumen mínimo de 10000 litros cantidad suficiente para abastecer a la población y poder suministrar agua en caso de que la bomba dejase de funcionar. El depósito cubre las necesidades de consumo de la población. Por lo tanto,

con dicha cantidad se podrá almacenar agua durante los meses húmedos y tener suficiente disponibilidad para la etapa seca. El depósito de almacenamiento debe situarse en zonas con sombra o bien bajo tierra con el objetivo de prevenir el crecimiento de patógenos, debido a las altas temperaturas. La intensa radiación solar incidente puede dañar la superficie del depósito, por lo tanto, estas condiciones permiten una mejor conservación, lo que derivará en una mejora de la calidad del agua almacenada.

Por otro lado, el sistema de alimentación de la bomba se decidió que fuera solar principalmente por los siguientes motivos:

- Localización del pozo: ya que el pozo del que se obtendrá el agua potable para su posterior distribución se encuentra alejado de las aldeas, no se puede obtener energía directamente de la red eléctrica.
- Inestabilidad de la red eléctrica: las zonas rurales de Zimbabwe sufren numerosos cortes de red y por lo tanto solo disponen de electricidad a determinadas horas del día. Por otro lado, el coste de la electricidad es muy alto y la tensión suministrada por la red muy baja.
- Sostenibilidad: se trata de energía inagotable y limpia, lo que contribuye al desarrollo sostenible. Se evita el uso de carburantes lo que resultaría muy costoso y contaminante. La energía solar permite la disminución de las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera.
- Elevada irradiación solar: Zimbabwe es uno de los países del mundo con mayor irradiación solar ya que posee una media de aproximadamente 250 horas de sol al mes.

Se concluye que el bombeo solar constituye la mejor solución debido al ahorro energético y en mantenimiento, a su alta eficiencia y la capacidad de monitorización y automatización

La bomba elegida para el sistema se trata de una bomba hidráulica sumergible. Este tipo de bomba es la única capaz de elevar el agua de pozos de gran profundidad (hasta 300 metros), evita los problemas de cavitación, posee una alta eficiencia y es compatible con los paneles solares ya que debe ser alimentada a través de energía eléctrica.

Por el último, la parte restante de la instalación está constituida por una red de tuberías encargadas de la distribución del agua desde el pozo hasta el depósito de almacenamiento en altura y desde este hasta los puntos de abastecimiento situados en cada una de las cinco aldeas. El material elegido para las tuberías se trata de PVC debido a su gran cantidad de ventajas las cuales se exponen en la siguiente tabla:

✓ Vida ilimitada: sin corrosión ni electrolisis	✓ Alta resistencia a la presión y a la tensión
✓ Liviana: permite abaratar costes de grúa	✓ Interior liso: con menores pérdidas de carga
✓ Fácil de instalar: disminución de la mano de obra	✓ Montaje sencillo: sin juntas ni tornillos
✓ Se evita la creación de depósitos de cal	✓ Bajo coste del tubo respecto a los metálicos

Tabla 4 Ventajas de tuberías de PVC. Fuente: <http://www.proindecsa.com/wp-content/uploads/2018/08/tuberia.pdf>

Para la red de distribución se tuvo que elegir entre ramificada, mallada o mixta, siendo la red ramificada la ideal para el sistema debido su estructural lineal y alargada, en el que las longitudes de cada tramo pueden llegar hasta los 1000 metros y con la capacidad de dar servicio como máximo a 500 habitantes. Este tipo de redes presentan una forma arbórea en el que el líquido circula en un único sentido. Está formada por una tubería principal a partir de la cual van derivando otras tuberías secundarias que a la vez pueden derivar en tuberías terciarias.

Toda la red de tuberías será soterrada ya que disminuye la probabilidad de rotura puesto que se reduce su exposición a los rayos ultravioletas, paso de animales o a la contaminación; se disminuye el impacto en el ecosistema y como consecuencia se reduce el riesgo de accidentes; exigen un bajo mantenimiento y garantizan el funcionamiento del sistema sin interrupciones.

7. MOTIVACIÓN

La motivación principal de este proyecto es contribuir en dar respuesta a la problemática de acceso de agua potable en los países en vías de desarrollo. En concreto, los habitantes de la comunidad con la que se va a trabajar tienen que recorrer largas distancias para obtener agua potable. Con esta iniciativa, se busca cubrir una de las principales necesidades básicas.

El trabajo se desarrolla buscando que todas las personas pertenecientes a estas comunidades puedan colaborar en la construcción de todo el sistema de distribución y de esta manera, que sientan el proyecto también suyo. Está comprobado que haciendo a la comunidad participe en los proyectos de cooperación se consigue que sientan de alguna manera afecto por el trabajo realizado y ayuden en su mantenimiento. Se pretende de esta forma, contribuir en la formación de los voluntarios en tareas relacionadas con la albañilería, fontanería o cerrajería entre otros.

Se busca realizar un trabajo que tenga valor y que sea provechoso. Se trata, por tanto, de un proyecto que no se queda únicamente en el papel, puesto que a parte del diseño de la solución también se llevarán a cabo otras labores importantes, se deberá obtener la financiación necesaria para poder implementarlo, a través de recaudación de fondos y donaciones y, por último, se viajará a Zimbabue durante el verano de 2020 para dirigir y ayudar en la construcción del trabajo de fin grado. Lo que nos brinda la oportunidad de convivir con los habitantes de la comunidad, compartir el tiempo y aprender de ellos.

Poder construir el sistema que se ha diseñado y de esta forma contribuir en mejorar la calidad de vida de decenas de personas, es una iniciativa fantástica y muy enriquecedora y una motivación inmensa.

8. OBJETIVOS DEL PROYECTO

Este proyecto busca implementar un sistema de abastecimiento de agua, que sea capaz de suministrar agua potable a la población de Kazai, buscando solucionar de esta manera la escasez de agua potable y de los recursos necesarios para su obtención, con el que convive

la comunidad durante el invierno y largos períodos del verano. Todas las acciones que se llevarán a cabo buscarán mejorar la calidad de vida de la comunidad, garantizando sus necesidades básicas de salud e higiene y participando en la construcción y desarrollo de un centro de formación profesional, que permita a la población tener esperanzas de un futuro ilusionante y poder vivir de forma independiente.

Con el objetivo de completar el proyecto se deberán seguir los siguientes pasos:

1. Obtener financiación para el proyecto. Se realizarán eventos benéficos, mercadillos solidarios, crowdfunding y la recaudación de fondos a través de la donación de empresas y particulares
2. Realizar un estudio exhaustivo del terreno y de otros proyectos similares y realizar los cálculos necesarios para el diseño del sistema de distribución, teniendo en cuenta distintos escenarios, ya que los datos que proporciona la ONG no son muy precisos.
3. Obtener los materiales y las herramientas necesarias para la construcción del sistema y que estén disponibles en Harare, capital de Zimbabue o en zonas próximas.
4. Construir el sistema en la comunidad de Kazai con la ayuda de voluntarios locales y especialistas en los sectores de fontanería y electricidad durante el verano de 2020.

9. METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología de trabajo propone la finalización del trabajo en el mes de junio. El viaje a Zimbabue y su posterior implementación se realizará a partir del mes de julio y tendrá que estar terminado en el mes de agosto.

En primer lugar, se realizará el anexo B que sirve de introducción al proyecto y supone, por tanto, el primer paso en la consecución de los objetivos marcados. El desarrollo de

este apartado conlleva una investigación exhaustiva de los distintos proyectos realizados en otras partes del mundo con condiciones similares a Zimbabwe, lo que permite la familiarización de todos los conceptos, materiales e instrumentación empleados en el diseño y construcción de un sistema de distribución de agua. También, se estudiará en profundidad todas las condiciones ambientales, políticas, sociales y demográficas del país, con el objetivo de que sirva como referencia para todas las decisiones futuras del trabajo.

Una vez completado el primer paso, se procederá a realizar todos los cálculos y el diseño del proyecto, valorando siempre distintos escenarios para ajustarse de una forma adecuada a las condiciones específicas del lugar, ya que esta información no es del todo conocida y como consecuencia, se deberá trabajar con distintas hipótesis. Los datos reales sólo se podrán conocer una vez en el lugar de construcción.

Con el diseño completado, se buscarán proveedores con el objetivo de ajustarse correctamente al presupuesto marcado, el cual es muy limitado. Por tanto, en este paso se intentará contactar con los responsables de la organización en el país y hacer una estimación del coste de cada uno de los materiales que consideremos necesarios para el proyecto, así como la mano de obra que se vaya a emplear.

Desde el primer momento en que se asignó el proyecto, se viene llevando a cabo la labor de financiación de este.

Se adjunta a continuación, el cronograma donde se refleja la planificación del proyecto desde el mes de enero, comienzo del cuatrimestre hasta agosto, cuando se prevé su finalización:

Fases	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Anexo B (estudio de proyectos y Zimbabwe)	X							
Estudio procesos de distribución de agua	X	X						
Cálculos mecánicos del proyecto y diseño			X	X				
Definir presupuesto				X				
Elección de materiales e instrumentación				X	X			
Contacto con Proveedores					X			
Ajustes finales					X	X		
Estudio viabilidad						X		
Presentación proyecto						X		
Construcción							X	X

10. RECURSOS A EMPLEAR

Para la primera fase del proyecto, consistente en el diseño y la realización de los cálculos tanto mecánicos como eléctricos del sistema de distribución, se contará con el apoyo del director del proyecto, así como la colaboración de profesores especialistas en la materia. El autor dispone a su vez de numerosos recursos y conocimientos técnicos tras haber cursado las asignaturas de mecánica de fluidos y resistencias de materiales, claves para el desarrollo del proyecto.

Con respecto a los materiales necesarios para la construcción del sistema, todos ellos se comprarán en Harare, capital de Zimbabwe, a proveedores locales. Los motivos de esta decisión se fundamentan principalmente en:

1. Abaratar costes, puesto que si se compraran en otro país al coste del producto habría que añadirle el sobre coste que supone tener que enviarlo desde el país de origen. Excepcionalmente se enviarán estos productos si han sido donados por empresas y solo fuera necesario su traslado, o si no hay disponibilidad de estos en Zimbabue.
2. Favorecer la economía de la región. Zimbabue es un país en vías de desarrollo, por lo tanto, la compra de los materiales en la región permitiría dar un pequeño impulso a la economía local.
3. Ayudar en el mantenimiento del sistema. Si existiera cualquier contratiempo, se podría acceder de una manera más sencilla y rápida a los recambios necesarios para solucionar el problema.

Los proveedores por su parte deberán cumplir una serie de requisitos que les clasifique como aptos para su contratación. En primer lugar, hay que comprobar su solvencia, esto es, que sean capaces de proporcionar los materiales pedidos a un precio constante y la cantidad requerida aún cuando existan cambios en el mercado. Los proveedores deberán proporcionar productos fiables debido a la complejidad del sistema, por lo tanto, sería preciso evitar contratiempos que retrasen la finalización de la obra ya que existe una fuerte limitación del tiempo, la estancia de los participantes no será superior a los 2 meses. Por último, los proveedores deberán estar especializados en los materiales que vendan para evitar cualquiera de los problemas mencionados con anterioridad.

Con respecto a la mano de obra, se contará con voluntarios locales, no cualificados y, por tanto, con limitados conocimientos técnicos. Estos voluntarios pertenecen a la comunidad en la cual se implementará el proyecto, viéndose beneficiados si el sistema se finaliza en el tiempo previsto y con los menores contratiempos posibles. Como consecuencia, su compromiso con el proyecto deberá ser el máximo.

11. EJECUCIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

11.1 EJECUCIÓN

11.1.2 INSTALACIÓN DEL SISTEMA

En este apartado se detallará todo el proceso de montaje de la instalación de abastecimiento de agua. En primer lugar, se debe decidir si se desea traer los equipos desde España lo que conllevaría un coste extra de transporte o por otro lado comprarlos una vez en Zimbabwe. Como se ha comentado en los apartados anteriores la opción de comprar los dispositivos en Zimbabwe resulta la más favorable ya que se reducen los costes que supondría el transporte, se favorece la economía local y se facilita el mantenimiento de la instalación. La opción de traer los productos desde España únicamente tendría sentido si alguna empresa decide donar cualquier equipo. Por lo tanto, para la instalación se supone que los equipos se compran a proveedores locales. Puesto que el sistema se implantará en una zona rural del país, y, por tanto, sin la capacidad de suministro de los materiales y equipos, la compra se deberá realizar en Harare, capital de Zimbabwe.

Para realizar el montaje del sistema de abastecimiento se contará con la ayuda de voluntarios locales, que deberán recibir formación previa a la instalación y de especialistas que realizarán las tareas más complicadas.

El primer paso de implantación del sistema tras la elección y compra de los equipos, correspondiente a la excavación del pozo ya está finalizado y, por lo tanto, se pasará a la siguiente etapa. El pozo se excavó en el verano de 2019 a una profundidad suficiente de forma que garantizara el suministro de agua y con un diámetro apto para la instalación de la bomba sumergible. Con el objetivo de evitar derrumbamientos y aislar formaciones inestables, la pared del pozo fue revestida. Por lo tanto, el pozo en la actualidad se encuentra en las condiciones idóneas para comenzar la instalación de los demás elementos del sistema.

A continuación, y siguiendo el manual de instalación de la bomba se procederá al montaje de la estación de bombeo. Con el objetivo de evitar accidentes, robos y cualquier otro contratiempo, la zona donde se realizará la instalación permanecerá vallada hasta su finalización.

Con respecto a los paneles solares debido a su complejidad la instalación correrá a cargo de especialistas eléctricos capaces de manipular circuitos complejos. La instalación fotovoltaica estará soportada por una estructura que permita regular su posición para adaptarla a los rayos del sol. Por lo tanto, gracias a esta estructura los paneles estarán anclados al suelo mejorando su estabilidad y evitando problemas que puedan generar las fuertes corrientes de viento.

El siguiente paso consiste en la instalación de la bomba sumergible, también se aconseja su desempeño por especialistas ya que se trata de una tarea que requiere de gran precisión y se caracteriza por su gran dificultad. Se deberá introducir la bomba por el pozo y colocarla a aproximadamente 10 metros con respecto al nivel freático con el objetivo de disponer de agua en todo momento y evitar los problemas de cavitación.

Todos los dispositivos de la bomba hidráulica y del sistema fotovoltaico deberán situarse en una caseta de bombeo. Debe ser una edificación del tamaño suficiente que permita las labores de montaje, mantenimiento e instalación de dichos elementos. Se emplea sobre todo con el objetivo de proteger los elementos delicados de la instalación del exterior.

La etapa siguiente consiste en la instalación del depósito de almacenamiento de forma que el mismo y el punto de abastecimiento más alejado tengan un desnivel de 10 metros. Para ello se deberá realizar un estudio del terreno con anterioridad. Si no existiera la posibilidad de disponer de esta altura de forma natural se deberá comprar una estructura que permita su elevación.

El último paso consiste en la instalación de la red de distribución, se deberán soterrar las tuberías y llevar un punto de abastecimiento a cada una de las 5 aldeas a las que se busca dar suministro. Es imprescindible para completar las tareas de forma exitosa que se cumplan las normas de seguridad en cada momento y que todas las tareas sean realizadas

por el personal adecuado emplazando los dispositivos en la ubicación exacta para evitar accidentes.

11.1.2 FORMACIÓN DE LOS VOLUNTARIOS

En las semanas previas a la instalación del sistema se llevarán a cabo unos cursos de formación a los voluntarios locales con el objetivo de enseñarles lo necesario para que puedan desempeñar todas las tareas de implantación de la instalación adecuadamente. De esta forma se pretende cumplir con uno de los puntos principales de los proyectos de cooperación y que consiste en hacer partícipes a los habitantes de la comunidad beneficiaria para que sientan suyo también el proyecto.

También se les inculcará la importancia y todos los beneficios del sistema en la comunidad. Se les proporcionará información de las formas de contaminar el agua, así como las consecuencias que estas actividades tiene en su salud y en el sistema. Al finalizar el proyecto se les dará información sobre el mantenimiento del mismo y las formas en que pueden ahorrar agua para evitar la sobreexplotación del acuífero.

11.2 MANTENIMIENTO

En este apartado se adjuntan especificaciones relativas al uso, el mantenimiento y conservación que requiere la instalación y los posibles fallos que pudieran existir tanto en la red de abastecimiento como en los elementos principales del sistema. Este mantenimiento es esencial para alargar la vida de los equipos, los cuales requieren de revisiones cada cierto tiempo con el objetivo de comprobar que siguen funcionando correctamente. El principal objetivo de este apartado, por tanto, consiste en lograr un mayor rendimiento, eficacia y durabilidad del proyecto.

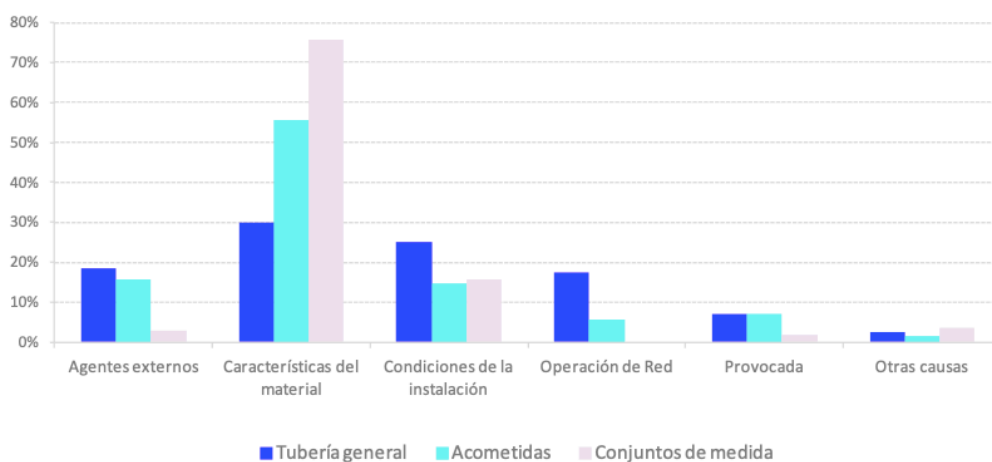
El proceso de mantenimiento de la instalación será llevado a cabo por los habitantes de la población beneficiaria a los que habrá que formar adecuadamente para que sean capaces de prevenir futuros problemas y reparar los que se produzcan. Las tareas más complicadas serán realizadas por especialistas.

11.2.1 MANTENIMIENTO DE LA RED DE TUBERÍAS

Ya que la red de tuberías será soterrada se conseguirá reducir muchos de estos inconvenientes debido a su menor exposición, pero siguen existiendo otros problemas. El principal problema que puede existir en una red de tuberías consiste en las fugas por rotura. A continuación, se exponen los motivos principales que generan este tipo de fugas.

- Rotura transversal: causado generalmente por vibraciones en las cargas de la superficie.
- Aplastamiento: generado en gran parte debido a un mal dimensionado de la instalación y defectos en la construcción y soterrado de la red. En general, las tuberías de PVC suelen estar diseñadas de forma que den inercia a la sección con el objetivo de resistir el aplastamiento.
- Rotura longitudinal: es el fallo más común dentro de una red de distribución, generado en gran parte debido a los denominados golpes de ariete, defectos del material y a esfuerzos de fatiga.

A continuación, se adjunta un gráfico en el que se muestran las principales causas de fallo consideradas en tuberías



Gráfica 3 Causas fallo en la red de tuberías. Fuente:
https://www.canaldeisabelsegunda.es/documents/20143/85614/24_Estudio+de+casuistica+red.pdf/a4094f0b-a000-92e0-c9ca-1bb436e88910?t=1562583330796

Los problemas en las juntas y la corrosión son unos de los principales causantes de fugas en la red de tuberías:

Corrosión

La corrosión es la degradación del material debido a reacciones químicas. Este problema genera una reducción de la eficiencia de la red de distribución ya que se incrementan las pérdidas de carga, y como se ha mencionado con anterioridad favorece la aparición de fugas en la red.

La red de tuberías que se ha elegido para el sistema está formada por tuberías de PVC. Este material posee una alta resistencia a la corrosión y, por lo tanto, es prácticamente inmune a cualquier tipo de corrosión característico de los sistemas de tuberías subterráneos, es decir, no se ve dañado por ataques de suelos corrosivos. Se trata de un material no conductor por lo que se eliminan los efectos electroquímicos y galvánicos. Como consecuencia, este tipo de tuberías no necesita ser protegida ni colocar ningún recubrimiento.

El mantenimiento de la red de tuberías consta de los siguientes pasos:

- Inspección de la tubería: la cual se puede realizar de formas muy diversas tanto visual, como de forma acústica por ultrasonidos, rayos infrarrojos o técnicas radioactivas y electromagnéticas.
- Limpieza de las tuberías: es aconsejable limpiar la red de tuberías cada cierto tiempo con el objetivo de evitar los problemas que se han mencionado en el apartado con anterioridad y de garantizar una buena calidad del agua extraída. La limpieza de las tuberías se puede realizar mediante productos químicos, con rascadores mecánicos a tracción, impulsados por agua o mediante varillas.
- Reparaciones puntuales: si existieran fugas en la red sería necesario su reparación lo antes posible puesto que se producirían grandes pérdidas de

caudal lo que podría llevar al no abastecimiento de las cantidades mínimas establecidas. Las reparaciones dependen del tipo de fuga y el lugar en el que se realice, lo principales sistemas son los robotizados multifunción, la rehabilitación de uniones, reparación por encamisado y por inyección de resinas.

11.2.2 MANTENIMIENTO DE LA BOMBA

Para el mantenimiento de la instalación de bombeo se deben tener en cuenta las especificaciones del fabricante, al ser un elemento esencial para el sistema y el más complejo, se precisará de especialistas para su correcta manipulación. Cualquier sistema de bombeo de agua requiere de un sistema de mantenimiento preventivo que consta de los siguientes pasos:

- Al menos dos veces por año, se deben limpiar todos los elementos de la bomba y si existiera cualquier problema en uno de estos elementos será precisa su sustitución por otro igual.
- Una vez cada cuatro meses, se deberán lubricar tanto los rodamientos como los piñones de la bomba para asegurar el correcto funcionamiento del sistema.

Equilibrado

El equilibrado del sistema de bombeo viene de fábrica, sin embargo, existe la posibilidad de que con el tiempo y uso se generen desequilibrios. Por lo tanto, se debe garantizar que el sistema funcione en correcto equilibrio tanto estático como dinámico, ya que en caso contrario se generarían vibraciones en la bomba que afectan negativamente tanto a la máquina como a la red de abastecimiento. Si ocurriera el desequilibrio, se deben seguir los siguientes pasos para restablecer el correcto funcionamiento de la bomba:

- Eliminar exceso de material en las zonas donde existiera desequilibrio con el objetivo de garantizar el equilibrio axial.

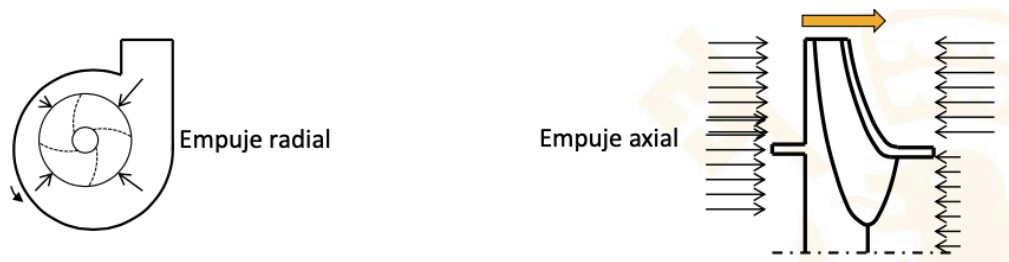


Ilustración 12 Empuje axial y radial en bombas hidráulicas. Fuente: Recursos asignatura turbomáquinas (ICAI)

- Orificios compensadores: método que resulta más económico, consiste en el taladro de orificios en el plato del rodete con el objetivo de equilibrar las presiones en ambos lados.



- Álabes radiales en la cara posterior: intercalado de álabes en la parte posterior del impulsor disminuyendo la presión en esta cara.

11.2.3 MANTENIMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

En este apartado se exponen las acciones básicas que se deben realizar para llevar a cabo un correcto mantenimiento de la instalación fotovoltaica. Toda instalación de energía solar requiere de una serie de aspectos a realizar para alargar la vida del sistema, así como asegurar su correcto funcionamiento.

En primer lugar, se estudiará mantenimiento preventivo, el cual se llevará a cabo por los habitantes de la comunidad beneficiaria y que consta de las siguientes etapas:

- Mantenimiento del sistema de regeneración: consiste en limpiar la suciedad que se acumule en los paneles solares y dificulte el funcionamiento de la instalación. En el caso de Zimbabue se tendrá que tener especial cuidado con el polvo y los

excrementos de aves ya que conllevaría a una reducción de la energía generada e incluso podría llevar a la generación de puntos calientes.

- Reconocimiento visual de degradaciones en los paneles: se busca controlar que no exista ninguna célula en malas condiciones.
- Inspección de la estructura de soporte: se controlará que no aparezcan degradaciones, que los tornillos estén apretados adecuadamente y en buen estado y la estanqueidad de la cubierta.
- Comprobación de los inversores: puesto que los inversores solares constituyen los elementos más complicados y delicados de la instalación fotovoltaica precisan de un mantenimiento exhaustivo a realizar al menos dos veces al año.

En cuanto al mantenimiento no preventivo, será llevado a cabo por especialistas y profesionales del sector al menos una vez al año en el que llevarán a cabo labores relacionadas con el mantenimiento de los paneles solares, comprobación de las caídas de tensión de los circuitos de la instalación, comprobación del estado del cuadro general, así como la instalación interior y la puesta a tierra del sistema. [19]

11.2.4 MANTENIMIENTO DEL POZO

El correcto mantenimiento del pozo es esencial para garantizar el buen estado de la estructura, así como de todos los elementos que se emplean en el sistema y de mantener una buena calidad del agua. Para ello es muy importante llevar a cabo un plan de mantenimiento que se divide en las siguientes etapas:

- Limpieza del pozo: consiste en apartar todos los residuos de la zona del pozo con el objetivo de evitar que precipiten al fondo y dañen los elementos de la instalación. También resulta conveniente evitar la difusión de fertilizantes y pesticidas en los alrededores del sistema pues afectarían negativamente a la calidad del agua.

- Control de la calidad del agua: se debe comprobar que el agua que se extrae del pozo cuenta con todos los estándares necesarios para su consumo. Si no fuera así, se propone en los siguientes apartados la construcción de un sistema de potabilización.
 - Control de la medida de agua: al menos 3 veces al año se debe controlar la cantidad de agua extraída del pozo con el objetivo de comprobar su caudal y que no exista una reducción considerable de la afluencia del agua. También se debe comprobar la cantidad de agua existente en el líquido que se obtiene del pozo.
- [22]

11.2.5 MANTENIMIENTO DEL DEPÓSITO

El depósito elevado constituye uno de los elementos más simples de la instalación y por tanto las labores de mantenimiento básicas y revisión pueden ser llevadas a cabo por los habitantes de la comunidad beneficiaria. Por tanto, para garantizar el correcto funcionamiento y estado del depósito se deben seguir los siguientes pasos:

- En primer lugar, se debe comprobar que el depósito queda cerrado herméticamente asegurándose que la tapa cierre correctamente. De esta manera se pretende evitar la entrada de insectos u otros animales o del agua de la lluvia.
- Se debe asegurar que el depósito permanezca a la sombra con el objetivo de evitar la germinación de bacterias y patógenos.
- Comprobar que todos los dispositivos que forman parte del sistema funcionan correctamente, es decir, las válvulas, flotador o boya de nivel y las juntas de la red de tuberías.
- Revisar si existen fisuras en el depósito que generen fugas del agua almacenada.

En el depósito también se deben llevar a cabo tareas de limpieza al menos una vez al año con el objetivo de alargar la vida del producto y garantizar que el agua suministrada tenga una buena calidad. Para una correcta limpieza se deben seguir los siguientes pasos:

- Detener el sistema de bombeo de agua y abrir la red de distribución hasta que el depósito tenga aproximadamente 15 centímetros de agua.
- Con un cepillo o escoba sin detergente o jabón se deben limpiar las paredes del depósito.
- Vaciar el depósito y proceder a su enjuagado eliminando todos los residuos que hayan quedado en su interior.
- Llenar el depósito hasta alcanzar aproximadamente la mitad de su nivel y añadir 2 litros de lejía por cada 1000 litros de agua y dejar reposar durante 4 horas aproximadamente.
- Llenar de nuevo el depósito y vaciarlo para eliminar el exceso de lejía que quede en el tanque. [21]

12. AMPLIACIONES DEL SISTEMA

12.1 SISTEMA DE CAPTACIÓN DEL AGUA DE LA LLUVIA

El sistema de captación del agua pluvial constituye una de las alternativas propuestas para satisfacer las necesidades de consumo de agua de la población beneficiaria. Este sistema sirve de complemento al agua captada desde el pozo y permite aprovechar el agua pluvial que normalmente es desperdiciada. El agua tiene un coste, por lo tanto, toda cantidad que se pueda reaprovechar o captar directamente en el medio ambiente, supone un importante

ahorro. Fácilmente se consigue ahorrar alrededor de un 50% del consumo de agua potable en un domicilio estándar.

La captación del agua de la lluvia consiste en filtrar el agua pluvial que se capta desde cualquier superficie, normalmente de un tejado o azotea, para su posterior almacenamiento en un tanque.

El sistema consiste en un conjunto de canaletas situadas en la superficie de recolección, a través de las cuales se capta el agua de la lluvia para su posterior distribución a través de bajantes al tanque de almacenamiento. En la entrada del depósito, el agua debe pasar por un filtro con el objetivo de eliminar los sólidos en suspensión que pudieran existir en ella.

El siguiente paso consiste en el abastecimiento de los domicilios a través de una red independiente a la de distribución del agua potable con el objetivo de no contaminarla.

El agua procedente de la lluvia no es apta para el consumo humano, pero tiene una gran cantidad de aplicaciones gracias a que posee una excelente calidad, pues la concentración de contaminantes suele ser muy baja. Este tipo de agua se puede emplear para el lavado de ropa, alimentos, vajillas y para el riego. [20]

En la siguiente imagen se presenta un ejemplo de un sistema de captación del agua pluvial



Ilustración 13 Sistema de captación del agua de la lluvia. Fuente: <https://www.arrevol.com/blog/5-sistemas-metodos-para-reaprovechar-reutilizar-el-agua-de-lluvia>

A continuación, se presentan las principales ventajas de este tipo de sistemas de captación:

- La instalación de un sistema de captación del agua pluvial constituye un ahorro más que evidente, tal y como se ha señalado con anterioridad. El agua captada de la lluvia puede llegar a suponer hasta un 70% del agua que se emplea en un domicilio.
- Se trata de un recurso que se obtiene del medio ambiente y por lo tanto es gratuito.
- Este tipo de sistema colabora en mejorar en la sostenibilidad y en protección del ecosistema.
- Permite una mayor disponibilidad del agua, puesto que no existen restricciones ni prohibiciones.
- Se trata de una instalación sencilla y por lo tanto fácil de implantar y mantener.

12.2 POTABILIZACIÓN DE AGUAS DE CAPTACIÓN

Una de las posibles ampliaciones del sistema consiste en la instalación de una potabilizadora que permita mejorar la calidad del agua. Con este objetivo se llevarán a cabo los cálculos correspondientes en función de la cantidad de agua que se desee suministrar a la comunidad. Tal y como se viene realizando a lo largo del proyecto, se realizarán estimaciones que sirvan de antecedente a futuros cálculos y que permitan satisfacer los objetivos marcados.

12.2.1 CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Las aguas subterráneas son las que circulan bajo la superficie terrestre ocupando los poros y las fisuras de las rocas. Representan la mayor reserva del agua dulce del planeta y

derivan principalmente del agua de la lluvia. Las principales características del agua subterránea con respecto a la contaminación son las siguientes:

- Puesto que se encuentran bajo la superficie terrestre, están más protegidas frente a la contaminación externa. Esto se debe principalmente a que el suelo tiene una gran capacidad de absorción y retiene dichos contaminantes.
- Foco difícil de identificar: El control y seguimiento de las aguas subterráneas es muy complicado y por lo tanto la labor de descontaminación resulta muy difícil.
- El movimiento de las aguas subterráneas es muy lento, por lo tanto, los contaminantes se desplazan muy despacio por debajo de la superficie terrestre.
- Existe una tasa muy baja de renovación de agua lo que favorece que los contaminantes permanezcan en las aguas subterráneas durante largos períodos de tiempo

A continuación, se adjunta una imagen en la que se representan los principales movimientos de contaminantes en las aguas subterráneas.

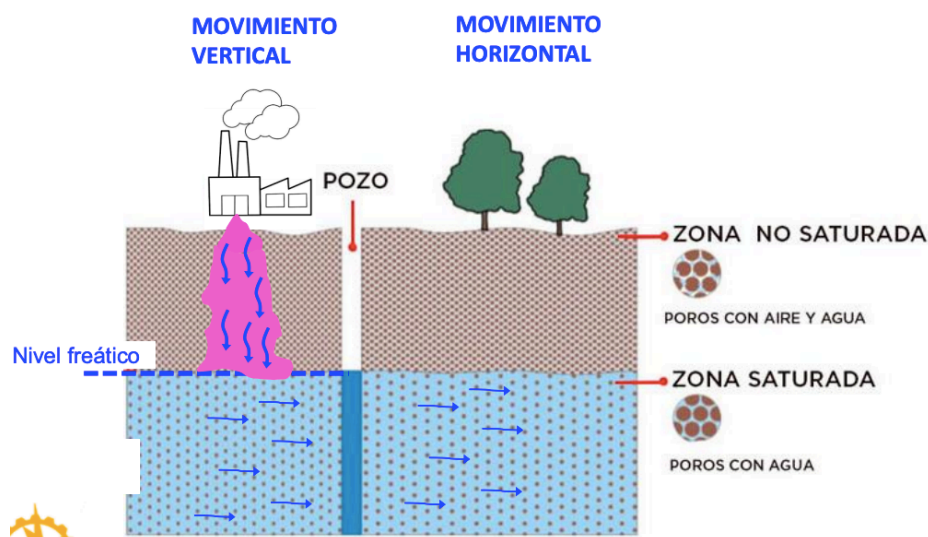


Ilustración 14 Esquema del movimiento de contaminantes por debajo de la superficie. Fuente: recursos asignatura ingeniería medioambiental

12.2.2 POTABILIZADORA

En el siguiente apartado, se analizarán las etapas del sistema de potabilización de las aguas de consumo que harán falta para mejorar la calidad del agua dependiendo de una serie de factores a controlar.

La calidad del agua que nos encontramos según distintos indicadores de contaminación será del tipo A1, debido en gran medida a la profundidad del pozo, entre 90 y 100 metros aproximadamente, lo que permite obtener agua en condiciones aceptables para el consumo humano y animal. Al tratarse de agua con categoría A1 será necesario únicamente un tratamiento físico simple y desinfección.

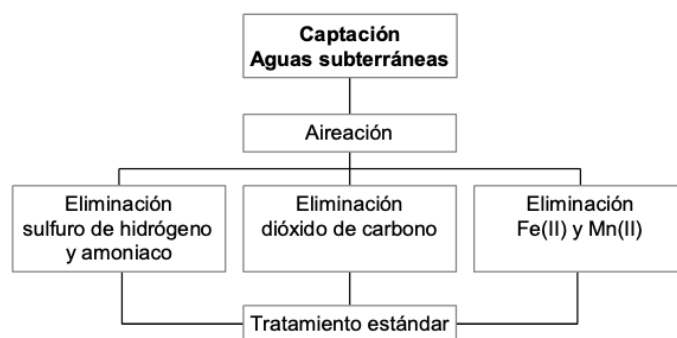


Ilustración 15 Esquema pretratamiento de potabilización en aguas de captación subterráneas. Fuentes: recursos asignatura ingeniería medioambiental (ICAI)

Parámetros que controlar

Agua procedente de un pozo (agua subterránea)	
Oxígeno disuelto	La concentración de oxígeno disuelto en las aguas subterráneas es muy baja, por lo tanto, se incluirá una etapa de aireación que permitirá mejorar la cantidad de O_2 del agua.
Sulfuro de Hidrógeno (H_2S):	Si estuvieran presentes en el agua en alto contenido, se eliminarán en la etapa de aireación.
Fe^{2+} y Mn^{2+} :	Presentes, pero no en exceso ya que el agua tiene una Calidad tipo A1. Aparecen debido a que los microorganismos presentes en el agua han consumido el O_2 de los minerales. Durante el proceso de aireación las sales disueltas precipitarán como óxidos y, por tanto, será necesario su posterior eliminación a través de un proceso de filtrado.

Amoniaco (NH_3):	Si estuviera presente en el agua, se eliminaría en el proceso de aireación.
CO_2	Las aguas subterráneas pueden almacenar dióxido de carbono durante largos períodos de tiempo, por tanto, si existiera en exceso se eliminaría en la etapa de aireación.
Sólidos en suspensión	Compuesto por sólidos sedimentables, coloidales y disueltos, para su eliminación será necesario una etapa de filtrado
Coliformes	Necesario su control, ya que se requieren 0 a la salida. Para su eliminación se instalará un sistema de filtrado y desinfección
Temperatura	Las altas temperaturas posibilitan la germinación de patógenos en el agua, por lo tanto, será necesario la colocación de los depósitos de agua en zonas con sombra.
pH	Se requieren unos niveles mínimos de pH a la salida de 7. Para la etapa de desinfección se requieren unos niveles de pH (6-8), por encima de 8 no se lograría la desinfección.

Tabla 5 Parámetros a controlar en la potabilización. Fuente: propia

El sistema de potabilización contará con las etapas de aireación, filtración (filtro rápido de arena) y desinfección. Si fuera necesario en un futuro se plantea la instalación de un filtro de carbón activo que permita combatir la posible contaminación del agua por pesticidas y fertilizantes, si las zonas próximas al acuífero se emplean para la agricultura.

- Aireación: permite un contacto más íntimo entre el oxígeno con el agua a tratar, se puede realizar a través de pequeñas cascadas, así como pulverizando el agua.
- Filtro rápido de arena: en esta etapa, se hace pasar el agua a través de un medio poroso sin película biológica que permite retener sólidos en suspensión y sus microorganismos patógenos asociados. Permite retirar aproximadamente el 65% de los patógenos, en un tiempo de limpieza de entre 20 y 60 horas. No sería aconsejable la instalación de un filtro lento pese a retirar el 98% de los patógenos, debido a su alto precio, ya que se utiliza en la industria farmacéutica y largos tiempos de filtrado (2-6) meses.

- Desinfección: destinada a destruir los microorganismos patógenos restantes. Se empleará como desinfectante el cloro al ser más económico que los demás y mantener el agua libre de partículas coloidales durante un mayor tiempo de almacenaje. Se requieren unos niveles de pH (6-8). La dosis óptima que añadir al agua a tratar será de 0,9 mg de cloro por cada litro de agua.

A continuación, se representan las etapas analizadas anteriormente en un esquema.

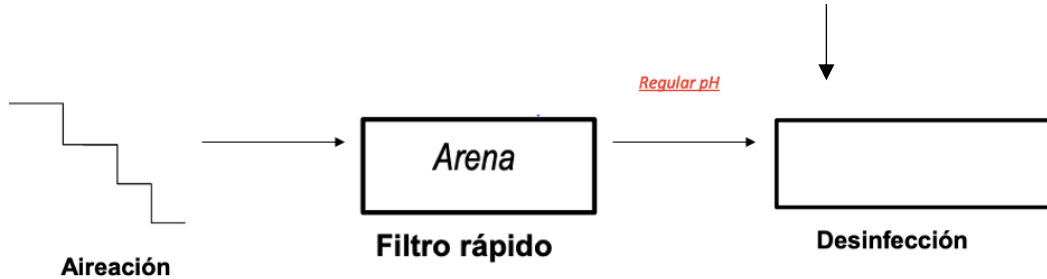


Ilustración 16 Esquema planta potabilizadora. Fuente: propia

13. CONCLUSIONES

En este último apartado de la memoria, se evalúan individualmente, cada uno de los objetivos que fueron definidos en la realización del Anexo B y que se exponen en los anteriores apartados.

- **Obtener financiación para el proyecto. Se realizarán eventos benéficos, mercadillos solidarios, crowdfunding y la recaudación de fondos a través de la donación de empresas y particulares**

Ya que se trata de un proyecto real destinado a su implantación es necesario buscar financiación con el objetivo de hacerlo realidad. Constituye, por tanto, una de las partes fundamentales del proyecto. Para obtener dichos fondos se promoverán eventos benéficos, mercadillos solidarios, se buscarán donaciones tanto de particulares como de empresas y se realizará una campaña de crowdfunding en la que se concienciará de los beneficios del proyecto.

- **Realizar un estudio exhaustivo del terreno y de otros proyectos similares y realizar los cálculos necesarios para el diseño del sistema de distribución, teniendo en cuenta distintos escenarios, ya que los datos que proporciona la ONG no son muy precisos.**

Todo este análisis se realiza en los primeros apartados de la memoria descriptiva. En primer lugar, se estudian tres casos similares al proyecto y que cumplan con las principales características del mismo, es decir que sea un proyecto de cooperación de sencilla instalación, duradero, implantado con la ayuda de voluntarios locales y en lugares con características climatológicas y de terreno parecidas a Zimbabwe. Los cálculos necesarios para el dimensionado del sistema se desarrollan en un capítulo específico destinado exclusivamente a ellos. Para la realización de los cálculos se han empleado los apuntes de asignaturas cursadas a lo largo del grado e información obtenida online. Debido a la falta de información se contactó con la ONG y se proporcionaron todos los datos que tenían a su disposición, como no eran suficientes se ha trabajado con varias hipótesis.

- **Obtener los materiales y las herramientas necesarias para la construcción del sistema y que estén disponibles en Harare, capital de Zimbabwe o en zonas próximas.**

Una vez se han obtenidos todos los cálculos necesarios, se procede al dimensionado de los dispositivos que se emplearán en el sistema. La elección de los mismos se realiza en el capítulo destinado a los cálculos. Para el dimensionamiento de dichos elementos, se ha realizado un estudio de mercado y contactado con proveedores locales que cumplan con los requisitos de fiabilidad y solvencia.

- **Construir el sistema en la comunidad de Kazai con la ayuda de voluntarios locales y especialistas en los sectores de fontanería y electricidad durante el verano de 2020.**

Las tareas de implantación del sistema se pospondrán al verano de 2021 debido a la pandemia global. La construcción del sistema se llevará a cabo por voluntarios locales y especialistas de los sectores que requieran trabajos más cualificados. Dichas tareas se realizarán una vez se dispongan de todos los recursos necesarios.

Capítulo II

Cálculos

Contenido Capítulo II

14.	<i>ESTUDIO DE LAS NECESIDADES DE CONSUMO</i>	65
14.1	Necesidades de consumo diarias	67
15.	<i>EL DEPÓSITO DE ALMACENAMIENTO</i>	68
15.1	Dimensionado del depósito	70
15.2	ELECCIÓN DEL DEPÓSITO.....	72
16.	<i>LA ESTACIÓN DE BOMBEO</i>	73
16.1	La bomba.....	74
16.2	El pozo	81
16.3	Tubería de impulsión	82
16.4	Caseta de bombeo	85
17.	<i>LA RED DE DISTRIBUCIÓN</i>	86
17.1	Tipos de redes	87
18.	<i>CÁLCULOS HIDRÁULICOS</i>	89
18.1	Cálculos primera parte	89
18.2	Cálculos segunda parte	101
19.	<i>ELECCIÓN DE EQUIPOS</i>	115
19.1	Elección de la bomba.....	115
20.	<i>CONCLUSIONES CÁLCULOS</i>	121

14. ESTUDIO DE LAS NECESIDADES DE CONSUMO

La cantidad de agua que se hace llegar a cada domicilio y, por tanto, la que se es empleada tanto para consumo como para la higiene doméstica es un aspecto relevante a la hora de diseñar el sistema de abastecimiento de agua y tiene una clara influencia en la salud pública.

Con el objetivo de delimitar la cantidad mínima recomendable que permita cubrir las necesidades básicas de consumo, tanto para la bebida como limpieza y preparación de los alimentos, e higiene básica, la Organización Mundial de la Salud realiza un análisis en el se tienen en cuenta tanto los hábitos diarios de cada persona considerados como fundamentales, la cultura, las condiciones ambientales a lo largo del año, la edad, el género y el peso. Se establece, por tanto, que 7,5 litros de agua por persona y día serían suficientes para atender todas las necesidades de los consumidores en todas las condiciones. Dicho nivel, únicamente considera las demandas para uso doméstico y, por tanto, no estaría incluido su uso en centros médicos, riego y producción de alimentos y actividades de ocio. Cabe destacar, que la calidad de agua debe tener un nivel mínimo de riesgo que garantice su consumo.

En la siguiente tabla aparece un resumen de la cantidad de agua necesaria según el nivel de servicio y las necesidades atendidas. Por lo tanto, se puede concluir que un nivel de agua de aproximadamente 20 litros por persona y día serían suficientes para atender todas las necesidades básicas de la comunidad beneficiaria. El diseño del sistema plantea la instalación de un grifo de agua por cada aldea situado a una distancia entre los 100 y 1000 metros de cada una de las viviendas y que permita el acceso básico.

Nivel del servicio	Medición del acceso	Necesidades atendidas	Nivel del efecto en la salud
Sin acceso (cantidad recolectada generalmente menor de 5 l/r/d)	Más de 1.000 m ó 30 minutos de tiempo total de recolección	Consumo – no se puede garantizar Higiene – no es posible (a no ser que se practique en la fuente)	Muy alto
Acceso básico (la cantidad promedio no puede superar 20l/r/d)	Entre 100 y 1.000 m ó de 5 a 20 minutos de tiempo total de recolección	Consumo – se debe asegurar Higiene – el lavado de manos y la higiene básica de la alimentación es posible; es difícil garantizar la lavandería y el baño a no ser que se practique en la fuente	Alto

Tabla 6 Cantidad de agua según nivel de servicio. Fuente: OMS

Los principales beneficios a la salud pública de abastecer de agua a poblaciones que no tienen acceso directo resultan principalmente en dos mejoras. La primera consiste en eliminar los largos desplazamientos para obtener agua. Debido al largo trayecto y a los grandes tiempos que ello supone, la cantidad de agua que se recolecta una vez en la fuente no suele cumplir con los volúmenes adecuados para satisfacer todas las necesidades. Otra de las mejoras supone el ahorro en tiempo que puede reinvertirse en el cuidado de los menores y en la educación, factores esenciales para el desarrollo.

A continuación, se adjunta un cuadro, en el que se ofrecen los datos de personas que no disponen de acceso de agua durante los años 1990 y 2000, así como las mejoras que se han llevado a cabo durante estos períodos, debido tanto a las fuentes mejoradas como al abastecimiento a través de redes de distribución por tuberías.

Year	No access (millions)	Access to improved sources withing 1 kilometer (millions)	Access through household connections (millions)
1990	22% (1169)	78% (4086)	43% (2255)
2000	18% (1069)	82% (4988)	52% (3169)

Tabla 7: Datos abastecimiento de agua para años 1990 y 2000. Fuente: OMS

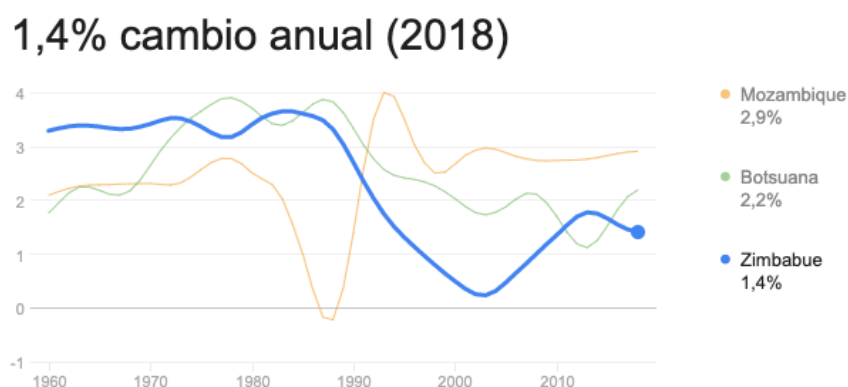
En concreto, Zimbabue es uno de los países más afectados del continente, en el que cerca de 1 700 000 personas, entre ellos 935 000 niños, no tienen acceso a agua potable ni a instalaciones de saneamiento ambiental, lo que ha provocado que cerca de 7 distritos hayan sufrido brotes de cólera en los últimos años. [1]

14.1 NECESIDADES DE CONSUMO DIARIAS

Con el objetivo de calcular las necesidades de consumo diarias de la comunidad beneficiaria, en primer lugar, se debe conocer la cantidad de personas a las que se quiere dar servicio.

Según los datos proporcionados por la ONG, se busca abastecer de agua a aproximadamente 5 aldeas, cada una de ellas cuenta con una población de unas 30 personas. Ya que en el diseño de la instalación se supone una vida útil de unos 20 años, se debe tener en cuenta la tasa de crecimiento anual de la población durante este período.

Zimbabue / Tasa de crecimiento demográfico



Gráfica 4 Tasa de crecimiento demográfico anual. Fuente: Banco Mundial

Tal y como se puede observar en el gráfico anterior, Zimbabue posee una tasa de crecimiento demográfico del 1,4% anual. Teniendo en cuenta, los datos proporcionados con anterioridad, la población de la comunidad beneficiaria en un período de 20 años será:

$$P_n = P \text{ actual} * (1 + \text{tasa crecimiento anual})^n$$

P actual:

$$P \text{ actual} = 30 \frac{\text{personas}}{\text{aldea}} * 5 \text{ aldeas} \rightarrow P \text{ actual} = 150 \text{ personas}$$

P en 20 años:

$$P_{20} = 150 \text{ personas} * (1 + 1,4\%)^{20} \rightarrow P_{20} = 198,8 \approx \mathbf{199 \text{ personas}}$$

En el apartado anterior, se concluye que la cantidad de agua necesaria para satisfacer las necesidades básicas de la población es de 20 litros/persona/día. Por lo tanto, las necesidades de consumo diarias de la población serán:

$$199 \text{ personas} * 20 \frac{\text{litros}}{\text{persona} * \text{día}} = 3980 \frac{\text{litros}}{\text{día}}$$

Si aplicamos un coeficiente de seguridad del 20%

$$3980 \frac{\text{litros}}{\text{día}} * 1,2 = 4776 \frac{\text{litros}}{\text{día}} \approx 5000 \frac{\text{litros}}{\text{día}}$$

$$5000 \frac{\text{litros}}{\text{día}} * \frac{m^3}{1000 \text{ litros}} = 5 \frac{m^3}{\text{día}}$$

Por lo tanto, la comunidad beneficiaria consume aproximadamente 5000 litros de agua al día, teniendo en cuenta las consideraciones que se han mencionado anteriormente. Se debe suministrar diariamente dicha cantidad de agua con el objetivo de que los habitantes de la población sean capaces de satisfacer todas sus necesidades básicas y mejorar su calidad de vida.

15. EL DEPÓSITO DE ALMACENAMIENTO

En el siguiente apartado se analizan los principales elementos de un tanque de almacenamiento de agua en altura. En la ilustración que se muestra a continuación se pueden distinguir todas las partes del mismo.

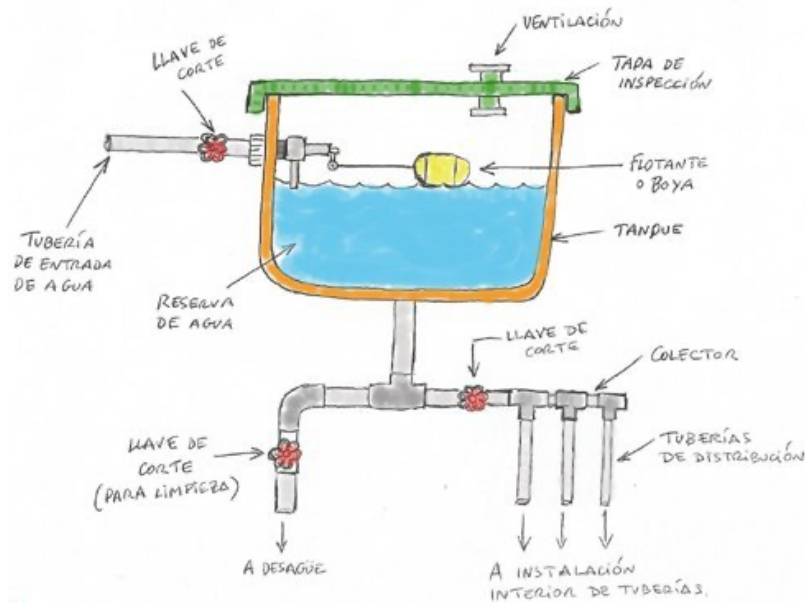


Ilustración 17 Esquema depósito de agua elevado. Fuente: <https://aguaecosocial.com/mantenimiento-y-limpieza-de-tanques-elevados/>

- Depósito: constituye la parte fundamental del sistema, en él se almacena el agua para su posterior distribución.
- Tubería de alimentación: permite la entrada del agua procedente del pozo e impulsada por la bomba en el depósito de almacenamiento.
- Llave de corte (entrada): regula el flujo de entrada de agua procedente del pozo al tanque de almacenamiento en altura.
- Caño de ventilación: tiene la función de retirar las burbujas de aire antes de que el agua pase a la tubería de distribución. Debe estar protegida del exterior para evitar la entrada de insectos y de otros animales o del agua de la lluvia.
- Tapa de inspección: se emplea para comprobar el estado del tanque, debe estar cerrada herméticamente.
- Flotante o boya: se trata de un dispositivo situado en el interior del tanque de almacenamiento y que permite conocer el nivel del agua. Se encuentra enlazado a una válvula que regula el flujo de agua que asciende por la tubería de alimentación y que se cierra una vez el flotante llega a su estado máximo.

- Tubería de salida: permite la salida del agua del tanque de almacenamiento en altura. Tiene dos funciones, una primera que sirve de enlace con la red de distribución y otra que sirve para el vaciado o limpieza del tanque.
- Llave de corte (salida): regula el flujo de salida de agua procedente del tanque de almacenamiento en altura.
- Rebosadero: permite la salida del agua del tanque de almacenamiento si existiera cualquier problema con el flotante o boya. Se encuentra en la parte superior del depósito. [23]

15.1 DIMENSIONADO DEL DEPÓSITO

El primer paso a la hora de decidir las dimensiones del depósito que se implantará en el sistema consiste en la valoración de aspectos tales como la simplicidad y el coste debido a las fuertes limitaciones existentes.

Atendiendo a los factores anteriormente mencionados se ha llegado a la conclusión de que la opción más favorable consiste en el almacenamiento del agua en depósitos en altura, lo que le proporciona energía potencial. De esta forma, se consigue presurizar la etapa de salida y abastecer de agua a la comunidad por gravedad, sin necesidad de almacenar energía eléctrica y ahorrando el coste que supondría instalar una segunda bomba que impulse el agua hacia la población. Los principales factores a tener en cuenta a la hora del dimensionado e instalación de los tanques son los siguientes:

- Depósito en altura: Existe la necesidad de elevación de los depósitos para facilitar la distribución de agua por gravedad, para ello se deberá establecer una altura mínima que permita hacer llegar el agua a la comunidad. Una vez en Zimbabue se estudiarán las condiciones del entorno y se calculará el desnivel existente entre el depósito y el punto de abastecimiento más alejado. La altura mínima que permite la distribución por gravedad para el caso de estudio se calculará en los siguientes apartados, si fuera necesario se comprará una

- estructura prefabricada que permita aumentar la altura de distribución si el desnivel del terreno fuera insuficiente.
- Las dimensiones del depósito deben cubrir las necesidades de consumo de la población. Con el objetivo de proveer de agua a la comunidad durante todo el año se deberán tener en cuenta las variaciones estacionales, es decir, los largos períodos sin precipitaciones. Por lo tanto, se elegirá un depósito de gran tamaño que permita almacenar agua durante los meses húmedos y que tenga suficiente disponibilidad para la etapa seca.
 - Se deberá tener en cuenta la disponibilidad de oferta de depósitos en el mercado nacional. Las ciudades cercanas al pozo, al tratarse de zonas rurales carecerán de oferta y, por lo tanto, se deben prever los costes logísticos que suponga traer el depósito desde ciudades cercanas.
 - El depósito debe situarse en zonas con sombra o bien bajo tierra con el objetivo de prevenir el crecimiento de patógenos, debido a las altas temperaturas. La intensa radiación solar incidente puede dañar la superficie del depósito, por lo tanto, su soterramiento permite una mejor conservación, lo que derivará en una mejora de la calidad del agua almacenada.
 - Ya que el bombeo de agua desde el pozo hasta el depósito en altura se realizará mediante una bomba alimentada a través de la energía solar, y por lo tanto durante el día lo que coincide con el tiempo en el que se consumirá el agua almacenada, será necesario que el volumen del tanque sea el doble que la cantidad de agua consumida por la población beneficiaria en un día. De esta forma, siempre va a existir agua disponible en el depósito, el cual se va reponiendo mientras se consume.
 - Por último, debido a la restricción que se ha mencionado en el punto anterior, el consumo del agua del depósito debe realizarse por primera vez una vez se haya llenado el depósito y por lo tanto al día siguiente.

Con todas las restricciones mencionadas en el apartado anterior y la cantidad de agua que la comunidad beneficiaria consume al día y calculada anteriormente, se llega a la conclusión de que el volumen del tanque debe ser de al menos 10000 litros, cantidad suficiente para abastecer a la población y poder suministrar agua en caso de que la bomba dejase de funcionar.

15.2 ELECCIÓN DEL DEPÓSITO

Como se ha mencionado en el apartado anterior se llega a la conclusión de que el volumen ideal para el tanque de almacenamiento debe ser de 10000 litros. Por lo tanto, tras realizar un pequeño estudio de mercado en el que se ha contactado con proveedores de Zimbabwe que cumplan con los requisitos de fiabilidad y solvencia, se dio con la empresa Zimbabwe Building Materials Suppliers, dedicada a la venta de tanques de agua en todas sus variantes y de otros productos de construcción. De la amplia gama de depósitos que ofrece la empresa se elige el siguiente ya que cumple con todas las especificaciones mencionadas:

Características depósito	
Volumen	10000 L
Diámetro	2,20 metros
Altura	3,15 metros
Peso	18 kg
Material	Poliéster reforzado con fibra de vidrio

Tabla 8 Características del depósito. Fuente: <https://www.zbms.co.zw/shop/water-tanks-stands/10-000-litres/>



Ilustración 18 Depósito de almacenamiento. Fuente: <https://www.zbms.co.zw/shop/water-tanks-stands/10-000-litres/>

16. LA ESTACIÓN DE BOMBEO

La estación de bombeo consiste en el sistema formado por los elementos mecánicos, constructivos y eléctricos a través de los cuales se le suministra energía al fluido mediante una bomba que generalmente se encuentra alimentada por un motor. La estación de bombeo constituye la instalación previa al sistema de distribución por gravedad. La estación de bombeo cuenta con una serie de elementos que se analizan a continuación y cuyo diseño se plantea en los siguientes apartados y constituye el objeto de estudio del trabajo de fin de grado. Los elementos principales de la instalación son:

- El pozo
- Tubería de impulsión
- Caseta de bombeo
- Válvulas de regulación y control
- Interruptor de nivel máximo
- Bomba

16.1 LA BOMBA

La bomba hidráulica es una turbo máquina generadora capaz de transformar la energía mecánica del motor en energía cinética en el agua, estableciendo una diferencia de presión entre la etapa de entrada y salida. El objetivo principal de la bomba consiste en elevar el agua desde el pozo hasta el depósito de almacenamiento en altura en el tiempo establecido por las necesidades de consumo de la comunidad beneficiaria. A continuación, se adjunta un esquema en el que se presentan los distintos tipos de máquinas de fluido.

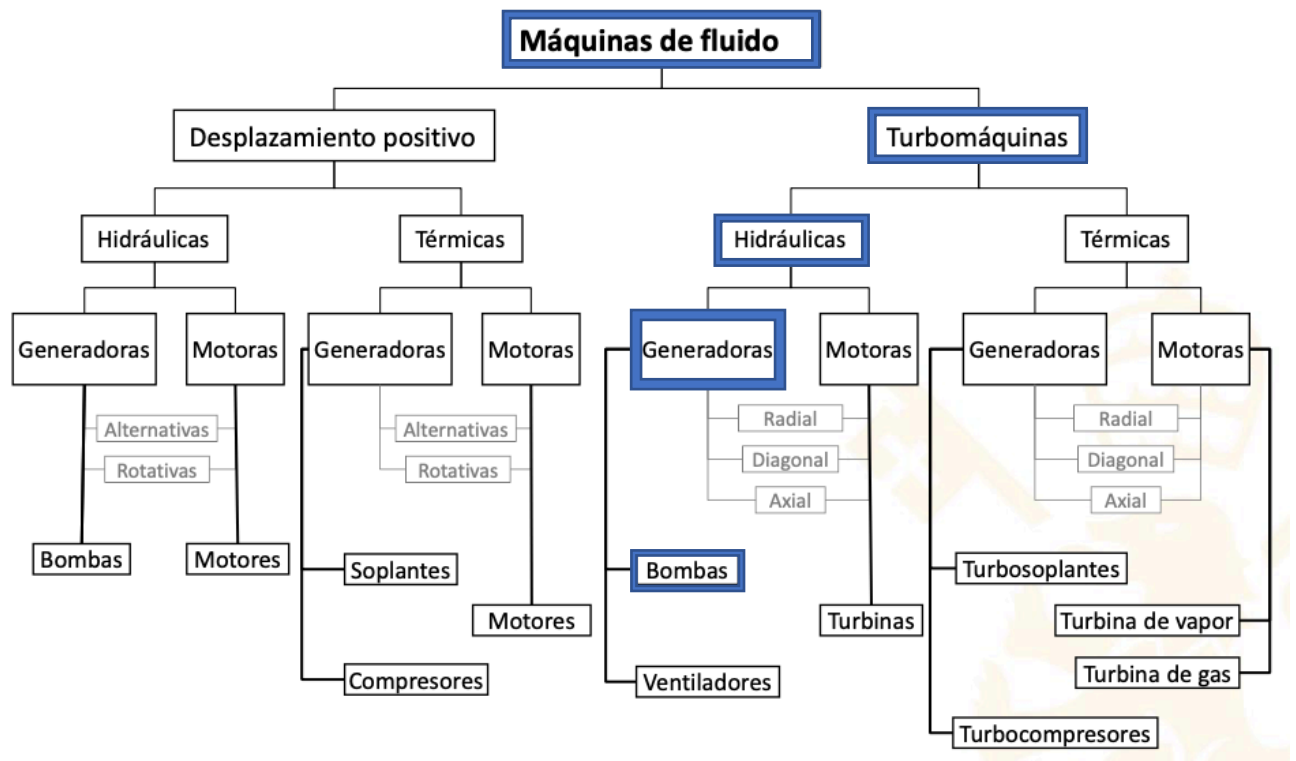


Ilustración 19 Esquema tipos de máquinas de fluido. Fuente: recursos asignatura Turbo máquinas (ICAI)

Elementos constitutivos

En una bomba hidráulica se pueden encontrar los siguientes elementos:

- Rodete: se trata del elemento encargado de intercambiar energía, por tanto, constituye el órgano fundamental de la bomba hidráulica. Es el encargado de transmitir la energía mecánica del motor al agua en forma de energía de movimiento

- Eje: es el órgano encargado de transmitir la potencia mecánica que genera el motor al rodete u órgano intercambiador de energía. Puesto que se trata de un elemento rotativo es necesario que sea soportado por unos rodamientos o cojinetes.
- Carcasa: elemento que actúa como barrera de presión y soporte estructural de la bomba hidráulica. Su función principal consiste en proteger los elementos de la máquina.
- Sistema difusor: se trata del órgano encargado de transformar en energía de presión la energía cinética. Recoge el agua a la salida del órgano intercambiador de energía y la conduce hasta la salida de la bomba hidráulica.
- Sistema de estanqueidad: sistema encargado de garantizar la estanqueidad de la barrera de presión. Este elemento se emplea para evitar cualquier fuga que pudiera existir en la máquina.

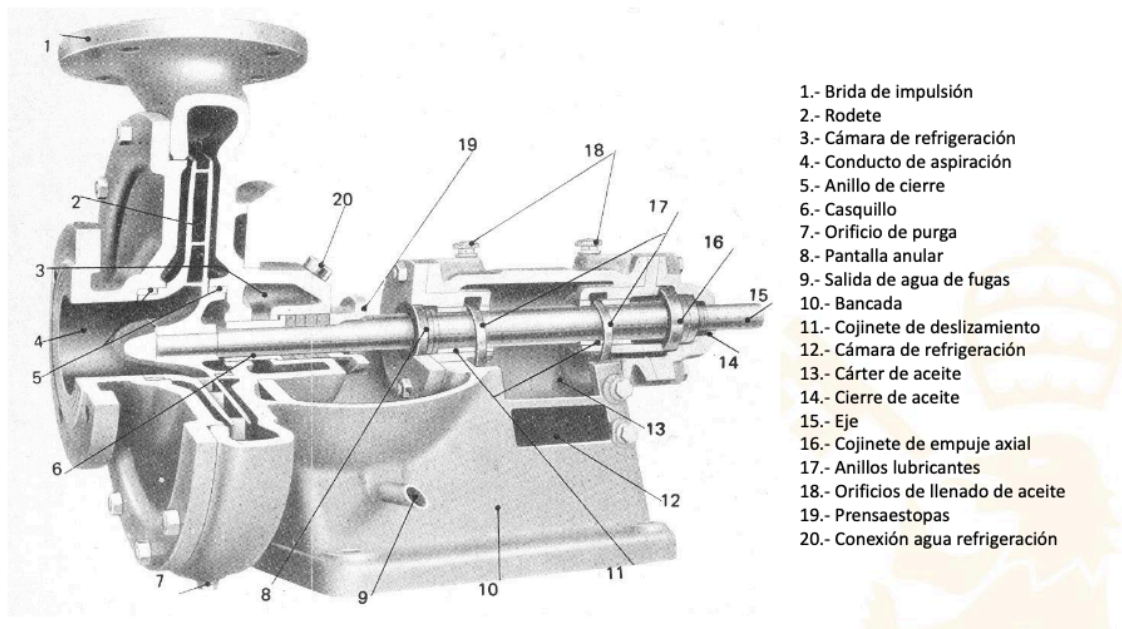


Ilustración 20 Elementos constitutivos de una bomba hidráulica. Fuente: recursos asignatura turbomáquinas (ICAI)

Ecuación característica

Con el objetivo de elegir la bomba idónea para el sistema de abastecimiento de agua hay que tener en cuenta dos factores que resultan especialmente determinantes. En primer lugar, se debe calcular el caudal de servicio a partir de las necesidades de consumo diarias de la comunidad beneficiaria y, por último, se debe conocer la altura a la que hay que elevar el agua desde el pozo teniendo en cuenta las pérdidas de carga. El caudal de servicio no resulta un factor condicionante ya que el agua se va a almacenar en un depósito con una reserva suficiente capaz de satisfacer todas las necesidades básicas de la población. Sin embargo, la altura de la bomba tiene especial importancia ya que la distribución posterior se realizará por gravedad y, por tanto, la energía potencial aumenta con la altura. El objetivo del proyecto consiste en elegir la bomba perfecta para el sistema capaz de satisfacer la altura de elevación y el caudal de servicio, pero sin estar sobredimensionada lo que incrementaría los costes de forma innecesaria.

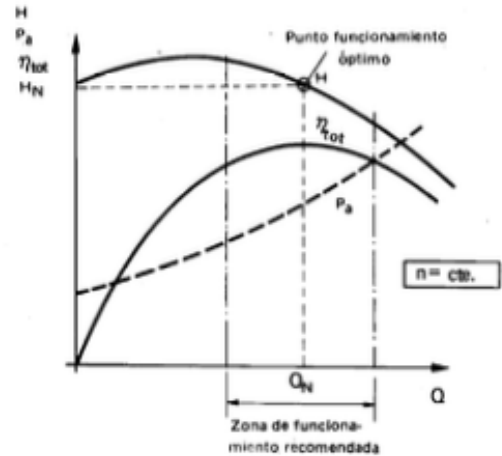
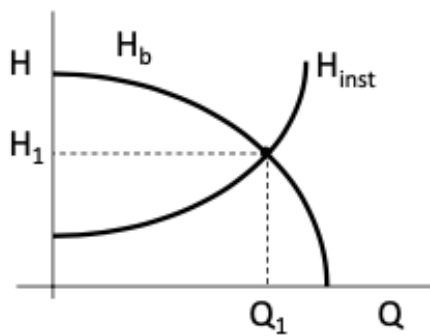
El punto de funcionamiento de la instalación depende en gran medida del tipo de bomba y de la estación de bombeo. La bomba hidráulica posee una capacidad de transporte específica tal y como se puede observar en su curva característica. Este punto coincide con el lugar en el que las curvas de la instalación y bomba se cortan en el diagrama H-Q.

El diagrama H-Q consiste en la representación gráfica de la ecuación característica de la bomba hidráulica. En la ecuación característica los coeficientes A y B se determinan a partir de las curvas de la bomba ofrecidas por el fabricante, o a partir de una serie de técnicas de ajuste según los puntos (H, Q) que se han obtenido previamente a partir de una bomba hidráulica en un banco de pruebas:

$$H = A - B * Q^2$$

Con respecto a la ecuación característica de la instalación, la misma resulta de aplicar la ecuación de Bernoulli o conservación de la energía entre el nivel del pozo y del depósito de almacenamiento en altura:

$$H_{bomba} = \frac{P_2 - P_1}{\rho * g} + z_2 - z_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 * g} + hf + hm$$



Gráfica 5 Punto de funcionamiento bomba hidráulica. Fuente: recursos asignatura turbomáquinas (ICAI)

Tipos de bombas

Con el objetivo de conocer el tipo de bomba idónea para el proyecto se estudian diferentes casos y a partir de ellos se escoge la que sea capaz de elevar el fluido la altura y el caudal de servicio deseados.

Profundidad:

- Pozos de menos de 8 metros de profundidad: bombas de chorro para pozos poco profundos
- Pozos de entre 8 metros y 35 metro de profundidad: bombas de chorro para pozos profundos
- Pozos de entre 35 metros y 120 metros: bombas sumergibles

Bombas de chorro o inyección

Las Bombas de chorro o inyección son aquellas encargadas de extraer agua de un pozo a través de un potente mecanismo de aspiración o succión. Este tipo de bombas suelen ir precedidas de un depósito de almacenamiento que actúa como reserva de agua. Se trata de una máquina de fácil manipulación e instalación capaz de elevar grandes caudales de agua. Este tipo de bombas se pueden situar tanto en la superficie como en el interior del subsuelo y dependiendo del lugar en el que se ubica la unidad eyectora se clasifican en:

- Bombas de chorro o inyección para pozos poco profundos: constan únicamente de una tubería dirigida hacia el pozo y de la unidad eyectora la cual se localiza en el propio cuerpo de la bomba hidráulica.
- Bombas de chorro o inyección para pozos profundos: constan de un par de tuberías encaminadas al pozo y de la unidad eyectora situada por debajo del nivel del agua.

Las bombas de chorro o inyección se pueden alimentar únicamente por medio de energía eléctrica, gasolina y diésel.

Ventajas:

- Bomba hidráulica de sencilla instalación y manipulación.
- Tareas de montaje y desmontaje rápidas y simples.
- Equipo móvil.
- Capacidad de elevar grandes caudales de agua.

Desventajas:

- Propensa a problemas de cavitación: tal y como se explica en los siguientes apartados se trata de un problema frecuente en las bombas hidráulicas generado en su mayor parte debido a un mal diseño de la profundidad de succión del líquido. La cavitación genera importantes deterioros en la mecánica de la bomba y restringe el caudal de diseño del sistema.
- Únicamente válidas para pozos poco profundos.
- Consumen más energía que las bombas sumergibles
- Ya que se sitúan fuera del agua del pozo son incapaces de detectar cuando baja el nivel de agua del mismo con el objetivo de detener el motor.

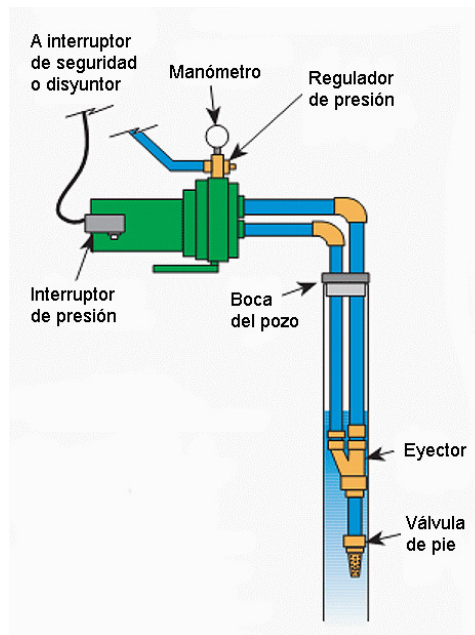


Ilustración 21 Esquema bomba de inyección. Fuente: <https://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-electricas-y-accesorios/como-elegir-bomba-agua-para-pozos>

Bombas sumergibles

Las bombas sumergibles no realizan tareas de succión del líquido si no que lo impulsan hasta el depósito de almacenamiento. La principal ventaja de este tipo de bombas hidráulicas con respecto a las bombas de chorro o inyección consiste en su mayor eficiencia, ya que las bombas de agua sumergibles para pozos requieren de menor cantidad de energía eléctrica para desempeñar sus funciones. Las bombas sumergibles se localizan por debajo del nivel freático del pozo y en su interior, y únicamente bombean el agua cuando es necesario. Ya que debe permanecer por debajo del nivel freático, no es susceptible a problemas de cavitación, problema bastante frecuente en las bombas de chorro o inyección.

Las bombas sumergibles para pozos profundos se alimentan únicamente de energía eléctrica, se utilizan en una gran proporción en pozos de gran profundidad, siendo capaz de elevar agua desde más de 300 metros de profundidad.

Ventajas:

- Tal y como se ha comentado en el apartado anterior las bombas sumergibles poseen una eficiencia mayor que las bombas que se sitúan en la superficie.
- No es susceptible a problemas de cavitación.

- Única opción válida para obtener agua de pozos muy profundos.

Desventajas:

- Precios de instalación más elevados.
- Instalación fija y necesaria que se lleve a cabo por profesionales, por lo que dichas labores no las pueden desempeñar los habitantes de la comunidad beneficiaria.
- Ya que únicamente se pueden alimentar a través de energía eléctrica se debe tener acceso a la red pública, a generadores de combustión interna o a un sistema fotovoltaico para su correcto funcionamiento.

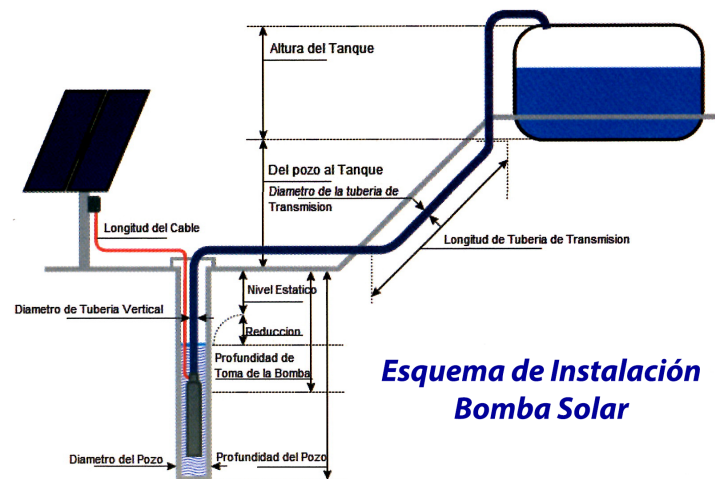


Ilustración 22 Esquema bomba sumergible. Fuente: <http://www.passsa.com/index.php/energia-solar/bombas-agua>

Bombas (no eléctricas)

Bombas solares

Bombas hidráulicas alimentadas a través de sistemas fotovoltaicos. En este tipo de bombas los paneles solares son los encargados de abastecer de energía a la bomba, con el objetivo de obtener agua del pozo y elevarla a los depósitos de almacenamiento.

Bomba de agua manual para pozo

Utiliza la fuerza de las personas o animales de para extraer el agua del pozo, únicamente se puede emplear en pozos de poca profundidad.

Bombas de ariete hidráulico

Bombas hidráulicas que combinan la fuerza del agua de los ríos con la energía cinética de un golpe de ariete. Este tipo de bombas tienen la capacidad de obtener agua de pozos de hasta 50 metros de profundidad.

Bombas neumáticas

Bombas hidráulicas accionadas por aire u otro gas comprimido, en lugar de la energía eléctrica. Este tipo de bombas se utilizan en gran medida en entornos industriales.

Una vez se conocen todos los modelos de bombas hidráulicas para una instalación similar a la de estudio, se concluye que la bomba sumergible constituye la opción más ventajosa y por lo tanto será la que se emplee en el diseño de la instalación. La bomba sumergible es la única capaz de elevar el agua de pozos de gran profundidad, evita los problemas de cavitación y es compatible con los paneles solares ya que debe ser alimentada a través de la energía eléctrica.

La cavitación

La cavitación se trata de un fenómeno que ocurre en las bombas hidráulicas debido a la formación y posterior rotura de las burbujas de vapor en un líquido. Este fenómeno aparece cuando la presión en el tubo de aspiración es bastante mayor a la presión que entra en la bomba, es decir, cuando la presión de entrada en la bomba se encuentra muy por debajo de la de diseño. Cuando esto ocurre se forman burbujas de vapor en el líquido que al alcanzar las zonas de altas presiones implosionan originando una onda de choque que puede erosionar el material y provocar fuertes vibraciones y ruidos. [24] [25]

16.2 EL POZO

El pozo del que se obtendrá el agua para su posterior distribución a las aldeas de la comunidad beneficiaria fue realizado en el verano del año 2019. El pozo fue perforado a una profundidad suficiente de forma que garantizara el suministro de agua y con un diámetro apto para la instalación de una bomba sumergible. Con el objetivo de evitar derrumbamientos y aislar formaciones inestables o que puedan tener problemas, la pared del pozo fue revestida. Por lo tanto, el pozo en la actualidad se encuentra en las condiciones idóneas para comenzar la instalación del sistema de abastecimiento de agua.

Los datos proporcionados por la ONG garantizan que el pozo posee una capacidad de regeneración suficiente para la cantidad de agua diseñada para el consumo. El nivel freático del pozo se sitúa en el intervalo comprendido entre los 90 y 100 metros con respecto a la superficie. La bomba, por tanto, se debe colocar a una distancia de aproximadamente 10 metros con respecto al nivel freático del pozo, con el objetivo de disponer de agua mientras vaya bajando su nivel

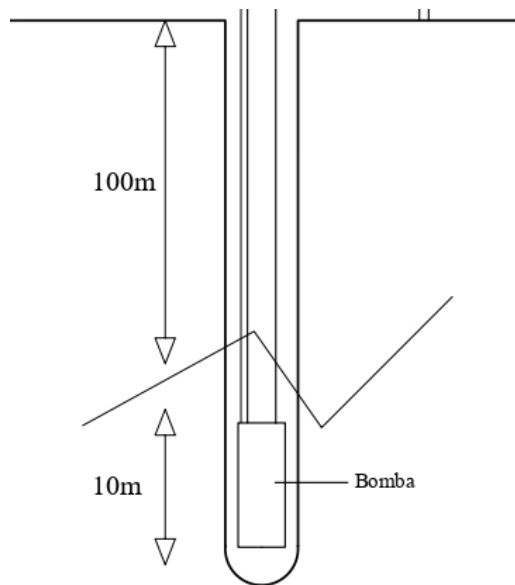


Ilustración 23 Esquema de la estructura del pozo. Fuente: propia

16.3 TUBERÍA DE IMPULSIÓN

La tubería de impulsión se trata del conducto a través del cual se hace impulsar el agua desde el pozo donde se encuentra la bomba hasta el depósito en altura. Con el objetivo de elegir la tubería ideal para el sistema se debe tener en cuenta la velocidad del fluido en su interior ya que no interesa que la misma sea demasiado alta (superior a los 2 m/s) ni por el contrario que tenga un valor muy bajo. Si el diseño de la tubería es erróneo conllevará graves problemas ya que se incrementa el riesgo de cavitación, de aparición de vibraciones en el conducto y el rendimiento del sistema se vería reducido drásticamente. La elección del diámetro nominal de la tubería para cada tramo se llevará a cabo en los siguientes apartados.

Por lo tanto, las tuberías que se emplearán en la red de impulsión serán de PVC, ya que se trata de un material con una gran cantidad de ventajas, las cuales se exponen a continuación:

✓ Vida ilimitada: sin corrosión ni electrolisis	✓ Alta resistencia a la presión y a la tensión
✓ Liviana: permite abaratar costes de grúa	✓ Interior liso: con menores pérdidas de carga
✓ Fácil de instalar: disminución de la mano de obra	✓ Montaje sencillo: sin juntas ni tornillos
✓ Se evita la creación de depósitos de cal	✓ Bajo coste del tubo respecto a los metálicos

Tabla 9 Ventajas de tuberías de PVC. Fuente: <http://www.proindecsa.com/wp-content/uploads/2018/08/tuberia.pdf>

- Densidad: como el resto de materiales termoplásticos, el PVC se caracteriza por su bajo peso específico en relación con el resto de materiales empleados en la fabricación de tuberías. Por lo tanto, se trata de un tubo ligero y fácil de manipular, pero no por ello débil.
- Resistencia a la corrosión: Este material posee una alta resistencia a la corrosión y, por lo tanto, es prácticamente inmune a cualquier tipo de corrosión característico de los sistemas de tuberías subterráneos, es decir, no se ve dañado por ataques de suelos corrosivos.
- Resistencia: las tuberías de PVC se caracterizan por su alta resistencia a la presión y a la tensión. Por lo tanto, son capaces de resistir perfectamente las presiones características de funcionamiento del sistema y las presiones exteriores.
- Baja rugosidad: las tuberías de PVC presentan un coeficiente de rugosidad absoluto muy bajo y como consecuencia favorecen el movimiento del flujo por su interior disminuyendo las pérdidas de carga y las aglomeraciones de partículas en las paredes.
- No contaminante: las propiedades del material hacen que no sea tóxico y, por lo tanto, no reacciona con los compuestos que puedan existir en el suelo, ni con los materiales que se emplean en la construcción. Además, este tipo de tuberías

resultan aptas para las aguas agresivas ya que garantiza que el material transportado no contamine el entorno.

- Larga vida útil: se estima que la vida útil de las tuberías de PVC supera los 50 años debido en gran parte a sus excelentes propiedades.
- Bajo coste: Se trata de un aspecto fundamental para el proyecto, por lo que teniendo en cuenta todas las propiedades que se han descrito anteriormente y la larga durabilidad del material, el coste resulta muy bajo.



Ilustración 24 Tubería de PVC. Fuente: <https://www.bricomart.es/tubo-pvc-o-32-mm-3-m.html>

A continuación, se adjunta el cuadro técnico de las tuberías que se tendrán en cuenta en los cálculos hidráulicos y a partir de las cuales se obtendrá la tubería ideal para cada tramo del sistema. [13]

TIPO DE TUBERÍA OD: Diámetro salida ND: Diámetro nominal	Carga de rotura [Kg]	Carga segura [Kg]	Presión máxima [Kg/cm ²]	Profundidad máxima [m]
OD: 33 mm ND: 25 mm (1")				
Standard	1.900	1.100	30	300
OD: 42 mm ND: 32 mm (1¼")				
Standard	2.550	1.500	25	250
Heavy	3.100	1.800	35	350
OD: 48 mm ND: 40 mm (1½")				
Standard	2.950	1.700	26	260
Heavy	4.050	2.400	35	350
OD: 60 mm ND: 50 mm (2")				
Standard	3.600	2.100	20	200
Heavy	4.700	2.800	27	270
Super Heavy	5.600	3.350	35	350
OD: 75 mm ND: 65 mm (2½")				
Standard	4.650	2.700	16	160
Standard Plus	5.900	3.500	21	210
Heavy	7.000	4.200	26	260
Super Heavy	9.000	5.300	35	350

Tabla 10 Cuadro técnico tuberías de PVC. Fuente: <http://www.proindecsa.com/wp-content/uploads/2018/08/tuberia.pdf>

16.4 CASETA DE BOMBEO

Se trata de la parte de la instalación en el que se colocan todos los elementos imprescindibles y delicados que se emplean en el proceso de bombeo. Debe ser una edificación del tamaño suficiente que permita las labores de montaje, mantenimiento e instalación de dichos elementos. Se emplea sobre todo con el objetivo de proteger los elementos delicados de la instalación del exterior.

En la caseta de bombeo se albergan una gran variedad de elementos dependiendo del tipo de bomba que se emplee en el sistema. En este proyecto, se estudia el caso de una bomba sumergible y que por lo tanto se situará en el interior del pozo, por lo que dentro de la caseta se colocarán las válvulas de accionamiento y control, los circuitos y el inversor de

la estación fotovoltaica. Si fuera necesario, en su interior se instalarán los elementos necesarios de la planta de potabilización. Los dispositivos que se encontrarán son los siguientes:

- Válvula de regulación y control: su principal función en el sistema de abastecimiento de agua consiste en regular el paso del agua desde el pozo hasta el depósito de almacenamiento en altura. Este tipo de válvulas serán de PVC debido a su bajo coste y su fácil conexión con las tuberías.
- Contador volumétrico: se emplea para controlar y medir el caudal de agua que asciende desde el pozo hasta el depósito. Por lo tanto, se emplea para regular el funcionamiento de la bomba sumergible.

17. LA RED DE DISTRIBUCIÓN

La red de distribución consiste en la parte de la instalación encargada de transportar el agua desde el depósito en altura hasta los puntos de abastecimiento localizados en cada una de las 5 aldeas a las que se busca dar suministro. La red de distribución consiste en una red de tuberías las cuales serán soterradas debido a sus numerosas ventajas que exponen a continuación:

- Baja probabilidad de rotura: la vida útil de las tuberías bajo tierra aumenta ya que aportan mayor seguridad y protección: al enterrar la red de tuberías se disminuye el impacto que pudieran tener en el ecosistema y se reduce por tanto el riesgo de accidentes.
- Bajo mantenimiento: el coste de mantenimiento disminuye ya que la red de tuberías no está en contacto directo con la superficie.
- Continuidad de servicio: al disminuir el riesgo de accidentes se garantiza su funcionamiento sin interrupciones.

Tal y como se ha explicado en el apartado de la tubería de impulsión se llega a la conclusión de que el PVC es el material idóneo para este tipo de tuberías debido a su larga vida útil, bajo coste, fácil instalación y mantenimiento y gran resistencia.

17.1 TIPOS DE REDES

Red ramificada

Este tipo de redes presentan una forma arbórea en el que el líquido circula en un único sentido. Está formada por una tubería principal a partir de la cual van derivando otras tuberías secundarias que a la vez pueden derivar en tuberías terciarias.

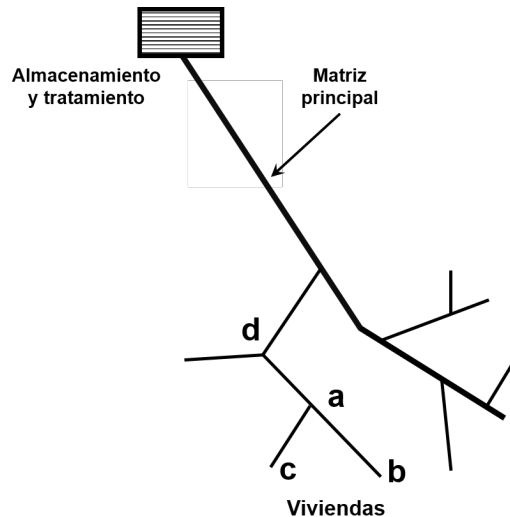


Ilustración 25 Esquema red de distribución ramificada. Fuente: <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/red-de-distribucion-comunitaria>

Ventajas:

- Diseño y cálculo sencillos
- Menor coste

Desventajas:

- Si se produce una rotura podría originar el corte de suministro de bien una parte del sistema o de toda la red
- Necesidad de tuberías de diámetros de mayor valor.
- El fluido permanece durante largos períodos en los extremos de la red

Las redes de distribución ramificadas se utilizan como regla general para poblaciones que dispongan de una estructural lineal y alargada, en el que las longitudes de cada tramo sean de hasta 1000 metros y que den servicio como máximo a 500 habitantes.

Red mallada

Este tipo de redes presenta la forma de una malla con todos los circuitos cerrados permitiendo la alimentación de las tuberías de la red a través de los extremos, lo que genera que el sentido de la corriente pueda sufrir modificaciones.

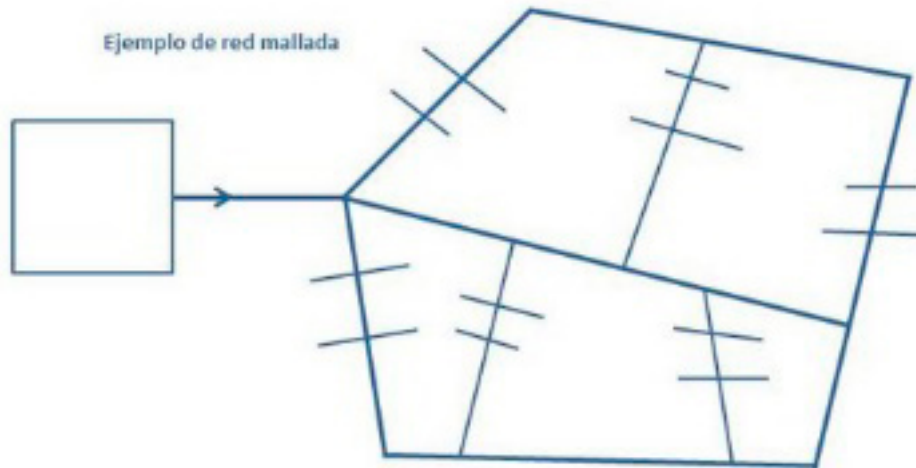


Ilustración 26 Esquema de red de distribución mallada. Fuente: <https://www.eadic.com/diseño-de-redes-de-agua-potable/>

Ventajas:

- Permite que el fluido circule libremente por la red
- La presión de cada punto está mejor distribuida
- Una avería no impide que todo el sistema se quede sin servicio.

Desventajas:

- El cálculo y diseño de la instalación es mucho más complejo que en el caso anterior ya que se debe establecer el sentido del caudal.

Las redes de distribución malladas deben tener una separación de un lado con el opuesto de entre 250 a 900 metros, lo que supone una superficie de entre 9 a 30 Ha. Cada malla debe dar servicio a al menos 500 personas.

Por lo tanto, si se tienen en cuenta las consideraciones anteriores se puede concluir que la red de distribución será mallada debido a su simplicidad y bajo coste, aspectos fundamentales del proyecto.

18. CÁLCULOS HIDRÁULICOS

La cantidad de agua que se desea proporcionar a la comunidad beneficiaria es de unos 5000 litros al día, una vez conocido este dato, es posible comenzar con los cálculos de diseño del sistema. Estos cálculos se dividen en dos partes, en primer lugar, se desarrollan los cálculos correspondientes a la parte del sistema que comprende desde la salida del agua del pozo hasta su almacenamiento en un depósito en altura. A continuación, se llevan a cabo los cálculos de la red de distribución, es decir, desde el depósito hasta los puntos de abastecimiento en cada una de las 5 aldeas.

18.1 CÁLCULOS PRIMERA PARTE

En este apartado se detallarán los cálculos correspondientes a la primera parte del sistema de abastecimiento de agua, la cual consiste en el tramo que abarca desde la extracción de agua en el pozo hasta el depósito de almacenamiento.

Caudal de bombeo

En primer lugar, se necesita calcular el caudal que se va a bombear diariamente, para ello se debe conocer con anterioridad las horas de sol pico (HSP). HSP se define como la cantidad de energía procedente del sol por metro cuadrado. Es decir, si se tienen X HSP, entonces durante X horas de sol al día se está proporcionando al menos 1000 W/m^2 . La zona en la que se instalará la estación solar cuenta con una media de 5,2 HSP a lo largo del año.

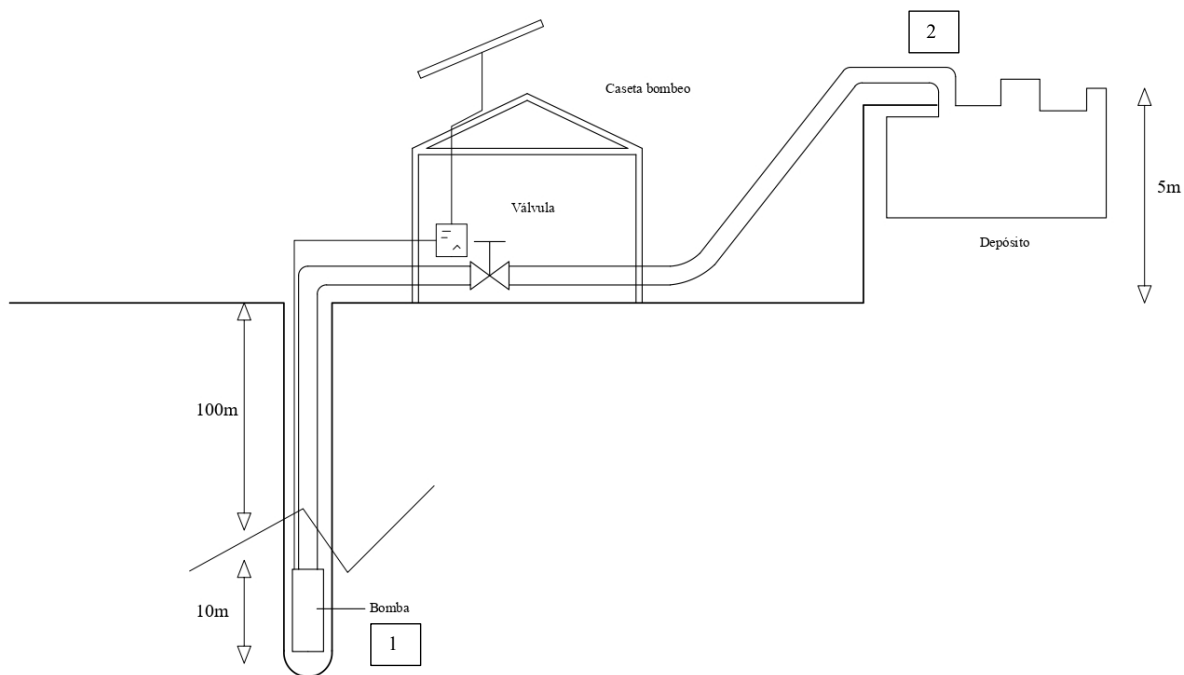


Ilustración 27 Esquema primera parte de la instalación. Fuente: propia

A partir del caudal diario (5000 litros) y de la media de Horas de Sol Pico a lo largo del año, se estima el caudal que se bombeará cada hora.

$$Q = \frac{Q \text{ diario}}{HSP} \left[\frac{m^3}{h} \right] * \frac{1 h}{3600 s}$$

Caudal de bombeo	m^3 / hora	m^3 / s
HSP	5,2	5,2
Qdiario = 5 $m^3/\text{día}$	0,96153846	0,00026709
Qdiario = 10 $m^3/ \text{día}$	1,92307692	0,00053419

Tabla 11 Cálculo del caudal de bombeo. Fuente: propia

Velocidad agua en la tubería

A continuación, se procede a seleccionar el tamaño de tubería entre una amplia gama de modelos de diferente diámetro nominal, tal y como se puede observar en la tabla que se adjunta a continuación.

Con el objetivo de elegir la tubería ideal para el sistema, se debe tener en cuenta la velocidad que alcanzará el fluido que se hará transportar a través de ella, puesto que no

interesa que sea demasiado alto ya que generaría elevadas pérdidas de carga, puede provocar corrosión en el interior del conducto o golpes de ariete que pueden acabar en la rotura de la tubería, ni por el contrario que alcance valores muy bajos pues podría generar sedimentación lo que obstruiría el conducto.

Tuberías	1	2	3	4	5
Dint (m)	0,025	0,032	0,04	0,05	0,065
Dext (m)	0,033	0,042	0,048	0,06	0,075
Área (m ²)	0,00049087	0,00080425	0,00125664	0,0019635	0,003318307

Tabla 12: Cálculo área tuberías PVC. Fuente: propia

La velocidad del agua en el interior de la tubería se obtiene a través de la siguiente fórmula, donde Q representa el caudal y A la sección del conducto:

$$V = \frac{Q}{A} \rightarrow V = \frac{Q}{\frac{\pi * Dint^2}{4}}$$

velocidad (m/s)	tubería 1	tubería 2	tubería 3	tubería 4	tubería 5
Q = 5 m ³ /día	0,54411946	0,33210416	0,21254667	0,136029866	0,08049104
Q = 10 m ³ /día	1,08823893	0,66420833	0,42509333	0,272059732	0,16098209

Tabla 13 Cálculo velocidad en tuberías. Fuente: propia

Tal y como se ha comentado anteriormente, se escoge la tubería 1 ya que el valor de la velocidad del agua en su interior se encuentra entre los recomendables.

Altura de la bomba

Con el objetivo de calcular la altura de la bomba, se aplicará la fórmula de Bernoulli, o de conservación de la energía, siendo el punto 1 el pozo y el punto 2 el depósito, tal y como se puede observar en el esquema que se adjunta al inicio del apartado.

$$\frac{P_1}{\rho * g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2 * g} + h_{bomba} - hf - hm = \frac{P_2}{\rho * g} + z_2 + \frac{v_2^2}{2 * g} \quad (1)$$

- P_1 : presión en el punto 1, como se ha mencionado con anterioridad, la bomba se debe situar a una distancia de aproximadamente 10 metros con respecto al nivel freático del pozo, con el objetivo de disponer de agua mientras vaya bajando su nivel. Por lo tanto, la presión de este punto, es decir P_1 , será $10 * \rho * g$.

- z_1 : Corresponde con la altura del punto 1, en este caso, toma el valor de 0, puesto que se utiliza dicho punto como referencia.
- v_1 : Velocidad del agua en el punto 1, ya que el diámetro de la tubería tiene un tamaño muy inferior al diámetro del pozo, el nivel de agua varía de forma muy lenta y, por lo tanto, la velocidad se puede considerar nula.
- h_{bomba} : Altura de la bomba, corresponde con la altura a la que debe bombearse el agua hasta alcanzar el depósito
- hf : pérdida de carga primaria en tuberías, se produce debido a la fricción entre las partículas del fluido entre sí y entre ellas y las paredes del conducto.
- hm : pérdida de carga secundaria o localizadas, son debidas principalmente a la entrada y salida de tuberías, ensanchamientos o contracciones, curvas, codos, uniones y válvulas tanto abiertas como cerradas.
- P_2 : Presión en el punto 2, parte superior del depósito, al estar situada en la lámina superior, se trata por tanto de la presión atmosférica y se desprecia su valor.
- z_2 : Corresponde con la altura del punto 2, como se puede observar en el esquema de la instalación, toma el valor de 115 metros.
- v_2 : Velocidad del agua en el punto 2, ya que el diámetro de la tubería tiene un tamaño muy inferior al diámetro del depósito, el nivel de agua varía de forma muy lenta y, por lo tanto, la velocidad se puede considerar nula.

Con todo lo explicado anteriormente, sustituyendo en la ecuación de Bernoulli, se obtiene:

$$h_{bomba} = z_2 + hf + hm - \frac{P_1}{\rho * g} \rightarrow h_{bomba} = 115 + hf + hm - 10$$

A continuación, se calculan las pérdidas de carga tanto primarias como secundarias:

Las pérdidas de carga primaria, tal y como se ha descrito con anterioridad, son aquellas generadas por el rozamiento entre las partículas del fluido entre sí y con la pared de la tubería y que resultan en una caída de presión. Dependen de la longitud y diámetro de la tubería, de las propiedades del fluido (densidad y viscosidad dinámica) y de la rugosidad de la pared del conducto.

Para ello, se emplea la ecuación de Darcy-Weisbach, válida tanto para flujo laminar como turbulento:

$$hf = \frac{f * L * v^2}{D * 2 * g} \quad (2)$$

- f : coeficiente de fricción de Darcy, se trata de un parámetro adimensional, se calcula de forma diferente para ambos tipos de flujo. Para flujo laminar, el coeficiente de fricción es inversamente proporcional al número de Reynolds, mientras que para flujo turbulento su cálculo requiere de una fórmula más compleja.
- L : longitud de la tubería, desde la bomba (punto 1) hasta el depósito (punto 2). A partir del esquema, se obtiene un valor aproximado de la longitud de la tubería teniendo en cuenta tanto los tramos verticales como horizontales. Se estima una longitud de unos 122 metros sabiendo que el primer tramo vertical son 110 m, 5 metros el tramo horizontal y 7 metros aproximadamente el tramo inclinado. [m]
- v^2 : valor de la velocidad de circulación del fluido en el interior de la tubería al cuadrado. Su valor se ha obtenido en el apartado anterior a partir del diámetro nominal de la tubería y del caudal de bombeo [m/s]
- D : Diámetro interior de la tubería, su valor se ha definido en el apartado anterior [m]
- g : aceleración de la gravedad (9,81 m^2/s)

Datos	f	L (m)	V (m/s)	d int (m)	g (m/s ²)
		122	0,54411946	0,025	9,81

Tabla 14 Datos ecuación de Darcy-Weisbach. Fuente: propia

Se desconoce el valor del coeficiente de fricción de Darcy, para ello en primer lugar, es necesario comprobar si el flujo es laminar o turbulento ya que la ecuación es diferente para cada tipo de flujo, y, por tanto, se procede a calcular el número de Reynolds con el objetivo de determinarlo.

Para tubos comerciales existe un valor de transición entre ambos tipos de flujo situado en 2300, para valores inferiores el flujo será laminar mientras que para valores superiores el movimiento es turbulento. En régimen laminar el movimiento del flujo es suave y ordenado mientras que en régimen turbulento es fluctuante y agitado. El número de Reynolds se obtiene a través de la fórmula que se muestra a continuación.

$$Re = \frac{\rho * V * d}{\mu} \quad (3)$$

- ρ : densidad del agua 997 Kg/ m³
- V : velocidad de circulación del agua en el interior de la tubería [m/s]
- d : diámetro interior de la tubería [m]
- μ : viscosidad dinámica del agua, es la resistencia interna entre las partículas del agua en movimiento, 0,001 Kg/(m*s)

Datos	ρ (Kg/ m ³)	μ (Kg/(m*s))	V (m/s)	d (m)	Re
	997	0,001	0,54411946	0,025	13562,1776

Tabla 15 Datos ecuación Reynolds. Fuente: propia

$$Re = \frac{997 * 0,544 * 0,025}{0,001} \rightarrow Re = 13562,1776$$

Ya que el valor del número de Reynolds es superior a 2300 se puede concluir que el agua circula por la tubería en régimen turbulento y, por tanto, se emplea la ecuación de Colebrook para calcular el factor de fricción de Darcy. Otra opción consiste en utilizar el diagrama de Moody, válido para tanto conductos circulares como no, pero es menos fiable.

La ecuación de Colebrook combina las relaciones de paredes lisas (no existe efecto de rugosidad en la fricción) y aquellas dominadas por la rugosidad (no aparece la subcapa viscosa y la fricción no depende del número de Reynolds) en una única fórmula.

$$f^{-1/2} = -2,0 * \log \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{2,51}{Re * f^{1/2}} \right) \quad (4)$$

- D : diámetro interior de la tubería [m]
- Re : número de Reynolds
- ε : rugosidad absoluta de la pared de la tubería, depende del tipo de material. Se supone que la tubería empleada es de PVC. Tal y como se observa en la tabla que se adjunta a continuación, el plástico PVC posee una rugosidad absoluta de 0,0015 mm [mm]

Datos	D (m)	ε (mm)	Re	f
	0,025	0,0015	13562,1776	0,028636

Tabla 16 Datos ecuación de coeficiente de fricción de Darcy. Fuente: propia

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

Tabla 17 Rugosidad absoluta materiales. Fuente: https://previa.uclm.es/area/ing_rural/□□□Hidraulica/Temas/TablaRugosidadAbsolutaMateriales.pdf

$$f^{-1/2} = -2,0 * \log \left(\frac{\frac{0,0015 * 10^{-3}}{0,025}}{3,7} + \frac{2,51}{13562,1776 * f^{1/2}} \right) \rightarrow f = 0,028636$$

Una vez obtenido el valor del factor de fricción de Darcy, se puede resolver la ecuación (2) para obtener las pérdidas de carga primaria.

Datos	f	L (m)	V (m/s)	d int (m)	g (m/s ²)	hf (m)
	0,028636	122	0,54411946	0,025	9,81	2,1087335

Tabla 18 Datos ecuación pérdidas de carga primarias. Fuente: propia

$$hf = \frac{0,028636 * 122 * 0,54411946^2}{0,025 * 2 * 9,81} \rightarrow hf = 2,1087335 \text{ m}$$

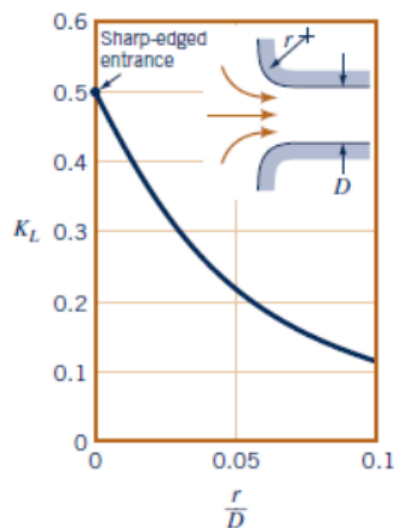
Por lo tanto, las pérdidas de carga primaria representan 2,1087335 metros.

A continuación, se desarrollan los cálculos correspondientes a las pérdidas de carga secundarias, es decir aquellas pérdidas menores o localizadas debidas a la salida de la tubería, ensanchamientos, válvulas, curvas y codos. La ecuación que se emplea para calcular este tipo de pérdidas es la siguiente:

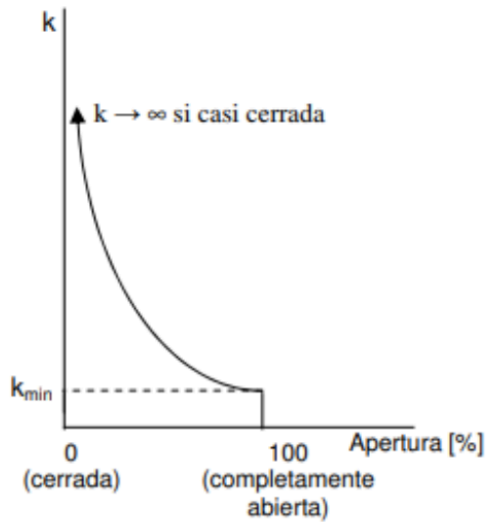
$$hm = \sum_i \left(\frac{k_i * v_i^2}{2 * g} \right) \quad (5)$$

- k_i : coeficiente de pérdida de carga secundaria, depende del tipo de accesorio instalado.
- v_i^2 : valor de la velocidad de circulación del fluido en el interior de la tubería al cuadrado [m/s]
- g : aceleración de la gravedad ($9,81 \text{ m}^2/\text{s}$)

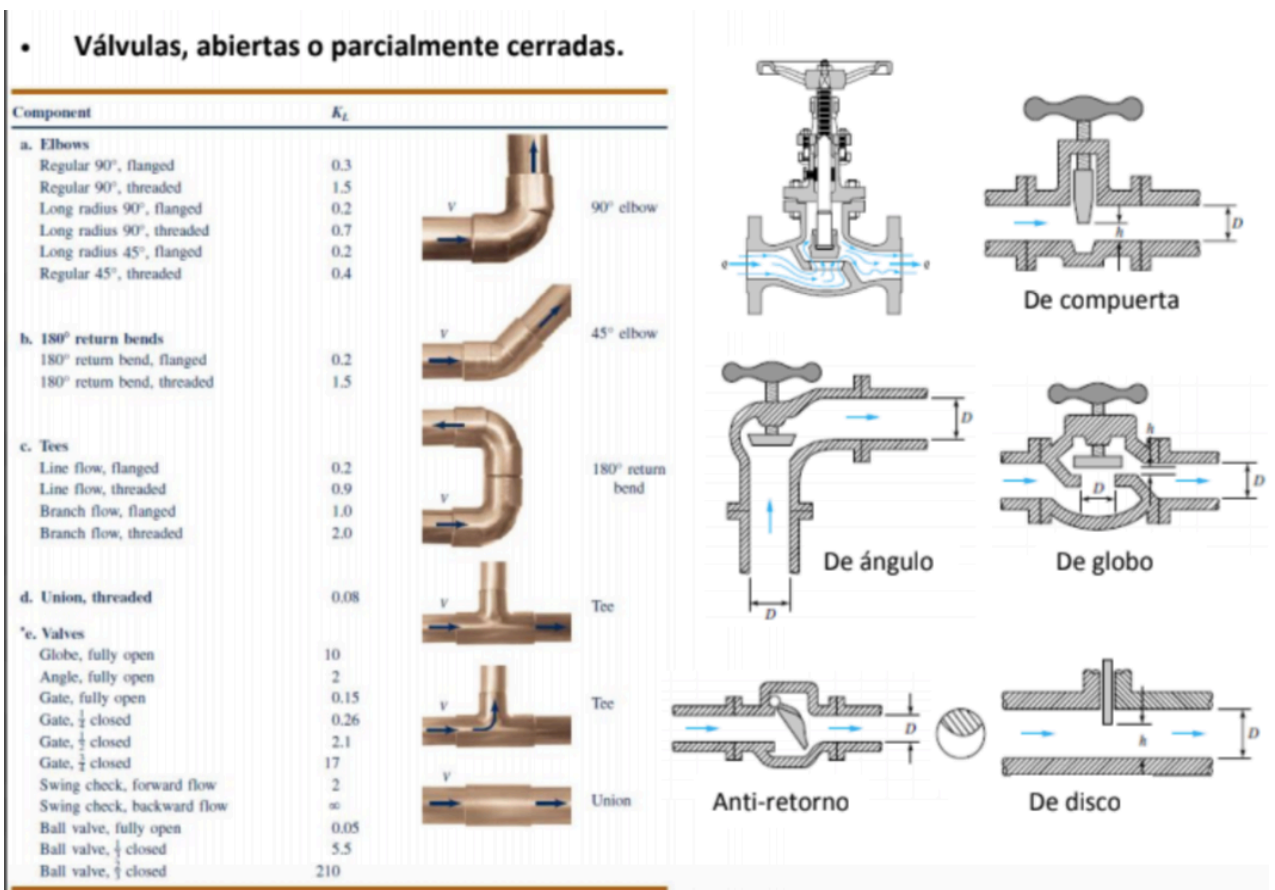
El coeficiente de pérdida de carga localizado (k_i) se trata de un valor tabulado y que depende de una serie de factores tales como el tamaño del accesorio que se instala en la red, del ángulo del codo o del nivel de apertura de las válvulas. A continuación, se presentan las tablas que se han empleado para determinar el valor del coeficiente de pérdida de carga dependiendo de los factores mencionados anteriormente.



Gráfica 6 Coeficiente de pérdidas de carga localizadas en entradas de tuberías. Fuente: Recursos de la asignatura Mecánica de fluidos (ICAI)



Gráfica 7 Coeficiente de pérdidas en válvulas dependiendo del nivel de apertura. Fuente: recursos asignatura Mecánica de fluidos (ICAI)



Gráfica 8 Coeficiente de pérdidas en accesorios. Fuente: recursos asignatura Mecánica de fluidos (ICAI)

Teniendo en cuenta, el esquema que se adjunta al inicio del capítulo, se pueden localizar todos los puntos del mismo en el que existen elementos que puedan generar pérdidas de carga secundaria. Los puntos mencionados anteriormente se señalan en el esquema que se muestra a continuación.

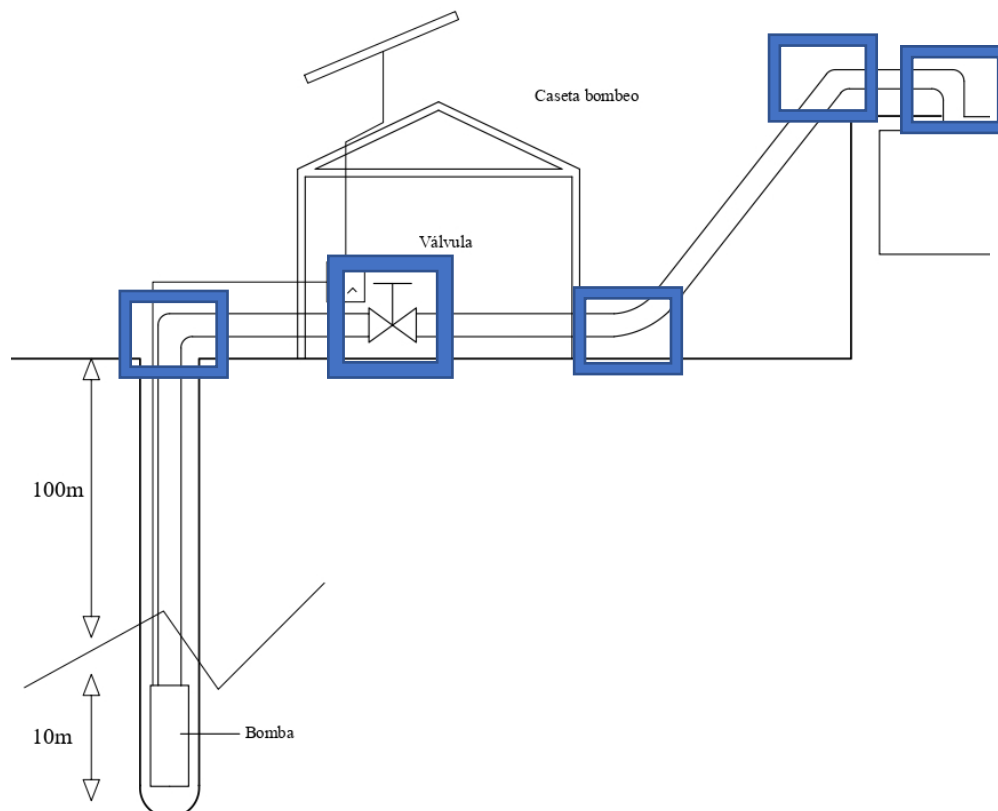


Ilustración 28 Esquema de la instalación con mención a las pérdidas localizadas. Fuente: propia

En primer lugar, se puede observar un codo de 90°, seguido de una válvula, la cual se considera una válvula de globo completamente abierta ya que es la que tiene mayor coeficiente de pérdida de carga, a continuación, hay dos codos de 45° y por último se tiene en cuenta la salida de la tubería al depósito.

Los cálculos correspondientes a las pérdidas de carga secundaria se adjuntan en la siguiente tabla junto con los datos de los coeficientes (k_i) para cada elemento y la velocidad de circulación del agua en la tubería.

	codo 1	codo 2	codo 3	válvula	entrada	
k	0,3	0,2	0,2	10	1	
V (m/s)	0,54411946	0,54411946	0,54411946	0,54411946	0,54411946	
g (m/s ²)	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	total
hm (m)	0,004527	0,003018	0,003018	0,1509001	0,01509001	0,17655311

Tabla 19 Cálculo pérdidas de carga localizadas. Fuente: propia

$$hm = \sum_i \left(\frac{k_i * v_i^2}{2 * g} \right) \rightarrow hm = \frac{0,3 * 0,54411946^2}{2 * 9,81} + 2 * \frac{0,2 * 0,54411946^2}{2 * 9,81} + \frac{10 * 0,54411946^2}{2 * 9,81} + \frac{1 * 0,54411946^2}{2 * 9,81} \rightarrow hm = 0,17655311 m$$

Una vez obtenidos todos los datos correspondientes tanto a las pérdidas de carga primaria como secundaria, es posible resolver la ecuación (1) y por lo tanto obtener la altura de la bomba.

$$h \text{ bomba} = z_2 + hf + hm - \frac{P_1}{\rho * g} \rightarrow h \text{ bomba} = 115 + hf + hm - 10$$

Datos	h bomba (m)	hm (m)	hf (m)
	107,285286	0,17655311	2,1087335

Tabla 20 Datos ecuación de Bernoulli. Fuente: propia

$$h \text{ bomba} = 115 + 0,17655 + 2,10873 - 10 \rightarrow h \text{ bomba} = 107,285286 \approx 110 m$$

La altura de la bomba, es decir la altura a la que se debe bombear el agua para que alcance el depósito es de aproximadamente 110 metros. Una vez se conoce tanto el caudal como la altura se procede a la búsqueda de la bomba teniendo en cuenta las consideraciones que se exponen en la memoria.

18.2 CÁLCULOS SEGUNDA PARTE

La segunda parte de los cálculos comprende el sector del sistema dedicado a la red de distribución, es decir el tramo que va desde el depósito de almacenamiento en altura hasta los puntos de abastecimiento situados en cada una de las aldeas. En esta parte se comprobará que el agua contenida en el depósito cae por gravedad, es decir, sin necesidad de instalar otra bomba hasta los puntos de abastecimiento. Por lo tanto, se calculará la altura mínima a la que se debe situar el tanque para que esto ocurra.

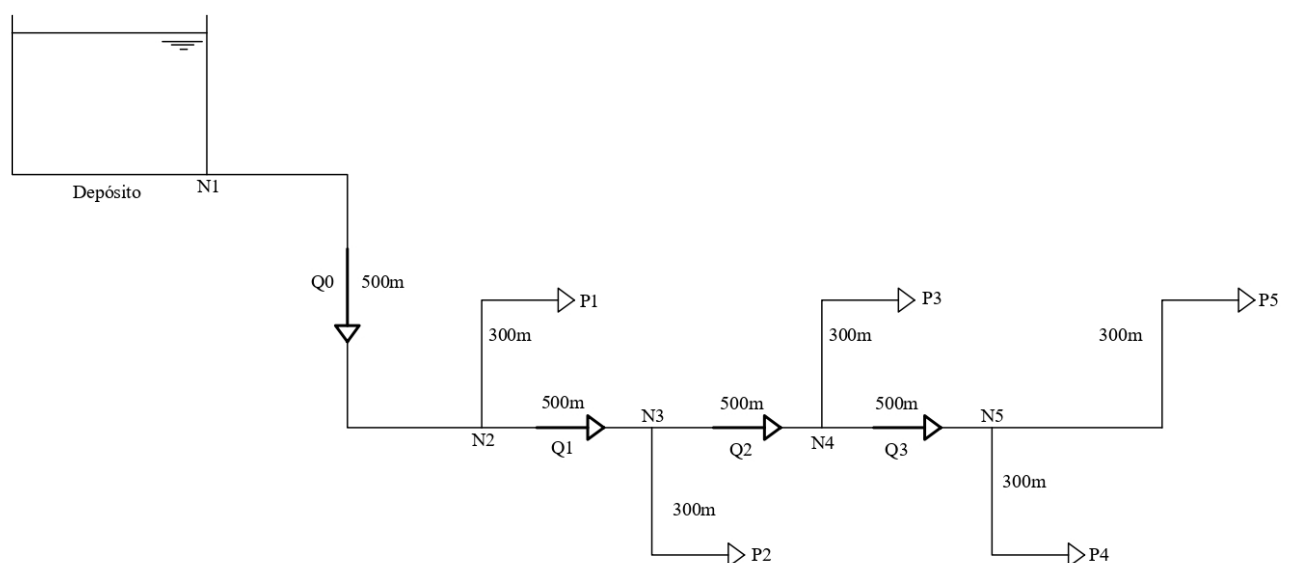


Ilustración 29 Esquema red de distribución. Fuente: propia

En primer lugar, es necesario conocer el caudal que debe circular por cada uno de los tramos del sistema de distribución, para a continuación dimensionar el tamaño de las tuberías adecuadas para cada tramo de forma que la velocidad por la que circula el flujo en su interior se encuentre entre los valores recomendables. En el caso de distribución por gravedad, los valores de velocidad adecuados son un poco más bajos y deben estar comprendidos en el intervalo (0,10 – 0,6) m/s.

La velocidad máxima está condicionada a la aparición de golpes de ariete, vibraciones y cavitaciones y la existencia de partículas en suspensión que generen erosiones, mientras que las velocidades mínimas se ven condicionadas a la evaporación y eliminación del cloro, agotamiento del oxígeno disuelto en el agua, aparición de sustancias tóxicas o contaminantes y la generación de sedimentación en el interior del conducto. Por tanto,

excesivos tiempos de permanencia del agua en la red de distribución puede originar la disminución de su calidad.

Caudal

El agua que debe circular por los grifos de los fregaderos de cualquier vivienda es de 0,2 litros/segundo, por lo tanto, se empleará este dato para el tramo contenido entre la red principal y los puntos de abastecimiento, tal y como se detalla en el esquema del sistema.

En la siguiente tabla se muestra el caudal que circula por cada uno de los tramos de la red de distribución sabiendo que el caudal de los puntos de abastecimiento es de 0,2 litros/segundo, que circula el agua por toda la red y que en una bifurcación el caudal se divide de la siguiente forma:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

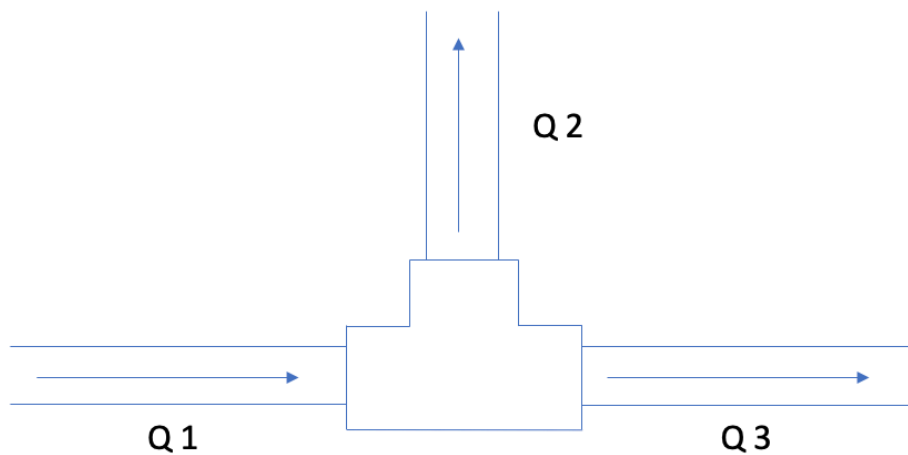


Ilustración 30 Bifurcación caudal en tuberías. Fuente: propia

caudales	l/s	m ³ /s
p1	0,2	0,0002
p2	0,2	0,0002
p3	0,2	0,0002
p4	0,2	0,0002
p5	0,2	0,0002
Q0	1	0,001
Q1	0,8	0,0008
Q2	0,6	0,0006
Q3	0,4	0,0004

Tabla 21 Caudales en los distintos tramos de la red de distribución. Fuente: propia

Como se ha comentado anteriormente el caudal que circula por los puntos de abastecimiento debe ser de 0,2 litros/segundo y a partir de este dato se van obteniendo los demás caudales. Al igual que en el apartado anterior, se emplean los mismos modelos de tuberías de distinto diámetro nominal y a partir de los datos de la velocidad del agua en cada uno de ellos, se elige el modelo más apropiado.

Tuberías	1	2	3	4	5
Dint (m)	0,025	0,032	0,04	0,05	0,065
Dext (m)	0,033	0,042	0,048	0,06	0,075
Área (m ²)	0,00049087	0,00080425	0,00125664	0,0019635	0,003318307

Tabla 22 Cálculo área tuberías PVC. Fuente: propia

Velocidad del agua en la tubería

La velocidad del agua en el interior de la tubería se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$V = \frac{Q}{A} \rightarrow V = \frac{Q}{\frac{\pi * Dint^2}{4}}$$

- Q: es el caudal que circula en cada uno de los tramos de la tubería, tal y como se muestra en la tabla anterior [m³/s]

- A: sección interior de la tubería para cada uno de los tramos de la red de distribución [m^2]

La velocidad de circulación del agua en cada uno de los tramos de la red de distribución es la siguiente:

velocidades (m/s)	p1	p2	p3	p4	p5
tubería 1	0,40743665	0,40743665	0,40743665	0,40743665	0,40743665
tubería 2	0,2486796	0,2486796	0,2486796	0,2486796	0,2486796
tubería 3	0,15915494	0,15915494	0,15915494	0,15915494	0,15915494
tubería 4	0,10185916	0,10185916	0,10185916	0,10185916	0,10185916
tubería 5	0,06027169	0,06027169	0,06027169	0,06027169	0,06027169

Tabla 23 Velocidades de circulación del agua en el interior de la tubería. Fuente: propia

velocidades (m/s)	Q0	Q1	Q2	Q3
tubería 1	2,03718327	1,62974662	1,22230996	0,81487331
tubería 2	1,24339799	0,99471839	0,7460388	0,4973592
tubería 3	0,79577472	0,63661977	0,47746483	0,31830989
tubería 4	0,50929582	0,40743665	0,30557749	0,20371833
tubería 5	0,30135847	0,24108678	0,18081508	0,12054339

Tabla 24 Velocidades de circulación del agua en el interior de la tubería 2. Fuente: propia

Por lo tanto, tal y como se ha resaltado en las tablas anteriores, se eligen dos modelos diferentes de tuberías para los distintos tramos de la red, ya que la velocidad de circulación del agua en su interior se encuentra entre los valores recomendados.

Altura del depósito

Con el objetivo de conocer la altura mínima a la que se debe situar el depósito para que el agua almacenada caiga por gravedad, es decir sin necesidad de una bomba, hasta los puntos de abastecimiento, se empleará la ecuación de Bernoulli o de conservación de la energía. Se estudiará el punto de abastecimiento 5, puesto que es el que se encuentra más alejado y por tanto será el que tenga más pérdidas de carga, tanto primarias como secundarias y en el caso en el que circula agua por toda la red de distribución.

Para ello se realizarán dos suposiciones y se tomará el valor de la altura que resulte más desfavorable. En primer lugar, se considerará que los grifos están cerrados y por tanto la presión mínima justo antes del punto de abastecimiento 5 es de 2 mca y como consecuencia la velocidad de este punto es nula. Por último, se considerará que los grifos están abiertos por lo tanto la presión a la salida de la tubería es nula pero la velocidad del agua en este punto coincide con la velocidad del flujo en el interior de la tubería para ese tramo.

Caso 1

En este apartado se estudia el caso en el que los grifos permanecen cerrados. La presión mínima justo antes del mismo debe ser de 2 mca. Por lo tanto, aplicando la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{P_1}{\rho * g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2 * g} - hf - hm = \frac{P_2}{\rho * g} + z_2 + \frac{v_2^2}{2 * g} \quad (6)$$

- P_1 : presión en el punto 1, parte superior del depósito, ya que la misma se sitúa en la lámina superior, se trata por tanto de la presión atmosférica y se desprecia su valor.
- z_1 : Corresponde con la altura del punto 1, en este caso, el depósito. Se trata del valor que queremos conocer y se calculará una vez obtenidos el resto de datos.
- v_1 : Velocidad del agua en el punto 1, ya que el diámetro de la tubería tiene un tamaño muy inferior al diámetro del depósito, el nivel de agua varía de forma muy lenta y, por lo tanto, la velocidad se puede considerar nula.
- hf : pérdida de carga primaria en tuberías, se produce debido a la fricción entre las partículas del fluido entre sí y entre ellas y las paredes del conducto.

- hm : pérdida de carga secundaria o localizadas, son debidas principalmente a la entrada y salida de tuberías, ensanchamientos o contracciones, curvas, codos, uniones y válvulas tanto abiertas como cerradas.
- P_2 : Presión en el punto 2, presión en el punto anterior al grifo, se conoce que la presión mínima en el punto anterior al mismo debe ser de 2 mca.
- z_2 : Corresponde con la altura del punto 2, en este caso el punto de abastecimiento 5, toma el valor de 0, puesto que se utiliza dicho punto como referencia.
- v_2 : Velocidad del agua en el punto 2, como se ha mencionado con anterioridad, al permanecer el grifo cerrado la velocidad se considera nula.

Con todo lo explicado anteriormente, sustituyendo en la ecuación de Bernoulli, se obtiene:

$$z_1 = hf + hm + \frac{P_2}{\rho * g} \rightarrow z_1 = hf + hm + 2$$

Caso 2

En este apartado se estudia el caso en el que los grifos permanecen abiertos. La presión por tanto a la salida de la tubería es nula pero la velocidad del agua en este punto coincide con la velocidad del flujo en el interior de la tubería para ese tramo. Por lo tanto, aplicando la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{P_1}{\rho * g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2 * g} - hf - hm = \frac{P_2}{\rho * g} + z_2 + \frac{v_2^2}{2 * g}$$

- P_1 : presión en el punto 1, parte superior del depósito, ya que la misma se sitúa en la lámina superior, se trata por tanto de la presión atmosférica y se desprecia su valor.
- z_1 : Corresponde con la altura del punto 1, en este caso, el depósito. Se trata del valor que queremos conocer y se calculará una vez obtenidos el resto de datos.

- v_1 : Velocidad del agua en el punto 1, ya que el diámetro de la tubería tiene un tamaño muy inferior al diámetro del depósito, el nivel de agua varía de forma muy lenta y, por lo tanto, la velocidad se puede considerar nula.
- hf : pérdida de carga primaria en tuberías, se produce debido a la fricción entre las partículas del fluido entre sí y entre ellas y las paredes del conducto.
- hm : pérdida de carga secundaria o localizadas, son debidas principalmente a la entrada y salida de tuberías, ensanchamientos o contracciones, curvas, codos, uniones y válvulas tanto abiertas como cerradas.
- P_2 : Presión en el punto 2, presión en el punto de abastecimiento 5, al permanecer el grifo abierto, la presión coincide con la atmosférica y se desprecia su valor.
- z_2 : Corresponde con la altura del punto 2, en este caso el punto de abastecimiento 5, toma el valor de 0, puesto que se utiliza dicho punto como referencia.
- v_2 : Velocidad del agua en el punto 2, como se ha mencionado con anterioridad, al permanecer el grifo abierto la velocidad coincide con la velocidad del agua en el interior de la tubería en el tramo anterior al mismo, es decir, 0,15915494 m/s.

Con todo lo explicado anteriormente, sustituyendo en la ecuación de Bernoulli, se obtiene:

$$z_1 = hf + hm + \frac{v_2^2}{2 * g} \rightarrow z_1 = hf + hm + \frac{0,15915494^2}{2 * 9,81}$$

Pérdidas de carga

En este apartado se calculan las pérdidas de carga tanto primarias como secundarias que se producen en la red de distribución. Ya que el recorrido del agua es el mismo para ambos casos las pérdidas de carga serán iguales.

Con respecto a las pérdidas de carga primaria al igual que se ha empleado en la primera parte de los cálculos hidráulicos, se utilizará la ecuación de Darcy-weisbach, válida tanto para flujo laminar como turbulento, y se calculará su valor para cada uno de los tramos ya que el caudal que circula por ellos es diferente, se han elegido dos modelos de tuberías con distinto diámetro nominal y como consecuencia la velocidad del flujo en el interior de cada conducto varía:

$$hf = \sum_i \left(\frac{f_i * L_i * v_i^2}{D_i * 2 * g} \right)$$

- f : coeficiente de fricción de Darcy, se trata de un parámetro adimensional, se calcula de forma diferente para ambos tipos de flujo. Para flujo laminar, el coeficiente de fricción es inversamente proporcional al número de Reynolds, mientras que para flujo turbulento su cálculo requiere de una fórmula más compleja.
- L_i : longitud de cada uno de los tramos de la red de distribución. Sus valores se muestran en el esquema de la instalación donde se puede observar un valor de 500 metros entre el pozo y la primera bifurcación y entre cada aldea y unos 300 metros entre la red principal y cada punto de abastecimiento. Estos datos aparecen resumidos en una tabla que se muestra a continuación.
- v_i^2 : valor de la velocidad de circulación del fluido en el interior de la tubería al cuadrado. Su valor se ha obtenido en el apartado anterior a partir del diámetro nominal de la tubería y del caudal [m/s]
- D : Diámetro interior de la tubería, su valor se ha definido en el apartado anterior, existen dos tipos de tubería distintos en la red de distribución. [m]

- g : aceleración de la gravedad ($9,81 \text{ m}^2/\text{s}$)

	tramo N1-N2	tramo N2-N3	tramo N3-N4	tramo N4-N5	tramo N5-P5
L (m)	500	500	500	500	300
V (m/s)	0,509295818	0,407436654	0,305577491	0,203718327	0,159154943
D (m)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04

Tabla 25 Datos ecuación de Darcy-Weisbach. Fuente: propia

Se desconoce el valor factor de fricción de Darcy al igual que en la primera parte y por tanto se procederá en primer lugar a conocer el régimen en el que circula el flujo en el interior de las tuberías de la red de distribución. Para ello se calculará el número de Reynolds. Si el valor es superior a 2300 el flujo circula en régimen laminar mientras que para valores superiores el movimiento es turbulento. La ecuación para obtener el número de Reynolds es la siguiente:

$$Re_i = \frac{\rho * v_i * D_i}{\mu}$$

- ρ : densidad del agua $997 \text{ Kg}/\text{m}^3$
- v_i : velocidad de circulación del agua en el interior de la tubería en cada tramo de la red [m/s]
- D_i : diámetro interior de la tubería para cada tramo de la red de distribución [m]
- μ : viscosidad dinámica del agua, es la resistencia interna entre las partículas del agua en movimiento, $0,001 \text{ Kg}/(\text{m}*\text{s})$

Una vez se conoce el número de Reynolds se puede calcular el factor de fricción de Darcy. Si el flujo circula en régimen turbulento se empleará la ecuación de Colebrook.

$$f_i^{-1/2} = -2,0 * \log \left(\frac{\varepsilon / D_i}{3,7} + \frac{2,51}{Re_i * f_i^{1/2}} \right)$$

- D_i : diámetro interior de la tubería para cada parte de la red de distribución [m]

- Re_i : número de Reynolds para cada tramo de la red.
- ε : rugosidad absoluta de la pared de la tubería, depende del tipo de material. Se supone que la tubería empleada es de PVC. El plástico PVC posee una rugosidad absoluta de 0,0015 mm [mm]

Si el flujo, por su parte, circula en régimen laminar se empleará la siguiente fórmula

$$f = \frac{c}{Re_i}$$

- c : constante que depende de la forma de la tubería y tamaño de la misma, en la siguiente tabla se muestran los valores que puede tomar dicha constante dependiendo de los factores mencionados con anterioridad. Ya que las tuberías son de sección circular el coeficiente c tendría un valor de 64.


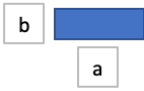


Sección	a/b	c
	-	64
	1	57
	1,43	59
	2	62
	3	69
	4	73
	8	82
	inf	96
	-	53
	inf	64
	100	80,1
	2,5	94,7
	1	96

Tabla 26 Coeficiente c . Fuente: recursos asignatura Mecánica de fluidos (ICAI)

- Re_i : número de Reynolds para cada tramo de la red.

Los resultados obtenidos se presentan en las siguientes tablas:

tramo N1-N2		tramo N2-N3		tramo N3-N4	
hf	3,23963382	hf	2,19139646	hf	1,31832803
datos		datos		datos	
g	9,81	g	9,81	g	9,81
L	500	L	500	L	500
v	0,50929582	v	0,40743665	v	0,30557749
D	0,05	D	0,05	D	0,05
Densidad	997	Densidad	997	Densidad	997
visc. din.	0,001	visc. din.	0,001	visc. din.	0,001
Rugosidad	0,0015	Rugosidad	0,0015	Rugosidad	0,0015
Re	25388,3965	Re	20310,7172	Re	15233,0379
f	0,024505	f	0,0259	f	0,0277

tramo N4-N5		tramo N5-P5	
hf	0,62188278	hf	0,33889922
datos		datos	
g	9,81	g	9,81
L	500	L	300
v	0,20371833	v	0,15915494
D	0,05	D	0,04
Densidad	997	Densidad	997
visc. din.	0,001	visc. din.	0,001
Rugosidad	0,0015	Rugosidad	0,0015
Re	10155,3586	Re	6347,09913
f	0,0294	f	0,0352

Tabla 27 Cálculo pérdidas de carga primarias para la red de distribución. Fuente: propia

Las pérdidas de carga primaria totales serán la suma de las pérdidas de carga primaria en cada uno de los tramos de la red de distribución.

$$hf = \sum_i \left(\frac{f_i * L_i * v_i^2}{D_i * 2 * g} \right) \rightarrow hf = 3,23963382 + 2,19139646 + 1,31832803$$

$$+ 0,62188278 + 0,33889922 \rightarrow \mathbf{hf = 7,7101403 \text{ m}}$$

Las pérdidas de carga secundaria o localizadas se calculan de la misma forma que en la primera parte de los cálculos hidráulicos. La ecuación que se emplea para calcular este tipo de pérdidas es la siguiente:

$$hm = \sum_i \left(\frac{k_i * v_i^2}{2 * g} \right)$$

- k_i : coeficiente de pérdida de carga secundaria, depende del tipo de accesorio instalado, se trata de un valor tabulado.
- v_i^2 : valor de la velocidad de circulación del fluido en el interior de la tubería al cuadrado [m/s]
- g : aceleración de la gravedad (9,81 m^2/s)

Los valores del coeficiente de pérdida de carga primaria se han obtenido de las tablas proporcionadas en el primer apartado de los cálculos hidráulicos. Teniendo en cuenta, el esquema que se adjunta al inicio del capítulo, se pueden localizar todos los puntos del mismo en el que existen elementos que puedan generar pérdidas de carga secundaria. Los puntos mencionados anteriormente se señalan en el esquema que se muestra a continuación.

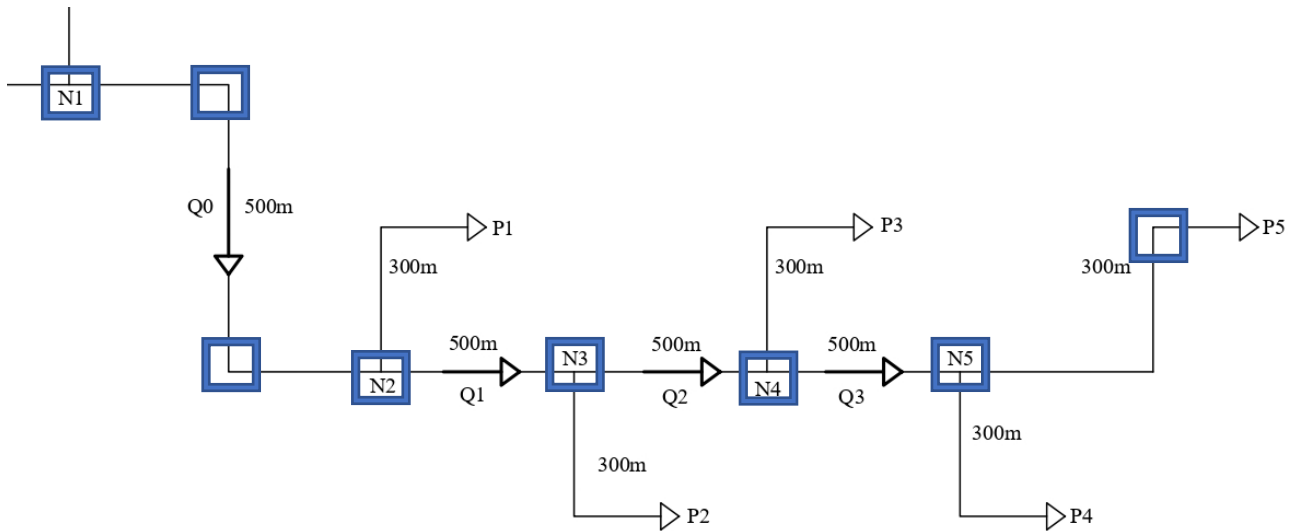


Ilustración 31 Esquema de la red de distribución con mención a las pérdidas localizadas. Fuente: propia

	entrada tubería	unión N2	unión N3	unión N4	unión N5
k	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2
v	0,509295818	0,50929582	0,40743665	0,30557749	0,20371833
g	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81
hm	0,005288119	0,00264406	0,0016922	0,00095186	0,00042305

	codo 90°	codo 90°	codo 90°	grifo	
k	0,3	0,3	0,3	2	
v	0,15915494	0,50929582	0,50929582	0,15915494	
g	9,81	9,81	9,81	9,81	total hm
hm	0,00038731	0,00396609	0,00396609	0,00258209	0,021901

Tabla 28 Cálculo pérdidas de carga localizadas en la red de distribución. Fuente: propia

$$\begin{aligned}
 hm &= \sum_i \left(\frac{k_i * v_i^2}{2 * g} \right) \rightarrow hm = \frac{0,4 * 0,50929^2}{2 * 9,81} + 2 * \frac{0,3 * 0,50929^2}{2 * 9,81} + \\
 &+ \frac{0,2 * 0,50929^2}{2 * 9,81} + \frac{0,2 * 0,40743^2}{2 * 9,81} + \frac{0,2 * 0,30555^2}{2 * 9,81} + \frac{0,2 * 0,20371^2}{2 * 9,81} \\
 &+ \frac{0,3 * 0,15915^2}{2 * 9,81} + \frac{2 * 0,15915^2}{2 * 9,81} \rightarrow \mathbf{hm = 0,021901 m}
 \end{aligned}$$

Una vez obtenidos todos los datos correspondientes tanto a las pérdidas de carga primaria como secundaria, es posible resolver la ecuación (6) para cada uno de los casos y por lo tanto obtener la altura mínima a la que se debe situar el depósito para que sea posible la distribución por gravedad.

Caso 1

$$z_1 = hf + hm + \frac{P_2}{\rho * g} \rightarrow z_1 = hf + hm + 2 \rightarrow$$

$$\rightarrow z_1 = 7,7101403 + 0,021901 + 2 \rightarrow z_1 = \mathbf{9,73204117 \text{ m} \approx 10 \text{ m}}$$

Caso 2

$$z_1 = hf + hm + \frac{v_2^2}{2 * g} \rightarrow z_1 = hf + hm + \frac{0,15915494^2}{2 * 9,81} \rightarrow$$

$$\rightarrow z_1 = 7,7101403 + 0,021901 + \frac{0,15915494^2}{2 * 9,81} \rightarrow z_1 = \mathbf{7,73333 \text{ m}}$$

Puesto que el valor del caso 1 es mayor que el del caso 2 ($9,73204117 > 7,73333$) se concluye que la altura mínima a la que se debe colocar el depósito con respecto al punto de abastecimiento 5 es de aproximadamente 10 metros. A esta altura, se conseguirá abastecer de agua a la comunidad beneficiaria con el caudal deseado. Por lo tanto, una vez en el terreno se realizará un estudio del mismo y se comprobará el desnivel existente entre el depósito de almacenamiento en altura y el punto de abastecimiento más alejado, si este fuera inferior a 10 metros será necesario instalar una estructura que permita elevar el depósito hasta que cumpla las restricciones que se han obtenido en esta segunda parte de los cálculos.

19. ELECCIÓN DE EQUIPOS

19.1 ELECCIÓN DE LA BOMBA

Con el objetivo de elegir la bomba ideal para el sistema de abastecimiento de agua, se emplea el sistema de dimensionamiento que ofrece la empresa Grundfos, teniendo en cuenta las consideraciones que se han mencionado en los anteriores apartados. Se requiere que la bomba sea sumergible y esté alimentada por un sistema fotovoltaico ya que la localización del pozo alejada de la población no permite la conexión a la red eléctrica.

Grundfos es un fabricante de bombas hidráulicas de origen danés y con sede en la ciudad de Bjerringbro. Grundfos es un referente en el sector ofreciendo servicio a todo el mundo. La empresa cuenta con casi 20000 empleados en todas sus sedes y producen más de 15 millones de unidades de bombeo. También producen motores eléctricos, sistemas fotovoltaicos, transformadores, electrónica para los controles de las bombas y demás dispositivos.

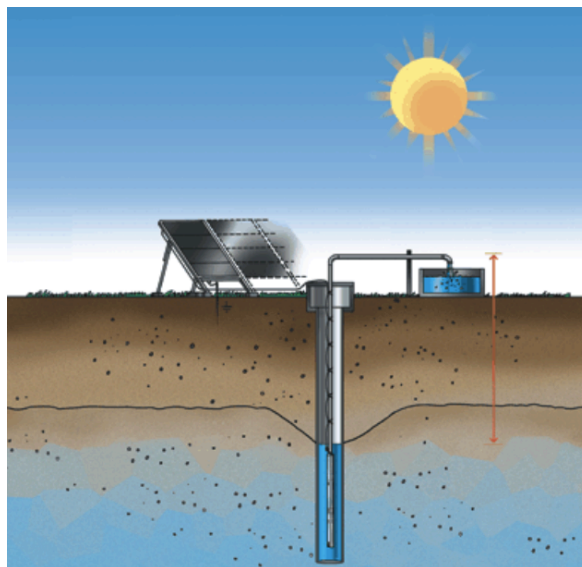


Ilustración 32 Esquema del sistema proporcionado por la empresa Grundfos durante el dimensionamiento. Fuente: Grundfos

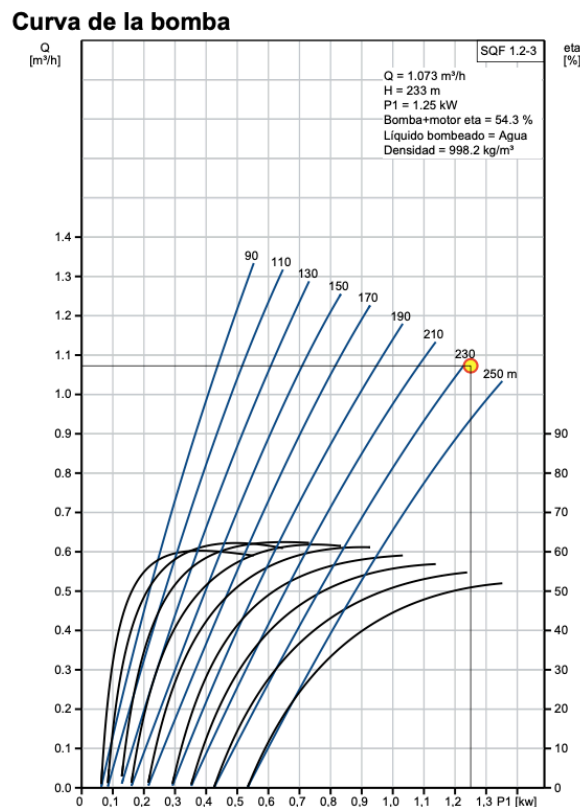
El sistema de dimensionamiento que ofrece la empresa necesita conocer la localización del pozo ya que tiene en cuenta las variaciones que puedan existir en la irradiación solar durante el año con el objetivo de garantizar el suministro del caudal de servicio.

Para ello en primer lugar se deberán suministrar los datos correspondientes a la ubicación del sistema, el caudal de servicio y la altura de elevación de la bomba.

Localización	H bomba (m)	Q (m^3 / hora)
Mount Darwin	110	0,96153846

Tabla 29 Datos dimensionamiento bomba. Fuente: propia

Una vez se han proporcionado todos los datos, Grundfos ofrece una lista con una gran variedad de bombas hidráulicas solares que cumplen todos los requisitos y a partir de la cual se selecciona la bomba ideal para el sistema. También se contactó con el fabricante y se concluyó que la bomba adecuada para el mismo era la bomba SQF 1.2-3 la cual viene con otros dispositivos que se adjuntan a continuación. Como se puede observar en la curva de la bomba que se presenta a continuación, se puede comprobar que la bomba seleccionada cumple más que de sobra con las especificaciones de caudal y altura de elevación.



Gráfica 9 Curva de la bomba SQF 1.2-3. Fuente: Grundfos

Bomba SQF 1.2-3 o similar

La bomba elegida se trata del modelo SQF 1.2-3 con rotor de hélice capaz de elevar caudales pequeños y grandes alturas. El sistema de suministro es de los más fiables del mercado y está basado en fuentes de energía solar. A continuación, se presentan las principales características del mismo. [26]



Ilustración 33 Bomba sumergible SQF 1.2-3. Fuente: propia

Materiales	
Bomba	Acero inoxidable DIN W.-Nr. 1.4301 AISI 304
Impulsor	Acero inoxidable DIN W.-Nr. 1.4301 AISI 304
Instalación	
Máxima presión ambiental	15 bar
Salida de bomba	Rp 1 ¼
Diámetro mínimo perforación	76 mm
Datos eléctricos	
Tipo de motor	MSF3
Potencia entrada	1.4 KW
Tensión nominal CA	1 x 90-240 V
Tensión nominal CC	30-300 V
Intensidad nominal	8.4 A
Velocidad nominal	3600 rpm

Tabla 30 Datos bomba SQF 1.2-3. Fuente: Grundfos

GF 270 o similar

El sistema fotovoltaico GF 270 se trata de un módulo solar policristalino equipado con conectores del tipo MC4 lo que permite una conexión simple. Este tipo de sistema requiere de una estructura sobre la que se instalará el módulo solar orientada en el ángulo adecuado para garantizar su máximo rendimiento. Se deberán colocar 6 módulos en serie o 2 en paralelo. [26]



Ilustración 34 Sistema fotovoltaico. Fuente: Grundfos

Instalación	
Rango de temperaturas	(-40, 85) °C
Datos eléctricos	
Tensión en punto de máx. potencia	31.6 V
Tensión de circuito abierto	38.4 V
Potencia máx. en el momento	8.76 A
Corriente de corte en el módulo	9.11 A
Otros	
Peso neto	18.3 kg
Volumen de transporte	2 m ³

Tabla 31 Datos sistema fotovoltaico. Fuente: Grundfos

CU 200 o similar

El sistema CU 200 se trata de una unidad combinada de control, estado y comunicación desarrollada juntamente con el sistema SQFlex y que sirve de conexión de interruptor de nivel. La comunicación entre ambos dispositivos se realiza a través de un cable de suministro de potencia a la bomba hidráulica. [26]



Ilustración 35 CU 200. Fuente: Grundfos

Instalación	
Rango de temperaturas	(30, 50) °C
Humedad relativa	95%
Datos eléctricos	
Consumo de potencia	5 W
Tensión nominal CA	1 x 90-240 V
Tensión nominal CC	30-300 V
Otros	
Peso neto	2 kg
País origen	TH

Tabla 32 Datos CU 200. Fuente: Grundfos

IO 50 o similar

El dispositivo IO 50 SQFlex consiste en un interruptor para las bombas hidráulicas solares de la empresa Grundfos. Se trata de un interruptor para cortar y permitir el paso de la corriente de alimentación de la bomba. SQF 1.2-3. [26]



Ilustración 36 IO 50. Fuente: Grundfos

DC máx.	300 V
AC máx.	254 V, 50 Hz
Corriente máx.	8,4 A
Temperatura	(-30, 50) °C
Grado de protección	IP55 / NEMA 3R
Garantía	2 años

Tabla 33 Datos IO 50. Fuente: Grundfos.

20. CONCLUSIONES CÁLCULOS

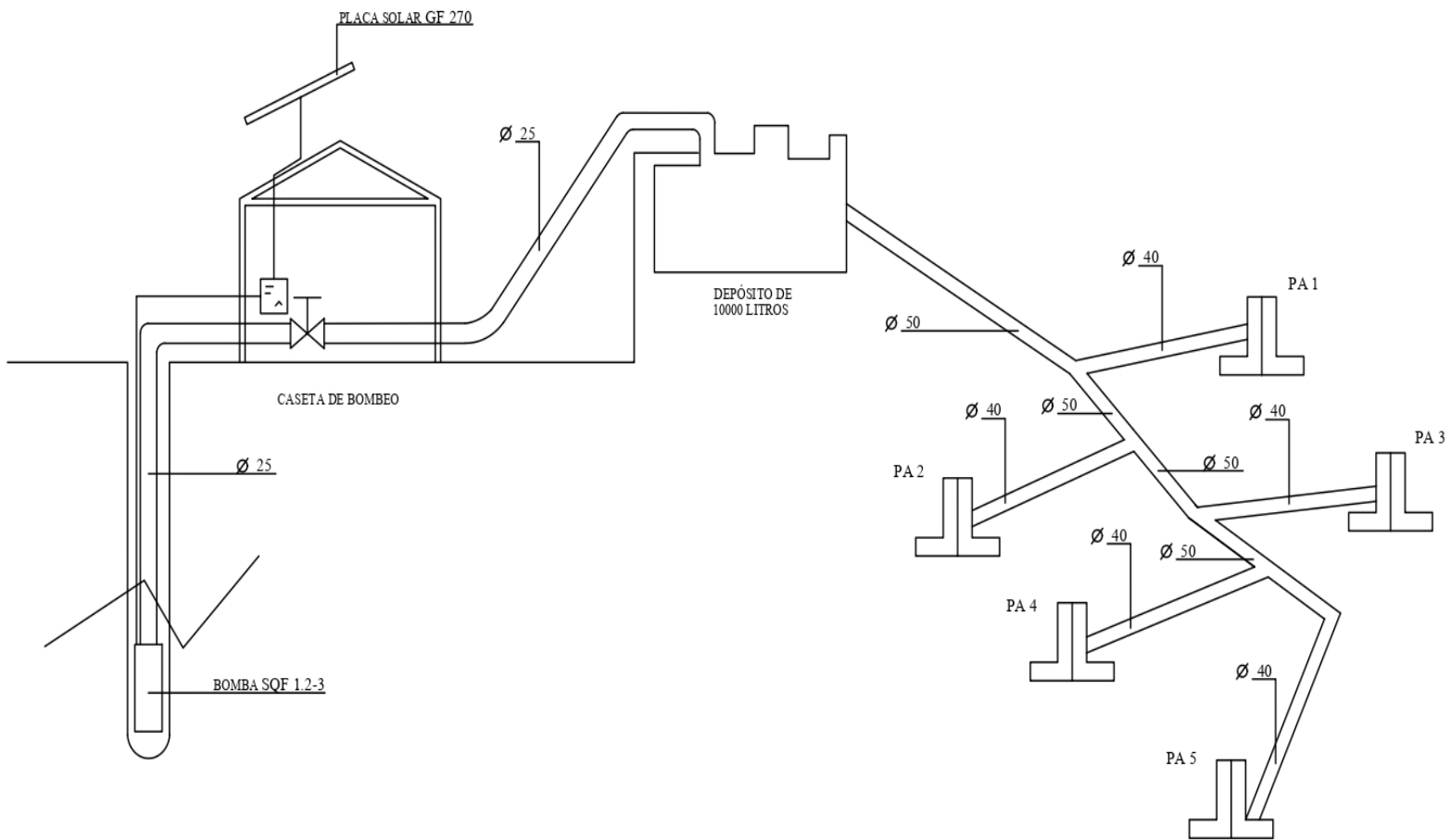


Ilustración 37 Esquema completo de la instalación. Fuente: propia

Primera parte

Caudal de bombeo		Tubería		velocidad	H bomba
m^3 / hora	m^3 / s	Dint (m)	Dext (m)	m/s	m
0,96153846	0,00026709	0,025	0,033	0,54411946	110

Tabla 34 Conclusiones cálculos 1º parte. Fuente: propia

Segunda parte

	tramo N1-N2	tramo N2-N3	tramo N3-N4	tramo N4-N5	tramo N5-P5
L (m)	500	500	500	500	300
V (m/s)	0,509295818	0,407436654	0,305577491	0,203718327	0,159154943
D (m)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04

z_1 (m)	10
-----------	----

Tabla 35 Conclusiones cálculos 2° parte. Fuente: propia

Capítulo III

Estudio Económico

Contenido Capítulo III

21.	<i>RENTABILIDAD</i>	127
22.	<i>FIABILIDAD</i>	128
23.	<i>INTERÉS ECONÓMICO</i>	129

Estudio económico

En este primer apartado del capítulo 3 se estudiará la viabilidad económica del sistema de abastecimiento de agua. Con este objetivo se analizará la rentabilidad, la fiabilidad y el interés económico del proyecto.

21. RENTABILIDAD

Con el objetivo de determinar la rentabilidad del proyecto se estudiará el sistema de bombeo elegido. Es decir, se analizará exhaustivamente el rendimiento del sistema de bombeo alimentado por la estación solar fotovoltaica. El alto precio de la electricidad y la necesidad de incrementar la rentabilidad del proyecto son algunos de los principales motivos por los que se ha elegido este tipo de bombeo. En la última década, el uso de bombas hidráulicas solares se está consolidando como una alternativa real al uso de la red eléctrica y de los generadores. Algunas de las principales ventajas son:

- Ahorro energético: el sistema de bombeo solar constituye un sistema 100% limpio ya que utiliza la energía gratuita procedente de una fuente inagotable como es el sol, y, por lo tanto, el gasto en energía es totalmente nulo.
- Alta eficiencia: el bombeo solar se caracteriza principalmente por la elevación de agua con un ritmo constante durante las horas de sol. Se trata de sistema de última tecnología en las que la eficiencia tiene un papel muy importante.
- Ahorro en mantenimiento: A diferencia de los generadores eléctricos que utilizan combustible y suelen trabajar en condiciones más extremas durante largos períodos de tiempo, el sistema de bombeo solar se trata de una instalación con una gran fiabilidad y con bajos costes de mantenimiento.

Una vez se han determinado las principales ventajas y las características del bombeo solar se deben tener en cuenta las características de las instalaciones convencionales con el objetivo de analizar la tecnología idónea y más rentable para el proyecto.

En primer lugar, se conoce que el bombeo solar únicamente trabaja durante las horas de sol de forma constante, mientras que el bombeo convencional tiene la capacidad de extraer agua cuando se desee ya que se puede regular su funcionamiento. Por otro lado, el bombeo solar requiere de una alta inversión inicial, pero después trabaja de forma independiente y no necesita de mantenimiento ni existen costes variables ligados al funcionamiento. Sin embargo, los sistemas convencionales, a parte de la inversión inicial requieren de altos costes de mantenimiento y una gran variabilidad en los costes de los combustibles. Las instalaciones de bombeo solar resultan más rentables que las convencionales en zonas con muchas horas de sol y por tanto de funcionamiento, como es Zimbabue, consiguiendo su amortización en períodos inferiores a los 2 años.

Al tratarse de un proyecto de cooperación benéfico la inversión inicial del proyecto será asumida por la ONG y por lo tanto el beneficiario no aportará más que la mano de obra de voluntarios que realizarán las tareas de construcción y mantenimiento. Tal y como se ha comentado en los primeros apartados del trabajo los fondos que harán posible la implantación del sistema de abastecimiento de agua se obtendrán de eventos benéficos, mercadillos solidarios, crowdfunding y la recaudación de fondos a través de la donación de empresas y particulares.

22. FIABILIDAD

En este punto se estudiará la seguridad del proyecto a largo plazo, es decir, durante la vida útil de los dispositivos que forman parte de la instalación. Por lo tanto, para que el sistema de abastecimiento de agua sea fiable se deben cumplir los puntos que se exponen a continuación:

- Solvencia: se requiere que la comunidad beneficiaria sea solvente con el objetivo de hacer frente a los inconvenientes en forma de averías que puedan surgir en el sistema de abastecimiento de agua.

- Eficiencia: en la etapa de implantación del proyecto, se buscará disponer de dispositivos con altos rendimientos teniendo en cuenta las fuertes limitaciones de presupuesto existentes.
- Mantenimiento: a lo largo de la vida útil de los dispositivos, se deberán realizar tareas periódicas de mantenimiento con el objetivo de alargar la vida de los equipos, lograr un mayor rendimiento, eficacia y durabilidad del proyecto.

El proceso de mantenimiento de la instalación será llevado a cabo por los habitantes de la población beneficiaria a los que habrá que formar adecuadamente para que sean capaces de prevenir futuros problemas y reparar los que se produzcan. Las tareas más complicadas serán realizadas por especialistas. [27]

Con el objetivo de un correcto desempeño de las labores de mantenimiento del sistema, en la memoria del proyecto se recogen en un apartado todas las tareas a llevar a cabo dependiendo del tipo de fallo de cada equipo.

Como consecuencia, la fiabilidad del proyecto dependerá en gran medida de los habitantes de la comunidad beneficiaria y de su compromiso con el sistema y las labores de mantenimiento.

23. INTERÉS ECONÓMICO

El estudio del interés económico del proyecto está estrechamente ligado al estudio de sostenibilidad de los equipos que se emplean en el mismo. En primer lugar, se realizará una clasificación dependiendo de si el factor que se estudia es capaz de producir crédito económico o no, si es así, se le considera como un bien. Como consecuencia son considerados como factores positivos o bienes el suministro de agua apta para el consumo y riego y la producción de energía eléctrica a través del sistema fotovoltaico. Por contrario, son considerados como factores negativos aquellos que constituyen un gasto, es decir, la instalación del sistema compra de los equipos y mano de obra.

El capital económico, es decir, el conjunto de bienes que se emplean para obtener riqueza será fundamental en el estudio de sostenibilidad. Gracias a aproximar los puntos de abastecimiento a los habitantes de la comunidad beneficiaria se consigue mejorar la calidad de vida y disponer de más tiempo para dedicar a actividades que reporten beneficio para la comunidad. El agua también podría emplearse para el riego de los cultivos del orfanato y de esta forma comerciar con los productos que sobren y obtener igualmente beneficios.

La instalación de un sistema de bombeo alimentado por placas solares permite no tener que depender de la red eléctrica y conseguir de cierta forma autonomía energética. De esta manera se consigue ahorrar en energía debido a los altos precios de la electricidad y se logra un sistema más seguro frente a los numerosos cortes en la red eléctrica de Zimbabue.

A continuación, se estudia el coste de implantación de la instalación. Este coste dependerá en gran medida de los equipos que se compren para el sistema, es decir, del tanque de almacenamiento, sistema fotovoltaico, tuberías y de la bomba hidráulica. El coste de perforación del pozo resulta nulo ya que el mismo se excavó en el verano del año 2019 y el cual se encuentra habilitado para la instalación de los equipos. Sin embargo, si que existe un coste de transporte para traer dichos equipos al lugar de instalación y el cual supone aproximadamente según un estudio de mercado y de los años anteriores unos 185€. También se debe considerar el coste de mano de obra de los especialistas que desarrollan las tareas de instalación de la bomba en el pozo y del sistema fotovoltaico, ya que los voluntarios no suponen ningún coste. Se estima alrededor de 300€.

Para la elección de los demás equipos que intervienen en el sistema se realiza un estudio conservador, es decir que dichos equipos estén capacitados de sobra para desempeñar sus labores.

En cuanto a la bomba hidráulica, se deberá elegir una bomba alimentada a través de un sistema fotovoltaico y capaz de elevar un caudal mínimo de $0,96 \text{ m}^3/\text{hora}$, lo que corresponde con $5 \text{ m}^3/\text{día}$ a una altura de 110 metros. Por lo tanto, se realiza un estudio de mercado a partir del dimensionamiento anterior y se concluye que la bomba que se debe emplear en el sistema debe ser una bomba SQF 1.2-3 o similar. El precio de la misma

se encuentra en los 2326€. Dicho tipo de bomba debe venir acompañada de 3 accesorios imprescindibles y consistentes en 2 módulos solares policristalinos en paralelo de tensión 31.6 V y de precio 498 € cada uno, una unidad combinada de control, estado y comunicación de 564 € y, por último, un interruptor para cortar y permitir el paso de la corriente de alimentación de la bomba de 8,1 A y 89€.

La red de tuberías por su parte debe estar formada por tuberías de PVC. El PVC posee una alta resistencia a la corrosión, se trata de un material no conductor por lo que se eliminan los efectos electroquímicos y galvánicos y como consecuencia no necesita ser protegida ni colocar ningún recubrimiento. En el sistema se emplean 3 tuberías de diámetro nominal diferente lo que permite elegir la velocidad adecuada para el sistema y disminuir las pérdidas hidráulicas lo que puede permitir prescindir de la estructura para la elevación del depósito. Los precios de las mismas varían entre los 0,37€/m y los 0,94€/m las más caras.

Por último, el depósito de almacenamiento debe cumplir con las necesidades de consumo diarias y ser lo suficientemente resistente para que su vida útil se alargue lo máximo posible. El depósito elegido para el sistema cumple con todas las especificaciones anteriores y tiene un precio de 890€.


Capítulo IV

Anexos

Contenido Capítulo IV

24.	<i>FICHA TÉCNICA BOMBA</i>	136
25.	<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	149

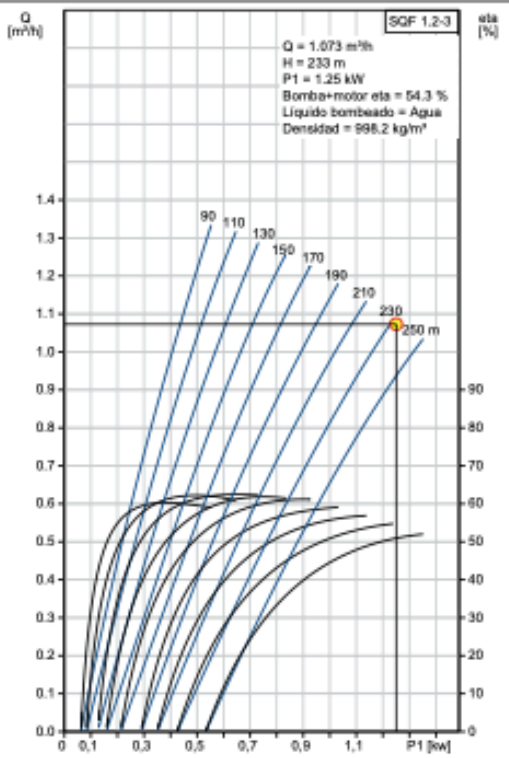
24. FICHA TÉCNICA BOMBA




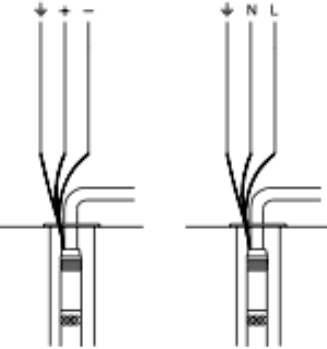
Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 29/06/2020

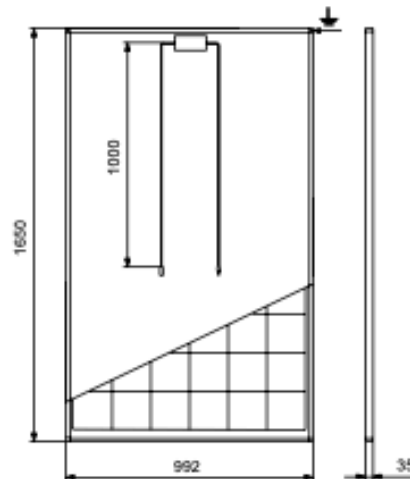
Descripción	Valor
Información general:	
Producto:	SQF 1.2-3
Código:	96834838
Número EAN:	5700311531648
	5700311531648
Precio:	2.326,00 EUR
Técnico:	
Etapas:	3
Homologaciones en placa de del motor:	CE,RCM,EAC
Homologaciones en la placa de la bomba:	CE,EAC
Bomba n.º:	96834835
Válvula:	bomba con válvula de retención integrada
Materiales:	
Bomba:	Acero inoxidable DIN W.-Nr. 1.4301 AISI 304
Impulsor:	Acero inoxidable DIN W.-Nr. 1.4301 AISI 304
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
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 de eficiencia mínima, MEI ≥:	-, -
Peso neto:	9.81 kg
Peso bruto:	10.9 kg



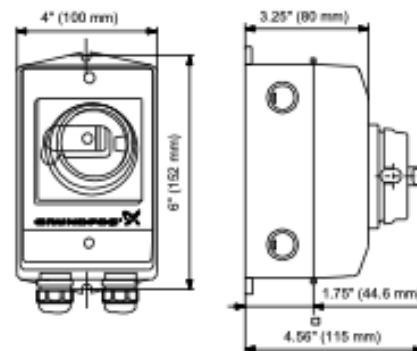




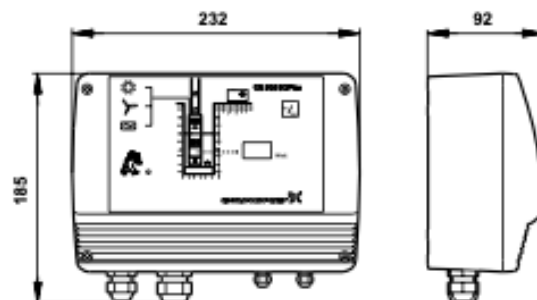
Descripción	Valor
Información general:	
Producto:	GF 270
Código:	99299012
Número EAN:	5713826826093
	5713826826093
Precio:	498,00 EUR
Instalación:	
Rango de temperaturas ambientes:	-40 .. 85 °C
Líquido:	
Líquido bombeado:	Agua
Datos eléctricos:	
Tensión del punto de máxima potencia:	31.6 V
Tensión de circuito abierto:	38.4 V
Potencia máx. en el momento:	8.76 A
Corriente de corte del módulo:	9.11 A
Potencia de salida máx.:	270 W
Tipo de modulo solar:	POLICRISTALINO
Otros:	
Marca:	GRUNDFOS
Peso neto:	18.3 kg
Volumen de transporte:	2 m³
País de origen.:	HR
Tarifa personalizada n.º:	85414090



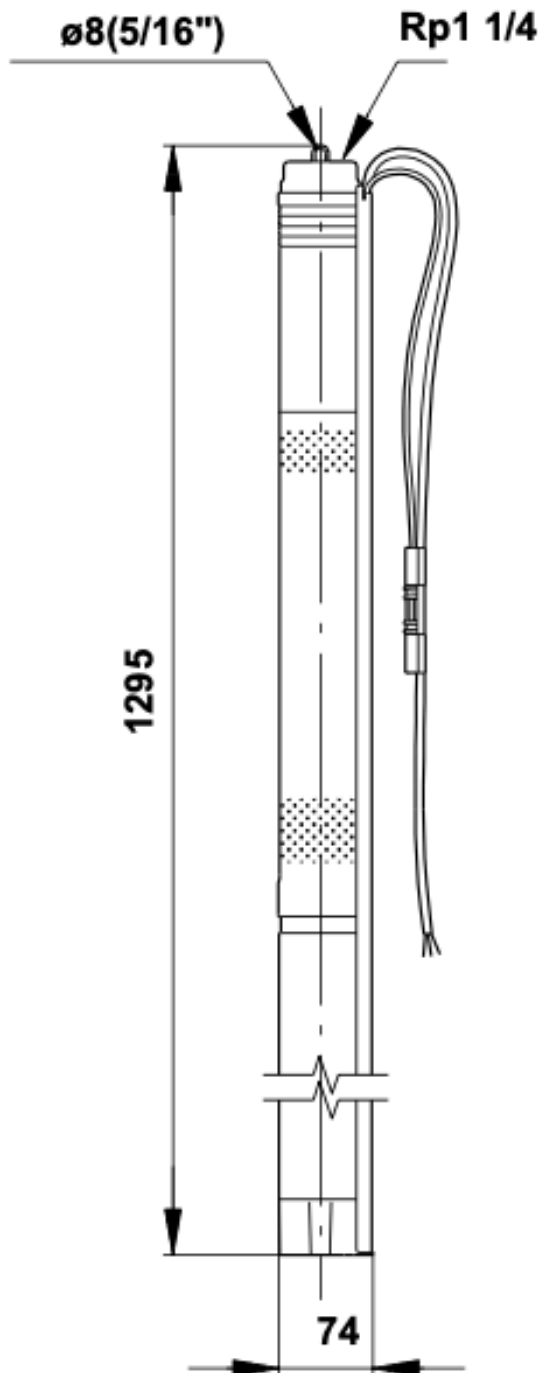
Descripción	Valor
Información general:	
Producto:	IO50, Metric
Código:	97907253
Número EAN:	5710626175826
	5710626175826
Precio:	89,00 EUR
Instalación:	
Temperatura ambiente máxima:	50 °C
Datos eléctricos:	
Frecuencia de red:	50 / 60 Hz
Tensión nominal:	1 x VDC 30-300
Otros:	
País de origen.:	FI
Tarifa personalizada n.º:	85030099



Descripción	Valor
Información general:	
Producto:	CU 200
Código:	96625360
Número EAN:	5700835135131
	5700835135131
Precio:	564,00 EUR
Técnico:	
Homologaciones en la placa de características:	CE
Instalación:	
Rango de temperaturas ambientes:	30 .. 50 °C
Humedad relativa:	95 %
Datos eléctricos:	
Consumo de potencia:	5 W
Tensión nominal CA:	1 x 90-240 V
Tensión nominal CC:	30-300 V
Grado de protección (IEC 34-5):	IP55
Fusible de reserva:	10 A

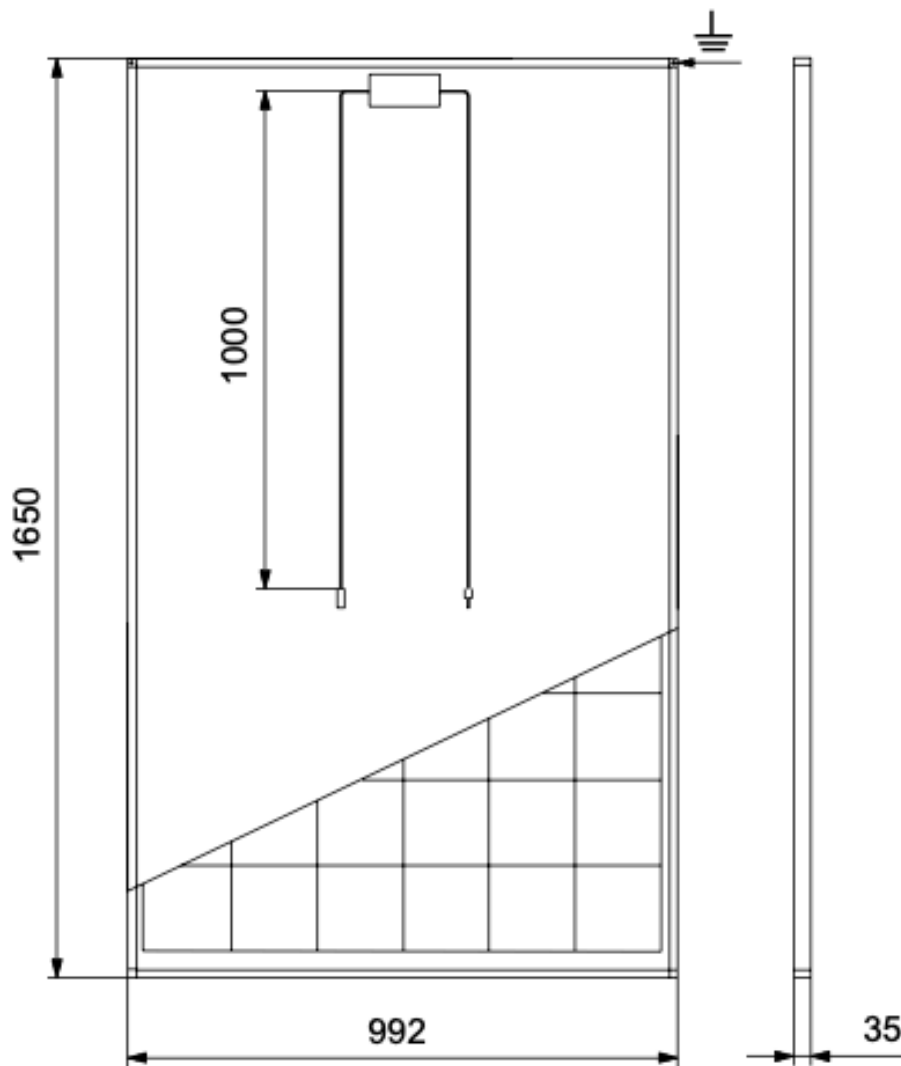


96834838 SQF 1.2-3



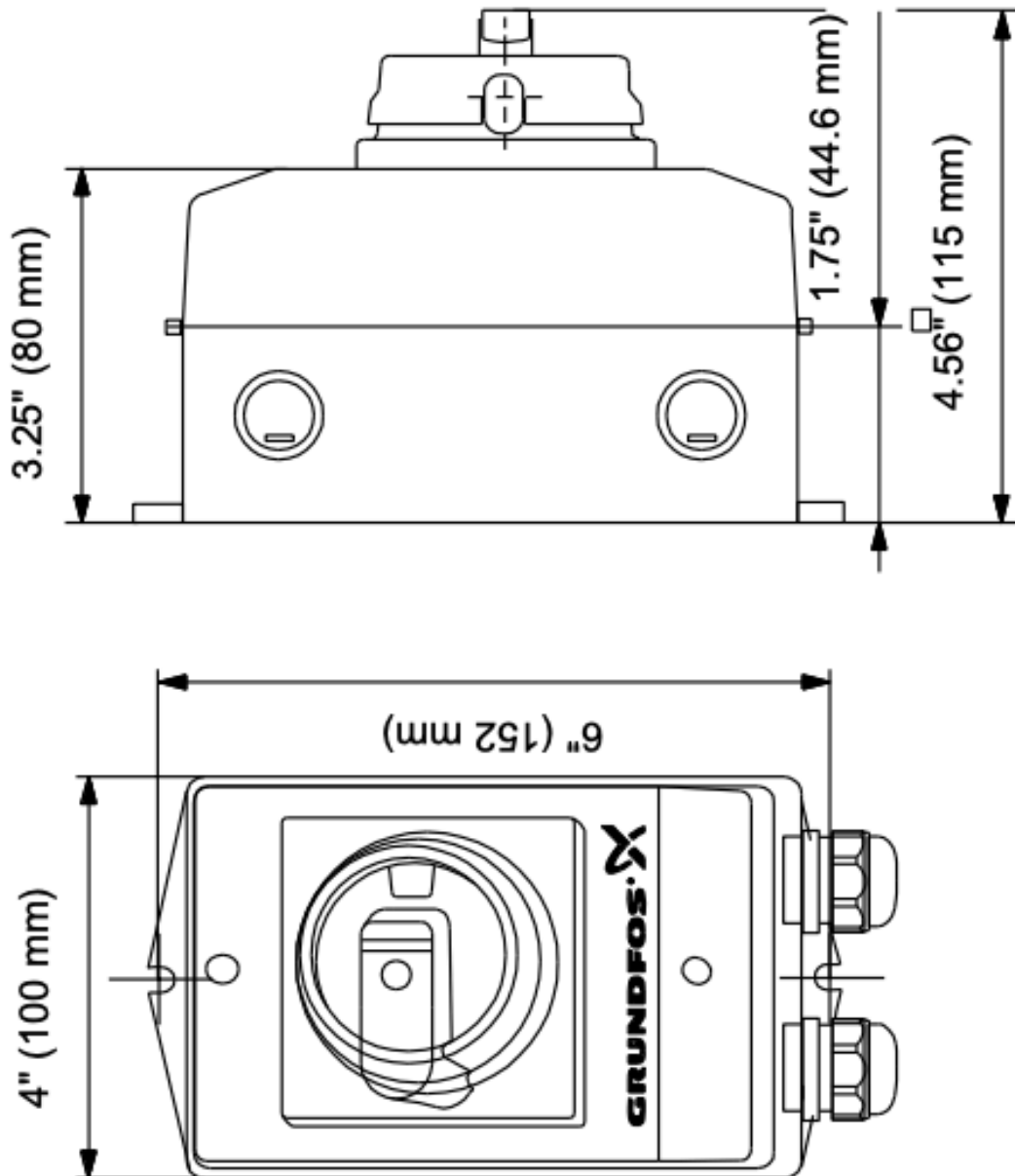
Nota: todas las unidades están en [mm] a menos que se indiquen otras. Exención de responsabilidad: este esquema dimensional simplificado no muestra todos los detalles.

99299012 GF 270



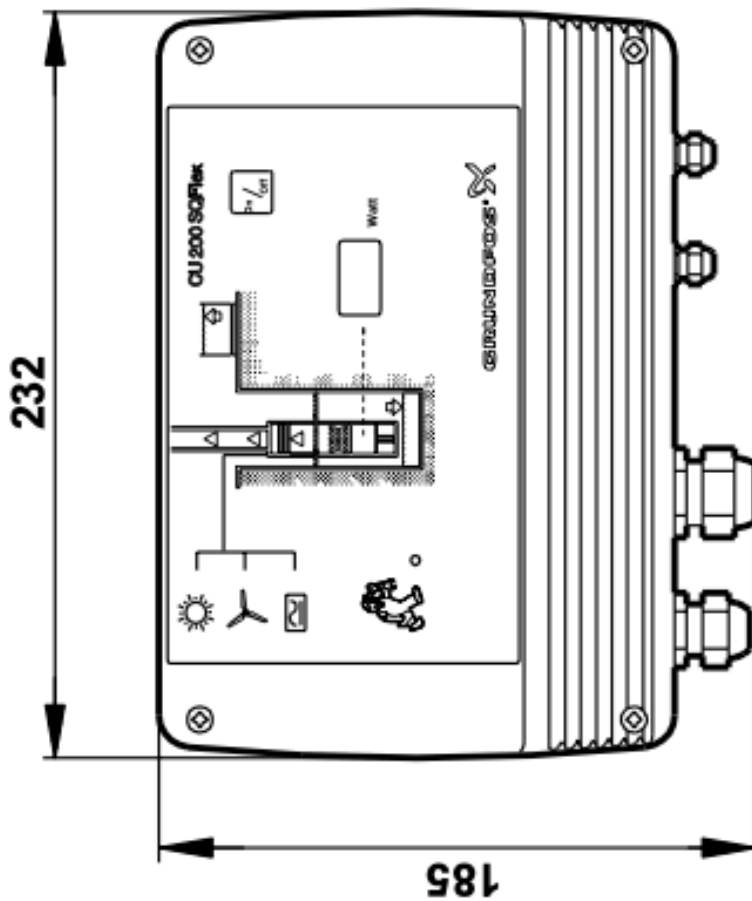
Nota: todas las unidades están en [mm] a menos que se indiquen otras. Exención de responsabilidad: este esquema dimensional simplificado no muestra todos los detalles.

97907253 IO50, Metric



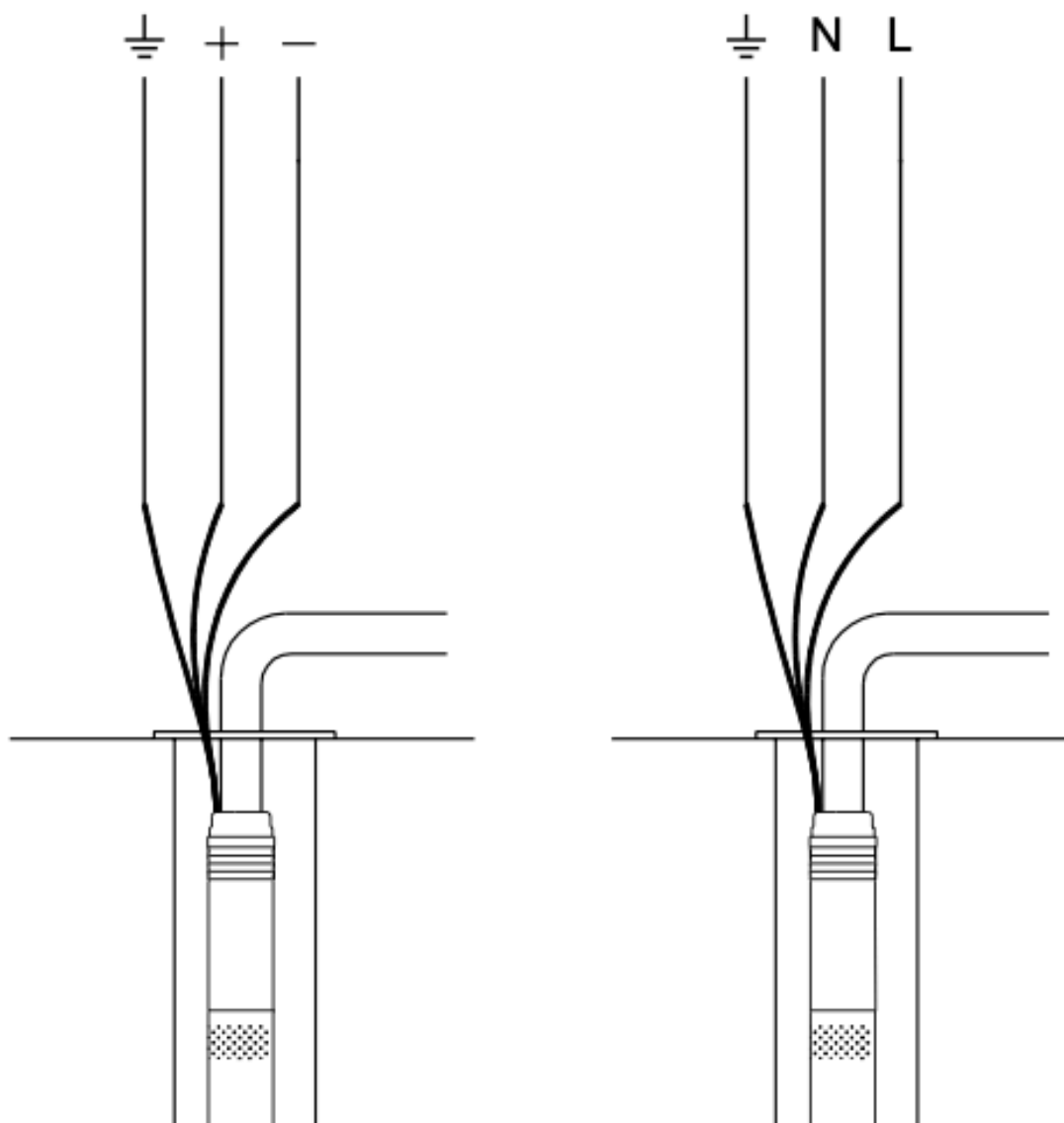
Nota: todas las unidades están en [mm] a menos que se indiquen otras. Exención de responsabilidad: este esquema dimensional simplificado no muestra todos los detalles.

96625360 CU 200



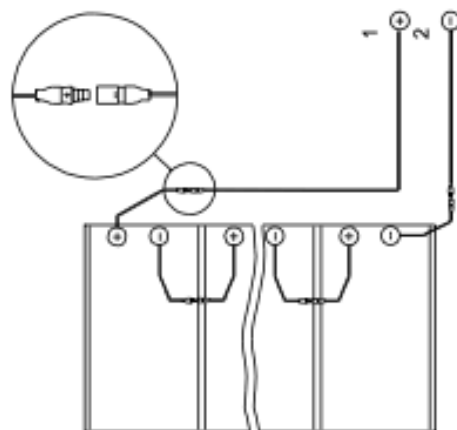
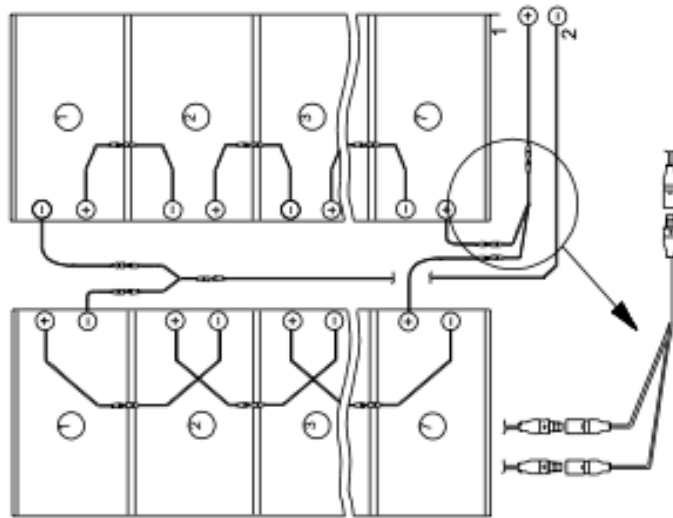
Nota: todas las unidades están en [mm] a menos que se indiquen otras. Exención de responsabilidad: este esquema dimensional simplificado no muestra todos los detalles.

96834838 SQF 1.2-3



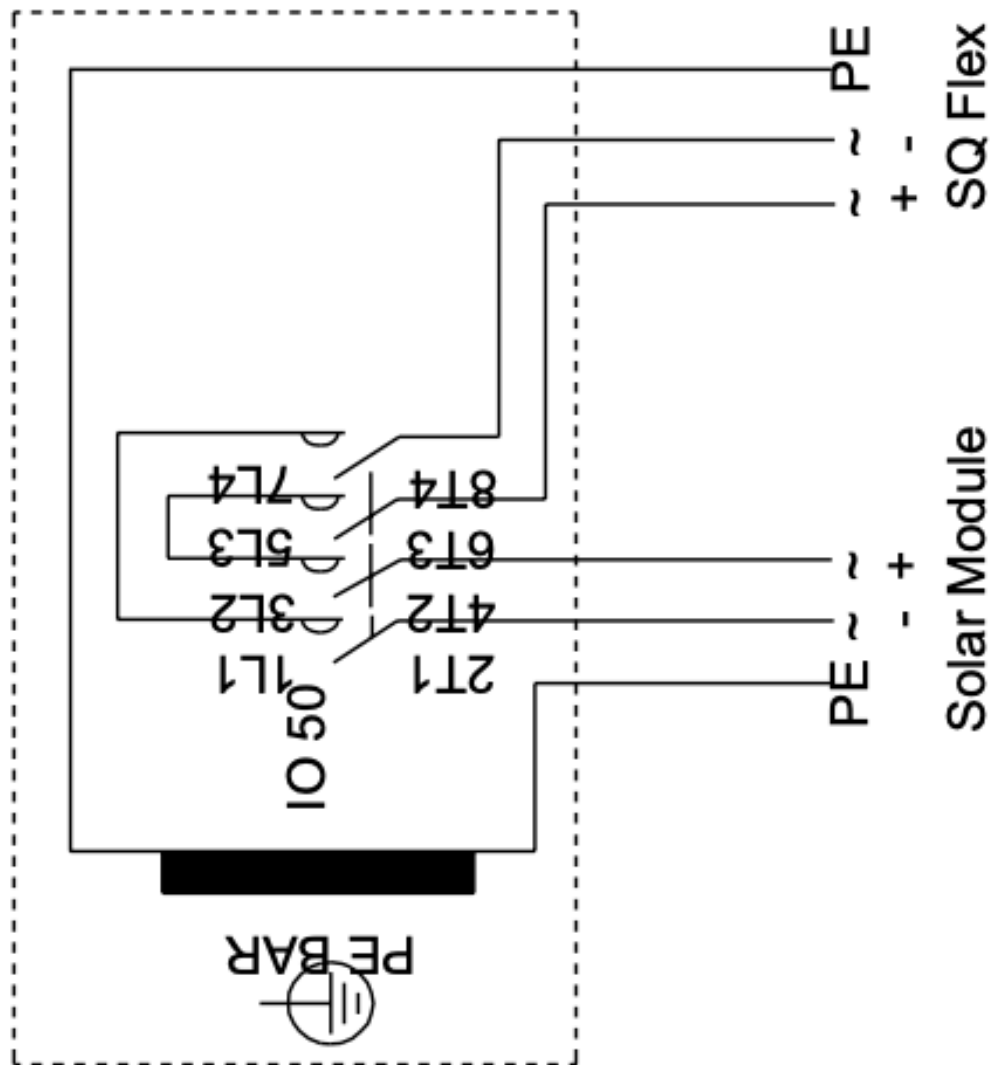
¡Nota!Uds en [mm] a menos que otras estén expresadas

99299012 GF 270



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

97907253 IO50, Metric



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

96834838 SQF 1.2-3

Mapa de ubicación



Ubicac.: Mount Darwin, Mashonaland Central, Zimbabwe
Latitud: -16.7743 DD, Longitud: 31.5828 DD

96834838 SQF 1.2-3

Entrada - resumen

Caudal: 5m³/día, 1m³/h (10h - 15h, limit m³/h)
 Mes del dimensionamiento: Julio
 Elevación estática por encima del suelo: 110 m
 Nivel de agua dinámico: 122 m
 Seguimiento del sol: No (fijo)
 Ubicac.: Mount Darwin, Mashonaland Central, Zimbabwe
 Latitud: -16.7743 DD, Longitud: 31.5828 DD

Productos

Bomba: SQF 1.2-3, 1 x 96834838
 Módulo solar: GF 270, 12 x 99299012
 Caja de interruptor / unidad de control: IO50, Metric, 1 x 97907253
 Caja de interruptor / unidad de control: CU 200, 1 x 96625360

Resul de selec - sumario

Producción de agua, caudal máximo y precio

Producción de agua total por año: 3480 m³
 Producción de agua promedio diaria: 9.5 m³/día
 Producción de agua promedio por vatio diaria: 2.9 l/Wp/día

Rendimiento habitual con irradiación solar de 800 W/m²

Caudal: 1.1 m³/h
 Altura total: 233.0 m

Configuración de módulo solar:

Número de módulos solares en serie: 6, en paralelo: 2
 Potencia nominal del panel solar: 3.24 kW
 Tensión nominal del panel solar: 189.6 V
 Seguimiento del sol: No (fijo)
 Ángulo de inclinación: 17 deg.

Cables y tuberías:

Longitud del cable de bomba: 122 m
 Tamaño del cable de bomba: 6 mm²
 Pérdida por cable total: 3.7 %

Longitud de la tubería: 122 m
 Diámetro de la tubería: 32 mm
 Pérdida por fricción: 1.0 m

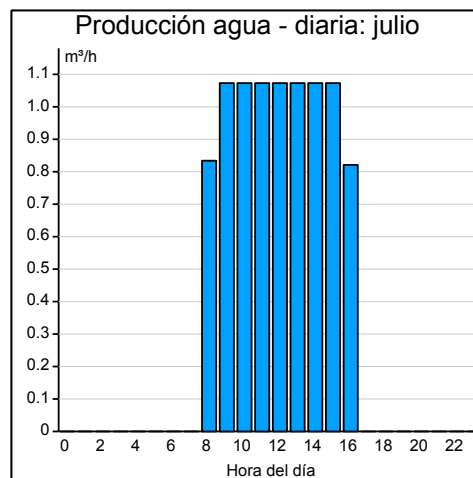
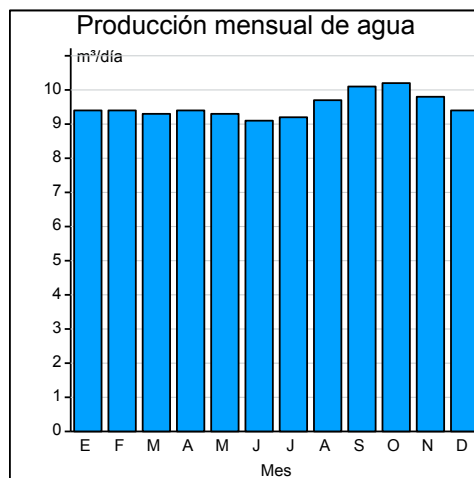
Prestación del sist. - media mensual

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Producción agua [m ³ /día]	9.4	9.4	9.3	9.4	9.3	9.1	9.2	9.7	10.1	10.2	9.8	9.4
Prod. de energía [kWh/day]	13.3	13.2	13.1	13.1	13.0	12.8	12.9	13.4	13.8	13.9	13.6	13.3
Irradiación hztal [kWh/m ² día]	6.4	6.4	6.3	6.2	5.8	5.3	5.5	6.6	7.7	7.9	7.3	6.4
Inclinación de irradiación [kWh/m ² día]	5.9	6.1	6.3	6.8	6.8	6.4	6.6	7.5	8.0	7.7	6.7	5.9
Temp. promedio [°C]	20.3	20.0	19.6	18.3	16.3	14.1	13.8	16.4	20.1	22.2	22.8	21.3

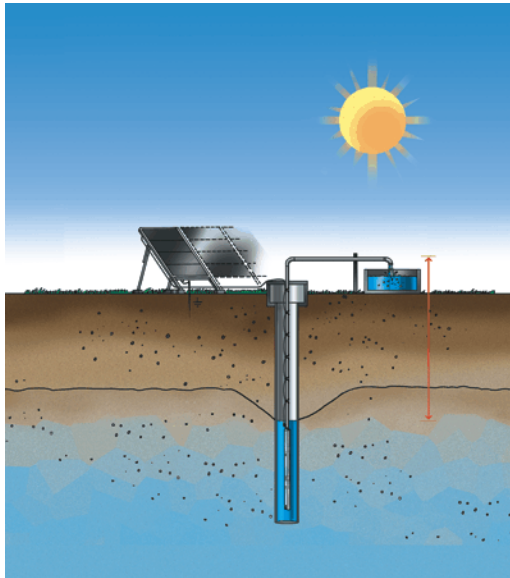
Local. dat. solares: Latitud: -17 DD, Longitud: 31 DD

Po AC - produc. de agua

Rendimiento mín. requerido: 1.35 kW
 AC 115 V: Productos: 0.745 m³/h
 AC 230 V: Productos: 1.073 m³/h



Instalación y entrada



Resultados de dimensionamiento

Producción de agua, caudal máximo y precio
 Producción de agua total por año: 3480 m³
 Producción de agua promedio diaria: 9.5 m³/día
 Producción de agua promedio por vatio día: 2.9 l/Wp/día

Configuración de módulo solar:
 Número de módulos solares en serie: 6, en paralelo: 2
 Potencia nominal del panel solar: 3.24 kW
 Tensión nominal del panel solar: 189.6 V
 Seguimiento del sol: No (fijo)
 Ángulo de inclinación: 17 deg.

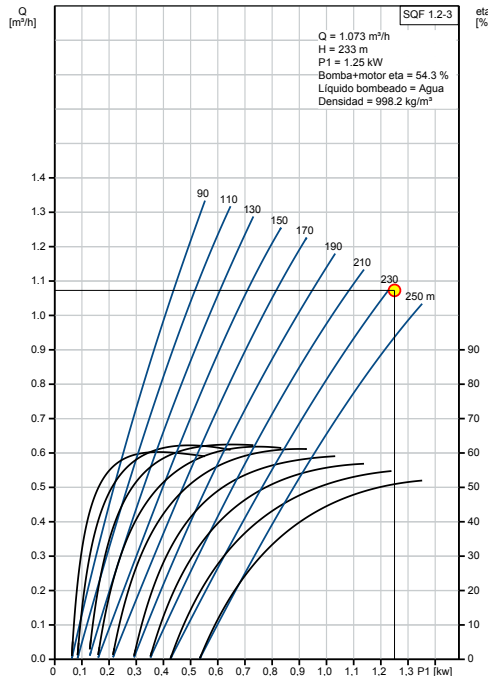
Rendimiento habitual con irradiación solar de 800 W/m²
 Caudal: 1.1 m³/h
 Altura total: 233.0 m

Cables y tuberías:
 Longitud del cable de bomba: 122 m
 Tamaño del cable de bomba: 6 mm²
 Pérdida por cable total: 3.7 %

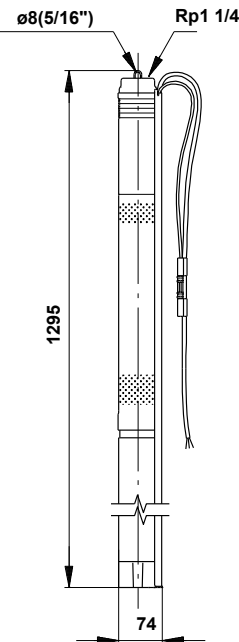
Longitud de la tubería: 122 m
 Diámetro de la tubería: 32 mm
 Pérdida por fricción: 1.0 m

Ubicac.: Mount Darwin, Mashonaland Central, Zimbabwe
 Latitud: -16.7743 DD, Longitud: 31.5828 DD

Curva de la bomba



Dibujo de dimensionamiento



25. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Guy Howard. (2003). La cantidad de agua domiciliaria, el nivel del servicio y la salud. 2020, de OMS Sitio web: https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/wsh0302/es/
- [2] Gabriel Ferrero. (2002). Identificación y formulación de proyectos de cooperación al desarrollo. 2020, de Universidad Politécnica de Valencia Sitio web: <http://www.upv.es/upl/U0566379.pdf>
- [3] Asamblea General Naciones Unidas. (2015). Memoria del Secretario General sobre la labor de la Organización. 2020, de Naciones Unidas Sitio web: <https://undocs.org/es/A/70/1>
- [4] Jesus Serrano. (2007). PROYECTO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN TOGO. 2020, de Carlos III Sitio web: https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/5469/PFC_Jesus_Serrano_Alonso.pdf
- [5] ELMUNDO. (2010). Zimbabwe asalto a la tierra. 2020, de EL MUNDO Sitio web: <https://www.elmundo.es/internacional/zimbabue/>
- [6] La Vanguardia. (2018). Datos básicos y evolución política de Zimbabwe. 2020, de La Vanguardia Sitio web: <https://www.lavanguardia.com/politica/20180727/451124562335/datos-basicos-y-evolucion-politica-de-zimbabue.html>
- [7] Datos Zimbabwe. 2020, de Banco Mundial Sitio web: <https://datos.bancomundial.org/pais/zimbabue>
- [8] Mamadou Cheikh Agne. (2015). ZIMBABWE DE AYER A HOY: DESAFÍOS Y PERSPECTIVAS DE DESARROLLO POLITICO Y ECONÓMICO. 2020, de ieee Sitio web: http://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_opinion/2015/DIEEEO84-2015_Mamadu_Zinbawe.pdf
- [9] N/A. (2020). Mejor época para viajar, tiempo y clima Zimbabwe. 2020, de cuandovisitar Sitio web: <https://www.cuandovisitar.es/zimbabue/>
- [10] Fundación Ingenieros de ICAI. (2015). Memoria anual 2014. 2020, de Fundación Ingenieros ICAI para el desarrollo Sitio web: <https://fundacioningenierosicai.org/wp-content/uploads/2019/02/informe-anual-2014.pdf>
- [11] Ignatius Banda. (2016). La crisis hídrica en Zimbabwe empeora la inseguridad alimentaria. 2020, de IPS Sitio web: <http://www.ipsnoticias.net/2016/02/la-crisis-hidrica-en-zimbabwe-empeora-la-inseguridad-alimentaria/>
- [12] Naciones Unidas. (2018). ODS. 2020, de Naciones Unidas Sitio web: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- [13] Plastindrus. (2020). PVC (Policloruro de vinilo). 2020, de Plastindrus Sitio web: <http://www.plastindrus.com/caracteristicas/pvc/>

- [14] Efimarket. (2018). ¿Qué es la Hora Solar Pico (HSP), para qué sirve y cómo calcularlo? 2020, de Efimarket Sitio web: <https://www.efimarket.com/blog/la-hora-solar-pico-hsp-sirve-calcularlo/#:~:text=La%20Hora%20Solar%20Pico%2C%20es,que%20está%20transmitiendo%201000W%2Fm2>.
- [15] Child Future Africa (2020) Sitio web: <http://childfutureafrica.org>
- [16] Fundación Ingenieros ICAI. (N/A). Suministro de agua en Chuscaj – Guatemala. 2020, de Fundación Ingenieros ICAI Sitio web: <https://fundacioningenierosicai.org/nuestro-trabajo/trabajos-finalizados/suministro-de-agua-en-chuscaj-guatemala/>
- [17] Africa Directo. (2017). Proyecto: Bomba de agua para el Hospital de Atupele. 2020, de Africa Directo Sitio web: <https://africadirecto.org/proyecto/bomba-agua-hospital-atupele/>
- [18] Fernando Crespo Pérez. (2018). Agua para los wampis. 2020, de Fundación Ingenieros ICAI Sitio web: <https://fundacioningenierosicai.org/nuestro-trabajo/trabajos-finalizados/agua-para-los-wampis-en-el-amazonas/>
- [19] Raúl Germán Cordero. (2007). Mantenimiento de Placas Solares. 2020, de sunfields europe Sitio web: <https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/instaladores/mantenimiento/>
- [20] Ecocosas. (2020). Captación de agua de lluvia. Canalizar, recoger y almacenar. 2020, de Ecocosas Sitio web: <https://ecocosas.com/construccion/captacion-de-agua-de-lluvia/>
- [21] Netjet. (2019). El depósito de agua potable y por qué debemos hacer su mantenimiento. 2020, de Netjet Sitio web: <https://www.netjet.es/deposito-de-agua-potable-mantenimiento/>
- [22] Sondagua. (2018). ¿Cómo mantener correctamente un pozo de agua? 2020, de Sondagua Sitio web: <http://www.sondagua.cl/blog/como-mantener-correctamente-un-pozo-de-agua/>
- [23] Ernesto Ciudad. (2019). Mantenimiento y limpieza de tanques elevados. 2020, de agua ecosocial Sitio web: <https://aguaecosocial.com/mantenimiento-y-limpieza-de-tanques-elevados/>
- [24] Suez. (2018). ¿CÓMO ELEGIR UNA BOMBA DE AGUA PARA POZOS EN INSTALACIONES DE RIEGO? 2020, de suz agriculture Sitio web: <https://www.suez-agriculture.com/es/blog/-como-elegir-una-bomba-de-agua-para-pozos-en-instalaciones-de-riego->
- [25] Gesmontes. (2018). Las 3 Bombas más usadas para Pozos de Riego. 2020, de Gesmontes Sitio web: <https://gesmontes.es/bombas-para-pozos-de-riego/>
- [26] Grundfos (2020) Sitio web: <https://www.grundfos.com>

[27] Jaime Gonzalez. (2017). ¿Qué es el bombeo solar? ¿merece realmente la pena el riego solar? 2020, de SotySolar Sitio web: <https://sotysolar.es/blog/bombeo-solar-riego-solar>

Documento II

Presupuesto



Contenido Presupuesto

1. PRESUPUESTO	156
1.1 Sumas parciales	156
1.1.1 Activos no corrientes.....	156
1.1.2 Otros costes	157
1.2 Presupuesto general	157

1. PRESUPUESTO

A continuación, se adjunta el presupuesto general de la instalación. En él se recogen estimaciones realizadas de los equipos que se emplearán en el sistema, es decir, se calculará el precio promedio de equipos que tengan características similares y que cumplan las funciones descritas en el proyecto. Debido a la dificultad de encontrar online muchos de estos elementos en el mercado zimbabuense, se toma el precio en el mercado de España y se calcula su precio teniendo en cuenta el cambio de moneda.

1.1 SUMAS PARCIALES

1.1.1 ACTIVOS NO CORRIENTES

Los activos fijos o no corrientes se refieren aquellos que pertenecen a una empresa, ya sean tangibles o intangibles, y que no se convierten en efectivo en un año de tiempo, por lo que permanecen en ella durante más de un ejercicio, son imprescindibles para el correcto desempeño de las actividades de la empresa y su objetivo último no es la venta.

Se pueden dividir en costes directos e indirectos. En los costes directos existe otra clasificación ya sean de emplazamiento o no.

Costes directos

Los costes directos constituyen aquellos que guardan una relación directa con la realización y producción de los productos y servicios de la empresa, y como consecuencia tienen una gran influencia en la definición del precio de dichos productos o servicios.

En el proyecto se contabilizarán como costes directos aquellos debidos a los materiales que se emplean en la instalación del sistema, los dispositivos que se vayan a utilizar y la mano de obra directa. Por lo tanto, todos los costes que tengan una influencia de carácter permanente. A continuación, se realiza otra clasificación dentro de los costes directos ya sean costes de emplazamiento o no emplazamiento.

- Costes de emplazamiento: se trata de los costes relacionados con la compra de los dispositivos que se van a emplear en el sistema y del material perteneciente

a la infraestructura de la instalación. En el presupuesto general que se adjunta en los siguientes apartados, se realiza una estimación del precio de los equipos supuestos o similares.

- Costes de no emplazamiento: son aquellos costes relacionados con la adquisición del terreno en el que se llevará a cabo la implantación del proyecto y de la construcción de las infraestructuras. El terreno donde se encuentra el pozo y se realizará la instalación fue cedido a la ONG, mientras que respecto a la construcción e instalación de los equipos será llevada a cabo por voluntarios locales a los que habrá que formar con anterioridad y se requerirá igualmente de especialistas para las tareas más complejas.

Costes indirectos

Los costes indirectos son aquellos que corresponden con costes generales y que por lo tanto afectan a todo el proceso productivo. Se trata de los costes relacionados con el transporte de los equipos, del material y de la mano de obra y de la compra o alquiler de las herramientas. También se consideran los costes de mantenimiento, a cargo de la comunidad beneficiaria.

1.1.2 OTROS COSTES

Dentro de esta clasificación se pueden encontrar aquellos costes relacionados con la puesta en marcha de la instalación y los costes de investigación. En este proyecto no se asumen ningún tipo de gasto de investigación ni desarrollo.

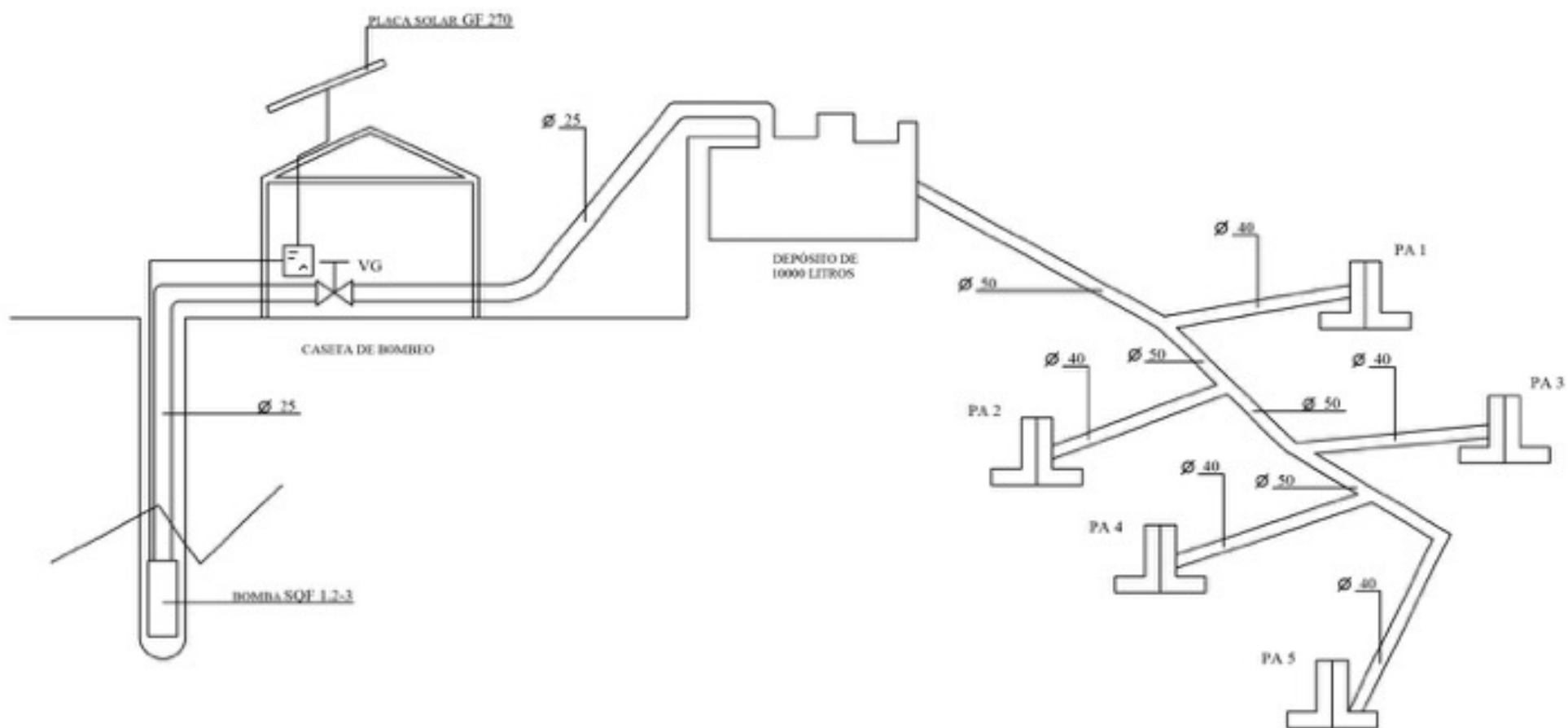
1.2 PRESUPUESTO GENERAL

	Equipo	Modelo	Precio / unidad		cantidad	total
Estación de bombeo	Bomba	SQF 1.2-3	2.326,00 €	€	1	2.326,00 €
	panel solar	GF 270	498,00 €	€	2	996,00 €
	unidad de control	CU 200	564,00 €	€	1	564,00 €
	Interruptor	IO 50	89,00 €	€	1	89,00 €
	sensor de nivel		70,00 €	€	1	70,00 €
	Cableado		2,20 €	€/m	100	220,00 €
Red de distribución e impulsión	Depósito 10000 L		890,00 €	€	1	890,00 €
	tuberías	PVC D 25 mm	0,37 €	€/m	122	45,14 €
		PVC D 40 mm	0,57 €	€/m	2000	1.140,00 €
		PVC D 50 mm	0,94 €	€/m	1500	1.410,00 €
	grifos		12,99 €	€	5	64,95 €
	codos	PVC 25 mm	0,50 €	€	3	1,50 €
		PVC 40 mm	0,97 €	€	5	4,85 €
		PVC 50 mm	1,12 €	€	2	2,24 €
	Unión en T		10,53 €	€	4	42,12 €
	Válvula		14,59 €	€	1	14,59 €
Mano de obra	instalación bomba		200,00 €	€	1	200,00 €
	Pozo		- €	€	1	- €
	instalación paneles		100,00 €	€	1	100,00 €
	Transporte		184,56 €	€	1	184,56 €
Presupuesto total						8364,95 €

Documento III

Planos





LEYENDA

VG: Válvula general
 PA: Punto de abastecimiento
 Todos los diámetros están en mm

MATERIAL	N/A		
TOLERANCIA	N/A		
DIBUJADO		NOMBRE	FECHA
COMPROBADO		J.U.D	30/06/2020
ESCALA: N/A	FIRMA	ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN	
		I.C.A.I.	Nº DE LAMINA: