



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

**DISTRIBUCIÓN Y CANALIZACIÓN DE
LA RED HIDRÁULICA EN NYUMBANI,
KENIA**

Autor: Ignacio Lastras Cordero

Director: Pablo Ayala Santamaría

Codirector: Miguel Rianza Moreno

Madrid, septiembre 2023

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título

Distribución y Canalización de la Red Hidráulica en Nyumbani, Kenia.

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2022/2023 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido

tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Ignacio Lastras Cordero

Fecha: 13/ 09/2023

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Pablo Ayala Santamaría

Fecha: 14 / 9 / 2023



Fdo.: Miguel Riaza Moreno

Fecha: 15 / 9 / 2023



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

**DISTRIBUCIÓN Y CANALIZACIÓN DE
LA RED HIDRÁULICA EN NYUMBANI,
KENIA**

Autor: Ignacio Lastras Cordero

Director: Pablo Ayala Santamaría

Co-Director: Miguel Rianza Moreno

Madrid, septiembre de 2023

Agradecimientos

Mis supervisores y codirectores del proyecto, D. Pablo Ayala Santamaría y D. Miguel Ríaza Moreno, por dedicar su tiempo a formarme e instruirme en la elaboración de este proyecto.

A mi Universidad, Universidad Pontificia Comillas, por haber estado a mi lado durante los últimos cinco años y por apoyarme en todo momento.

A toda la estructura de Comillas Solidaria, que ha hecho posible mi experiencia como voluntario en el verano de 2023. Me gustaría también agradecer a Nyumbani Village y a sus ciudadanos por la cálida recepción y por hacernos sentir como en casa.

A mis compañeros de voluntariado, que me han apoyado y acompañado durante mi estancia en el poblado.

A mis queridos padres y hermanos, por su apoyo incondicional y orgullo, y por acompañarme siempre en busca de mi felicidad. Por último, también quiero agradecer a mis amigos y pareja, sin los cuales no habría llegado a ser la persona que soy hoy en día.

DISTRIBUCIÓN Y CANALIZACIÓN DE LA RED HIDRÁULICA EN NYUMBANI, KENIA

Autor: Lastras Cordero, Ignacio.

Director: Ayala Santamaría, Pablo y Rianza Moreno, Miguel

Entidad Colaboradora: ICAI – UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

RESUMEN DEL PROYECTO

Se ha llevado a cabo un estudio exhaustivo de la actual red hidráulica en Nyumbani Village, Kitui. A partir de esto, se han propuesto soluciones que apuntan a superar la escasez de recursos hídricos que enfrentan los residentes. Estas soluciones involucran la mejora del mantenimiento de la infraestructura existente y ajustes menores para evitar la necesidad de inversiones.

Palabras Clave: Distribución, bombeo, recolección, agua.

1. Introducción

Nyumbani es una aldea situada en el condado de Kitui, en Kenia. Se trata de una aldea formada por aproximadamente 1000 niños organizados en diferentes casas tuteladas cada una de ellas por un abuelo o abuela. Esta aldea está en búsqueda de ser totalmente autosuficiente por lo que, a lo largo de los últimos años, son muchos los proyectos que han tomado parte en esta localización. La inversión fundamentalmente se está centrando en los sectores de la energía renovable a través de paneles y baterías solares, además del sistema hidráulico para dotar a Nyumbani de una fuente de agua confiable y continuada.

Es por esto por lo que nace el desarrollo de este proyecto, se presenta la posibilidad de ayudar al progreso de una población necesitada en el centro de África. Este trabajo se fundamenta en conseguir dotar a la población de Nyumbani de una red de distribución y recolección de recursos hídricos confiable y que perdure en el tiempo. Uno de los pasos fundamentales para conseguir esto pasa por la organización y/o optimización de recursos hídricos actuales para implementar un pensamiento de aprovechamiento en la sociedad de Nyumbani, con el que ahora mismo no cuentan.

2. Definición del proyecto

En este proyecto se busca cumplir los siguientes objetivos:

- Analizar el funcionamiento del sistema hidráulico aislado instalado en Nyumbani.

- Proponer una solución eficiente y económica para garantizar el acceso continuado y de forma sencilla a agua de todos los habitantes de la aldea de Nyumbani.
- Elaborar un informe que incluya los elementos que componen la instalación hidráulica de la aldea y evaluar posibles modificaciones en el sistema para optimizarlo.
- Implementar en la población un concepto de consumo de agua de forma optimizada, para evitar el malgasto y/o desparrame.

Para ello, se han llevado a cabo los siguientes pasos:

- Estudio de los diferentes tipos de distribución existentes a través del análisis de otros grandes proyectos realizados en diferentes emplazamientos tanto de sistemas conectados a redes más grandes como de sistemas aislados.
- Análisis de los diferentes proyectos planteados en emplazamientos similares a Nyumbani en varias localizaciones del continente africano, para extraer ideas de posibles tecnologías para la recolección y/o el bombeo.
- Realizar un inventario con todos los elementos que componen la instalación para comprobar todo lo que hay, ya que en reportes anteriores la información es inconexa y escasa.
- Identificar los posibles problemas existentes tanto en el bombeo como en el almacenamiento, y evaluar también las posibles soluciones para cada uno de estos problemas.
- Calcular la red de distribución para así analizar las posibles modificaciones a realizar en el sistema.

3. Estado del arte

El origen de la concepción y el cálculo de sistemas hidráulicos se remonta al siglo I. No obstante, en la época contemporánea, persisten numerosas comunidades que carecen de un acceso sostenible y confiable a sistemas hidráulicos.

Indiscutiblemente, el continente africano se ve afectado de manera más pronunciada por esta problemática. Esto explica por qué se realizan estudios de esta índole de manera recurrente en dicho continente, abarcando desde la implementación de pozos simples para la extracción de agua hasta la elaboración integral de redes de distribución destinadas a satisfacer las necesidades de toda una población.

En Kenia, aún persiste un 40% de la población residente en áreas rurales que carece de un acceso seguro y garantizado a este recurso vital. Este déficit hídrico conlleva graves consecuencias, como desplazamientos masivos, un aumento significativo de enfermedades, así como numerosos incidentes relacionados con intoxicaciones, destacándose como causas principales de esta problemática.

Más concretamente, Nyumbani, ubicada en el condado de Kitui, Kenia, es una comunidad conformada por niños huérfanos, cuyas circunstancias se derivan mayoritariamente de las consecuencias del VIH.

A pesar de contar con un sólido respaldo financiero proveniente de destacadas empresas y, en algunos casos, de gobiernos de diversas naciones, el sistema de captación y distribución de agua en la aldea no opera con la eficacia que sería esperable.

De este conjunto de necesidades surge el presente proyecto, cuyo objetivo primordial consiste en poner fin a la sequía imperante y asegurar un acceso ininterrumpido al agua para todos los habitantes de la aldea, sin restricciones de ningún tipo.

Es esencial destacar que se aprovecharán todos los recursos disponibles actualmente en la aldea, que incluyen múltiples embalses, cuatro pozos en funcionamiento, un sistema de distribución, aunque insuficiente, así como diversas instalaciones en cada una de las edificaciones, como grifos y tanques de recolección. No obstante, se aborda el desafío de garantizar la sostenibilidad y la autosuficiencia en el proceso.

4. Resultados

Los resultados obtenidos sustentan en gran medida una teoría común. El factor principal detrás de la carencia de una distribución hidráulica confiable y sostenida en el tiempo en la aldea radica fundamentalmente en la falta de mantenimiento y desarrollo que aqueja al sistema. A pesar de que las diversas instalaciones llevadas a cabo por distintas entidades son más que adecuadas para proveer a Nyumbani del caudal de agua necesario para cumplir con los estándares establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la administración y la utilización de estas infraestructuras no se han llevado a cabo de manera óptima, limitando así su aprovechamiento máximo. Esta mala gestión de los recursos existentes conlleva a la situación que se está viviendo actualmente en la aldea.

Se han analizado todos los elementos que componen el sistema de bombeo, obteniendo los siguientes datos:

<i>Pozo</i>	Q_{nom}	Q_1	Q_2
Gobierno	7,3	7,75	8,86
Farm	13	16,7	21,78
Torre	10	7,35	9,14
T4C	4,2	2,74	3,67

En líneas generales, se puede observar que la selección de todos estos componentes no se ha realizado de manera meticulosa. A excepción del pozo de la torre, que presenta características de funcionamiento muy similares a las nominales, todos los demás elementos están operando fuera o muy cerca de estar fuera de la zona recomendada. Esto conlleva un sobre coste para la comunidad tanto en términos de consumo de energía como de gastos en reparaciones.

Específicamente, el pozo de la farm, en una de sus condiciones menos favorables, corre el riesgo de averiarse si su uso se prolonga, ya que el punto de funcionamiento se encuentra para un caudal mucho mayor que el nominal, lo que podría dañar componentes esenciales de la bomba, como el inyector.

Como parte del análisis del sistema de bombeo, se ha aplicado el principio de Bernoulli en la bomba que transporta el caudal desde el depósito de la estación de bombeo hasta el depósito de distribución. Esta bomba se considera una de las más críticas y esenciales en la aldea. Los cálculos teóricos han revelado que el punto de funcionamiento de esta bomba se encuentra significativamente fuera de la zona de funcionamiento recomendada. Siendo el caudal nominal de 10 m³/h y habiendo obtenido un caudal de 16,02 m³/h.

Por lo tanto, es realmente importante llevar a cabo una intervención inmediata en esta bomba, evaluando el caudal al cual está operando, así como una revisión completa en busca de posibles elementos rotos en su interior.

Existe la posibilidad de que uno de los problemas fundamentales relacionados con la aparente escasez de agua sea que el agua del depósito inferior no esté llegando al depósito superior debido a posibles fallos en el dimensionamiento de la bomba.

El sistema de distribución, de acuerdo con las estimaciones realizadas, parece ser insuficiente para proporcionar el caudal necesario en cada uno de los puntos de demanda. Obteniendo que el sistema actual de distribución no es válido para suministrar agua a los clústeres más lejanos ni siquiera en los casos más favorables. Esto se debe a que el diseño inicialmente fue planteado para una aldea de 8 clústeres, y en él no se contempló el posible crecimiento. Sin embargo, Nyumbani cuenta actualmente con 25 clústeres, y el mismo sistema de distribución inicial que ha sido simplemente prolongado para llegar a las nuevas localizaciones. Para evaluar la validez de la distribución se han planteado los cálculos para varias situaciones en las que se iban abriendo grifos, y se ha visto como el caudal en los grifos de los clústeres más alejados disminuía hasta casi ser nulo

Por otro lado, se ha realizado una evaluación exhaustiva con respecto a la viabilidad de poner en funcionamiento todos los elementos actualmente en desuso en las instalaciones, entre los cuales se destacan los embalses. En Nyumbani, existen ocho embalses ubicados en distintas áreas de la aldea, pero debido a la falta de impermeabilización, su capacidad de almacenamiento se reduce a tan solo un mes después de la temporada de lluvias.

Con el objetivo de abordar esta problemática se ha elaborado un presupuesto destinado a la implementación de capas protectoras impermeabilizantes en estos embalses. Esta iniciativa tiene el potencial de ampliar significativamente la capacidad de almacenamiento de agua y, en consecuencia, de mejorar de manera sustancial la disponibilidad de agua en Nyumbani.

5. Conclusiones

Los resultados obtenidos respaldan una teoría ampliamente aceptada en el contexto de este estudio. La falta de una distribución hidráulica confiable y sostenible en la aldea de Nyumbani en Kenia se debe principalmente a la falta de mantenimiento del sistema hidráulico, la falta de continuidad y planeamiento y por último errores de cálculo o diseño en los elementos de la instalación.

A pesar de que cuentan con instalaciones suficientes para cumplir con la demanda de los habitantes de la aldea en el suministro de agua, la gestión ineficiente de estas infraestructuras limita su capacidad para beneficiar completamente a la comunidad.

El proyecto de investigación revela que se subestimó el mantenimiento de las instalaciones, lo que resultó en su deterioro y abandono, reduciendo la capacidad del sistema para abastecer adecuadamente a la aldea, especialmente durante la temporada de sequía.

La falta de planificación y los errores en el diseño del sistema de distribución han resultado en un sistema mal dimensionado para el tamaño de la aldea. Este sistema no cumple con los estándares requeridos por organizaciones mundiales, en algunos de los clústeres nuevos, incluso para las situaciones más favorables en las que solo se ha planteado la apertura de un solo grifo. La incorporación de nuevos elementos a la red sin cálculos ni planificación previa ha llevado a la falta de suministro de agua en muchos casos.

Se han propuesto soluciones para abordar estos desafíos, algunas de las cuales implican un mayor gasto que actualmente Nyumbani no puede afrontar, mientras que otras pueden considerarse como medidas temporales. Una de las medidas temporales incluye la instalación de pequeñas válvulas de paso en las ramificaciones de la red, permitiendo así al encargado del agua realizar una apertura escalonada del sistema para que el suministro de agua llegue en diferentes momentos a diversas ubicaciones.

Las soluciones que requieren una inversión significativa incluyen el rediseño completo de la red de distribución, elevar el depósito de distribución a una altura mayor o crear un sistema nuevo y autosuficiente para los clústeres ubicados en zonas remotas. Este nuevo sistema tendría su propia recolección de agua a través del embalse 8 y un depósito de distribución que se ubicaría en el Lawson STAFF.

En el sistema de bombeo, se ha identificado una deficiencia importante en el cálculo del dimensionamiento de las bombas. Los cálculos de los puntos de funcionamiento de las diferentes bombas indican que en general, ninguna de ellas está operando a su capacidad máxima. Algunas, como la de la farmacia y la de la estación, ni siquiera se acercan a la zona de funcionamiento recomendada. Esto plantea graves problemas para el sistema y sugiere la necesidad de revisar la ubicación de todas estas bombas. Es probable que se puedan hacer cambios que sin requerir de inversiones mejoren el sistema y maximicen la producción y distribución de agua.

En resumen, este estudio destaca la importancia crítica del mantenimiento y la planificación adecuada en la funcionalidad y sostenibilidad de las infraestructuras hidráulicas en la aldea de Nyumbani, Kenia. Se subraya la necesidad de una gestión más efectiva y sistemática de

los recursos hídricos, junto con una inversión continua en mantenimiento y una planificación a largo plazo para garantizar un sistema hidráulico confiable.

DISTRIBUTION AND CHANNELLING OF NYUMBANI'S (KENYA) HYDRAULIC SYSTEM

Author: Lastras Cordero, Ignacio.

Supervisor: Ayala Santamaría, Pablo y Rianza Moreno, Miguel .

Collaborating Entity: ICAI- UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ABSTRACT

A comprehensive study of the current water network in Nyumbani Village, Kitui, has been carried out. From this, solutions have been proposed that aim to overcome the shortage of water resources faced by residents. These solutions involve improved maintenance of existing infrastructure and minor adjustments to avoid the need for investment.

Keywords: Distribution, pumping, collection, water.

1. Introduction

Nyumbani is a village located in Kitui County, Kenya. It is a village made up of approximately 1000 children organized in different houses, each of them under the supervision of a grandparent. This village is in search of being totally self-sufficient, therefore many projects have taken part in this location over the past few years. The investment is mainly focused on the renewable energy sectors through solar panels and batteries, in addition to the hydraulic system to provide Nyumbani with a reliable and continuous water source.

This is why the development of this project was born, it presents the possibility of helping the progress of a needy population in the center of Africa. This work is based on providing the population of Nyumbani with a reliable and long-lasting water distribution and collection network. One of the fundamental steps to achieve this involves the organization and/or optimization of current water resources in order to implement a thinking of use in the Nyumbani society, which they do not have as of right now.

2. Project Definition

This project seeks to accomplish the following objectives:

- Analyze the performance of the isolated hydraulic system installed in Nyumbani.
- To propose an efficient and economical solution to guarantee continuous and easy access to water for all the inhabitants of Nyumbani village.

- To elaborate a report including the elements that compose the hydraulic installation of the village and to evaluate possible modifications in the system to optimize it.
- To implement a concept of optimized water consumption in the village to avoid waste and/or spillage.

For this purpose, the following steps have been carried out:

- Study of the different types of existing distribution through the analysis of other large projects developed in different locations both of systems connected to larger networks and isolated systems.
- Analysis of the different projects proposed in sites similar to Nyumbani in various locations on the African continent, in order to extract ideas for possible technologies for collection and/or pumping.
- To make an inventory of all the elements that make up the facility to check everything that is there, since in previous reports the information is disjointed and scarce.
- Identify possible problems in both distribution and storage and evaluate possible solutions for each of these problems.
- Calculate the distribution network in order to analyze the possible modifications to be made to the system.

3. State of the Art

The origin of the design and calculation of hydraulic systems dates to the 1st century. However, in contemporary times, many communities still lack sustainable and reliable access to water systems.

Undoubtedly, the African continent is most affected by this problem. This explains why such studies are recurrently carried out on that continent, ranging from the implementation of simple boreholes for water abstraction to the comprehensive development of distribution networks to meet the needs of an entire population.

In Kenya, 40% of the population living in rural areas still lacks secure and guaranteed access to this vital resource. This water shortage has serious consequences, such as massive displacement, a significant increase in diseases, as well as numerous incidents related to poisoning, which stand out as the main causes of this problem.

More specifically, Nyumbani, located in Kitui County (Kenya), is a community of orphaned children whose circumstances are mostly due to the consequences of HIV.

Despite strong financial backing from major corporations and, in some cases, governments of various nations, the village water collection and distribution system does not operate as effectively as might be expected.

From this set of needs arises the present project, whose primary objective is to put an end to the prevailing drought and ensure uninterrupted access to water for all the inhabitants of the village, without restrictions of any kind.

It is essential to emphasize that all the resources currently available in the village will be used, including multiple reservoirs, four functioning boreholes, a distribution system, albeit insufficient, as well as various facilities in each of the buildings, such as taps and collection tanks. However, the challenge of ensuring sustainability and self-sufficiency in the process is addressed.

4. Results

The results obtained largely support a common theory. The main factor behind the lack of reliable and sustained water distribution in the village lies primarily in the lack of maintenance and development of the system. Although the various facilities carried out by different entities are more than adequate to provide Nyumbani with the necessary water flow to meet the standards set by the World Health Organization (WHO), the management and use of these infrastructures have not been carried out in an optimal manner, thus limiting their maximum utilization. This mismanagement of existing resources has led to the current situation in the village.

All the elements that make up the pumping system have been analyzed obtaining the following data:

<i>Borehole</i>	Q_{nom}	Q_1	Q_2
Government	7,3	7,75	8,86
Farm	13	16,7	21,78
Tower	10	7,35	9,14
T4C	4,2	2,74	3,67

The selection of all these components has not been meticulously carried out. Except for the tower borehole, which has operating characteristics very similar to the nominal ones, all the other elements are operating outside or very close to being outside the recommended zone. This leads to cost overruns for the community in terms of both energy consumption and repair costs.

Specifically, the farm borehole, in one of its less favorable conditions, is at risk of failure if its use is prolonged, as the operating point is for a much higher flow rate than nominal, which could damage essential pump components, such as the injector.

As part of the analysis of the pumping system, Bernoulli's principle has been applied to the pump that conveys the flow from the collection tank to the distribution tank. This pump is considered one of the most critical and essential pumps in the village. Theoretical calculations have revealed that the operating point of this pump is significantly outside the recommended operating range. Being the nominal flow rate of 10 m³/h and having obtained a flow rate of 16.02 m³/h.

Therefore, it is important to perform an immediate intervention on this pump, evaluating the flow rate at which it is operating, as well as a complete check for possible broken elements inside the pump.

There is a possibility that one of the fundamental problems related to the apparent water shortage is that water from the lower reservoir is not reaching the upper reservoir due to possible failures in the sizing of the pump.

The distribution system, according to the estimates made, appears to be insufficient to provide the necessary flow at each of the demand points. Obtaining that the current distribution system is not valid to supply water to the farthest clusters even in the most favorable cases. This is because the design was initially intended for a village of 8 clusters and did not allow for possible growth. However, Nyumbani now has 25 clusters, and the same initial distribution system has simply been extended to reach the new locations. To evaluate the validity of the distribution, calculations were made for several situations in which taps were opened, and it was seen that the flow in the taps of the most distant clusters decreased until it was almost zero.

On the other hand, a thorough evaluation has been carried out regarding the feasibility of putting into operation all the elements currently in disuse in the facilities, among which the reservoirs stand out. In Nyumbani, there are eight reservoirs located in different areas of the village, but due to the lack of waterproofing, their storage capacity is reduced to only one month after the rainy season.

To address this issue, a budget has been developed for the implementation of protective waterproofing layers in these reservoirs. This initiative has the potential to significantly expand water storage capacity and thus substantially improve water availability in Nyumbani.

5. Conclusions

The results obtained support a widely accepted theory in the context of this study. The lack of reliable and sustainable water distribution in Nyumbani village in Kenya is mainly due to lack of maintenance of the water system, lack of continuity and planning and finally miscalculation or design errors in the elements of the installation.

Although they have sufficient facilities to meet the villagers' demand for water supply, inefficient management of these infrastructures limits their ability to fully benefit the community.

The research project reveals that maintenance of the facilities was underestimated, resulting in their deterioration and neglect, reducing the system's ability to adequately supply the village, especially during the dry season.

Lack of planning and errors in the design of the distribution system have resulted in a system that is poorly sized for the size of the village. This system does not meet the standards required by global organizations, in some of the new clusters, even for the most favorable situations where only a single tap has been considered. The addition of new elements to the network without calculation or prior planning has led to lack of water supply in many cases.

Solutions have been proposed to address these challenges, some of which involve increased expenditure that Nyumbani is currently unable to afford, while others can be considered as temporary measures. One of the temporary measures includes the installation of small shut-off valves on the branches of the network, thus allowing the water manager to perform a staggered opening of the system so that the water supply reaches various locations at different times.

Solutions requiring significant investment include a complete redesign of the distribution network, raising the distribution reservoir to a higher elevation, or creating a new, self-sufficient system for clusters located in remote areas. This new system would have its own water collection through Reservoir 8 and a distribution reservoir to be located at the Lawson Staff.

In the pumping system, a major deficiency has been identified in the pump sizing calculation. Calculations of the operating points of the various pumps indicate that in general, none of the pumps are operating at their maximum capacity. Some, such as the one at the pharmacy and the one at the station, are not even close to the recommended operating zone. This poses serious problems for the system and suggests the need to review the location of all these pumps. It is likely that changes could be made that, without requiring investment, would improve the system and maximize water production and distribution.

In conclusion, this study highlights the critical importance of maintenance and proper planning in the functionality and sustainability of water infrastructure in Nyumbani village, Kenya. It highlights the need for more effective and systematic management of water resources, coupled with continuous investment in maintenance and long-term planning to ensure a reliable water system.

Índice de la memoria

1. Introducción.....	7
1.1 Contexto Histórico	7
1.2 Situación Política	8
1.3 Situación Económica.....	9
1.4 Condiciones Climáticas.....	10
1.5 Motivación del proyecto	10
1.6 Objetivo del proyecto.....	12
1.7 Metodología del trabajo	13
1.8 Recursos Hídricos Existentes en el planeta.....	13
1.9 Recursos Hídricos en Kenia.....	17
2. Objetivos del Desarrollo Sostenible	19
2.1 Objetivos del Desarrollo Sostenible en África.....	19
2.2 Objetivos del Desarrollo Sostenible Aplicados.....	20
3. Estado de la Cuestión	24
4. Contextualización	26
4.1 Necesidad de consumo diaria.....	27
4.2 La red de distribución.....	27
4.2.1 Tipos de redes de distribución	28
5. Sistema de abastecimiento de agua de Nyumbani.....	31
5.1 Mapa Simbólico	31
5.2 Situación actual en Nyumbani	34
5.3 Inventario	37
5.3.1 Resumen General	37
5.3.2 Inventario Particularizado.....	38
6. Cálculos del sistema de llenado de depósitos.....	53
6.1 Bombas pozos gran profundidad.....	53
6.1.1 Planteamiento Teórico de Cálculos	53
6.1.2 Pozo Del Gobierno.....	61

6.1.3 Pozo de la torre.....	68
6.1.4 Pozo “Trees 4 Children”	71
6.2 Estación de bombeo	74
6.2.1 Caudal de Bombeo y Altura de la Bomba.....	74
6.2.2 Esquema	75
6.2.3 Cálculos.....	75
6.2.4 Comprobaciones.....	76
7. Cálculos de Distribución	77
8. Problemas Identificados.....	83
8.1 Autoconsumo en Clústeres.....	83
8.2 Presas de Arena	85
8.3 Embalses	86
8.4 Sistema de Distribución Actual.....	88
9. Posibles Soluciones.....	90
9.1 Presas de Arena	90
9.2 Sistema de Distribución Actual.....	92
9.3 Embalses	95
9.4 Mantenimiento	98
10. Conclusiones.....	100
11. Bibliografía.....	103

Índice de figuras

ILUSTRACIÓN 1 INFORMACIÓN IMPORTANTE DE KENIA	8
ILUSTRACIÓN 2 MAPA PRECIPITACIONES EN KENIA	10
ILUSTRACIÓN 3 DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN EL PLANETA.....	14
ILUSTRACIÓN 4 AGUA DULCE POR CONTINENTE.....	16
ILUSTRACIÓN 5 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	20
ILUSTRACIÓN 6 RED DE DISTRIBUCIÓN MALLADA	29
ILUSTRACIÓN 7 RED DE DISTRIBUCIÓN RAMIFICADA	30
ILUSTRACIÓN 8 MAPA EXPLICATIVO DE LA ALDEA	32
ILUSTRACIÓN 9 PERFIL ALTIMÉTRICO DE LA ALDEA	33
ILUSTRACIÓN 10 ESQUEMA DISTRIBUCIÓN 2006	35
ILUSTRACIÓN 11 ESQUEMA DISTRIBUCIÓN ACTUAL.....	36
ILUSTRACIÓN 12 MAPA INSTALACIONES SISTEMA HIDRÁULICO.....	38
ILUSTRACIÓN 13 CONSTRUCCIÓN DE LA BOOSTER PUMP.....	39
ILUSTRACIÓN 14 BOMBAS QUE COMPONEN EL SISTEMA DE BOMBEO	40
ILUSTRACIÓN 15 DEPÓSITO DE RECOLECCIÓN SITUADO EN LAS INMEDIACIONES DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO	40
ILUSTRACIÓN 16 ESQUEMA FUNCIONAMIENTO ESTACIÓN DE BOMBEO	41
ILUSTRACIÓN 17 POZO Y SU CORRESPONDIENTE GENERADOR EN LA FARM	42
ILUSTRACIÓN 18 POZO DEL GOBIERNO	43
ILUSTRACIÓN 19 POZO DE LA TORRE	44
ILUSTRACIÓN 20 POZO DE POCA PROFUNDIDAD	45
ILUSTRACIÓN 21 Balsa Artificial SeCa sin Aislamiento	46
ILUSTRACIÓN 22 Balsa Plástica en uso	46
ILUSTRACIÓN 23 Bomba sumergible empleada en los embalses	47
ILUSTRACIÓN 24 Placa característica bomba sumergible	47
ILUSTRACIÓN 25 DEPÓSITOS DISTRIBUCIÓN	48
ILUSTRACIÓN 26 TANQUE Y MECANISMO DE CAPTACIÓN DE AGUAS DE LLUVIA	50
ILUSTRACIÓN 27 DEPÓSITOS DE LA ENFERMERÍA.....	51
ILUSTRACIÓN 28 TANQUES DE CAPTACIÓN DE LA IGLESIA.....	51
ILUSTRACIÓN 29 DENSIDAD DEL AGUA PARA CADA TEMPERATURA FUENTE: DENSIDAD DEL AGUA FULLQUÍMICA	56
ILUSTRACIÓN 30 VISCOSIDAD DINÁMICA DEL AGUA A VARIAS TEMPERATURAS.....	57
ILUSTRACIÓN 31. RUGOSIDAD POR MATERIAL	59

ILUSTRACIÓN 32. COEFICIENTE DE PÉRDIDA DE CARGA FUENTE: PRESSMAN.....	60
ILUSTRACIÓN 33. COEFICIENTE DE PÉRDIDA DE CARGA 2 FUENTE: PRESSMAN	60
ILUSTRACIÓN 34 POZO DEL GOBIERNO	61
ILUSTRACIÓN 35 CURVA Y PUNTO DE FUNCIONAMIENTO	63
ILUSTRACIÓN 36. PLACA CARACTERÍSTICA MOTOR DAYLIFF	63
ILUSTRACIÓN 37 POZO DE LA "FARM"	65
ILUSTRACIÓN 38 CURVA BOMBA FARM Y PUNTO DE FUNCIONAMIENTO	67
ILUSTRACIÓN 39 POZO DE LA TORRE.....	68
ILUSTRACIÓN 40. CURVA BOMBA GRUNDFOS SP 8A-37.....	70
ILUSTRACIÓN 41 POZO T4C	71
ILUSTRACIÓN 42 CURVAS BOMBA PEDROLO 4SR4/40-F Y PUNTO DE FUNCIONAMIENTO.....	73
ILUSTRACIÓN 43 PLACA CARACTERÍSTICA BOMBA ESTACIÓN DE BOMBEO.....	74
ILUSTRACIÓN 44 ESQUEMA BOMBEO	75
ILUSTRACIÓN 45 CURVA DE BOMBA GRUNDFOS CR10-16K	76
ILUSTRACIÓN 46 MAPA DE DISTRIBUCIÓN DISEÑADO	77
ILUSTRACIÓN 47 CAUDAL MÍNIMO POR APARATO	78
ILUSTRACIÓN 48 PUNTOS PRIMER CÁLCULO	80
ILUSTRACIÓN 49 PUNTOS PARA CÁLCULO 4 GRIFOS	81
ILUSTRACIÓN 50 TANQUE ABANDONADO EN CLUSTER 19	83
ILUSTRACIÓN 51 PRESAS DE ARENA Y RÍO	85
ILUSTRACIÓN 52 CAUCE DEL RÍO REDUCIDO A LA MITAD	86
ILUSTRACIÓN 53 EMBALSE SITUADO EN KATANGI.....	87
ILUSTRACIÓN 54 MAPA CON EMBALSES	88
ILUSTRACIÓN 55 CLÚSTERES 14,15, 18 Y 19.....	89
ILUSTRACIÓN 56 NUEVA DISTRIBUCIÓN.....	93
ILUSTRACIÓN 57 CURVAS DAYLIFF DI 32	94

Índice de ecuaciones

ECUACIÓN 1 ECUACIÓN DE BERNOULLI PARA LA BOMBA DE CADA POZO	53
ECUACIÓN 2 FÓRMULA PARA EL CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DEL FLUIDO	54
ECUACIÓN 3 CÁLCULO DE PERDIDA DE CARGA PRIMARIA	54
ECUACIÓN 4 NÚMERO DE REYNOLDS.....	55
ECUACIÓN 5. ECUACIÓN DE COLEBROOK	58
ECUACIÓN 6 CÁLCULO DE PÉRDIDAS SECUNDARIAS	59
ECUACIÓN 7. ALTURA CALCULADA DE LA BOMBA DEL GOBIERNO	62
ECUACIÓN 8 ALTURA DE LA BOMBA CALCULADA	66
ECUACIÓN 9 ALTURA DE LA BOMBA CALCULADA	69
ECUACIÓN 10 ALTURA POZO TREES 4 CHILDREN.....	72
ECUACIÓN 11 ALTURA CALCULADA BOMBA BOOSTER PUMP	76

Índice de tablas

TABLA 1 ESTRUCTURACIÓN DEL PROYECTO	13
TABLA 2. CÁLCULOS POZO DEL GOBIERNO.....	62
TABLA 3. CÁLCULOS POZO DE LA FARM	66
TABLA 4. CÁLCULOS POZO DE LA TORRE	69
TABLA 5. CÁLCULOS POZO "TREES 4 CHILDREN"	72
TABLA 6 CÁLCULO ESTACIÓN DE BOMBEO.....	75
TABLA 7 CÁLCULO PRECIO REVESTIMIENTO DEL EMBALSE	97

1. INTRODUCCIÓN

En el primer capítulo, se expondrán las diversas razones que motivaron a emprender un trabajo de fin de grado con una orientación humanitaria. Se explicará la fuerza impulsora que llevó a viajar a un poblado en Kenia durante un mes, con el fin de mejorar la calidad de vida de las familias y sobre todo los niños que habitan en dicha aldea. Se llevará a cabo un profundo análisis de los antecedentes de la zona para poner de manifiesto la necesidad de un proyecto de tal magnitud. Además, se detallarán los objetivos que se pretenden alcanzar a lo largo del desarrollo del trabajo de fin de grado, así como la metodología de trabajo a emplear para cumplir con dichos objetivos.

1.1 CONTEXTO HISTÓRICO

Kenia es un país ubicado en África oriental que fue colonizado por el Reino Unido en el siglo XIX y se independizó en 1963. Desde entonces, ha pasado por varias etapas políticas y económicas, incluyendo periodos de estabilidad y prosperidad, así como tiempos de conflictos internos y desafíos económicos. Actualmente, Kenia es una República presidencialista con una economía en desarrollo, y es conocida por su diversidad étnica, belleza natural y vida silvestre. El turismo es una industria importante en el país; además de la agricultura que también juega un papel esencial en la economía. Kenia es el hogar de numerosas tribus y culturas distintas, cada una con su propia historia y tradiciones únicas.



Ilustración 1 Información importante de Kenia

[1]

1.2 SITUACIÓN POLÍTICA

En cuanto a la situación política actual de Kenia, el país es una República presidencialista. La Constitución de Kenia fue promulgada en 2010, estableciendo un sistema multipartidista, una separación de poderes entre el poder ejecutivo, legislativo y judicial, y un sistema de gobierno descentralizado que otorga más poder a las autoridades locales.

Sin embargo, Kenia ha enfrentado algunos desafíos políticos y sociales en los últimos años. Las elecciones generales de 2017 resultaron en una disputa política y protestas, lo que llevó a la intervención de la Corte Suprema y a la repetición de las elecciones. También ha habido conflictos étnicos y religiosos, así como cuestiones de seguridad, como el terrorismo y la delincuencia.

En general, Kenia ha logrado un progreso significativo en el fortalecimiento de su sistema democrático y la consolidación de la paz y la estabilidad en la región. Sin embargo, sigue

siendo un país en desarrollo con desafíos significativos, incluyendo la pobreza, la desigualdad y la falta de acceso a servicios básicos para muchos de sus ciudadanos.

1.3 SITUACIÓN ECONÓMICA

Kenia es una de las economías más grandes y dinámicas de África subsahariana. El país tiene una economía mixta en la que el sector privado desempeña un papel fundamental en el crecimiento económico. Sin embargo, la economía de Kenia ha sido muy desigual, con una brecha significativa entre los ricos y los pobres.

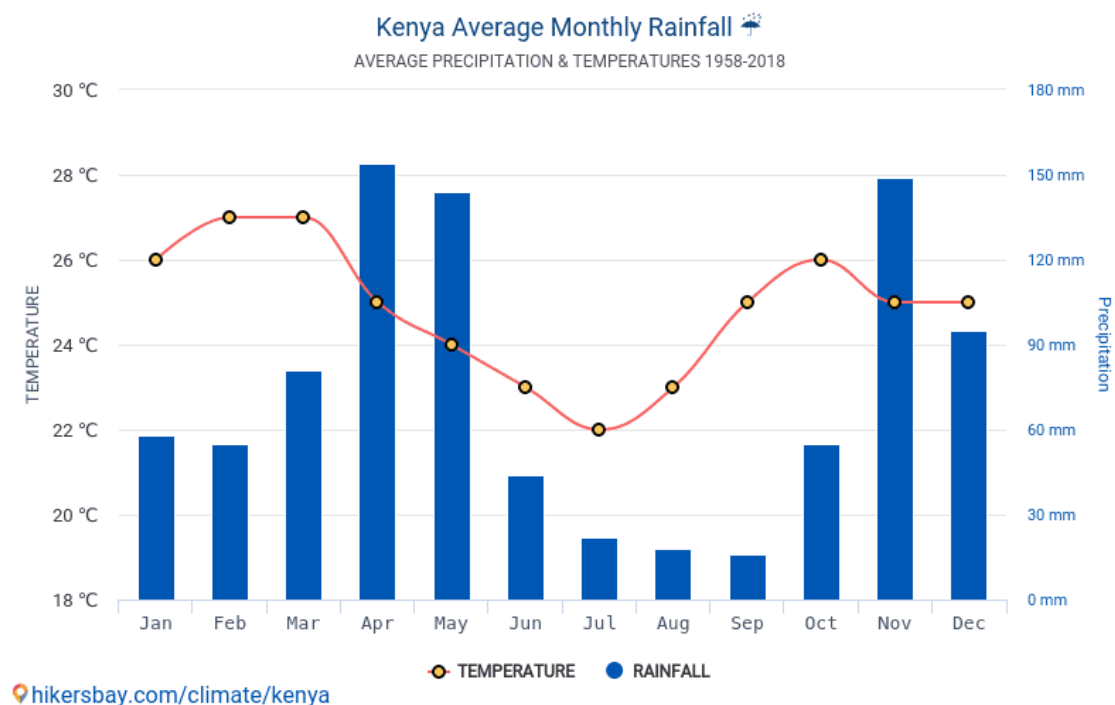
La economía de Kenia depende en gran medida de la agricultura, que emplea a más de la mitad de la población y representa aproximadamente un tercio del PIB. Los principales productos agrícolas son el té, el café, las flores, el maíz, el trigo y las frutas. La industria también es un sector importante en la economía del país, con la fabricación de productos alimenticios y bebidas, productos químicos, textiles y prendas de vestir, cemento y productos farmacéuticos.

El turismo también es un sector importante en la economía de Kenia, ya que cuenta con una gran cantidad de recursos naturales como la vida silvestre y paisajes naturales atractivos, que atraen a turistas de todo el mundo. Sin embargo, la economía de Kenia ha experimentado algunos desafíos en los últimos años debido a factores como la sequía, la inestabilidad política y la inseguridad. Además, la pandemia de COVID-19 ha afectado significativamente a la economía, especialmente el turismo.[2]

El gobierno de Kenia ha adoptado una serie de políticas y estrategias para fomentar el crecimiento económico y reducir la pobreza. Entre ellas se incluyen la inversión en infraestructura, la mejora del clima empresarial, la promoción de la innovación y el emprendimiento, y la inversión en educación y salud. Además, el gobierno ha establecido políticas para fomentar el comercio y la inversión extranjera, lo que ha atraído a un gran número de empresas extranjeras que han invertido en el país.

1.4 CONDICIONES CLIMÁTICAS

En general, la variación en las condiciones climáticas de Kenia tiene un gran impacto en la economía del país y en la vida de la población. Como se ha mencionado, la agricultura es la principal fuente de ingresos para la mayoría de la población y, por lo tanto, el clima y las precipitaciones son factores críticos que afectan la producción agrícola y la seguridad alimentaria en el país. Además, las condiciones climáticas extremas, como las sequías, han llevado a la escasez de agua y al desplazamiento de poblaciones en algunas partes del país.



[3]

Ilustración 2 Mapa precipitaciones en Kenia

1.5 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

La motivación principal de este proyecto es solucionar uno de los problemas más importantes que enfrentan muchas poblaciones en países en vías de desarrollo; el acceso al agua. A pesar de los avances tecnológicos y económicos en el mundo, todavía hay millones

de personas que no tienen acceso a agua limpia y segura para beber, cocinar y mantener la higiene básica.

Este proyecto busca abordar esta necesidad crucial de manera sostenible y escalable, al utilizar tecnología punta en la construcción de sistemas de recolección y distribución de agua. La idea es proporcionar a las comunidades en necesidad con una solución accesible, eficiente y económica que les permita acceder al agua de forma autónoma y sin necesidad de energía eléctrica.

Además de proporcionar agua potable limpia y segura, el proyecto también busca fomentar el desarrollo económico y social de las comunidades, ya que el acceso al agua es esencial para el desarrollo humano. Al reducir la carga de enfermedades relacionadas con el agua, se espera que las personas puedan dedicar más tiempo y energía a actividades productivas y educativas, lo que a su vez podría mejorar su calidad de vida y aumentar sus ingresos.

Realizar un proyecto como este es una oportunidad única para ayudar a aquellos que más lo necesitan, y al mismo tiempo, adquirir conocimientos y habilidades que enriquecerán mi vida personal y profesional. Este proyecto no solo es una oportunidad para completar un informe, sino que representa una oportunidad de participar en una iniciativa que puede tener un impacto real en la vida de una comunidad necesitada, como Nyumbani.

El desarrollo de este proyecto requerirá no solo de conocimientos técnicos, sino también habilidades de liderazgo y trabajo en equipo. Al trabajar con un grupo de personas de diferentes orígenes y habilidades, tendré la oportunidad de aprender nuevas formas de abordar problemas y mejorar mis habilidades de comunicación y colaboración.

Además, participar en este proyecto puede tener un impacto profundo en mi perspectiva sobre el mundo y mi lugar en él. Al aprender más sobre la vida en comunidades rurales y las necesidades de las personas en países en vías de desarrollo, puedo desarrollar una comprensión más profunda de las complejidades de la pobreza y la desigualdad, y encontrar maneras de hacer una diferencia significativa en el mundo.

Finalmente, contribuir a una iniciativa que tiene el potencial de mejorar la calidad de vida de las personas en Nyumbani no solo tiene un impacto económico, sino también social. Al proporcionar acceso al agua potable, se puede mejorar la salud y el bienestar de las personas, lo que puede ayudar a mejorar la educación y las oportunidades económicas. De esta manera, este proyecto puede ser una clave para el desarrollo sostenible de la aldea de Nyumbani y una oportunidad única para contribuir positivamente al mundo.

1.6 OBJETIVO DEL PROYECTO

El objetivo principal de este proyecto es la integración de las instalaciones existentes a la nueva red hidráulica, así como la implantación de nuevos sistemas para la obtención y el almacenamiento de agua. De esta forma se conseguirá dotar a la población de Nyumbani de un sistema de abastecimiento que erradique todas las enfermedades derivadas del consumo de un agua contaminada, así como reducir la sequía en la que se encuentran sumidos actualmente sus habitantes, garantizando sus necesidades básicas. Con el objetivo de que el proyecto salga adelante se cumplirá con las siguientes premisas:

1. Tener un claro entendimiento del funcionamiento de un sistema hidráulico aislado.
2. Se realizará un estudio exhaustivo de la zona de implantación, así como de otros proyectos de índole similar implantados en otros emplazamientos del mapa africano.
3. Realizar un reporte de calidad de todos los elementos que componen la instalación para tener un inventario de todos los elementos con los que cuenta la red.
4. Durante el verano de 2023 se irá a visitar el emplazamiento para evaluar la viabilidad de todo lo estudiado, así como para conseguir muestras de la red actual.
5. Se evaluarán los costes de las modificaciones planteadas para el proyecto para que la posterior búsqueda de financiación resulte más fácil y así implantar el proyecto en el futuro más cercano posible.

1.7 METODOLOGÍA DEL TRABAJO

La fase inicial del proyecto se sustenta en la exploración de la coyuntura actual y la obtención de datos concernientes a proyectos análogos ejecutados en distintas ubicaciones. En este proceso, se busca además recopilar información integral acerca de todas las iniciativas previas desarrolladas en la aldea, con el objetivo de establecer una base sólida. Esta etapa se erige como la más extensa del proyecto, ya que constituye el cimiento esencial para llevar a cabo las labores subsiguientes de manera efectiva.

Por otro lado, la segunda parte del proyecto se fundamenta en el cálculo y el diseño del sistema de bombeo y distribución de la aldea para así evaluar las posibles modificaciones o rectificaciones a realizar en el sistema.

	ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO			
TAREAS	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Anexo A																												
Anexo B																												
Búsqueda de información																												
Desarrollo Introducción																												
Evaluación posibles opciones																												
Descripción Situación actual																												
Cálculo y plantamiento diseño																												
Cálculo Presupuesto																												
Comprobación diseño																												
Verificación en Kenia																												

Tabla 1 Estructuración del Proyecto

1.8 RECURSOS HÍDRICOS EXISTENTES EN EL PLANETA

En este apartado analizaremos primero los principales recursos hídricos existentes hoy en día en el planeta. Continuaremos mencionando y analizando, las soluciones propuestas en otros estudios para otros casos similares en distintos puntos del continente africano.

Los recursos hídricos del mundo son limitados y están desigualmente distribuidos geográficamente. Alrededor del 71% de la superficie de la Tierra está cubierta por agua, pero el 96.5% de esta es agua salada, dejando solamente un 3.5% de agua dulce. De ese 3.5%, la mayor parte se encuentra en forma de hielo y nieve en los polos y en las montañas, mientras que el resto se encuentra en acuíferos subterráneos y ríos.[4]



Ilustración 3 Distribución de agua en el planeta

La disponibilidad de agua varía significativamente de una región a otra, y muchos países experimentan escasez de agua debido a la falta de acceso a fuentes de agua dulce, la creciente demanda de agua por parte de la población y las industrias, y el cambio climático. Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), actualmente hay más de 2.2 mil millones de personas en el mundo que carecen de acceso a agua potable, y más de 4 mil millones carecen de acceso a saneamiento básico.

Los recursos hídricos del mundo incluyen ríos, lagos, acuíferos subterráneos, glaciares y nieve, y también incluyen agua de mar, que puede ser desalinizada para su uso. La gestión de los recursos hídricos es crucial para garantizar un acceso sostenible y equitativo al agua dulce para todos, y para proteger y preservar los ecosistemas acuáticos y terrestres que dependen del agua. A continuación, se desarrollarán las principales fuentes de agua dulce en el planeta:

Agua dulce congelada. La mayor parte del agua dulce del planeta se encuentra en estado sólido. Esta agua congelada se almacena tanto en los glaciares como en los casquetes polares y representa el 69% del total de agua dulce. Sin embargo, los glaciares y casquetes polares

están disminuyendo en volumen debido al cambio climático, lo que representa una amenaza para el suministro de agua dulce en muchas regiones del mundo. A medida que se derriten, la cantidad de agua dulce que proporcionan disminuye, lo que puede provocar escasez de agua y una mayor competencia por los recursos hídricos.

Aguas subterráneas. El agua que proviene del deshielo, el agua que va por los ríos y el que se precipita en forma de lluvia, se infiltra en el suelo a través de poros y grietas y da lugar al agua subterránea. Esta forma de agua dulce representa un 30% del total colocándose, así como la segunda mayor reserva de agua dulce de la Tierra.

Los recursos hídricos subterráneos, proveen casi la mitad de agua potable del mundo, sustentando la mayoría de las actividades del ser humano. Esta dependencia del ser humano está generando una sobreexplotación del recurso, así como contaminando importantes acuíferos, lo que desencadenará en serios problemas para las poblaciones que dependen de estas aguas.

Aguas dulces superficiales. A pesar de tratarse de la forma de agua dulce más accesible, es también la reserva de agua dulce más escasa, constituyendo tan solo el 1% del total. Las aguas dulces superficiales son aquellas que se encuentran en ríos, lagos, humedales y otros cuerpos de agua de la superficie terrestre. Estas fuentes de agua son vitales para la vida en la Tierra y son utilizadas por los seres humanos para una amplia variedad de fines. A continuación, se describen algunos tipos de aguas dulces superficiales y sus beneficios y usos:

Ríos. Los ríos son corrientes de agua dulce que fluyen de las montañas hasta el mar o los océanos. Proporcionan agua para el consumo humano, la agricultura y la industria, así como hábitats para la fauna y la flora. También son utilizados para la generación de energía hidroeléctrica y el transporte de bienes y personas.

Lagos. Los lagos son cuerpos de agua dulce que se encuentran en depresiones de la superficie terrestre. Son importantes hábitats acuáticos, ya que proporcionan agua y alimento

para muchos organismos. Los lagos también son utilizados para la pesca, la recreación y la generación de energía hidroeléctrica.

Humedales. Los humedales son áreas de tierra inundadas por agua dulce de forma intermitente o permanente. Son importantes para la conservación de la biodiversidad y la regulación del ciclo del agua. Los humedales también proporcionan hábitats para la fauna y la flora, así como lugares de recreación y turismo.

Acuíferos. Los acuíferos son depósitos subterráneos de agua dulce que se encuentran en el subsuelo. Proporcionan agua para el consumo humano, la agricultura y la industria, así como hábitats para la fauna subterránea. Los acuíferos también son utilizados para la generación de energía geotérmica.

En resumen, los diferentes tipos de aguas dulces superficiales tienen beneficios y usos diversos para los seres humanos y el medio ambiente. Es importante gestionarlos de manera sostenible para garantizar un suministro adecuado de agua dulce para las necesidades actuales y futuras de las comunidades y ecosistemas.[5]

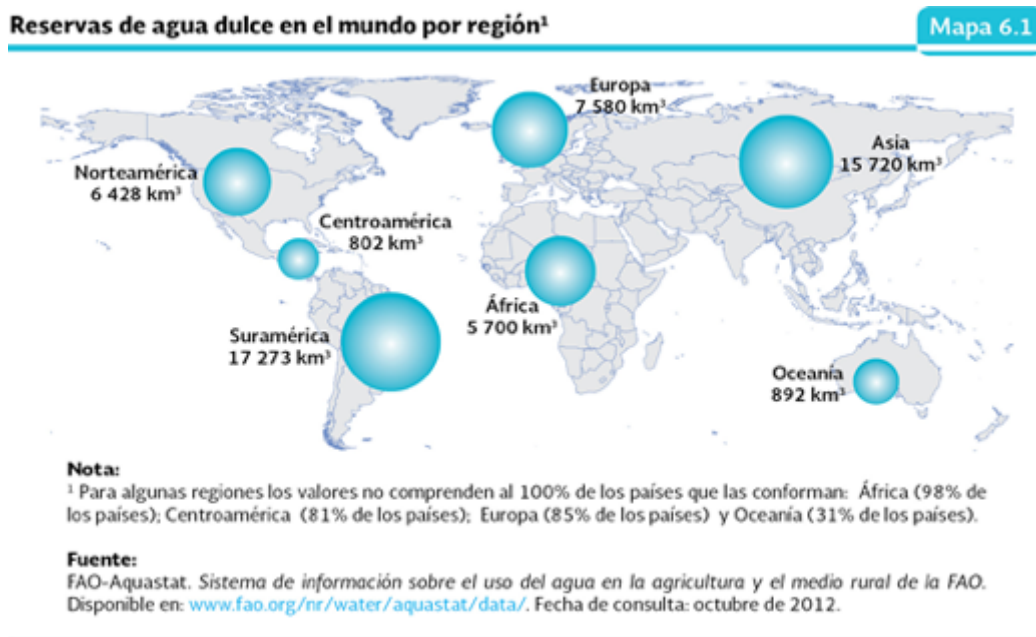


Ilustración 4 Agua dulce por continente

1.9 RECURSOS HÍDRICOS EN KENIA

Los recursos hídricos en el país son escasos y se encuentran repartidos de forma poco uniforme alrededor de su geografía, aproximadamente el 85% del país se encuentra clasificado como terreno árido o semiárido. El estrés hídrico es muy alto ya que un 33% del volumen total de agua es utilizado por los principales sectores económicos, además de tener unos recursos hídricos de tan solo 617 metros cúbicos anuales por persona, cifra que se encuentra por debajo de lo establecido en el indicador de estrés hídrico de Falkenmark (indicador de la escasez de agua).

El cambio climático agravará aún más la alta variación producida entre estaciones, aumentarán las precipitaciones y por lo tanto se producirán inundaciones de manera más frecuente en las épocas de lluvia, pero por otro lado las estaciones secas serán mucho más áridas con peores sequías y más prolongadas en el tiempo.

Cinco de las grandes presas existentes en el río Tana, han disminuido el flujo de agua aguas abajo durante la temporada de lluvias. Los planes de desarrollo describen la construcción de presas adicionales y la expansión de la irrigación para reducir la pobreza y mejorar la resiliencia ante la sequía, lo que podría resultar en la sobreexplotación del agua superficial y afectar a los usuarios y ecosistemas aguas abajo.

El desarrollo agrícola y la deforestación generalizada en las tierras altas centrales contribuyen al aumento de la sedimentación, la turbidez y el escurrimiento en los cursos de agua aguas abajo, están suponiendo una desaceleración significativa en el caudal de los ríos, hasta el punto de crear estancamientos, especialmente en la cuenca del lago Victoria, que representa más de la mitad del agua dulce de Kenia.

La sobreexplotación de los acuíferos de Nairobi (cuenca del Tana) y Merti (cuenca del Ewaso Ng'iro) debido a una regulación deficiente y la demanda concentrada de suministro de agua doméstico y público, han disminuido los niveles freáticos. A nivel nacional, el agua subterránea está poco desarrollada, con aproximadamente una cuarta parte del agua subterránea renovable total existente explotada.

Existen problemas en la calidad del agua subterránea que no han sido del todo identificados en la actualidad. En la sección de Turkana al noroeste del país, en algunos acuíferos costeros y en el acuífero de Merti se han detectado algunas muestras de agua salina. Por otro lado, en otros emplazamientos se han encontrado altas concentraciones de flúor natural. La gran dependencia económica de la actividad agrícola ha causado también altas contaminaciones en algunos de los acuíferos menos profundos. Por último, la falta de un diseño apropiado de distribución hidráulica, con sistemas de saneamiento pobres ha causado también el aumento considerado en nivel de patógenos en muchas de estas aguas

Las responsabilidades de gestión de recursos hídricos se han descentralizado a las autoridades provinciales y a nivel de condado. Sin embargo, la desorganización en los roles y responsabilidades de los diferentes puestos en la administración pública, las limitaciones en capacidad y sobre todo la falta de financiación contribuyen a una falta de coordinación en la materia y obstaculizan la gestión de los recursos.[6][7]

2. OBJETIVOS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE

En el año 2015 varios jefes de Estado y de Gobierno de los distintos países que conforman la organización Naciones Unidas adoptaron un conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible. La agenda cuenta con diecisiete objetivos que se fundamentan en conseguir un futuro mejor para todos. La idea central con estos objetivos es que todos los países con independencia de su nivel de desarrollo o de su riqueza, se comprometan a cumplir todos estos objetivos. Para asegurar el cumplimiento de estos por parte de los países, se han establecido una serie de indicadores mundiales, por otro lado, se desarrollará de forma anual un informe para examinar lo que se ha conseguido.

2.1 OBJETIVOS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE EN ÁFRICA

Tras la independencia de muchos países del continente en los años sesenta, el continente africano entró en una época de reconstrucción económica y desarrollo. La construcción de una paz duradera y sociedades inclusivas donde todos los ciudadanos puedan participar plenamente ha enfrentado múltiples desafíos, lo que ha obstaculizado el progreso en áreas como la prosperidad económica, la buena gobernanza, los derechos humanos y el desarrollo.

Gracias a la creación de la Agenda 2063, visión estratégica de la unión de países africanos orientada a un continente próspero y pacífico y el apoyo de la Organización de Naciones Unidas, se están consiguiendo grandes mejoras en el continente relacionadas con el desarrollo y/o mejora de infraestructuras, la explotación de los recursos agropecuarios y la continua mejora en la higiene y salud de la sociedad.

Según las previsiones del Fondo Monetario Internacional (FMI) entre los años 2019 y 2023, seis de las quince economías con mayor crecimiento corresponderían a países africanos. Además, según el Informe sobre Desarrollo Humano (IDH) de 2019, los países africanos habían experimentado mejoras significativas en su desarrollo humano, reflejadas en un aumento de la esperanza de vida en más de 11 años entre 1990 y 2018, y en un incremento del acceso a servicios sanitarios y educativos. Sin embargo, la pandemia ha frenado drásticamente este desarrollo, paralizando muchos de estos avances, como puede ser el acceso a educación, la lucha contra el hambre y fundamentalmente la mejora del sistema sanitario.

2.2 OBJETIVOS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE APLICADOS

A continuación, se evaluarán todos los objetivos que se tratan de aplicar en este trabajo de fin de grado, para de alguna manera contribuir al desarrollo del continente, además de aquellos que de manera indirecta también se cumplimentan.



Ilustración 5 Objetivos de Desarrollo Sostenible

Los 17 objetivos del desarrollo sostenible, como se puede ver en Ilustración 5, son los siguientes:

1. Fin de la pobreza
2. Hambre cero
3. Salud y bienestar
4. Educación de calidad
5. Igualdad de género
6. Agua limpia y saneamiento
7. Energía sostenible y no contaminante
8. Trabajo decente y crecimiento económico
9. Industria, innovación e infraestructura
10. Reducción de las desigualdades
11. Ciudades y comunidades sostenibles
12. Producción y consumo responsables
13. Acción por el clima
14. Vida Submarina
15. Vida de ecosistemas terrestres
16. Paz, justicia e instituciones sólidas
17. Alianzas para lograr los objetivos

Sin embargo, el desarrollo de este proyecto se va a centrar fundamentalmente en los siguientes:

1. Fin de la Pobreza:

El continente africano es considerado el más pobre del mundo, albergando a los diez países del mundo que según el último informe realizado por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), son los siguientes por orden: Níger, República Centroafricana, Chad, Sudán del Sur, Burundi, Mali, Eritrea, Burkina Faso, Sierra Leona, Mozambique y República Democrática del Congo. Es por esto por lo que,

erradicar la pobreza es uno de los objetivos principales que se han de cumplir para contribuir al desarrollo en África.

El objetivo fundamental de este proyecto es proporcionar a Nyumbani y sus habitantes un agua limpia y accesible. Mediante la instalación de sistemas de recolección y distribución de agua, se busca eliminar los largos desplazamientos que actualmente han de realizar los diferentes miembros de la aldea en busca de agua. Al contar con agua más pura y limpia, se conseguirá disminuir el número de enfermedades y por lo tanto, se podrá redistribuir los recursos económicos disponibles para explotar otros recursos y aumentar el rendimiento económico de la aldea. Además de explotar los recursos agropecuarios con una mejor distribución y canalización del agua alrededor de la aldea.

2. Salud y Bienestar:

La falta de acceso a instalaciones de agua tiene un efecto devastador en la salud, la dignidad y la prosperidad de miles de personas. El agua contaminada y la falta de saneamiento están relacionados con la transmisión de muchas enfermedades que se podrían prevenir fácilmente.

Los mejores sistemas de agua, saneamiento y equipos para el tratamiento del agua pueden ayudar a reducir el número de diversas enfermedades. Los sistemas de agua permiten que más personas accedan al agua potable sin tener que viajar largas distancias, de modo que cada hogar tenga más agua para satisfacer las necesidades básicas de saneamiento, cocina y limpieza, y para mejorar la salud humana.

3. Agua y saneamiento:

Hoy en día, todavía hay un gran número de personas sin agua potable o saneamiento adecuado, este porcentaje de población es mucho mayor en el continente africano. Proporcionar agua potable a las personas requiere una inversión significativa en infraestructura. La construcción de un sistema de abastecimiento de agua puede proporcionar a la población beneficiaria abastecimiento de agua e

instalaciones sanitarias adecuadas. La cantidad de agua suministrada a cada residente satisfará todas sus necesidades básicas, tanto personales como domésticas. También garantizará que el agua esté en perfectas condiciones para beber gracias a un sistema de purificación diseñado para eliminar todo tipo de bacterias, así como cualquier elemento patógeno del agua. La reubicación de los puntos de toma de agua más cerca de las aldeas hará que se reduzca el riesgo de contaminación del agua, ya que se reducirán los largos viajes transportando agua. [8]

3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

El agua es un elemento fundamental para el desarrollo de la vida. A pesar de ello, alrededor de 2000 millones de personas en todo el mundo no tienen acceso a servicios de agua potable, aproximadamente 3600 millones no cuentan con servicios de saneamiento seguros y 2300 millones carecen de instalaciones básicas para la higiene personal.[9]

Si centramos las estadísticas a la nación objeto de estudio, Kenia es el país con mayor crecimiento económico de su región, llegando incluso a ser calificado por el Banco Mundial como un país de ingresos medianos-bajos. Este crecimiento continuado durante los últimos 15 años ha contribuido al engrosamiento de la brecha en términos de riqueza, calidad de vida y acceso a servicios básicos entre los suburbios de Nairobi, y las pequeñas aldeas en zonas rurales. Según cifras de 2015, casi el 20% de los urbanitas, no disponían de acceso a sistemas mejorados de abastecimiento de agua, mientras que en zonas rurales esta cifra ascendía al 44%.

Nyumbani es un poblado situado en una zona de terreno semiárido, que cuenta con un clima de pluviosidad escasa, dividida en dos épocas de lluvia fundamentalmente, la primavera y el otoño. A pesar de que hace aproximadamente 15 años se realizó un proyecto de desarrollo del sistema hidráulico, el abastecimiento de agua en la aldea está comenzando a ser un problema grave, debido al crecimiento de la aldea y a la antigüedad de la instalación realizada. A estos dos factores humanos, se les añade un factor natural: la sequía que atraviesa la zona en los últimos tres años.

El impedimento en el acceso al agua representa un desafío recurrente para muchas poblaciones en África. En este contexto, se han desarrollado numerosos proyectos en todo el continente con el propósito de abordar esta problemática. Estos proyectos anteriores servirán como marco de referencia y punto de partida al concebir una resolución para Nyumbani Village. Desde la perforación de nuevos pozos en zonas con mayor permeabilidad de aguas subterráneas, hasta la adopción de tecnologías innovadoras para la captación de

agua pluvial y la implementación de técnicas de optimización y gestión del agua existente por parte de la comunidad, son aspectos que se considerarán en la propuesta.

4. CONTEXTUALIZACIÓN

La cantidad de agua que requiere cada suministro ya sea un hogar, un hospital o una escuela es un factor para tener en cuenta a la hora de dimensionar la red. Cuando se diseña una instalación hidráulica, es crucial tener en cuenta la cantidad de agua que cada suministro requiere. Esto es realmente importante para asegurarnos de que haya un suministro adecuado y eficiente de agua en cada punto de uso.

Cada tipo de suministro tiene diferentes necesidades de agua, ya sea para beber, lavarse, limpiar la casa, regar el jardín u otras aplicaciones. Por ello, al diseñar el sistema de abastecimiento de agua, es esencial considerar estos requisitos individuales.

La cantidad de agua necesaria para cada suministro depende de varios factores, como el número de personas que lo utilizarán, sus hábitos de consumo, el tamaño del hogar o edificio y las actividades que se realicen allí. Es de vital importancia tener en cuenta estos aspectos para determinar cuánto agua se necesita en cada punto, asegurando así que el sistema sea dimensionado correctamente.

Con el fin de asegurar cálculos lo más precisos y realistas posibles, es necesario tener en cuenta las directrices establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en relación con el consumo mínimo diario de agua. Estos valores proporcionan una referencia crucial para comprender las necesidades básicas de las personas y abordar situaciones tanto en condiciones normales como en casos de crisis y emergencia.

La OMS recomienda que el consumo mínimo diario de agua por persona se sitúe en un rango de 50 a 100 litros. Estos valores tienen en cuenta diversas actividades esenciales que requieren agua, como la ingesta, la preparación de alimentos, la higiene personal, el lavado de ropa y la limpieza del entorno. Es importante destacar que estos rangos pueden variar según factores como la edad, el clima y el nivel de actividad física de cada individuo.

Sin embargo, en situaciones de crisis y emergencia, donde los recursos pueden ser limitados o el acceso al agua puede estar comprometido, las necesidades mínimas de consumo pueden disminuir drásticamente. La OMS establece que, en casos extremos, el consumo mínimo diario de agua puede reducirse a 15 litros por persona. Estas situaciones pueden incluir desastres naturales, conflictos armados, sequías u otras circunstancias que afecten gravemente el suministro de agua potable.

4.1 NECESIDAD DE CONSUMO DIARIA

Habiendo expuesto las cifras de demanda que plantea la Organización Mundial de la Salud, se procederá a realizar un cálculo más exacto del consumo diario para dimensionar la red. El primero valor a tener en cuenta en nuestros cálculos es el número de habitantes que tiene la aldea, 1250 habitantes. Teniendo en cuenta que, una vez realizada la instalación, se realiza el mantenimiento debido, la vida útil de la instalación hidráulica es de aproximadamente 20 años.

Atendiendo a estos datos, se ha cifrado el consumo diario doméstico en aproximadamente 150 m³/ día. Sin embargo, se debe considerar que este consumo es solamente el doméstico. Por lo que este solo es una parte del consumo total diario. Al ser Nyumbani una aldea autosuficiente requiere de altos consumos tanto para ganadería como para irrigación de los cultivos actuales, la cantidad demandada diaria para cada una de estas actividades es de 20 m³/ día y 140 m³/ día respectivamente. Por otro lado, hace unos años se realizó una plantación por parte de *Trees For Children* que, según la proyección anual desarrollada en su proyecto, esta plantación requiere de 214 m³/ día. Todo esto supone una cantidad total diaria de alrededor de 530 m³ de consumo.[10]

4.2 LA RED DE DISTRIBUCIÓN

La red de distribución de agua es el conjunto de instalaciones que son necesarias para transportar el agua desde el punto de captación y/o tratamiento hasta hacérselo llegar al

usuario final en las condiciones deseadas. Consiste en una serie de tuberías interconectadas que transportan el agua.

El objetivo principal de esta red es asegurar que el agua llegue a todos los lugares donde se necesita de manera adecuada, proporcionando un suministro constante y confiable. Para lograrlo, se utilizan diferentes tipos y tamaños de tuberías, válvulas, bombas y otros componentes para regular el flujo de agua y mantener la presión necesaria.

La red de distribución hidráulica también incluye sistemas de almacenamiento, como tanques elevados o depósitos subterráneos, que ayudan a equilibrar la demanda de agua en momentos de alto consumo y aseguran un suministro continuo durante interrupciones temporales o mantenimiento.

En el caso objeto de aplicación, la red de distribución se encuentra soterrada ya que esto ofrecen ventajas significativas en su uso, se destacan las siguientes:

- Las redes de distribución soterradas son menos propensas a sufrir daños causados por condiciones climáticas adversas, como fuertes vientos, tormentas de nieve o lluvias intensas.
- Comparación con las redes aéreas al estar protegidas de las condiciones climáticas y de otros factores externos.
- Por otro lado, se pueden destacar también ventajas desde el punto de vista estético, así como de seguridad para los habitantes, evitando posibles caídas colapsos y demás.

4.2.1 TIPOS DE REDES DE DISTRIBUCIÓN

Para entender la elección del tipo de red escogido, se van a plantear las diferentes opciones con sus ventajas y desventajas.

4.2.1.1 Red mallada

El sistema de red mallada de distribución hidráulica es un sistema de tuberías interconectadas. En este tipo de red, cada nodo o punto de conexión está conectado directamente a varios otros nodos, creando múltiples rutas para el flujo del agua.

La estructura de red mallada en la distribución hidráulica permite que el agua se transporte a través de diferentes caminos, lo que mejora la redundancia y la capacidad de adaptación del sistema. Si una ruta de tubería se obstruye o presenta algún problema, el agua puede seguir fluyendo a través de rutas alternativas, evitando interrupciones en el suministro.

- Ventajas:
 - Alta fiabilidad y continuidad del suministro
 - El agua llega una mayor presión al punto de suministro
- Desventajas:
 - Diseño de mayor complejidad y de mayor costo.
 - El mantenimiento no es tan sencillo como en la red ramificada. Se necesita un mayor control.

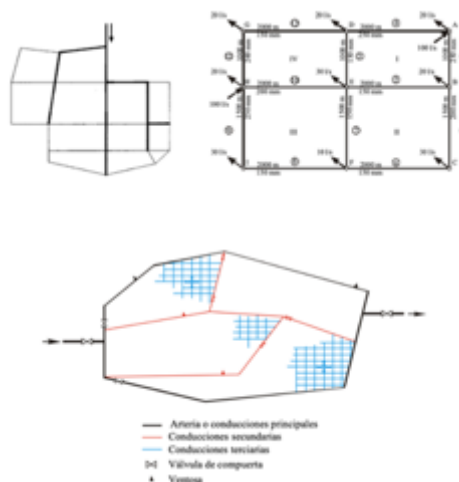


Ilustración 6 Red de distribución mallada

4.2.1.2 Red ramificada

El sistema de red ramificada consiste en una tubería principal que recorre el centro y se va dividiendo en sub-tuberías a ambos lados, estas a la vez se dividen en tuberías más pequeñas. En este tipo de red, cada punto de suministro recibe el agua únicamente de una tubería por lo que es un diseño en el que los diámetros van de mayor a menor a medida que las tuberías se alejan de la rama principal.[11]

- Ventajas:
 - Cálculo de diseño más fácil y simple
 - Mantenimiento bajo
 - Menor número de válvulas de corte.
 - Coste menor
- Desventajas:
 - Todo depende una tubería principal que, si falla, falla todo el sistema.
 - En la tubería principal al tener un diámetro tan grande hay muchas pérdidas.
 - La presión en las ramificaciones suele fallar, debido a los cambios de diámetro en el sistema, y a que se producen estancamientos de agua en zonas llamadas testeros por la acumulación de sólidos en zonas de poca velocidad.

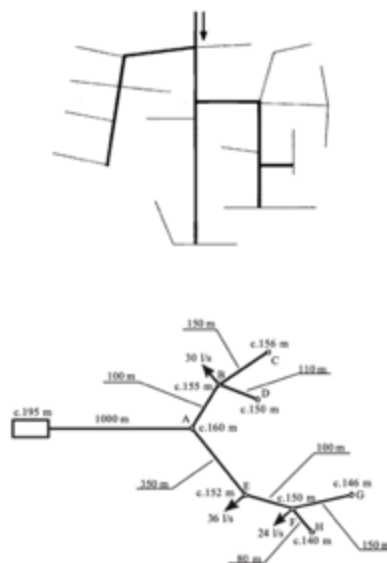


Ilustración 7 Red de distribución ramificada

5. SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE NYUMBANI

En este capítulo se presentarán las instalaciones con las que cuenta la aldea hoy en día. Cabe destacar que a pesar de haber un encargado del sistema hidráulico, todas las instalaciones y las posteriores modificaciones realizadas se han ido gestionando en base a las donaciones que llegaban, no habiendo un registro real y actualizado del lugar y la fecha de instalación, así como las posibles reubicaciones o retiradas de elementos.

5.1 MAPA SIMBÓLICO

A continuación, se presenta una imagen satelital de Nyumbani Village que permite obtener una visión global de donde se encuentran las diferentes construcciones alrededor de la aldea. Se encuentra nombrado de forma que las instalaciones están marcadas con letras y los clústeres/casas están marcados con números.

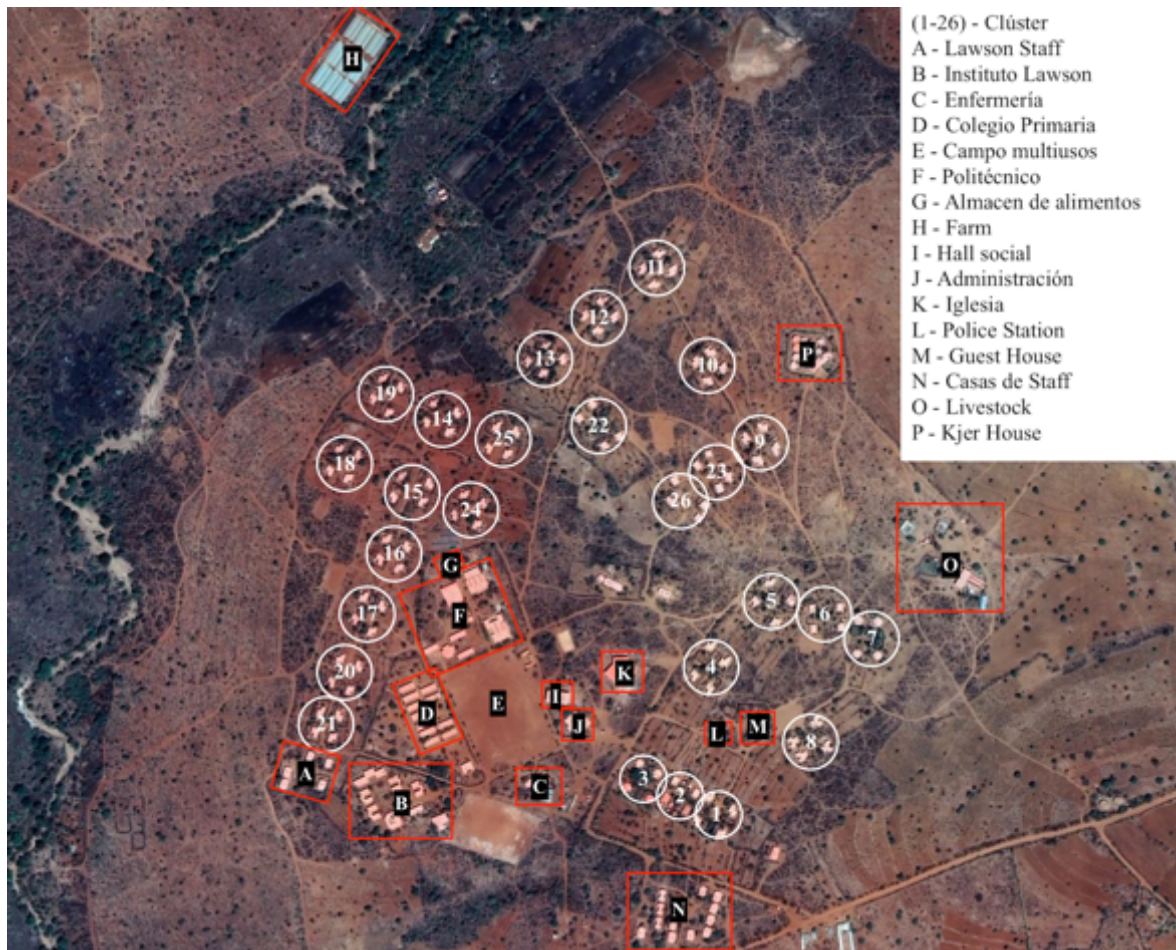


Ilustración 8 Mapa Explicativo de la aldea

El perfil altimétrico reviste una gran relevancia en el cálculo tanto de la distribución como del proceso de bombeo. Se ha confeccionado un perfil altimétrico que engloba los elementos más significativos de la instalación. A pesar de su reducido tamaño como aldea, Nyumbani presenta una marcada variabilidad en altitudes, exhibiendo una diferencia máxima de aproximadamente 60 metros desde su punto más bajo hasta su punto más alto. Esta disparidad altimétrica, en muchas ocasiones, simplifica la tarea de distribución; no obstante, en otros casos, exige un desembolso mayor para la adquisición de bombas de mayor capacidad.

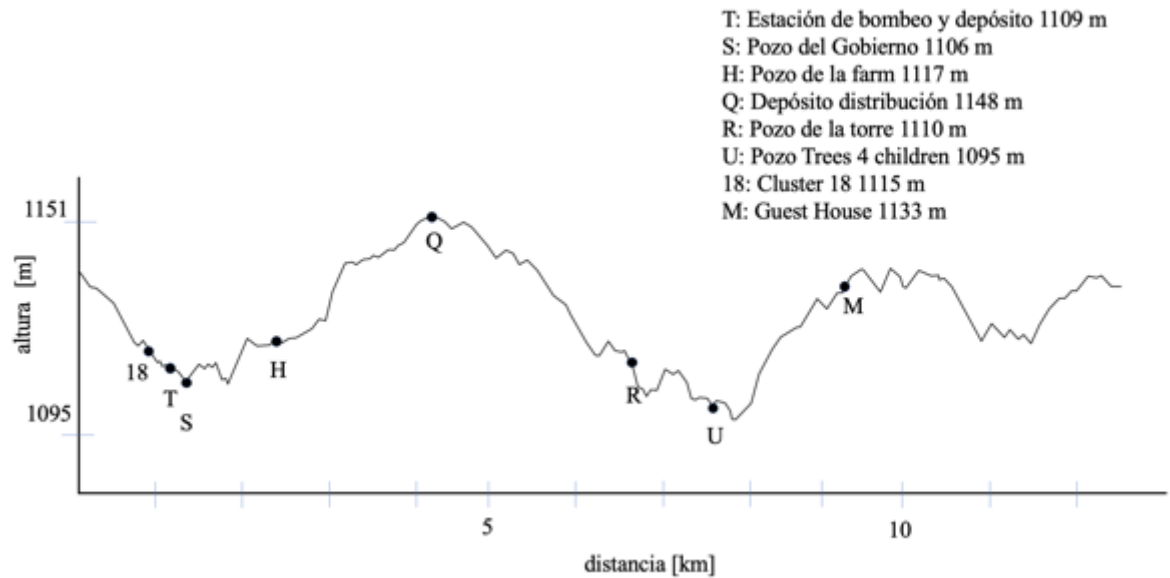


Ilustración 9 Perfil altimétrico de la aldea

5.2 SITUACIÓN ACTUAL EN NYUMBANI

Como se ha mencionado anteriormente Nyumbani ya cuenta con un sistema hidráulico, sin embargo, sabemos de primera mano que la solución planteada no es la más resolutive. El diseño de red que se optó por implementar en Nyumbani es una red ramificada. A pesar de haber propuesto un diseño inicial que cubría adecuadamente las necesidades de la aldea, con el paso del tiempo y el crecimiento de la población, así como la construcción de nuevas instalaciones, se han encontrado con ciertos problemas. En lugar de rediseñar completamente el sistema, simplemente se han extendido las ramificaciones actuales, lo que ha llevado a que muchas de las nuevas construcciones tengan dificultades para satisfacer su demanda de agua. En la Ilustración 10 se puede observar el esquema realizado por el especialista de agua en la aldea, cuando se realizó la primera instalación del sistema hidráulico. Mientras que la Ilustración 11 refleja el esquema realizado para representar la red de distribución actual.

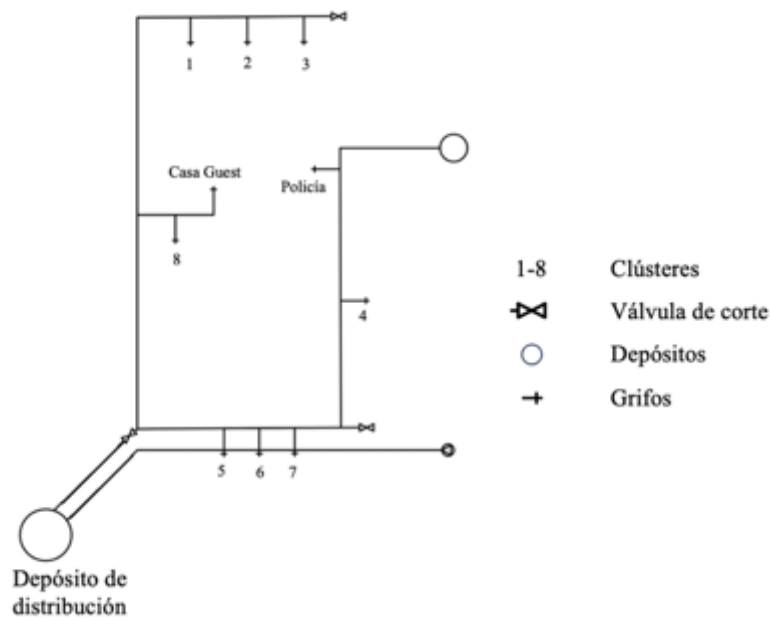


Ilustración 10 Esquema distribución 2006

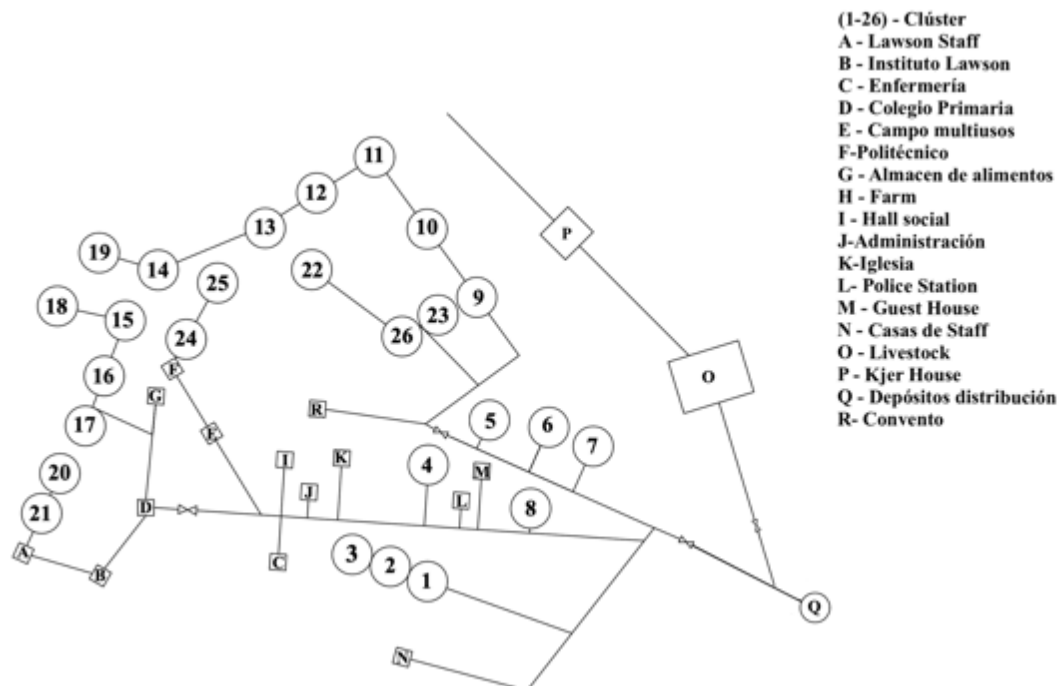
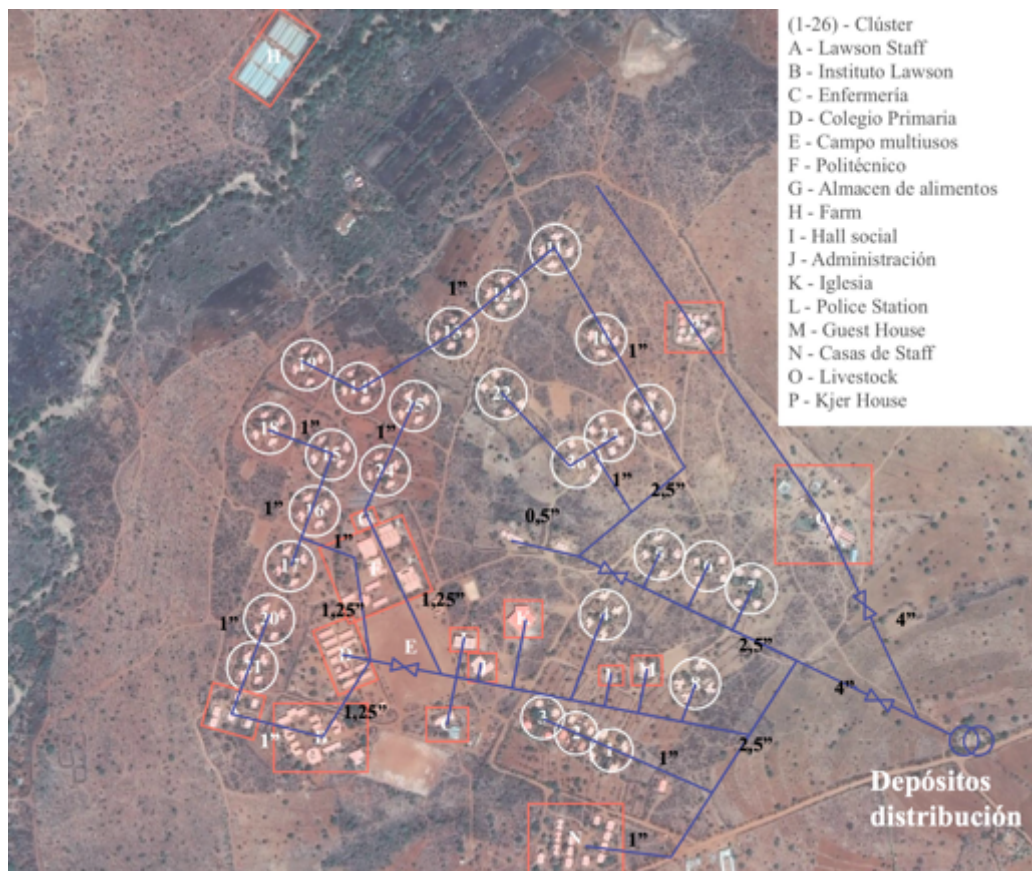


Ilustración 11 Esquema Distribución Actual

En el esquema inicial, se presentaba un diseño que contemplaba únicamente 8 clústeres, como se puede apreciar en la Ilustración 10. Sin embargo, actualmente la aldea cuenta con 25 clústeres, lo que representa un cambio significativo en su configuración.

El principal problema que se presenta en el esquema actual radica en los clústeres ubicados en la parte más baja de la aldea, específicamente entre los números 15 y 18, así como entre los números 14 y 19. Estos clústeres se identifican como prolongaciones de las ramas que originalmente fueron diseñadas para conectar a los clústeres 4 y 5, respectivamente.

5.3 INVENTARIO

En este apartado se recogerán todos los equipos, describiendo sus principales características. Como se ha mencionado con anterioridad al realizarse las instalaciones a destiempo no existe una clara correlación entre las diferentes localizaciones.

5.3.1 RESUMEN GENERAL

A continuación, se presenta un mapa completo de todos los sistemas relacionados con suministro hidráulico con los que cuenta la aldea: tanto pozos de gran profundidad, como los superficiales o Shallow Wells. Por otro lado, se pueden encontrar también los tanques y los embalses, según se muestra en la leyenda. Por último, se ha marcado también el río que recorre la aldea durante las etapas de lluvia.

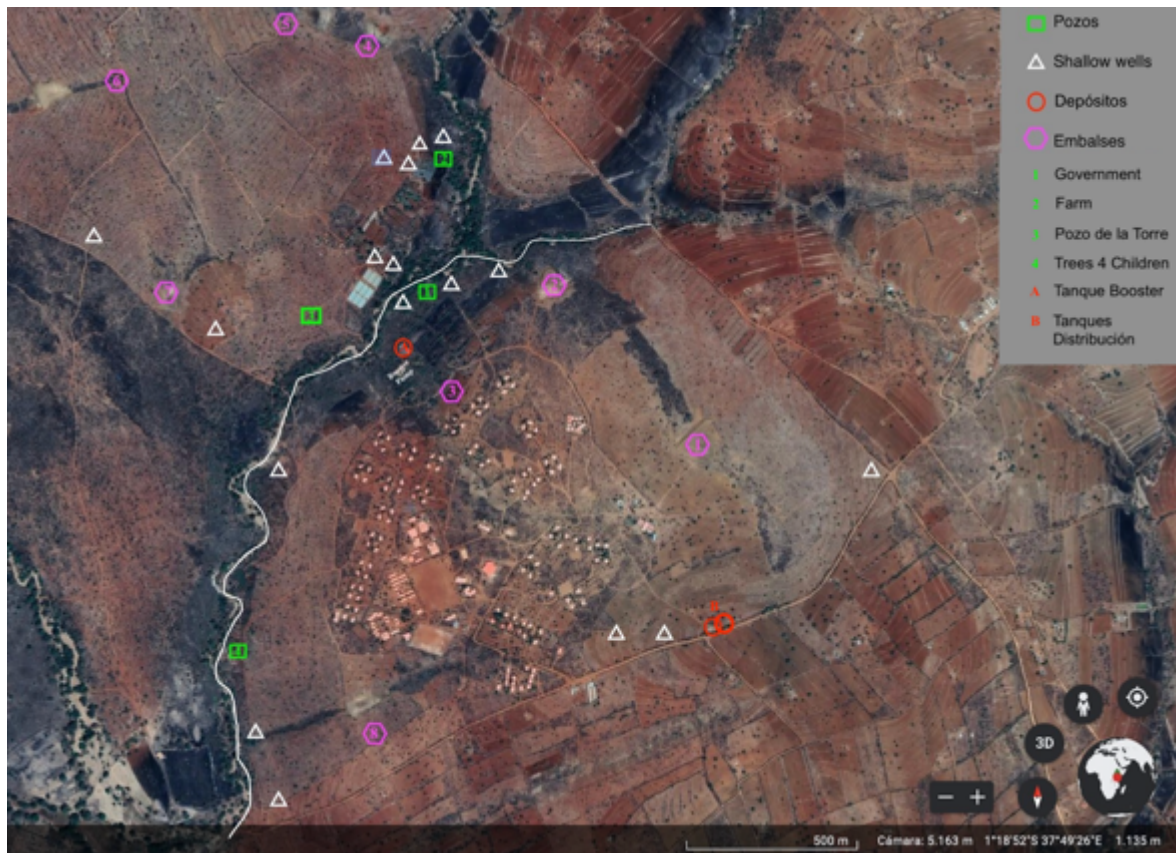


Ilustración 12 Mapa Instalaciones sistema hidráulico

5.3.2 INVENTARIO PARTICULARIZADO

En este apartado se desarrollará la información particular de cada instalación. Se especificarán las características más significativas de cada elemento, incluyendo los pozos que se dividen en dos, los profundos y los superficiales; los tanques; y los depósitos, entre otros.

5.3.2.1 *Booster Pump*

La booster pump es como se llama la estación de bombeo principal. Esta se sitúa en la parte inferior de la aldea y es donde se acumula todo el agua que se extrae de los pozos dedicados a fines doméstico para su posterior transporte a los depósitos de distribución superiores.



Ilustración 13 Construcción de la booster pump

El método de funcionamiento es el siguiente, el agua que se extrae de los diferentes pozos se recoge en un tanque que se encuentra cercano a el edificio mostrado en la Ilustración 13; a partir de aquí la bomba que bombea con un caudal de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ manda el agua hasta el depósito superior de la aldea, desde donde se reparten el agua a las diferentes instalaciones.

Las instalaciones de bombeo, tiene un grupo de presión de doble bomba, una de ellas alimentada con energía solar, y la otra con un generador diésel. Se utiliza principalmente la bomba alimentada con energía solar, dejando el generador diésel solo para casos de extrema emergencia, como puede ser muchos días seguidos nublados, pero en ningún caso se utiliza de forma continuada por un motivo económico

En la Ilustración 14 se observan las dos bombas que componen el sistema de bombeo.



Ilustración 14 Bombas que componen el sistema de bombeo

Como se ha mencionado anteriormente, la estación de bombeo cuenta también con un depósito de recolección, denominado depósito de la estación de bombeo, donde se reúne el agua proveniente de los diferentes pozos para su bombeo y posterior distribución.

El depósito de la estación de bombeo, reflejado en Ilustración 15, tiene una capacidad aproxima de unos 55 m³, con unas dimensiones de 1,95 m de altura y 6 m de diámetro. Está situado a una altitud de 1110 m.



Ilustración 15 Depósito de la estación de bombeo

A continuación, se muestra un esquema con el funcionamiento tanto eléctrico como hidráulico de las bombas de la estación de bombeo:

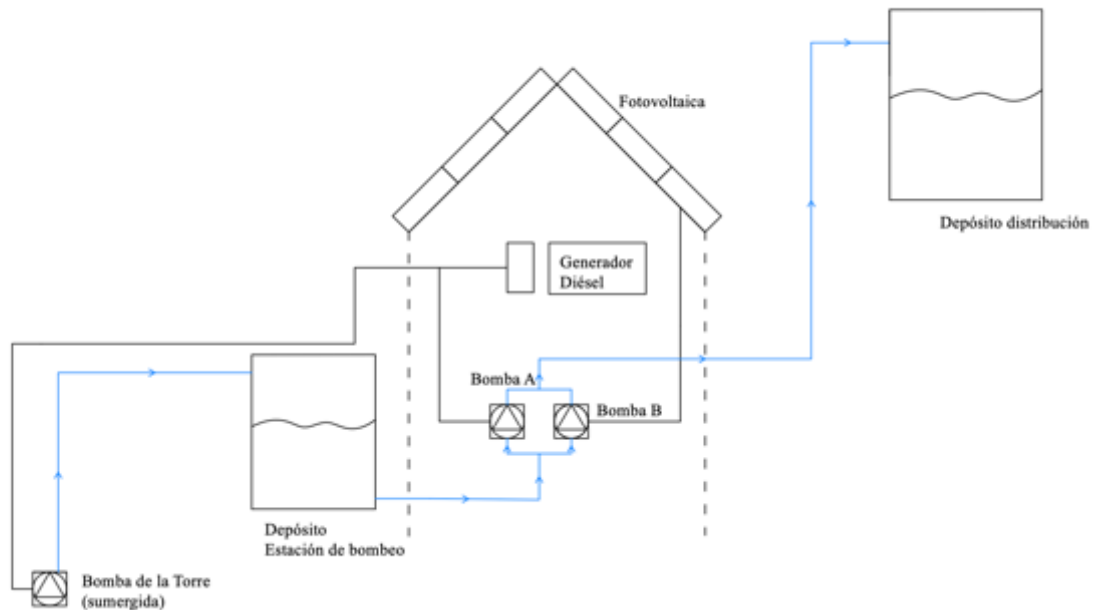


Ilustración 16 Esquema funcionamiento estación de bombeo

5.3.2.2 Pozos de Gran Profundidad

5.3.2.2.1 Pozos para agricultura y ganado

Pozo “Trees for Children”

Este pozo se encuentra situado en la esquina inferior izquierda del mapa planteado en la Ilustración 12, en la zona más alejada de la entrada de la aldea. Este pozo sirve directamente a la plantación de “Trees for Children”. Cuenta con una profundidad de unos 200 metros y extrae agua con un caudal de aproximadamente 4,2 m³/h. Como se ha mencionado anteriormente el uso fundamental del agua extraída en este pozo es para el regadío de los árboles plantados como parte del proyecto de Trees for Children.

Pozo de la “farm”

Este pozo es el encargado de proporcionar el agua necesaria para la irrigación de todas las plantaciones de la aldea. Tiene una profundidad aproximada de unos 120 m y una capacidad de extracción de aproximadamente 13 m³/h. Como en el caso anterior, complementariamente a la instalación fotovoltaica habitual, cuenta también con un generador diésel de soporte para su funcionamiento también durante las horas nocturnas o en épocas de poca generación solar.

El generador correspondiente al pozo de las plantaciones (Ilustración 17) es actualmente el que más consume de toda la aldea. Es por esto por lo que el encargado de la aldea en el sistema hidráulico trata de que todo el consumo de agua en las plantaciones se haga durante las horas del día, ya que utilizar tanto diésel eleva mucho los costes, y no se lo pueden permitir.



Ilustración 17 Pozo y su correspondiente generador en la Farm

5.3.2.2 Pozos para uso doméstico

Pozo del Gobierno

Este pozo se encuentra situado en las inmediaciones de la estación de bombeo. Tiene una profundidad de unos 100 metros y extrae agua a un ritmo de entre 8 y 9 m³/h. Este pozo se encarga de extraer agua bombeándola directamente al depósito de la estación de bombeo. El uso del agua de este pozo es fundamentalmente doméstico.



Ilustración 18 Pozo del Gobierno

El funcionamiento del pozo es el mismo que el planteado para las bombas, de manera que el pozo funciona fundamentalmente con energía solar, teniendo un generador de diésel de soporte para aquellos momentos en los que la energía solar no genere suficiente potencia.

Pozo de la Torre

Este pozo sirve de comodín para uso tanto doméstico como para las plantaciones, se encuentra situado en la zona más alejada de la farm. Este pozo cuenta con una profundidad aproximada de 200 metros y cuenta con una capacidad de extracción y posterior bombeo de unos 10 m³/h aproximadamente. Este pozo a lo largo del tiempo ha ido teniendo menor capacidad de extracción en la época seca del año, ya que se encuentra en una zona que se está secando con el tiempo, debido al crecimiento de una arena arcillosa en el cauce del río que no permite la filtración del agua a las capas más internas. A continuación, se muestran imágenes de cómo está el pozo en la actualidad.



Ilustración 19 Pozo de la Torre

5.3.2.2.3 Pozos en desuso

Existen también dos pozos adicionales en las zonas de las plantaciones, sin embargo, se encuentran ambos en desuso debido a su poca capacidad de extracción. Uno de ellos cuenta con una profundidad de aproximadamente 200 metros. Este pozo era de gran utilidad en el pasado, pero con el paso de los años su capacidad de extracción se ha visto mermada, hablando con el especialista, se deduce que esta merma es debido a la generación de un fango aislante en el río y sus alrededores que impide que el agua se filtre.

Por otro lado, del segundo pozo se desconoce información tan exacta ya que el especialista en la aldea no tiene noción de que realmente haya funcionado en algún momento, y considera que simplemente ha sido un estudio mal planteado. Debido a que se encontraba situado en un emplazamiento de difícil acceso, ha sido imposible verificar y fotografiar esta instalación.

5.3.2.3 Pozos Superficiales

Nyumbani cuenta con 17 pozos superficiales, estos cuentan con una profundidad aproximada de unos 15 metros. A pesar de contar con 17 pozos superficiales, únicamente está en uso uno de ellos, este es el que se encuentra situado en las zonas más cercanas a la granja, esta zona es en la que el suelo está más húmedo y se producen más filtraciones. La mayoría de los pozos de poca profundidad se encuentran vacíos o con una cantidad muy baja de agua debido al barro que se genera en las orillas del cauce del río. Este barro genera una capa aislante que no permite ni la filtración del agua ni su almacenamiento ordenado para el posterior bombeo de este.



Ilustración 20 Pozo de Poca Profundidad

5.3.2.4 Balsas Artificiales

Actualmente Nyumbani cuenta con 8 balsas artificiales creadas para el almacenamiento de agua, tanto para el uso doméstico como para regadío. A pesar de tener una estructura bien definida y correctamente distribuida alrededor del terreno de la aldea, estas balsas son simplemente excavaciones de arena sin ningún tipo de aislamiento y/o mantenimiento, es decir, el agua almacenada en las épocas de lluvia no dura lo suficiente ya que esta se filtra en la arena a capas más profundas. La única balsa que tiene una capa de plástico en el fondo de esta para estancar el agua y poder conservar en el tiempo es la que podemos encontrar en las plantaciones, esta cuenta también con una pequeña bomba sumergible para poder bombear el agua a las diferentes localizaciones de la “farm” para su posterior uso.



Ilustración 22 Balsa Plastificada en Uso



Ilustración 21 Balsa Artificial Seca sin Aislamiento

El agua recolectada en estas balsas durante las épocas de lluvia se utiliza íntegramente para el regadío de las diferentes plantaciones de la aldea, cada una de ellas cuentan con canalizaciones subterráneas a diferentes puntos de la aldea. Este agua se bombea a través de una bomba sumergible que puede ir rotando de uno a otro ya que se trata de una bomba de

montado fácil. En la Ilustración 23 se puede observar una imagen de la bomba en cuestión, que se encontraba situada en el embalse plastificado a pesar de encontrarse este seco.



Ilustración 23 Bomba sumergible empleada en los embalses



Ilustración 24 Placa característica bomba sumergible

Como difícilmente se puede leer en la Ilustración 24, se trata de una bomba Dayliff modelo DDA 1000 P.

5.3.2.5 Depósitos de distribución

Los depósitos de distribución son dos tanques situados en la zona de más altura de la aldea a 1148 m (Ilustración 12), uno de ellos está dedicado al almacenamiento de agua proveniente del depósito de la estación de bombeo para la posterior distribución por gravedad para a los grifos situados en los diferentes clústeres u otras edificaciones.

La función del segundo depósito es la de almacenar el agua que proviene del lago Massinga, esta agua es el que pone el gobierno a disposición de los keniatas para comprar a un precio razonable. Actualmente Nyumbani tiene una gran dependencia de esta debido a la poca producción de agua que tiene en estos momentos causado por la sequía que atraviesa el país hoy en día, actualmente la aldea está comprando cerca de 750 metros cúbicos al mes por lo que a un precio de aproximadamente 60 KSH (0,39 €) el m³, se gastan más de 540000 KSH (3500 €) al año en comprar agua en vez de realizar el cuidado necesario de la instalación existente.

Ambos depósitos cuentan con una capacidad de almacenamiento de unos 375 metros cúbicos, teniendo en cuenta que la altura es de aproximadamente 2,85 m y que el radio del depósito es de 6,5 m.



Ilustración 25 Depósitos distribución

5.3.2.6 Clústeres

Los clústeres son agrupaciones de cuatro casas cada uno donde viven los niños acompañados por un adulto, cada casa está dotada de un tanque de 10000 litros que sirve para la recogida de agua proveniente de la lluvia. El mecanismo que utilizan es bastante sencillo ya que, al estar diseñadas las construcciones con unos techos en punta, el agua cae por este hacia los canalones que acumulan toda el agua en los tanques mencionados anteriormente como se muestra en la Ilustración 26.

Los tanques están activos en su mayoría, sin embargo, debido a la falta de mantenimiento y de presupuesto en la aldea, existen algunos tanques que tienen fugas por donde se pierde la mayoría del agua y otros que tienen los grifos desgastados y o bien no permiten obtener agua, o tienen fugas que acaban con el agua almacenada. Se profundizará más sobre los problemas encontrados en apartados posteriores.

Los tanques se llenan completamente durante las épocas de lluvia, siendo los meses de lluvia de marzo a junio y de octubre a diciembre, tal y como se ha mostrado en apartados anteriores. Además, en caso de que se instalasen más tanques en los diferentes clústeres, es probable que todos estos acaben también llenos, debido a la abundancia de agua de lluvia durante esos meses. La duración aproximada del agua de estos tanques es de media, hasta un mes después de finalizar. Hay clústeres que prolongan más su uso y hay otros, sin embargo, que no llegan a la semana, todo depende de la responsabilidad en el uso de cada clúster. Los responsables de los clústeres comentan que el problema es que cuando hay abundancia, se malgasta, no hay concepto de conservar para cuando haya escasez.

Además de contar con los tanques de recogida para la temporada de lluvias, como esto es un hecho estacional, todos los clústeres cuentan con una fuente de agua que proviene de los tanques superiores, el encargado en agua de la aldea tiene reguladas las horas de apertura y cierre de la válvula para que el agua que hay se optimice y se use de forma eficiente, ya que explica que en caso de tenerlo abierto todo el día, se malgastaría mucha agua.



Ilustración 26 Tanque y Mecanismo de Captación de Aguas de Lluvia

5.3.2.7 Guest House

La casa para los invitados, lugar donde se alojan los voluntarios, sigue también la distribución del esquema general de las casas de la aldea, cuenta con un depósito grande de 10000 litros y cuenta también con un grifo de agua del depósito superior, en este caso el grifo en vez de ser compartido por cuatro casas suministra únicamente a una.

5.3.2.8 Police Station

Sigue la misma distribución que la casa para los invitados.

5.3.2.9 Enfermería

En este edificio se puede encontrar una vez más el mismo sistema para la recolección de agua de lluvias, en este caso, en vez de tener un único depósito, contamos con dos depósitos diferentes a los cuáles llegan dos sistemas de canalización diferente, uno por cada lado de la estructura como se puede observar en la siguiente ilustración.



Ilustración 27 Depósitos de la Enfermería

5.3.2.10 Iglesia

El edificio de la Iglesia es la construcción de mayor dimensión en la aldea, cuenta con un sistema de recolección prácticamente igual al de las casas, pero dimensionado para su capacidad. La iglesia cuenta en uno de sus extremos con cuatro depósitos de 10000 que recolectan agua en las épocas de lluvia.



*Ilustración 28 Tanques de Captación
de la Iglesia*

El agua recolectada en la Iglesia es fundamentalmente para uso del clero, ya sea para cosas relacionadas con la celebración de la Eucaristía o para uso personal de los sacerdotes que viven en una casa cercana a la construcción de la Iglesia. De forma parecida a el agua recolectado en las diferentes construcciones de los clústeres, la duración del agua recolectada durante las épocas de lluvia dependerá de la eficiencia en su uso, sin embargo, se sabe que el agua de estos tanques al estar gestionado su uso por personal más cualificado se prolonga más en el tiempo. Tanto que durante el mes en el que se visitó la aldea, los depósitos contaban todavía con un volumen significativo de agua, estando uno de ellos prácticamente lleno y en otro de ellos quedando un cuarto de su volumen total.

6. CÁLCULOS DEL SISTEMA DE LLENADO DE DEPÓSITOS

En este capítulo se plantearán los cálculos para la comprobación del correcto funcionamiento de la instalación, así como de la correcta elección de cada equipo utilizado en el sistema de bombeo.

6.1 BOMBAS POZOS GRAN PROFUNDIDAD

6.1.1 PLANTEAMIENTO TEÓRICO DE CÁLCULOS

Con el objetivo de verificar que las bombas utilizadas tienen las dimensiones adecuadas, se realizarán los cálculos pertinentes para obtener la altura de la bomba, y así comparar con la altura de la bomba utilizada, y situar el punto de funcionamiento en las curvas de la bomba.

Para poder dimensionar la bomba es necesario conocer el caudal requerido y el salto de presión de la instalación. El salto de presión requerido a la bomba se calcula a partir de la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{p_1}{\rho g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_{bomba} - h_f - h_m = \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Ecuación 1 Ecuación de Bernoulli para la bomba de cada pozo

- p_1 (Pa): presión del fluido en el punto 1.
- v_1 (m/s): Velocidad que tiene el agua en el punto 1.
- z_1 (m): corresponde a la altura a la que se sitúa el punto 1.
- h_{bomba} (m): es la altura de la bomba.

- h_f (m): con este término nos referimos a todas las pérdidas de carga primaria que se tiene en las tuberías que corresponden a los tramos rectos de la tubería
- h_m (m): este término se refiere a las cargas secundarias, en estas se incluyen todas las pérdidas puntuales tales como: entradas y salidas de la tubería, ensanchamientos y estrechamientos, codos, válvulas, etc.
- p_2 (Pa): presión que se obtiene midiendo en el punto 2.
- v_2 (m/s): velocidad del fluido en el punto 2.
- z_2 (m): altura medida en el punto 2.

La velocidad del fluido se obtiene a partir de la sección de la tubería y el caudal que circula por la misma:

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

Ecuación 2 Fórmula para el cálculo de la velocidad del fluido

Para calcular las pérdidas de carga primarias, se empleará la ecuación de Darcy-Weisbach. Las pérdidas de carga primaria, como se ha explicado anteriormente son las que se refieren al rozamiento por lo que dependen tanto de las propiedades de la tubería (longitud y diámetro) como las del fluido (densidad y viscosidad).

$$h_f = f \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$$

Ecuación 3 Cálculo de Perdida de Carga Primaria

- l : longitud que tiene la tubería en el tramo que estamos calculando. [m]
- v : velocidad media del fluido en el tramo de tubería. [m/s]
- d : diámetro que tiene la tubería a lo largo de su recorrido. [m]
- g : aceleración de la gravedad (9,81 m/s²). [m/s²]
- f : coeficiente de fricción de Darcy, es un parámetro adimensional y depende del tipo de flujo.

El coeficiente de fricción de Darcy depende del tipo de flujo (laminar o turbulento). El tipo de flujo se evalúa a partir del número de Reynolds.

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

Ecuación 4 Número de Reynolds

Donde:

- ρ es la densidad del fluido. [Kg/m³]
- v es la velocidad del fluido. [m/s]
- d es una longitud característica del objeto o conducto, en el caso de tuberías es el diámetro de esta. [m]
- μ es la viscosidad dinámica del fluido. [Kg/(ms)].

Tanto la densidad del fluido como la viscosidad dinámica del fluido son valores que dependen de la temperatura a la que se encuentre el agua. A pesar de que se pueden producir pequeñas oscilaciones dependiendo de la estación del año en la que se encuentre, se ha tomado los valores de estos parámetros para la temperatura media en el país, que actualmente se sitúa en 25° C.

En la Ilustración 29 se observa que para una temperatura de 25°C, el valor que toma la densidad del agua es 997,13 Kg/m³. [12]

Temperatura °C	Densidad kg / m ³	Temperatura °C	Densidad kg / m ³	Temperatura °C	Densidad kg / m ³
0 (hielo)	917,00	33	994,76	67	979,34
0	999,82	34	994,43	68	978,78
1	999,89	35	994,08	69	978,21
2	999,94	36	993,73	70	977,63
3	999,98	37	993,37	71	977,05
4	1000,00	38	993,00	72	976,47
5	1000,00	39	992,63	73	975,88
6	999,99	40	992,25	74	975,28
7	999,96	41	991,86	75	974,68
8	999,91	42	991,46	76	974,08
9	999,85	43	991,05	77	973,46
10	999,77	44	990,64	78	972,85
11	999,68	45	990,22	79	972,23
12	999,58	46	989,80	80	971,60
13	999,46	47	989,36	81	970,97
14	999,33	48	988,92	82	970,33
15	999,19	49	988,47	83	969,69
16	999,03	50	988,02	84	969,04
17	998,86	51	987,56	85	968,39
18	998,68	52	987,09	86	967,73
19	998,49	53	986,62	87	967,07
20	998,29	54	986,14	88	966,41
21	998,08	55	985,65	89	965,74
22	997,86	56	985,16	90	965,06
23	997,62	57	984,66	91	964,38
24	997,38	58	984,16	92	963,70
25	997,13	59	983,64	93	963,01
26	996,86	60	983,13	94	962,31
27	996,59	61	982,60	95	961,62
28	996,31	62	982,07	96	960,91
29	996,02	63	981,54	97	960,20
30	995,71	64	981,00	98	959,49
31	995,41	65	980,45	99	958,78
32	995,09	66	979,90	100	958,05

Ilustración 29 Densidad del agua para cada temperatura

Fuente: Densidad del agua Fullquímica

Por otro lado, de la Ilustración 30 se extrae el valor que toma la viscosidad dinámica para esta temperatura que es de 0,000891 kg/(ms).

Viscosidad dinámica del agua líquida a varias temperaturas

www.vaxasoftware.com

Temperatura °C	Viscosidad dinámica kg / (m·s)	Temperatura °C	Viscosidad dinámica kg / (m·s)	Temperatura °C	Viscosidad dinámica kg / (m·s)
0	0,001792	34	0,000734	68	0,000416
1	0,001731	35	0,000720	69	0,000410
2	0,001674	36	0,000705	70	0,000404
3	0,001620	37	0,000692	71	0,000399
4	0,001569	38	0,000678	72	0,000394
5	0,001520	39	0,000666	73	0,000388
6	0,001473	40	0,000653	74	0,000383
7	0,001429	41	0,000641	75	0,000378
8	0,001386	42	0,000629	76	0,000373
9	0,001346	43	0,000618	77	0,000369
10	0,001308	44	0,000607	78	0,000364
11	0,001271	45	0,000596	79	0,000359
12	0,001236	46	0,000586	80	0,000355
13	0,001202	47	0,000576	81	0,000351
14	0,001170	48	0,000566	82	0,000346
15	0,001139	49	0,000556	83	0,000342
16	0,001109	50	0,000547	84	0,000338
17	0,001081	51	0,000538	85	0,000334
18	0,001054	52	0,000529	86	0,000330
19	0,001028	53	0,000521	87	0,000326
20	0,001003	54	0,000512	88	0,000322
21	0,000979	55	0,000504	89	0,000319
22	0,000955	56	0,000496	90	0,000315
23	0,000933	57	0,000489	91	0,000311
24	0,000911	58	0,000481	92	0,000308
25	0,000891	59	0,000474	93	0,000304
26	0,000871	60	0,000467	94	0,000301
27	0,000852	61	0,000460	95	0,000298
28	0,000833	62	0,000453	96	0,000295
29	0,000815	63	0,000447	97	0,000291
30	0,000798	64	0,000440	98	0,000288
31	0,000781	65	0,000434	99	0,000285
32	0,000765	66	0,000428	100	0,000282
33	0,000749	67	0,000422		

www.vaxasoftware.com

Ilustración 30 Viscosidad dinámica del agua a varias temperaturas

[13]

Generalmente, en el flujo dentro de tuberías se puede considerar que el flujo es laminar cuando Re es menor que 2300 y turbulento cuando Re es mayor que 4000.

Para flujos turbulentos el factor de fricción (f) se puede calcular a partir de la ecuación de Colebrook, también conocida como la ecuación de Colebrook-White, es una fórmula empírica utilizada para estimar el factor de fricción (f) en el flujo de fluidos en tuberías con flujo turbulento. El factor de fricción es una medida de la resistencia al flujo debido a la fricción entre el fluido y las paredes de la tubería.

La ecuación de Colebrook es una solución para la raíz cuadrada del número de Reynolds ($Re^{(1/2)}$) en función del factor de fricción (f), y se expresa de la siguiente manera:

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

Ecuación 5. Ecuación de Colebrook

Donde:

- f es el factor de fricción.
- ε es la rugosidad absoluta de la tubería, este valor depende del tipo de material seleccionado. En este caso utilizamos tuberías de PVC. Ver Ilustración 31

Como se ha mencionado anteriormente el material que se ha utilizado para las tuberías es PVC, por lo que el valor a emplear para la rugosidad absoluta es 0,0015 mm.[14]

Rugosidad absoluta (k_s) para diferentes materiales utilizados en la fabricación de tuberías

Material	K_s (mm)
Vidrio	0.0003
PVC, CPVC	0.0015
Asbesto cemento	0.03
GRP	0.03
Acero	0.046
Hierro forjado	0.06
CCP	0.12
Hierro fundido asfaltado	0.12
Hierro galvanizado	0.15
Arcilla vitrificada	0.15
Hierro fundido	0.15
Hierro dúctil	0.25
Madera cepillada	0.18-0.9
Concreto	0.3-3.0
Acero bridado	0.9-9

Ilustración 31. Rugosidad por material

Las pérdidas de carga secundarias, también conocidas como pérdidas de carga menores o pérdidas de carga locales, se refieren a las pérdidas de energía o presión que ocurren debido a obstrucciones, accesorios, codos, válvulas u otros componentes. Se calculan a partir de la siguiente expresión:

$$h_m = \sum K_i \frac{v^2}{2g}$$

Ecuación 6 Cálculo de Pérdidas Secundarias

- v : valor que tiene la velocidad del fluido en el punto de cálculo. [m/s]
- g : aceleración de la gravedad, como siempre tomaremos [9,81 m/s²]
- K_i : coeficiente de pérdida de carga secundaria que depende de la geometría del elemento que se esté evaluando.

A continuación, se muestra una tabla Ilustración 32 e Ilustración 33 con los diferentes casos y geometrías posibles en una tubería y el factor que correspondería para cada caso.[15]

Diámetro interno tubo de acero inox, cobre y material plástico		8 - 10 mm	10 - 20 mm	20 - 54 mm	> 54 mm
Diámetro del tubo de acero		3/8" x 1/2"	3/4" x 1"	1 1/4" x 2"	> 2"
Tipo de resistencia localizada	Simbología				
Curva estrecha a 90° <i>r/d = 1,5</i>		2,0	1,5	1,0	0,8
Curva normal a 90° <i>r/d = 2,5</i>		1,5	1,0	0,5	0,4
Curva larga a 90° <i>r/d = 3,5</i>		1,0	0,5	0,3	0,3
Curva estrecha en U <i>r/d = 1,5</i>		2,5	2,0	1,5	1,0
Curva normal en U <i>r/d = 2,5</i>		2,0	1,5	0,8	0,5
Curva larga en U <i>r/d = 3,5</i>		1,5	0,8	0,4	0,4
Ampliación		1,0			
Reducción		0,5			
Derivación simple con T a 90°		1,0			
Confluencia simple con T a 90°		1,0			
Derivación doble con T a 90°		3,0			
Confluencia doble con T a 90°		3,0			
Derivación simple con ángulo inclinado (45° - 60°)		0,5			
Confluencia simple con ángulo inclinado (45° - 60°)		0,5			
Derivación con con curva divergente		2,0			
Confluencia con curva de llegada		2,0			

Ilustración 32. Coeficiente de Pérdida de Carga Fuente: Pressman

Diámetro interno del tubo de acero inox, cobre y material plástico		8 - 10 mm	10 - 20 mm	20 - 54 mm	> 54 mm
Diámetro exterior del tubo de acero		3/8" x 1/2"	3/4" x 1"	1 1/4" x 2"	> 2"
Tipo de resistencia localizada	Simbología				
Valvula de corte directo		10,0	8,0	7,0	6,0
Valvula de corte inclinada		5,0	4,0	3,0	3,0
Saracinesco de paso reducido		1,2	1,0	0,8	0,8
Saracinesco de paso total		0,2	0,2	0,1	0,1
Valvula de esfera paso reducido		1,6	1,0	0,8	0,8
Valvula de esfera paso total		0,2	0,2	0,1	0,1
Valvula de mariposa		3,5	2,0	1,5	1,0
Valvula antirretorno		3,0	2,0	1,0	1,0
Valvula para emisor térmico directo		6,5	7,0	6,0	—
Valvula para emisor térmico en escuadra		4,0	4,0	3,0	—
Detentor directo		1,5	1,5	1,0	—
Detentor en escuadra		1,0	1,0	0,5	—
Valvula de cuatro vias		6,0		4,0	
Valvula de tres vias		10,0		8,0	
Paso a través de radiador		3,0			
Paso a través de caldera de suelo		3,0			

Ilustración 33. Coeficiente de Pérdida de Carga 2 Fuente: Pressman

Una vez calculada la altura teórica de la bomba y sabiendo el caudal con el que fluye el agua en esta, se elegirá la bomba indicada para la instalación. En este caso, como las bombas ya han sido elegidas, se procederá a comprobar que tienen las características correctas para su funcionamiento continuado en el tiempo.

6.1.2 POZO DEL GOBIERNO

6.1.2.1 Esquema

De acuerdo con análisis realizado de las instalaciones hidráulicas de la aldea, se elabora un pequeño esquema representativo de la distribución de los diferentes elementos para el pozo del Gobierno:

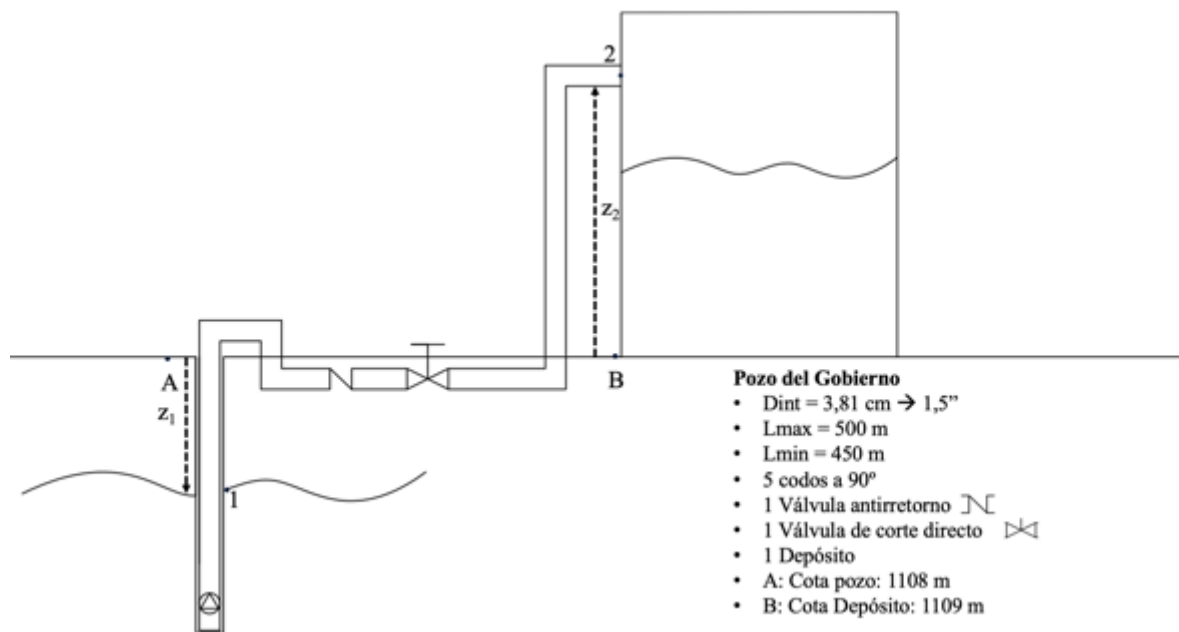


Ilustración 34 Pozo del Gobierno

Pozo	p_1	z_{1min}	z_{1max}	p_2	z_2
Gobierno	patm	-96	-48	patm	3

6.1.2.2 Cálculos

Pozo	$Q_{nominal}$	$Q_{funcionamiento}$	v_{fluido}	Reynolds	f	h_f	h_m
Gobierno z_{min}	7,3	7,75	1,89	71769,2	0,0195	46,6	2,09
Gobierno z_{max}		8,86	2,16	82046,6	0,0205	57,5	2,73

Tabla 2. Cálculos pozo del gobierno

Obteniendo:

$$h_{bomba\ zmin} = 166,3\text{ m}$$

$$h_{bomba\ zmax} = 131,4\text{ m}$$

Ecuación 7. Altura calculada de la bomba del gobierno

6.1.2.3 Comprobaciones

La bomba utilizada es una DAYLIFF DSD 8/45 según la información suministrada por Joseph. En la siguiente figura (Ilustración 35) se puede ver las curvas que el fabricante adjunta en la documentación técnica, además de una imagen del motor que suministra potencia a la bomba.

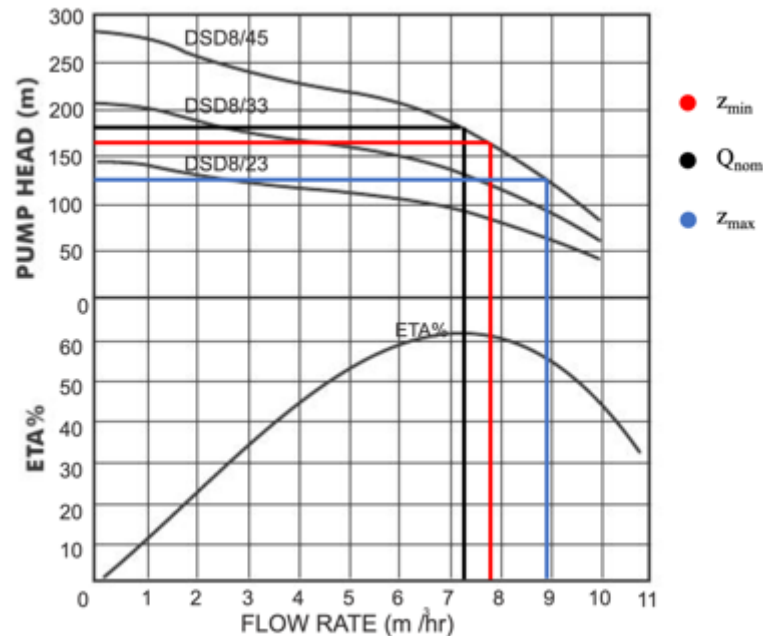


Ilustración 35 Curva y punto de funcionamiento

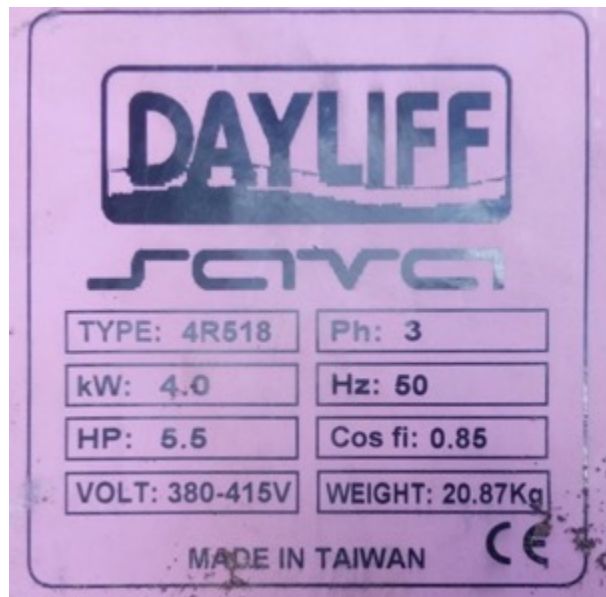


Ilustración 36. Placa característica motor Dayliff

[16] Como se puede ver en las curvas de la bomba, se han representado 3 puntos de funcionamiento correspondientes a los cálculos realizados. El primero de los puntos, en rojo

es el punto de funcionamiento calculado para la cota mínima que puede tener el depósito, es decir, situación de máxima sequedad posible en el pozo, mientras que en azul se ha representado el otro punto de rango, que supone un nivel de agua de 50 m por encima del nivel mínimo. En color negro se ha representado el punto nominal de funcionamiento de la bomba.

Ambos puntos representados quedan situados en la zona derecha del punto nominal en la gráfica. El punto azul incluso se aproxima a situarse fuera de la zona de funcionamiento recomendado, pudiendo causar la ruptura de la bomba si se produce durante un periodo alargado de tiempo.

No obstante, esta situación se presenta únicamente en circunstancias extremadamente desfavorables. Debido a las condiciones meteorológicas extremas y la elevada temporada de lluvias, existe la posibilidad de que el pozo se llene de manera significativa durante dichos periodos, lo que podría llevar a la bomba a operar en esta zona durante un prolongado periodo de tiempo. Para que el punto de trabajo fuera el nominal de la bomba, habría que regular la instalación para que las pérdidas de la misma aumentaran en función del nivel del agua del pozo. En este caso es posible reduciendo el caudal cerrando parcialmente la válvula de corte directo.

6.1.2.4 Esquema

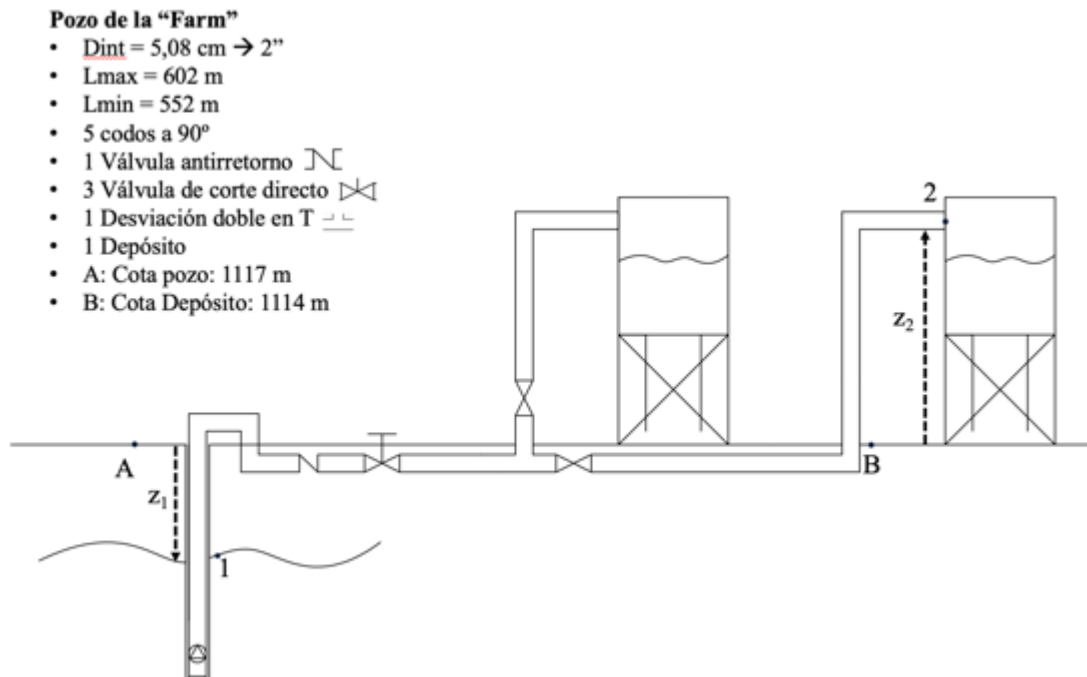


Ilustración 37 Pozo de la "farm"

Pozo	p_1	z_{1min}	z_{1max}	p_2	z_2
Farm	patm	-116	-68	patm	-2

6.1.2.5 Cálculos

Pozo	$Q_{nominal}$	$Q_{funcionamiento}$	v_{fluido}	Reynolds	f	h_f	h_m
Farm z_{min}	13	16,7	2,28	115629,7	0,0176	58,18	3,84
Farm z_{max}		21,78	5,31	201633,1	0,01585	289,4	20,8

Tabla 3. Cálculos pozo de la farm

Despejando la altura de la bomba. Se obtiene:

$$h_{bomba\ zmin} = 164,2\text{ m}$$

$$h_{bomba\ zmax} = 125,1$$

Ecuación 8 Altura de la bomba calculada

6.1.2.6 Comprobaciones

En este apartado se comprobará con los cálculos realizados que la bomba instalada en un inicio (DAYLIFF DSD 17/20) cuenta con las características necesarias para satisfacer el sistema. Para ello se ha consultado la ficha técnica del fabricante, extrayendo la curva de la bomba para los diferentes puntos de funcionamiento, que se muestra a continuación:

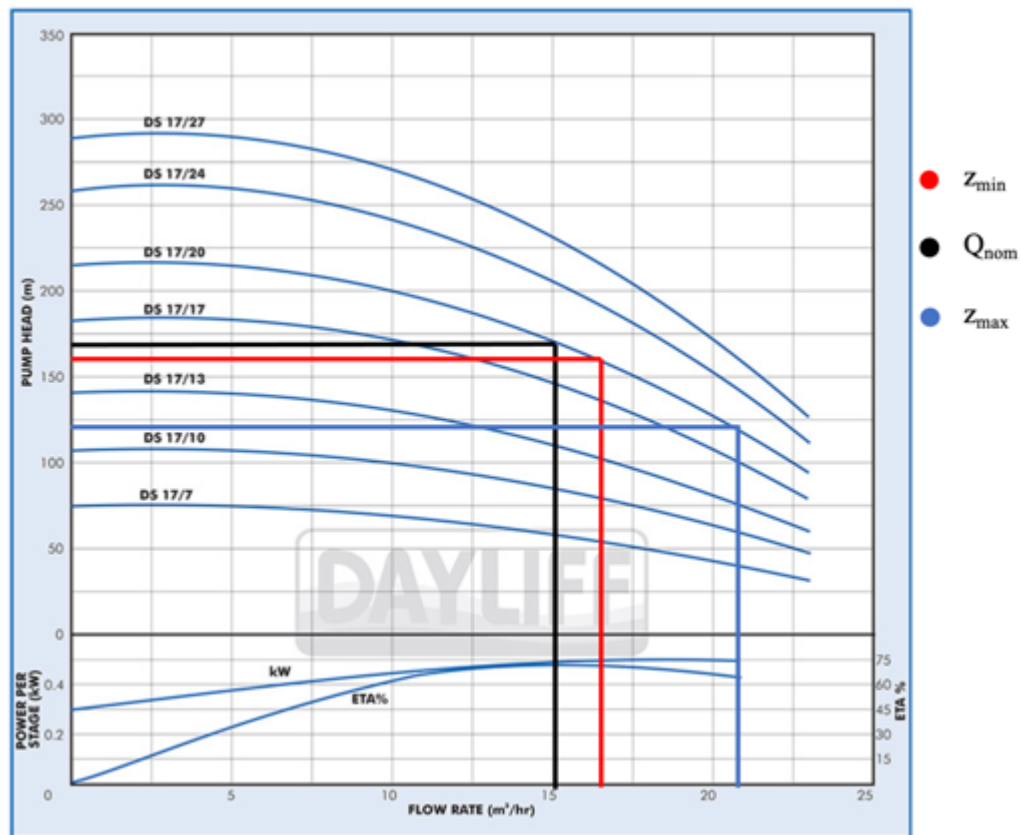


Ilustración 38 Curva bomba farm y punto de funcionamiento

[17] Como se puede observar en la gráfica se han representado todos los puntos de funcionamiento calculados. En el caso de tener un nivel de agua muy bajo en el pozo, el punto de funcionamiento de la bomba sería el representado en color rojo. Este punto resulta un punto óptimo de trabajo ya que, al encontrarse tan cercano al punto nominal, cuenta con un gran rendimiento y está en la zona de funcionamiento recomendada, no habiendo problemas de desgastes extraordinarios.

Sin embargo, para el punto en el cual el nivel de agua se sitúa a unos 50 metros de la bomba, al verse reducida la diferencia de cotas, la altura que tiene que suministrar la bomba para satisfacer la demanda del sistema es menor, suministrando un caudal mayor al sistema. Este punto se aleja mucho del punto de funcionamiento nominal, y trabajar a estas características podría suponer grandes problemas para la instalación causando sobrecargas en el motor,

desgaste del impulsor de la bomba, ineficiencia energética... En el caso de la altura máxima, se debería reducir el caudal mediante una actuación en la válvula de corte directo.

6.1.3 POZO DE LA TORRE

6.1.3.1 Esquema

El pozo de la torre extrae el agua desde una profundidad aproximada de unos 200 metros, para posteriormente ser bombeada al depósito situado en la estación de bombeo. A continuación, se ilustra un esquema conceptual de como quedaría el sistema de bombeo de el pozo, donde se observa ar un pozo de mayor profundidad que los anteriores, que, sin embargo, recorre una distancia bastante corta como hacía anteriormente el del gobierno hasta llegar a la estación de bombeo, situada a unos 200 metros de distancia.

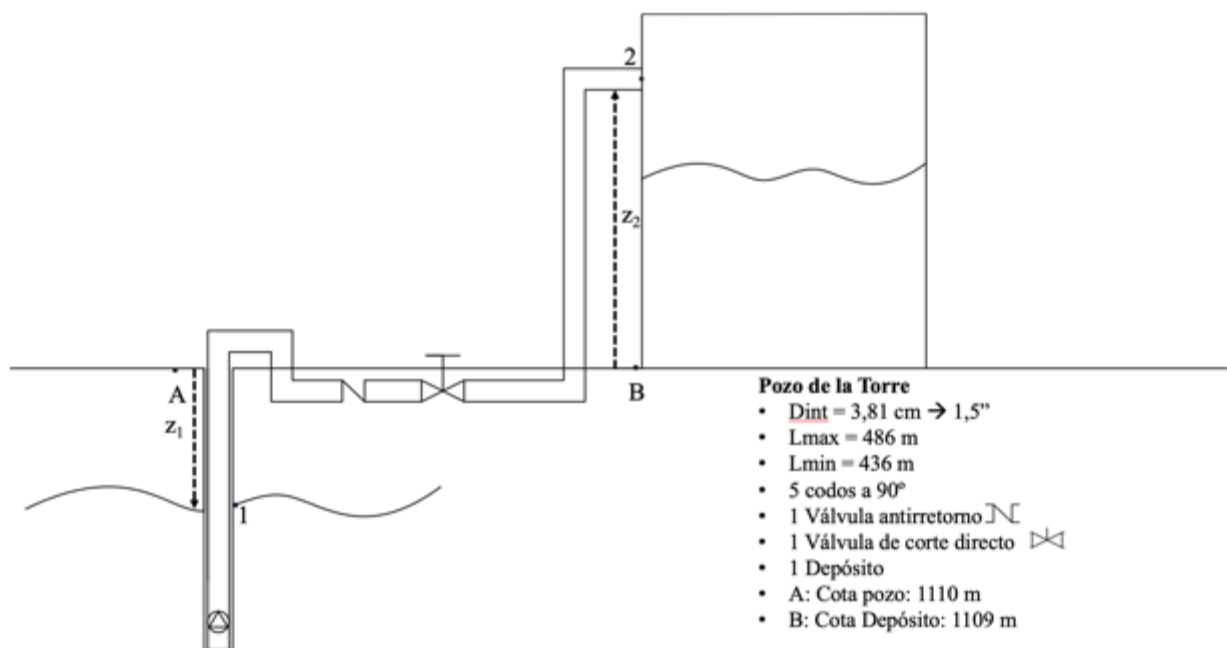


Ilustración 39 Pozo de la torre

Pozo	p_1	z_{1min}	z_{1max}	p_2	z_2
Torre	patm	-196	-138	patm	1

6.1.3.2 Cálculos

Pozo	$Q_{nominal}$	$Q_{funcionamiento}$	v_{fluido}	Reynolds	f	h_f	h_m
Torre z_{min}	10	7,35	1,79	68047,1	0,0197	41,08	1,88
Torre z_{max}		9,14	2,23	84580,9	0,0188	54,44	2,91

Tabla 4. Cálculos pozo de la torre

Despejando la altura de la bomba. Se obtiene:

$$h_{bombazmin} = 256,69 \text{ m}$$

$$h_{bombazmax} = 222,10 \text{ m}$$

Ecuación 9 Altura de la bomba calculada

6.1.3.3 Comprobaciones

En este apartado, se comprobará que la bomba satisface las necesidades del sistema. Para ello compararemos los resultados obtenidos de los cálculos realizados en el apartado anterior con las características técnicas de la bomba, su placa características y curvas. La bomba utilizada es una GRUNDFOS SP 8A-37. Por lo que en la siguiente figura se puede ver las curvas que el fabricante adjunta en la documentación técnica. En ellas se han representado los diferentes puntos de funcionamiento a partir de los cálculos realizados y el punto de funcionamiento nominal. [18]

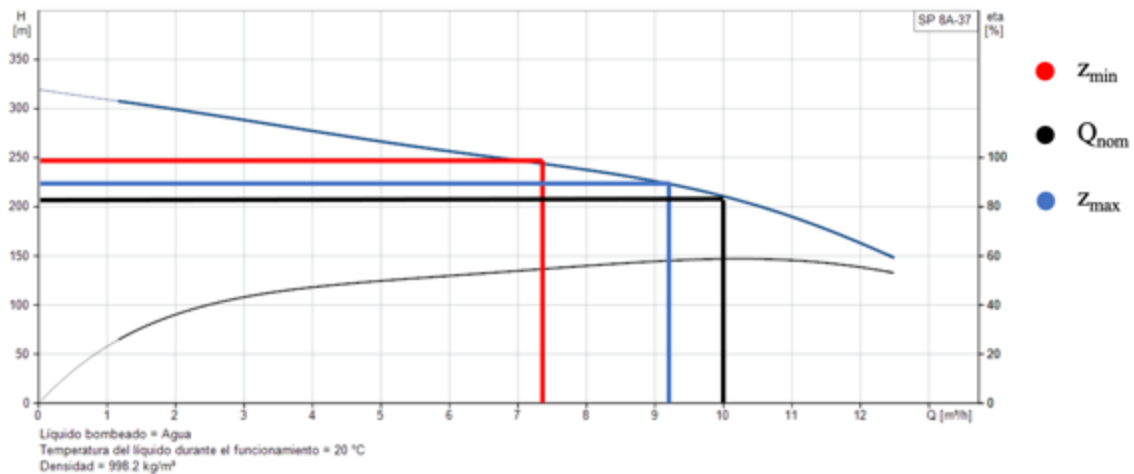


Ilustración 40. Curva bomba GRUNDFOS SP 8A-37

Ambos puntos de funcionamiento quedan situados a la izquierda del punto de funcionamiento nominal, significando esto que para cualquier valor que tome la cota de agua en el pozo, el caudal suministrado será menor que para el cual estaba diseñado el sistema. A pesar de quedar los dos puntos fuera del punto de funcionamiento nominal, ninguno de los dos se encuentra en una zona de peligro para el funcionamiento de la bomba. Ambos dos casos cuentan con un rendimiento bastante alto de acuerdo con la curva de rendimiento de la bomba. Por lo que esta bomba podría ser suficiente para el sistema solamente si se tiene en cuenta que el caudal máximo suministrado será de 9,2 aproximadamente y no de 10 como se espera en un inicio. En el caso de que en un futuro se requiera una capacidad de bombeo mayor de 9,3 m³/h la bomba se deberá sustituir por una de mayor tamaño.

6.1.4 POZO “TREES 4 CHILDREN”

6.1.4.1 Esquema

El pozo “Trees 4 Children”, como se ha mencionado anteriormente, junto con el pozo e la torre son los más profundos de la aldea, aparte de ser uno de los más profundos, es el pozo con mayor recorrido de la aldea, ya que atraviesa esta de punta a punta, recorriendo aproximadamente 2 kilómetros, dónde llega a un depósito de 10000 litros que se emplea para el regadío de las plantaciones de árboles aledañas a los tanques de distribución situados en la parte alta de la aldea. A continuación, se muestra un mapa conceptual de el pozo y su distribución.

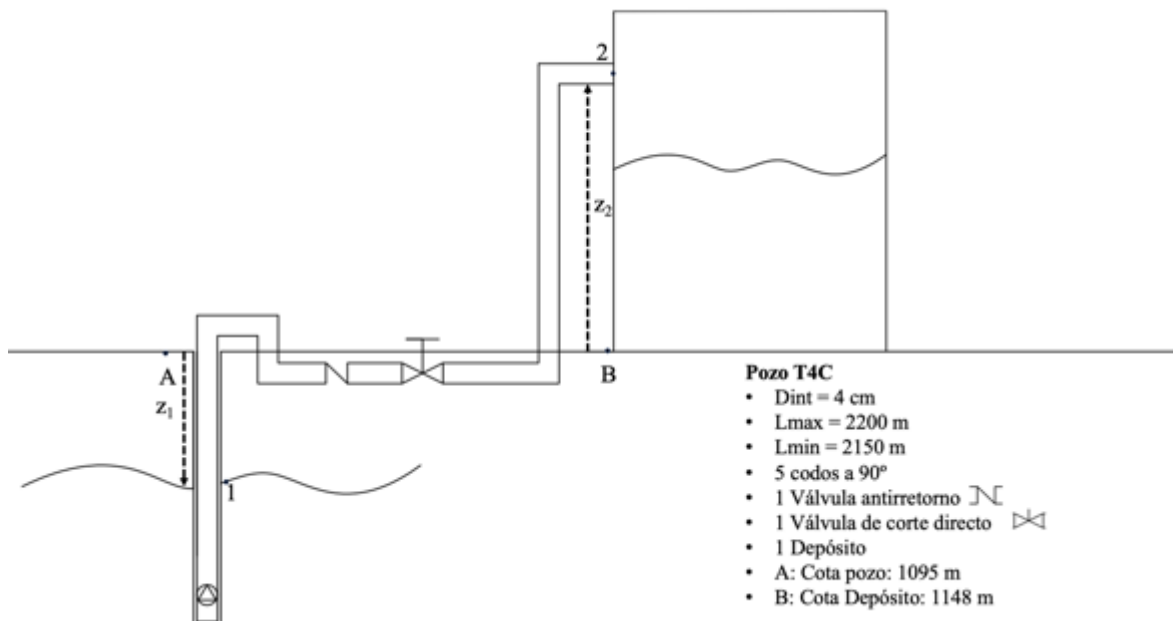


Ilustración 41 Pozo T4C

Pozo	p_1	z_{1min}	z_{1max}	p_2	z_2
T4C	patm	-196	-146	patm	55,5

6.1.4.2 Cálculos

Pozo	$Q_{nominal}$	$Q_{funcionamiento}$	v_{fluido}	Reynolds	f	h_f	h_m
T4C z_{min}	4,2	2,74	0,61	24194,2	0,0248	25,6	0,22
T4C z_{max}		3,67	0,81	32349,6	0,02318	41,8	0,39

Tabla 5. Cálculos pozo "Trees 4 Children"

Obteniendo:

$$h_{bomba\ zmin} = 277,4 \text{ m}$$

$$h_{bomba\ zmax} = 243,65 \text{ m}$$

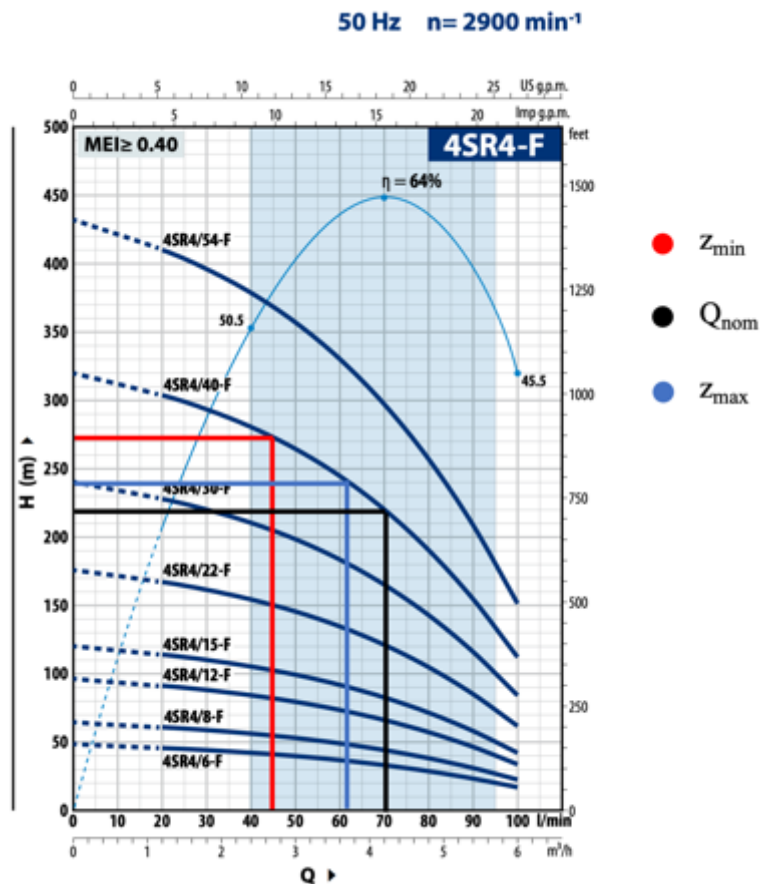
Ecuación 10 Altura pozo Trees 4 Children

6.1.4.3 Comprobaciones

En este apartado, se comprobará que la bomba satisface las necesidades del sistema. Para ello se compararán los resultados obtenidos de los cálculos realizados en el apartado anterior con las características técnicas de la bomba, su placa características y curvas.

La bomba utilizada es una PEDROLO 4SR4/40-F. Por lo que en la siguiente figura se puede ver las curvas que el fabricante adjunta en la documentación técnica. Sobre las curvas de la bomba se ha graficado el punto de funcionamiento actual de la bomba en el sistema. Así

como los puntos de funcionamiento obtenidos en los cálculos para los diferentes valores que toma la cota en el punto 1.[19]



*Ilustración 42 Curvas bomba PEDROLO 4SR4/40-F y
punto de funcionamiento*

En esta gráfica se observa que para los dos puntos de funcionamiento que se han calculado el caudal en su punto máximo es de $3,8 \text{ m}^3/\text{h}$. Sin embargo, en este pozo al ser el de regadío no supone gran problema esta característica, la demanda de agua no se produce de manera urgente, y los depósitos se pueden ir llenando poco a poco para regar las diferentes partes de las plantaciones. Se debe tener en cuenta que los cálculos se han realizado para la zona más alejada del sistema de bombeo y por lo tanto la más respectiva, por lo que, si se realizasen cálculos para el llenado de un tanque de regadío más cercano, el punto de funcionamiento saldría bastante más cercano al punto nominal. Por lo que este pozo cuenta con las

dimensiones suficientes para bastecer el sistema en el que se encuentra, y no haría falta cambiarlo.

6.2 ESTACIÓN DE BOMBEO

6.2.1 CAUDAL DE BOMBEO Y ALTURA DE LA BOMBA

El caudal de bombeo y la altura que se obtiene para este caudal podemos obtenerlo de las características de la bomba empleada. De acuerdo con la siguiente Ilustración 43, observamos que el caudal nominal de la bomba es de 10 m³/h. De esta misma placa característica podemos observar que la altura para dicho caudal es de 128,7 m.



Ilustración 43 Placa Característica Bomba Estación de Bombeo

6.2.2 ESQUEMA

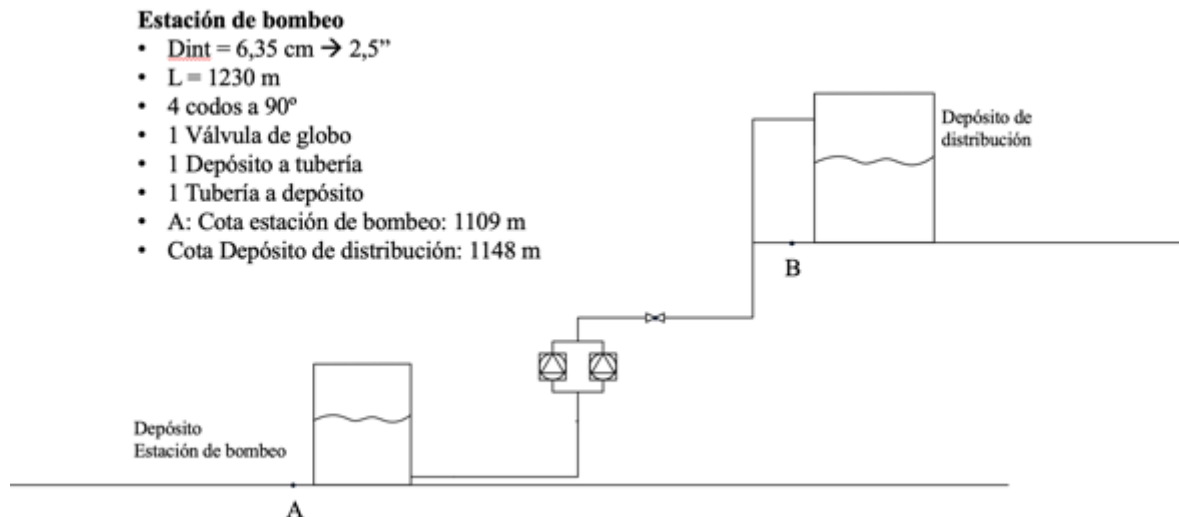


Ilustración 44 Esquema Bombeo

6.2.3 CÁLCULOS

En este apartado calcularemos por el mismo método que hemos utilizado en el apartado anterior, la altura que debe tener la bomba para que el agua llegue a los tanques de distribución. Primero evaluaremos el tipo de flujo para posteriormente calcular tanto las pérdidas primarias como las secundarias. Comenzaremos planteando otra vez la ecuación de Bernoulli para así despejar el valor de la h de la bomba.

Pozo	$Q_{nominal}$	$Q_{funcionamiento}$	v_{fluido}	Reynolds	f	h_f	h_m
Estación de bombeo	10	16,02	1,41	89009,3	0,019	36,2	1,36

Tabla 6 Cálculo estación de bombeo

Despejando la altura de la bomba. Se obtiene:

$$h_{bomba} = 76,67 \text{ m}$$

Ecuación 11 Altura calculada bomba booster pump

6.2.4 COMPROBACIONES

La bomba empleada como se puede leer también en la Ilustración 43 es una Grundfos CR1016K, a continuación, en la Ilustración 45 se adjunta las curvas de la bomba proporcionadas por el fabricante. [20]

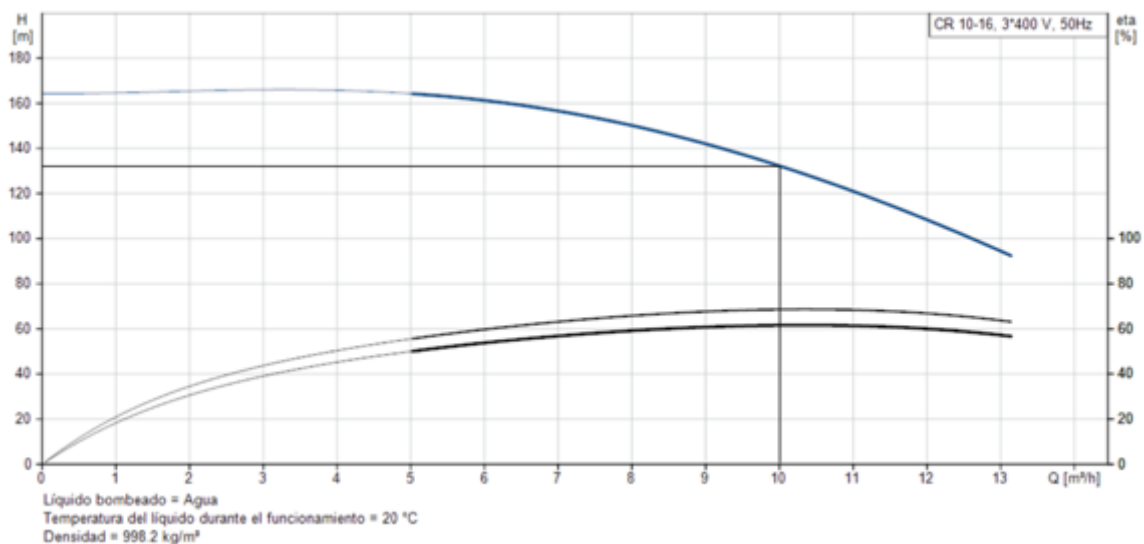


Ilustración 45 Curva de bomba Grundfos CR10-16K

Evaluando la placa característica fotografiada en la Ilustración 43 se observa que, la altura nominal para el caudal nominal es de 128,7m, sin embargo, según los cálculos realizados para la instalación propuesta, se obtiene que la bomba debería de funcionar a un caudal de 16,02 m³/h entregando una altura de 76,67 m. Si se sitúa este punto de funcionamiento en la curva de la bomba, queda mucho más a la derecha de lo proporcionado. Para garantizar estos cálculos es imprescindible tomar medidas de campo para poder ver cuál es el caudal actual y reducirlo mediante el cierre parcial de la válvula globo hasta el punto de trabajo deseado.

7. CÁLCULOS DE DISTRIBUCIÓN

Esta segunda parte de cálculos abarca el segmento del sistema centrado en la red de distribución. Esto engloba el tramo que se extiende desde los tanques de almacenamiento en alturas hasta los puntos de abastecimiento ubicados en las distintas edificaciones, ya sean clústeres u otras estructuras. Durante esta fase, se llevará a cabo una verificación exhaustiva para asegurar la precisión en la dimensión de la red de distribución por gravedad. Esta parte resulta de especial importancia, ya que, durante la estancia, se han identificado problemas en el abastecimiento de agua en algunos de los clústeres situados en la parte inferior de la aldea, como pueden ser 14, 15, 18 o 19.

Para comenzar, se ha procedido a elaborar un mapa que refleje la configuración de distribución en su estado actual, véase Ilustración 46. Esta representación se ha construido con base en los planos disponibles de la infraestructura inicial de distribución en la localidad.

- (1-26) - Clúster**
A - Lawson Staff
B - Instituto Lawson
C - Enfermería
D - Colegio Primaria
E - Campo multiusos
F-Politécnico
G - Almacen de alimentos
H - Farm
I - Hall social
J-Administración
K-Iglesia
L- Police Station
M - Guest House
N - Casas de Staff
O - Livestock
P - Kjer House
Q - Depósitos distribución
R- Convento
 ✕ Grifo
 ⚡ Válvula de corte



Ilustración 46 Mapa de distribución diseñado

De acuerdo con el Documento Básico “DB HS Salubridad”[21] (documento que especifica parámetros objetivos y procedimientos cuyo cumplimiento asegura la satisfacción de las necesidades básicas) el caudal instantáneo mínimo que ha de tener un fregadero doméstico es de 0,20 l/s. En la siguiente imagen (Ilustración 47) podemos observar los valores para los diferentes elementos en un sistema de distribución.

Tabla 2.1 Caudal instantáneo mínimo para cada tipo de aparato

Tipo de aparato	Caudal instantáneo mínimo de agua fría [dm ³ /s]	Caudal instantáneo mínimo de ACS [dm ³ /s]
Lavamanos	0,05	0,03
Lavabo	0,10	0,065
Ducha	0,20	0,10
Bañera de 1,40 m o más	0,30	0,20
Bañera de menos de 1,40 m	0,20	0,15
Bidé	0,10	0,065
Inodoro con cisterna	0,10	-
Inodoro con fluxor	1,25	-
Urinarios con grifo temporizado	0,15	-
Urinarios con cisterna (c/u)	0,04	-
Fregadero doméstico	0,20	0,10
Fregadero no doméstico	0,30	0,20
Lavavajillas doméstico	0,15	0,10
Lavavajillas industrial (20 servicios)	0,25	0,20
Lavadero	0,20	0,10
Lavadora doméstica	0,20	0,15
Lavadora industrial (8 kg)	0,60	0,40
Grifo aislado	0,15	0,10
Grifo garaje	0,20	-
Vertedero	0,20	-

Ilustración 47 Caudal mínimo por aparato

Al igual que en el apartado anterior, como la instalación objeto de estudio es la misma, las tuberías son también iguales a las anteriores en cuanto a materiales, ahora bien, sí que cambian sus diámetros como se observa en la Ilustración 46.

Para comprobar el correcto funcionamiento del sistema de distribución, se deben examinar los puntos más conflictivos. En este caso, serán aquellos que se encuentren más alejados del punto inicial, es decir, de los depósitos de distribución. Como se observa en la Ilustración 11 los puntos que han de ser objeto de estudio son los clústeres 14, 15, 18 y 19.

Los cálculos teóricos se llevarán a cabo siguiendo el siguiente procedimiento: a partir del esquema diseñado para la instalación, se procederá al cálculo del caudal que llega a los clústeres problemáticos en diversas situaciones. En una primera instancia, se efectuarán los cálculos manteniendo únicamente abierto el grifo del clúster 18, de manera que todo el

caudal proveniente de los depósitos de distribución recorrerá la red hasta llegar exclusivamente a este punto. Una vez obtenido este valor, se procederá a evaluar su validez.

Posteriormente, se planteará un nuevo escenario en el que se abrirán otros grifos del sistema. Además del grifo del clúster 18, estarán abiertos también los del clúster 15, clúster 16 y clúster 17. En esta nueva configuración, se evaluará el caudal resultante que llega al punto conflictivo en estas condiciones más adversas. Una vez calculadas las pérdidas primarias, procedemos a calcular las pérdidas secundarias basándonos también en la misma estructurada utilizada en el apartado anterior.

Para realizar los cálculos, se emplearán los mismos fundamentos que se han utilizado en el apartado anterior. Se planteará la ecuación de Bernoulli para los diversos casos, tomando en consideración que algunos de estos valores varían. En particular, la presión en este caso se mantendrá constante a la presión atmosférica para ambos puntos. La velocidad en el punto 1 se considerará despreciable dado que el nivel de agua del depósito desciende muy lentamente. Las pérdidas se calcularán para cada tramo de tubería, teniendo en cuenta su velocidad correspondiente en cada caso. En la Ilustración 48 se observa los puntos tomados para el cálculo.

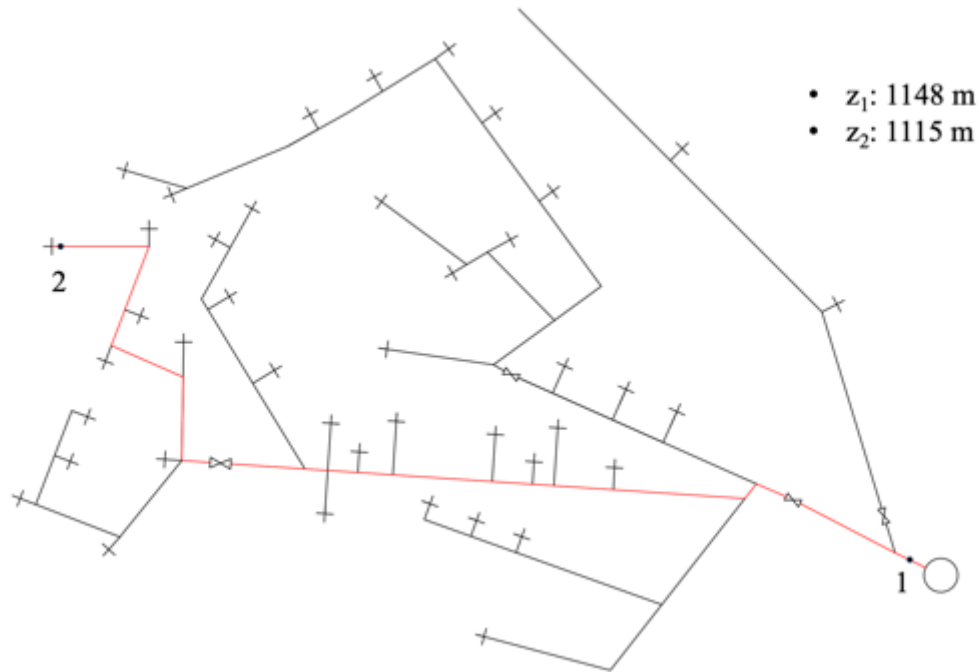


Ilustración 48 Puntos primer cálculo

Para este caso se ha obtenido que el caudal en el punto 2 es de 0,15 l/s aproximadamente, un valor bastante bajo teniendo en cuenta que solo está abierta la demanda del punto 2 en todo el sistema, situación que no se suele dar en la aldea.

Por lo que se va a plantear otro cálculo con 5 grifos abiertos para obtener un valor del caudal en el clúster 18 en una situación más común en la aldea. En la Ilustración 49 se observa todos los puntos que se han tenido en cuenta para el cálculo del caudal en el punto 2, planteando un sistema de ecuaciones de Bernoulli en paralelo.

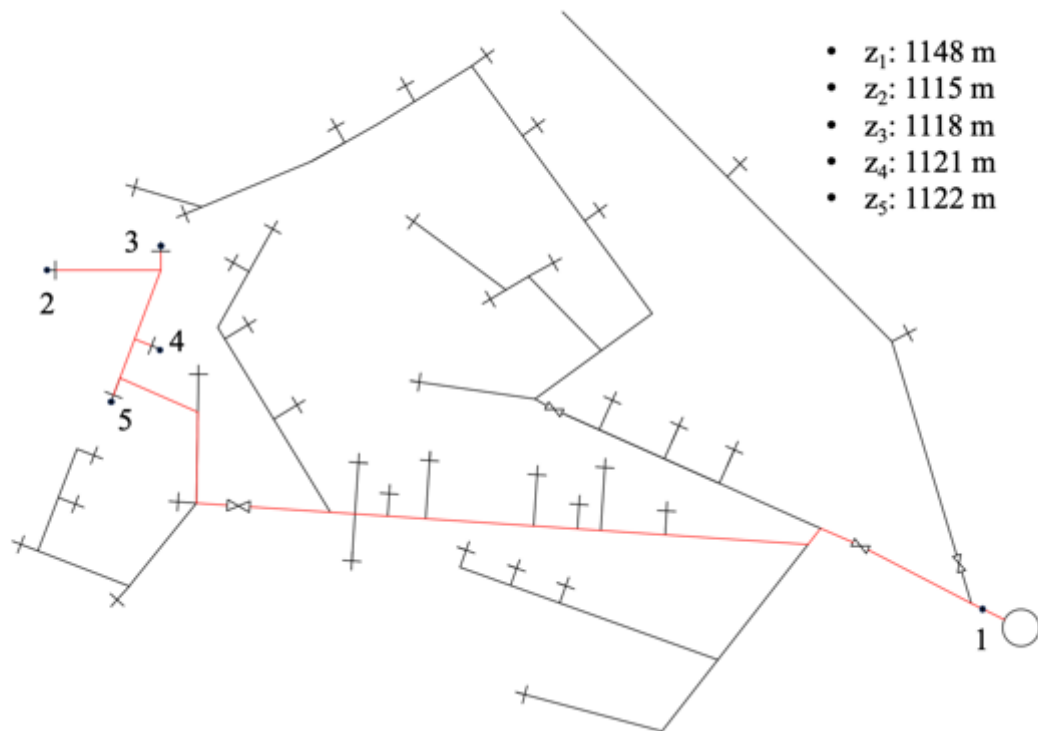


Ilustración 49 Puntos para cálculo 4 grifos

El valor obtenido para el caudal en el punto 2 en este caso, se ha visto reducido prácticamente a la mitad, obteniendo así un caudal de 0,085 l/s cuando estos 4 grifos se encuentran abiertos. Este valor empieza a ser demasiado bajo. Es importante destacar que los grifos están destinados a proporcionar suministro a aproximadamente 40 personas, por lo que contar con un caudal tan reducido dificulta enormemente la utilización de este recurso.

Los cálculos teóricos propuestos concuerdan con lo que se ha observado en el terreno. El sistema de distribución se ha vuelto insuficiente para afrontar el crecimiento de la aldea. Esto se refleja claramente en los valores obtenidos para el caudal en los clústeres más distantes de los depósitos de distribución que incluso para el caso más favorable, se alejan de los valores recomendados.

No obstante, es crucial reconocer que todo lo anterior resulta insuficiente para una evaluación completa del sistema de distribución. Un factor de suma importancia en este contexto es la condición interna de las tuberías, ya que es fundamental determinar si existen pérdidas significativas en alguno de los tramos. Para llevar a cabo esta evaluación, se habría requerido realizar un análisis detallado, grifo por grifo, del caudal real suministrado a cada uno de los clústeres, considerando tanto los puntos más elevados como los más bajos de la red de distribución.

8. PROBLEMAS IDENTIFICADOS

Durante el recuento de los elementos que forman parte del sistema hidráulico se ha ido comprobando el correcto funcionamiento de todos estos. Durante esta revisión se han encontrado fallos en el sistema que se desglosarán a continuación.

8.1 *AUTOCONSUMO EN CLÚSTERES*

Debido a la falta de mantenimiento general existente en la aldea, se identificaron muchos tanques con grifos que no funcionan, fondos rotos, que no se han llegado a colocar debido a que no se podían situar en una posición más baja para así aprovecharse de la gravedad para recolección del agua durante las épocas de lluvia. Todos estos tanques como se menciona con anterioridad tienen un volumen de 10000 litros al ser los que se destinan a la recolección en los clústeres.

En la Ilustración 50 se muestra el tanque abandonado en el Clúster 19, que no ha sido colocado debido a que quedaba en una posición superior, y las excavaciones para situarlo en la posición óptima no se han llevado a cabo.



Ilustración 50 Tanque Abandonado en Cluster 19

Con relación a los grifos, se ha identificado que la incidencia de grifos deteriorados se sitúa en una media de un grifo por cada agrupación de viviendas. Es importante destacar que esta evaluación considera tanto los grifos completamente inoperativos como aquellos que presentan problemáticas como goteos irregulares, dificultades en el cierre u otros tipos de daños. En este análisis se abarca un espectro amplio de condiciones, ya que entendemos que cualquier nivel de disfunción puede impactar la eficiencia general del sistema de suministro de agua.

Por último, es importante mencionar que el análisis de los fondos dañados no ha podido ser llevado a cabo debido a las dificultades asociadas al acceso. Se ha inferido que algunos de estos fondos podrían haber sufrido roturas, lo cual se ha deducido a partir de indicios como un vaciado rápido o sonidos anómalos al golpearlos. Se ha determinado que, aunque estas conclusiones se basan en observaciones indirectas, se consideran relativamente confiables debido a su historial de efectividad en revelar posibles daños en situaciones similares. En el pasado, estudios de esta naturaleza han sido la base para identificar problemas y orientar las reparaciones subsiguientes.

Por otro lado, en la zona de la granja y en las áreas destinadas a las plantaciones de "Trees for Children", se puede observar un conjunto de tanques de recolección de 10000 litros de volumen que se encuentran almacenados en diversas naves. Esto se debe a un uso intermitente dependiendo de la temporada en la que nos encontremos y las necesidades requeridas. Sin embargo, es importante resaltar que estos tanques no solamente se emplean para recolección y almacenamiento de aguas de lluvia, sino que tienen un papel esencial en el sistema de riego. El proceso implica que el agua, transportada mediante tuberías, llega hasta estos depósitos. En esta etapa, se lleva a cabo un proceso de enriquecimiento, en el cual el agua se mezcla cuidadosamente con fertilizantes y diversos compuestos de tratamiento. Esta mezcla resultante se emplea posteriormente para llevar a cabo el riego planificado de toda una hilera de plantaciones.

8.2 PRESAS DE ARENA

A lo largo del río que recorre la parte inferior de la aldea (Ilustración 12), existen dos presas de arena (Ilustración 51). Las presas de arena funcionan reteniendo el agua o materiales sueltos mediante una estructura construida con capas de arena y grava. Aunque no son tan robustas como las presas de hormigón o materiales compactados, pueden ser efectivas en situaciones temporales o cuando los materiales para construir presas convencionales no están fácilmente disponibles, como en este caso.



Ilustración 51 Presas de arena y río

En las inmediaciones del río se está produciendo el crecimiento de un barro característico de la zona. Este barro cuenta con grandes capacidades aislantes no permitiendo el filtrado del agua a capas más subterráneas. El hecho de que el agua no se esté filtrando, dificulta mucho la retención y el almacenamiento del agua que fluye por el río en las capas más profundas de las presas de arena, para así ser extraída por los pozos situados en las inmediaciones del río. Es más, lo que está provocando este fenómeno es que a pesar de que el agua se filtra ligeramente por la primera capa de arena situada en la superficie, una vez llega a la capa de barro, no la traspasa y se genera una corriente fluvial de forma subterránea que lleva el agua hasta puntos de aldeas vecinas a los que anteriormente no llegaba. Se desconoce el espesor

exacto de la capa de barro debido a la dureza de este, sin embargo, por diferentes excavaciones hechas en distintos puntos se sabe, que cuenta con más de 3 cm de profundidad.

En Ilustración 52, se observa también que debido al desmesurado crecimiento del barro, el río se ha visto mermado considerablemente, reduciéndose su cauce hasta prácticamente la mitad del original. Esta reducción del cauce causa que menos agua llegue a las presas de arena, debido a que el agua en vez de fluir por el cauce del río se estanca en los puntos en los que crece este barro. En esta imagen parece ser simplemente un camino, eso se debe a que la imagen ha sido tomada durante la estación seca del año.



Ilustración 52 Cauce del Río reducido a la mitad

8.3 EMBALSES

Durante el recorrido realizado, también se ha identificado que la aldea presenta problemas con el mantenimiento y uso de los embalses, como se ha mencionado anteriormente Nyumbani cuenta con 8 embalses en diferentes localizaciones. Sin embargo, durante la visita realizada, que fue solo un mes después de la época de lluvias, se observó que ninguno de ellos contaba ya con agua. Todos ellos tienen en común que no cuentan con ningún tipo de impermeabilización con respecto al suelo, por lo que el agua se filtra y no dura lo que

debería, esta afirmación se plantea tomando como referencia embalses situados en pueblos de la zona, en los que cuentan con agua durante todo el año. Como por ejemplo el embalse que suministra agua al poblado de Katangi situado a 30 kilómetros aproximadamente de la aldea. A continuación, se muestra una imagen satelital del nivel de agua del embalse durante el mes de septiembre, uno de los meses más duros del año en estos aspectos.



Ilustración 53 Embalse situado en Katangi

El problema ya no es solo la sequía que atraviesa Kenia, sino que también el uso del agua y las inversiones realizadas no están siendo mantenidas óptimamente. En el siguiente mapa Ilustración 54 se detalla la ubicación de todos los embalses:

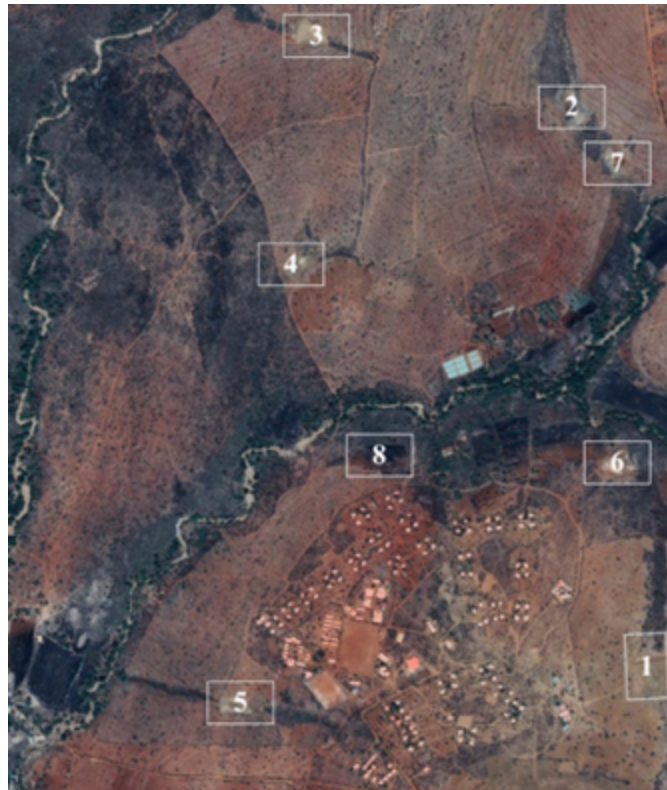


Ilustración 54 Mapa con embalses

Todos estos embalses fueron contruidos para uso únicamente de los habitantes de Nyumbani. Sin embargo, durante la visita a terreno en el mes de julio todos estos estaban ya vacíos.

8.4 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ACTUAL

Al revisar las instalaciones de los clústeres se han encontrado varios problemas a solucionar con la mayor urgencia posible. Hablando con las “shushus” (abuelo/a responsable de cada casa), se ha descubierto que todos los clústeres que están situados en la parte inferior de la aldea, es decir, según el mapa (Ilustración 8) del 14 al 21 incluyendo también el 18 y 19, sufren de escasez de agua por lo que tienen que hacer pequeños desplazamientos para llenar sus garrafas, teniendo que moverse hasta los clústeres 17 y 12 respectivamente. Esta escasez se debe a que cuando la válvula de agua se abre desde el depósito de alimentación, al estar

estos clústeres en la zona más alejada, el agua no llega hasta ellos, debido a que toda esta se queda en las instalaciones anteriores.

En campo se identificó como causa principal de este problema el mal dimensionamiento de la red. La red tiene un diseño inicial realizado para los primeros ocho clústeres, que desde entonces no se ha retocado, simplemente se ha prolongado el que se tenía. Esta es la principal causa de que las construcciones posteriores y sobre todo las que se encuentran en las zonas más alejadas no tengan acceso a agua.

Todas estas hipótesis se han visto corroboradas con los cálculos planteados anteriormente, en los que se observa que, para que el sistema funcione o se sitúa el tanque de distribución a una altura considerablemente mayor, o se instala una bomba para que la distribución se realice por bombeo y no por gravedad. Como última opción también se plantea diseñar un nuevo sistema de distribución que abastezca de agua a los clústeres situados en las cotas más bajas. Sin embargo, todo esto se analizará de manera más profunda en la parte de soluciones planteadas.

Comparando la Ilustración 11 con la Ilustración 46, se observa que el sistema actual es simplemente una prolongación de lo que se realizó en una primera instancia, es por esto por lo que es razonable que el agua en el momento de mayor demanda no llegue a los clústeres más lejanos al tanque como pueden ser el 19, el 18, el 14 y el 15.



Ilustración 55 Clústeres 14, 15, 18 y 19

9. POSIBLES SOLUCIONES

9.1 PRESAS DE ARENA

En el caso de las presas de arena en ríos que no almacenan agua, es fundamental explorar enfoques que aborden la problemática de la acumulación de sedimentos y la gestión óptima del flujo de agua. A continuación, se presentan algunas soluciones potenciales:

- Presas móviles: Se pueden considerar presas de estructura móvil que permitan ajustar y regular el flujo del río de acuerdo con las condiciones específicas. Esta flexibilidad evita la formación de presas de arena permanentes y mejora el control del flujo. Sin embargo, tienen un coste muy elevado, por encima de las posibilidades que tiene la aldea.
- Dragado y desviación de sedimentos: Implementar operaciones de dragado para eliminar sedimentos acumulados en el lecho del río. Las operaciones de dragado consisten en la retirada de los fondos tanto marinos como fluviales para su transporte y descarga en ubicaciones específicas, que en este caso podrían ser los embalses para impermeabilizarlos. También se puede optar por desviar los sedimentos hacia áreas adecuadas fuera del curso principal, evitando así la formación de presas de arena. Sin embargo, se trata de una actividad muy costosa, y de alcance limitado para el presupuesto de Nyumbani.
- Control de la erosión: Implementar medidas para prevenir la erosión del suelo en las áreas cercanas al río puede reducir la entrada de sedimentos al cauce y prevenir la formación de presas de arena. Estos sistemas incluyen, por ejemplo, plantaciones que cubran los márgenes del río. Entre las plantaciones destaca la denominada vegetación de ribera, que es la vegetación propia de los márgenes del río, algunos de sus ejemplares típicos son, por ejemplo, los álamos y los olmos como árboles, la hiedra común o el endrino como arbustos y por último como plantas herbáceas destacan el carrizo y el lirio amarillo.

- **Comprobación y limpieza periódica:** Es importante realizar monitorizaciones regulares del cauce del río para detectar a tiempo posibles acumulaciones de sedimentos. Llevar a cabo limpiezas periódicas en áreas propensas a la formación de presas de arena puede garantizar un flujo ininterrumpido del agua. Esta actividad se debe realizar al menos cada cambio de estación meteorológico, ya que teniendo en cuenta el clima en la aldea, son los momentos en los que se acumularán más sedimentos en el cauce del río. Durante la época seca del año debido a la alta acumulación de residuos que tiene la aldea, se debe de revisar el cauce del río una vez al mes recogiendo todos estos residuos. El trabajo importante se debe de desarrollar durante los periodos finales de las épocas de lluvia, donde se encontrarán todos los sedimentos arrastrados por el río. Se comenzará por retirar todos los residuos, basuras y escombros que se encuentren. Y posteriormente se procederá a cortar el césped y todos aquellos elementos que estén imposibilitando la circulación de agua, por último, en caso de que hubiese se retirarían los árboles caídos.

Se ha llegado a la conclusión de que la solución más adecuada para el caso en cuestión es una combinación de tres enfoques fundamentales: la comprobación y limpieza periódica, el manejo de la vegetación y la desviación de sedimentos. Estas actividades de mantenimiento son esenciales para mantener el cauce del río exclusivamente con arena, evitando la presencia de otras arcillas y vegetación, como se puede observar actualmente en la Ilustración 52.

La estrategia de comprobación y limpieza periódica permitirá detectar y abordar a tiempo la acumulación de sedimentos y la presencia de materiales no deseados en el cauce. De esta manera, se garantiza un flujo de agua más fluido y libre de obstrucciones que podrían generar presas de arena indeseadas. El manejo adecuado de la vegetación cercana al río contribuirá a mantener un entorno propicio para el paso del agua y evitará que ciertas especies vegetales contribuyan a la acumulación de sedimentos. Asimismo, la desviación de sedimentos hacia áreas apropiadas fuera del curso principal del río, por ejemplo, mediante el uso de trampas y/o filtros, minimizará la formación de presas de arena indeseadas y facilitará un flujo más controlado del agua.

La implementación conjunta de estas medidas de mantenimiento asegurará que el río mantenga su cauce principal compuesto principalmente por arena, promoviendo así un ambiente más saludable y funcional para el ecosistema fluvial.

9.2 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ACTUAL

Una solución para mejorar el sistema hidráulico es llevar a cabo un rediseño parcial de las ramificaciones del sistema. Esto implicaría la instalación de un nuevo depósito ubicado en la zona de los clústeres sin suministro.

El depósito de distribución en la parte más alta, en torno al clúster 21 y el Lawson staff. De esta manera, el depósito de distribución recogería toda el agua bombeada desde el embalse y luego la dejaría caer por gravedad a todos los clústeres. En los cálculos realizados, se ha visto que, para un tamaño de tubería de 10 cm de diámetro, sería suficiente con tener un desnivel de 7 m que es 1 m menos de la diferencia que hay entre el clúster 18 (1115 m) y el Lawson staff (1122). Quedando aún margen para posibles ampliaciones de la red en casos futuros.



Ilustración 56 Nueva distribución

Este enfoque busca optimizar el sistema hidráulico, asegurando una distribución más eficiente del agua almacenada y su acceso en los diferentes clústeres. Al mismo tiempo, se tiene en cuenta la ubicación geográfica y las condiciones específicas de la aldea para garantizar un suministro adecuado de agua en las áreas que lo requieran. Esta solución representa una mejora significativa en la gestión del recurso hídrico, lo que beneficiará a la comunidad en general y contribuirá a una utilización más eficiente y sostenible del agua disponible.

Otra de las soluciones es la implantación de una bomba. Analizando el mercado de los proveedores keniatas, se ha encontrado una bomba que satisface todas las necesidades, Dayliff DI 32 en cualquiera de sus variantes, una bomba que trabaja a 30 m³/h y entrega

entre 50 y 180 m de altura dependiendo de la variante elegida, como se puede ver en las curvas adjuntadas en Ilustración 57. Esta bomba tiene un coste aproximado de unos 300000KSH, al cambio actual 1912 €. Una cantidad que puede permitirse la aldea, para solucionar la situación de la forma más inmediata posible.[22]

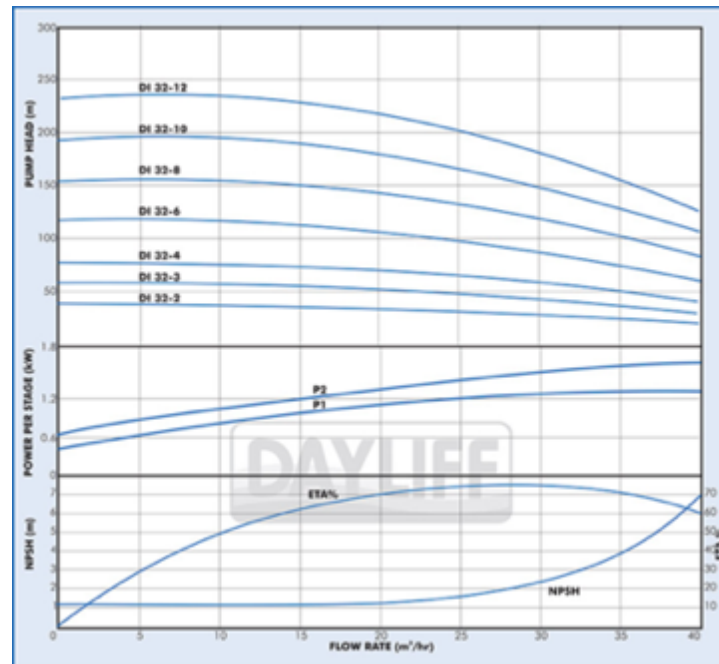


Ilustración 57 Curvas Dayliff DI 32

A pesar de ser ambas soluciones óptimas para el sistema, existen importantes limitaciones en el presupuesto para la instalación, por lo que en este caso resulta más importante el coste que lo que técnicamente es más correcto.

Por lo tanto, se considera que la mejor solución y la más inmediata para abordar este problema es la instalación de válvulas de cierre en todas las ramificaciones del sistema. Estas válvulas permitirán suministrar agua de manera aislada a las diferentes partes de la aldea. Con la debida explicación al encargado del agua, se puede implementar un sistema de distribución con apertura de grifos y válvulas de forma escalonada y planificada. Esto implicaría informar a todos los habitantes de la aldea sobre los horarios de apertura y cierre en sus respectivos clústeres, de manera que ningún residente tenga que realizar desplazamientos largos para acceder al agua. Se trata de una solución prácticamente gratis y que puede ser instalada con mucha inmediatez

9.3 EMBALSES

Si un embalse no está aislado adecuadamente y el agua se filtra en la arena, esto puede llevar a la pérdida de agua y afectar la conservación del recurso hídrico. Aquí hay algunas soluciones que se pueden plantear para abordar esta situación:

- **Revestimiento del embalse:** Una solución es revestir el fondo y las paredes del embalse con materiales impermeables, como geomembranas de polietileno de alta densidad, arcillas compactadas o hormigón impermeable. Esto evita que el agua se filtre a través del suelo y garantiza una mejor conservación del agua almacenada.
- **Compactación del suelo:** Otra opción es compactar el suelo del fondo del embalse para reducir la permeabilidad. Esta técnica implica la utilización de maquinaria pesada para compactar el suelo y disminuir la cantidad de espacios vacíos que permiten el paso del agua.
- **Construcción de pozos drenantes:** Si el problema de filtración es causado por la presencia de aguas subterráneas, se pueden instalar pozos drenantes alrededor del embalse para captar el agua que se infiltra y redirigirla lejos del embalse.
- **Diques de contención:** La construcción de diques alrededor del embalse puede ayudar a evitar que el agua se filtre hacia áreas no deseadas. Estos diques deben ser impermeables y asegurarse de que el agua se mantenga dentro del embalse.
- **Control de la vegetación:** La vegetación como las raíces de árboles y plantas pueden contribuir a la filtración del agua. El control y eliminación de la vegetación no deseada alrededor del embalse pueden reducir la cantidad de infiltración.
- **Mantenimiento y monitoreo:** Es fundamental realizar un mantenimiento regular y un monitoreo constante del embalse para identificar y abordar cualquier problema de filtración a tiempo. Esto incluye inspecciones periódicas, reparaciones y ajustes necesarios.
- **Utilizar tecnología de conservación del agua:** Se pueden implementar tecnologías más avanzadas para gestionar el agua de manera más eficiente, como sistemas de

captación de agua de lluvia, tecnologías de riego más eficientes y programas de conservación del agua en la región que rodea al embalse.

- Emplear los sedimentos retirados de los embalses de arena en la operación de dragado.

Dadas las particularidades geográficas de la localidad, las condiciones climáticas prevalecientes en el emplazamiento y la finalidad prevista para el agua almacenada, se estima que la opción óptima sería aplicar un revestimiento impermeable al embalse con el objetivo de prevenir la filtración de agua. Se ha evaluado que el costo estimado para este revestimiento oscilaría entre los 255 KES y los 455 KES el metro cuadrado dependiendo del grosor elegido, al cambio actual, esto son entre 1,60 y 2,90 €. A continuación, se muestra una tabla con las diferentes medidas de la superficie de los embalses y el coste que tendría revestirlos en €, tomando como precio medio 2,25€ :

<i>Embalse</i>	<i>Superficie en m²</i>	<i>Precio en €</i>
Embalse 1	9900	22.275 €
Embalse 2	9000	20.250 €
Embalse 3	4700	10.575 €
Embalse 4	7450	16.763 €
Embalse 5	8950	20.138 €
Embalse 6	6820	15.345 €
Embalse 7	5120	11.520 €
Embalse 8	8200	18.450 €
TOTAL	60140	135.316 €

Tabla 7 Cálculo precio revestimiento del embalse

A pesar de que la opción de revestir el embalse con un revestimiento impermeable implica un coste inicial considerable, se destaca que esta alternativa presenta una serie de ventajas significativas. En primer lugar, el revestimiento impermeable requiere menos mantenimiento en comparación con otras soluciones, lo que se traduce en un ahorro a largo plazo en gastos operativos y recursos humanos involucrados en el mantenimiento continuo.

Además, se prevé que el revestimiento impermeable proporcionará una mayor vida útil al embalse, debido a su capacidad para resistir la filtración de agua y minimizar el desgaste por factores ambientales y condiciones climáticas adversas. Esta durabilidad prolongada asegura una gestión sostenible y eficiente del recurso hídrico a lo largo de los años, lo cual es especialmente relevante en el contexto de una aldea o localidad con recursos limitados.

Por tanto, a pesar del desembolso inicial más elevado, la elección del revestimiento impermeable se considera una inversión prudente y de gran valor a largo plazo, ya que no solo garantiza la conservación efectiva del agua recolectada, sino que también reduce los gastos asociados al mantenimiento continuo y prolonga la vida útil del embalse en beneficio de la comunidad y las actividades que dependen de este recurso vital.

9.4 MANTENIMIENTO

El mantenimiento representa uno de los desafíos principales en la aldea, y su abordaje se ve complicado debido al orden y la forma de trabajar del país. Para abordar esta problemática, se sugiere una primera aproximación que consiste en establecer un presupuesto anual dedicado exclusivamente al mantenimiento de las instalaciones. Este presupuesto puede provenir de los recursos disponibles en la aldea o de las donaciones proporcionadas por diversas fundaciones. En lugar de enfocarse en la construcción de nuevas instalaciones, se priorizaría el mantenimiento general de las estructuras ya existentes.

Esta solución se ha alcanzado tras mantener conversaciones con Joseph, quien ha compartido su experiencia sobre la escasez de trabajo diario debido a la falta de presupuesto destinado al mantenimiento de las instalaciones. Esta carencia ha llevado a una situación de deterioro generalizado, como se ilustra en la Ilustración 50, donde se observa un tanque abandonado durante meses.

Cada uno de estos tanques tiene un coste de KSh81,600 de acuerdo con diferentes proveedores encontrados a través de la red, esa cantidad tal y como se encuentra el cambio hoy en día es 530€. Teniendo en cuenta la auditoría realizada de los elementos necesarios, como se ha mencionado anteriormente hay 2 de estos tanques que se encuentran averiados a simple vista por lo que el importe a pagar para solucionar este problema sería de aproximadamente 1060€.

Abordar el problema del mantenimiento requerirá un esfuerzo conjunto entre la comunidad local y posibles donantes externos. La asignación de recursos específicos para el

mantenimiento garantizará un funcionamiento adecuado y prolongado de las instalaciones, lo que contribuirá a mejorar la calidad de vida de la población y la eficiencia de los servicios proporcionados. Al trabajar en conjunto, es posible crear un entorno sostenible y responsable que permita superar este desafío y promueva una gestión más efectiva de las instalaciones de la aldea.

10. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos respaldan una teoría ampliamente aceptada en el contexto de este estudio. La carencia significativa de una distribución hidráulica fiable y sostenible en la aldea de Nyumbani en Kenia se origina principalmente en la persistente falta de mantenimiento que afecta al sistema hidráulico. Aunque las distintas instalaciones emprendidas por diversas entidades demuestran ser adecuadas para satisfacer los requisitos de suministro de agua establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la gestión y utilización eficiente de estas infraestructuras no se han realizado de manera óptima, lo que restringe enormemente su capacidad de proporcionar el máximo beneficio posible.

Las conclusiones fundamentales derivadas de este proyecto de investigación apuntan a una realidad ineludible: a pesar de la inversión sustancial en estructuras capaces de captar y suministrar agua desde diversas ubicaciones dentro de la aldea, se ha subestimado un eslabón crucial en la cadena, a saber, el mantenimiento. Esta omisión en el mantenimiento ha provocado el deterioro y el eventual abandono de muchas de las instalaciones previamente establecidas, dando como resultado la reducción del sistema a una escala considerablemente menor. En consecuencia, durante los meses secos del año, el sistema hidráulico enfrenta dificultades considerables para proporcionar un suministro adecuado de agua a la aldea de Nyumbani.

Además de un sistema que se encuentra anticuado e infradimensionado, ya que ni su diseño inicial tuvo en cuenta el potencial crecimiento de la aldea, ya que el sistema en 2006 fue simplemente diseñado para 8 clúster, siendo en la actualidad 25, más las diferentes construcciones de instalaciones realizadas en este periodo. Ni la posterior prolongación del sistema inicial se ha hecho acorde a las necesidades de la población y la situación topográfica.

Con el fin de abordar de manera efectiva los desafíos identificados en el sistema hidráulico de la aldea de Nyumbani, se han propuesto soluciones pertinentes que consideran

cuidadosamente la necesidad de minimizar los gastos mientras se optimiza la instalación existente. Estas soluciones se centran en realizar ajustes precisos para mejorar al máximo la funcionalidad del sistema actual. Entre las soluciones planteadas, algunas se centran en medidas aparentemente simples pero esenciales, como la aplicación de una capa impermeable en los embalses. Esta acción puede tener un impacto significativo al reducir la pérdida de agua debido a la evaporación, lo que a su vez contribuye a un uso más eficiente y sostenible del recurso hídrico disponible.

A partir de ahora, los trabajos deberían considerar una posible previsión de crecimiento para desarrollar el sistema hidráulico hacia nuevas construcciones. Se deben de plantear todos los cambios antes de tener una financiación, con un plan de acción priorizando todo aquello que sea más beneficioso para la aldea, o que haya que solucionar de manera más urgente. De acuerdo con los cálculos planteados en el proyecto, un primer punto de partida es el rediseño de la distribución del sistema, y posteriormente una posible solución planteada en este trabajo es la implementación de un nuevo sistema aislado que suministre a los clústeres actualmente damnificados.

Mientras se consigue financiación para desarrollar dicho sistema se debe instruir a el encargado de la apertura del agua para que realice una apertura estratégica del agua cerrando algunas válvulas y abriendo otras de manera alternativa para suministrar por periodos a las diferentes partes de la aldea. En todas las ramificaciones que salen de una rama principal se deben de instalar válvulas para controlar el flujo hacia todos los emplazamientos y así regularlo. El sistema se debe de operar de la siguiente manera: se debe primero establecer una tabla de horarios de apertura y cierre para cada uno de los clústeres que siga un esquema dependiendo de su ubicación. En el caso de que por ejemplo se quiera suministrar agua a los clústeres 17,16, 15 y 18, se han de cerrar la válvula de corte que conecta con el clúster 7, la que conecta con el clúster 1 y las casas de staff, así como la válvula situada en la rama del clúster 24 y por último la que conecta con el instituto Lawson. Dejando así un único posible para el fluido que es el que se dirige a los clústeres con el suministro abierto. Y así para cada una de las subdivisiones del sistema que se diseñen. Cada una de las subdivisiones debe de contar como máximo con 4 clústeres, para reducir al máximo la posibilidad de fallo.

En resumen, el presente trabajo de fin de grado sobre el estudio del sistema hidráulico en la aldea de Nyumbani, Kenia, muestra las infraestructuras hidráulicas instaladas. Aunque se han implementado instalaciones muchas de ellas no son adecuadas para garantizar el suministro de agua necesario. Muchas de las instalaciones realizadas se han implementado sin tener en cuenta los demás elementos del sistema y tampoco se ha previsto la capacidad de ampliación de la aldea. Este estudio subraya la necesidad de una administración más cuidadosa y sistemática de los recursos hidráulicos, destacando que una inversión continua en mantenimiento además de un plan de acción en el tiempo, son esenciales para asegurar un sistema hidráulico confiable y funcional que satisfaga las necesidades de la comunidad a lo largo del tiempo.

11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Kenia: Economía y demografía 2023 | Datosmacro.com». <https://datosmacro.expansion.com/paises/kenia> (accedido 10 de septiembre de 2023).
- [2] E. de Antonio, «¿Cómo es la economía de Kenia?», *Karibu Kenia*, 26 de enero de 2021. <https://karibukenia.es/2021/01/26/como-es-la-economia-en-kenia/> (accedido 10 de septiembre de 2023).
- [3] «Data tables and charts monthly and yearly climate conditions in Nairobi Kenya.» <https://hikersbay.com/climate-conditions/kenya/nairobi/climate-conditions-in-nairobi.html?lang=en> (accedido 10 de septiembre de 2023).
- [4] ines jaureguialzo, «El agua dulce y su ecosistema», *Peñaclara - Naturaleza viva*, 30 de agosto de 2022. <https://penaclara.es/agua-dulce/> (accedido 10 de septiembre de 2023).
- [5] «Informe 2012». https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/06_agua/cap6_2.html (accedido 10 de septiembre de 2023).
- [6] «Los asentamientos informales de Kenia necesitan agua potable para sobrevivir a la COVID-19», *OHCHR*. <https://www.ohchr.org/es/stories/2020/04/kenyas-informal-settlements-need-safe-water-survive-covid-19> (accedido 10 de septiembre de 2023).
- [7] «Suministro de agua en Kenia: Problemas y desafíos en la gestión de un recurso natural limitado | Navarra Center for International Development». <https://ncid.unav.edu/es/actualidad/suministro-de-agua-en-kenia-problemas-y-desaf%C3%ADos-en-la-gesti%C3%B3n-de-un-recurso-natural> (accedido 10 de septiembre de 2023).
- [8] M. J. Gamez, «Objetivos y metas de desarrollo sostenible», *Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

(accedido 10 de septiembre de 2023).

[9] «Agua: Panorama general», *World Bank*.
<https://www.bancomundial.org/es/topic/water/overview> (accedido 10 de septiembre de 2023).

[10] «Agua para consumo humano». <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water> (accedido 10 de septiembre de 2023).

[11] «tiposredes.pdf». Accedido: 10 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en:
<https://cidta.usal.es/cursos/redes/modulos/libros/unidad%202/tiposredes.PDF>

[12] «Densidad del agua - Química | Química Inorganica».
<https://www.fullquimica.com/2012/04/densidad-del-agua.html> (accedido 10 de septiembre de 2023).

[13] «viscoh2o.pdf». Accedido: 10 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en:
https://www.vaxasoftware.com/doc_edu/qui/viscoh2o.pdf

[14] «Rugosidad Absoluta Materiales Tuberías | PDF», *Scribd*.
<https://es.scribd.com/document/371596666/Rugosidad-Absoluta-Materiales-Tuberias>
(accedido 10 de septiembre de 2023).

[15] «PRESSMAN-Pérdida-de-Carga-en-Tuberías.pdf». Accedido: 10 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.eepm.es/wp-content/uploads/2018/04/PRESSMAN-Pe%CC%81rdida-de-Carga-en-Tuberi%CC%81as.pdf>

[16] «Dayliff DSD 8 Submersible Borehole Pump - Davis & Shirliff Group».
<https://www.davisandshirliff.com/water-pumps/product/dsd-8> (accedido 10 de septiembre de 2023).

[17] «DS 17/20 - Dayliff | Great Pumps, Great Value».
<https://www.dayliff.com/circulator-pumps/product/990-ds-17-20> (accedido 10 de

septiembre de 2023).

[18] «SP 8A-37». <https://product-selection.grundfos.com/es/products/sp-sp-g/sp/sp-8a-37-11800037> (accedido 10 de septiembre de 2023).

[19] «Electrobombas sumergidas de 4" 4SR-F | Pedrollo Spa». <https://www.pedrollo.com/es/4sr-f-electrobombas-sumergidas-de-4/355> (accedido 10 de septiembre de 2023).

[20] «CR 10-16 A-FJ-A-E-HQQE - 96501222 | Grundfos». <https://product-selection.grundfos.com/es/products/cr-cre-cri-crie-crn-crne-crt-crte/cr/cr-10-16-96501222?tab=variant-curves> (accedido 10 de septiembre de 2023).

[21] «DccDBHS.pdf». Accedido: 10 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.cgate.es/hit/Hit2015-1/DccDBHS.pdf>

[22] «Dayliff DI/DIN32 Vertical Multistage Centrifugal Pumps - Davis & Shirtliff Group». <https://www.davisandshirtliff.com/water-pumps/product/di-din32> (accedido 10 de septiembre de 2023).