



ICAI

# MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

## ESTUDIO DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS DE BOMBAS DE AGUA PARA SU USO Y MANTENIMIENTO EN NIKKI, BENÍN

Autor: Antonio García Hoyos

Director: Daniel Alfaro Posada

Madrid

Agosto 2024



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

ICAI

ICADE

CIHS

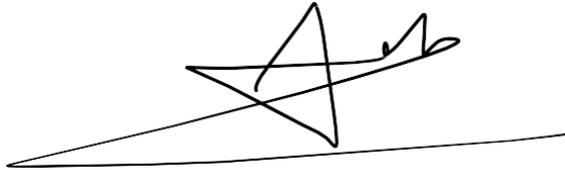
Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título Estudio de los componentes mecánicos de bombas de agua para su uso y mantenimiento en Nikki, Benín

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2023-2024 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

Fdo.: Antonio García Hoyos

Fecha: 27/08/2024



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Daniel Alfaro Posada

Fecha: 27/08/2024



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

ICAI

ICADE

CIHS



# MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

## ESTUDIO DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS DE BOMBAS DE AGUA PARA SU USO Y MANTENIMIENTO EN NIKKI, BENÍN

Autor: Antonio García Hoyos

Director: Daniel Alfaro Posada

Madrid

Agosto 2024



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

ICAI

ICADE

CIHS

## **ESTUDIO DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS DE BOMBAS DE AGUA PARA SU USO Y MANTENIMIENTO EN NIKKI, BENÍN**

**Autor: García Hoyos, Antonio.**

Director: Alfaro Posada, Daniel.

Entidad Colaboradora: OAN International

### **RESUMEN DEL PROYECTO**

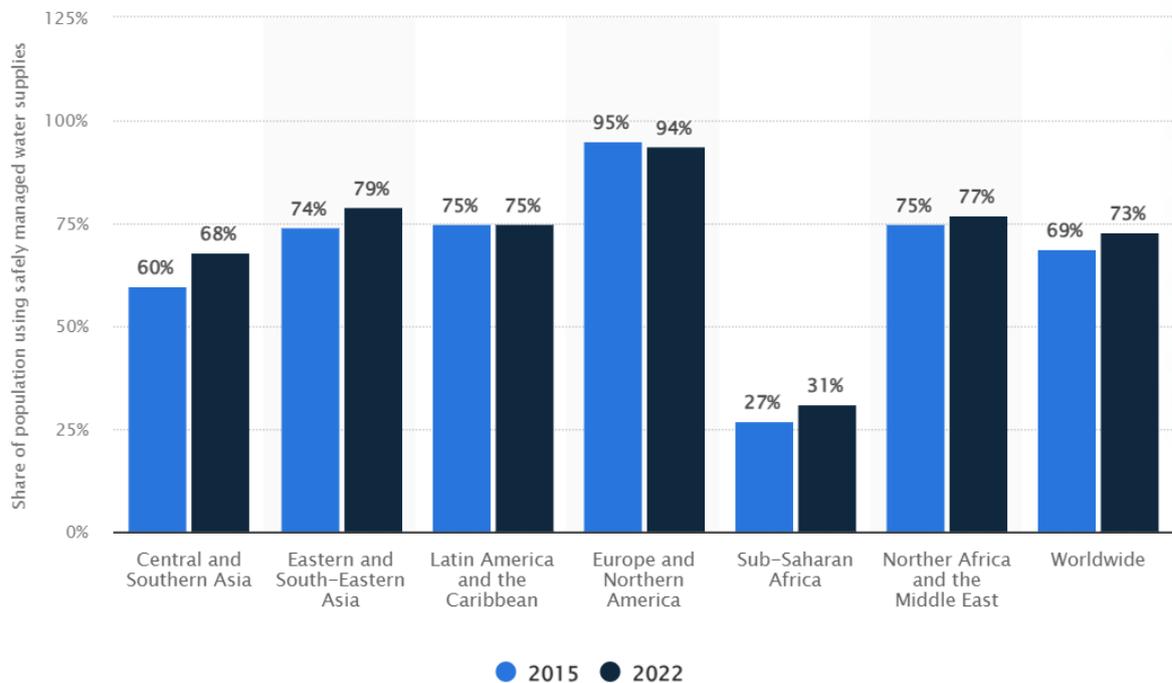
El proyecto consiste en mejorar el mantenimiento, eficiencia y durabilidad de las bombas de agua, encargadas de hacer llegar el agua a diferentes regiones del norte de Benín. Para ello, este trabajo pretende el desarrollo de modelos de predicción de rotura de estas bombas y el despiece de las mismas, para poder prevenir su rotura y dotar de capacidad para su reemplazamiento llegado el momento, evitándose, así, que defectos de una pieza pueda comprometer el funcionamiento del resto.

**Palabras clave:** Bomba de agua, mantenimiento, agua potable, reparador, impulsión, rotura, Vergnet, India Mark, Afridev y OAN International

### **1. Introducción**

El presente proyecto se enmarca en el contexto de colaboración con la ONG, OAN International, la cual trabaja en la zona norte de Benín, concretamente en la región de Nikki, una de las zonas más rurales y con menos recursos económicos del país. Sin embargo, sus implicaciones tienen una dimensión mayor, ya que, estas influyen al desarrollo humano, la salud y la economía de una región extremadamente pobre de África. Por ello, el análisis ahondará en la situación actual de la región de Nikki, señalando las deficiencias de su sistema y focalizándose en dar cobertura en aquellos aspectos que puedan generar valor.

La distribución de recursos hídricos a lo largo del planeta dista mucho de ser equitativa, provocando que en muchos lugares su escasez o mala calidad sean uno de los principales problemas. En la siguiente figura se presentan las disparidades existentes entre los diferentes continentes en el acceso a agua potable segura.



*% de población con acceso a agua potable segura. Fuente: Statista*

Como se observa en la gráfica el África subsahariana es con diferencia la región del mundo en la que el acceso a agua potable por habitante es la menor. Estos datos son alarmantes, ya que el acceso a agua potable debería de constituir un derecho fundamental para cualquier habitante del planeta, independientemente de su lugar de nacimiento o residencia.

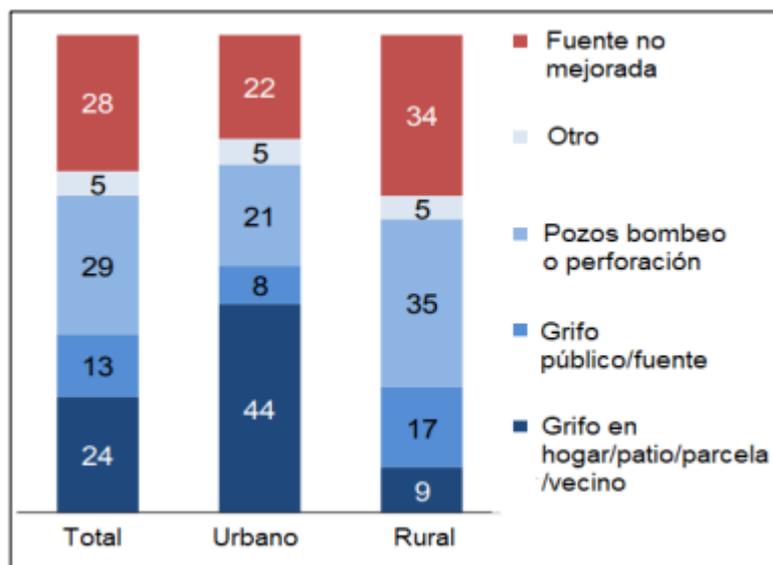
Por otro lado, la desigualdad se encruce aún más cuando realizamos la comparación entre zonas rurales y urbanas, teniendo un 96% de las zonas urbanas acceso a agua potable, frente al 78% de las zonas rurales. Estas cifras son aún peores en términos de saneamiento, ya que en medios urbanos un 76% presenta cobertura, mientras que en medios rurales solo el 45% (Jiménez & Marín, 2011).

Para poder llegar a entender las razones que justifican esta situación, hay que explicar que, a principios del siglo XXI, una gran parte de los países en desarrollo, entre ellos Benín, decidieron descentralizar las tareas de gestión y mantenimiento de los servicios de agua y saneamiento en las zonas rurales, por la incapacidad de poder hacer frente a las particularidades y necesidades específicas de cada región. Todo ello, condujo a que esta

responsabilidad recayera en gente local, en muchas ocasiones carente de los conocimientos y recursos necesarios para llevar a cabo esta labor (Jiménez & Marín, 2011).

Esta falta de políticas bien definidas, confuso reparto de responsabilidades entre los participantes y, principalmente, la poca intencionalidad de querer revertir y cambiar las cosas, condujo a que, en un corto espacio de tiempo, un número elevado de regiones del medio rural dejaran de funcionar correctamente, impidiendo el aumento de coberturas y confirmando el sistema actual de autogestión, como un sistema fallido.

Además, el crecimiento exponencial de la población repercute directamente en las necesidades hídricas de África. Un estudio del año 2018 efectuado por el Ministerio de Planificación y desarrollo, indicaba que solo el 71% de los hogares en Benín consumía agua procedente de fuentes mejoradas, entendiéndose como fuentes mejoradas, pozos de bombeo, grifos o fuentes públicas y grifos en hogar. De las fuentes mejoradas, la alternativa más empleada eran las fuentes de bombeo con un 44% (Ministerio de Planificación y Desarrollo de Benín, 2018).



*Distribución de fuentes de agua en Benín (Ministerio de Planificación y Desarrollo de Benín, 2018)*

A pesar de ser el acceso al agua un derecho humano, en Nikki desgraciadamente muchas veces este no se cumple. Desde OAN trabajan en la búsqueda de soluciones innovadoras que

faciliten el acceso al agua y mejoren los servicios de recolección, almacenamiento y saneamiento del agua. Entre los proyectos de acceso al agua destacan:

- **Bombas EMAS:** Colaboran con la ONG Tadeh en la formación de técnicos locales en la fabricación de tecnologías destinadas a la recolección y almacenamiento de agua.
- **ASEP:** Iniciativa enfocada en favorecer el acceso a agua potable mediante la mejora en el mantenimiento preventivo de los sistemas de bombeo de agua, a través de la aplicación AGUAPP, que facilita la monitorización y gestión de las averías.

Este último proyecto es en el que yo he colaborado y del cual nace este TFM. Más adelante se profundizará en él, explicándose las cuestiones que se han ido haciendo y presentando la situación actual del proyecto.

## **2. Metodología**

Como en cualquier otro trabajo de investigación, la metodología permite establecer la delimitación de herramientas y enfoque que se le quiere dar al trabajo. Además, permite definir el método a través del cual se va a profundizar en los objetivos del trabajo.

En el caso de este TFM se ha decidido emplear un enfoque dual, en el que se combinará una parte más de estudio y análisis del estado de la cuestión, profundizando en material ya existente, con una parte más de análisis, en la que se intentará dar respuesta a alguno de los problemas en cuanto al mantenimiento de bombas en Nikki, complementando la información, ya existente.

Por un lado, para el estudio del estado de la cuestión, se hará hincapié en el Manual de mantenimiento del Gobierno de Benín del año 2008, intentando encontrar aquellas carencias más significativas, que permitan ajustar las necesidades de la guía de mantenimiento que aquí se quiere producir. Además, se profundizará en el proyecto de ASEP de OAN, mostrando las necesidades de la comunidad de Nikki, así como las dificultades que están experimentando y como este TFM puede ser de ayuda para sus próximos proyectos.

Por otro lado, se recurrirá también, a una parte más de análisis de problema-situación en la que se profundizará a nivel más técnico la forma en la que se puede llevar a cabo el mantenimiento de las bombas, recogiendo sus problemas más comunes y como repararlos, fijando vidas útiles de piezas y estableciendo unos criterios y tiempos de mantenimiento. Este conjunto de información será la que conformará la nueva guía de mantenimiento.

Por último, se establecerá un presupuesto aproximado de lo que cuesta llevar a cabo el mantenimiento de toda esta infraestructura, garantizando su sostenibilidad en el tiempo. El objetivo final es que este presupuesto sirva como referencia para que las autoridades locales y los donantes puedan destinar los recursos económicos necesarios para su mantenimiento, asegurando así un suministro continuo y de calidad de agua potable para la comunidad.

Los objetivos del proyecto de manera resumida son:

1. Renovar la guía de mantenimiento de bombas de agua del Gobierno de Benín
2. Estudiar el funcionamiento y piezas de los principales modelos de bombas de agua con presencia en Nikki
3. Analizar la vida útil de los componentes de los modelos de bombas de agua, al igual que la interdependencia entre las piezas y los posibles impactos de las roturas en su vida útil
4. Modelar las posibles roturas de cada modelo de bomba y las piezas afectadas
5. Crear un presupuesto aproximado para el mantenimiento y renovación de bombas

### **3. Resultados**

Durante el trabajo se ha producido la siguiente información, para cada modelo de las 3 principales marcas de bombas con presencia en Benín:

- Descripción, características y funcionamiento de las bombas.
- Causas del mal funcionamiento de las bombas y sus correspondientes soluciones.
- Vida útil de las piezas de cada uno de los modelos.
- Pasos para un correcto mantenimiento y la frecuencia de este.
- Presupuesto necesario para hacer frente al mantenimiento.

La mayor parte de esta información se encuentra contenida a lo largo del trabajo o anexos, aquí únicamente se ha incluido una tabla resumen con el presupuesto:

	<b>Máx a recaudar</b>	<b>Mín a recaudar</b>
Tarifa del agua (CFA)	1.518.901.875	300.030.000
Coste anual (CFA)	139.770.782	139.770.782
<b>% a destinar mantenimiento</b>	<b>9,2%</b>	<b>46,6%</b>

*Tabla resumen del presupuesto de mantenimiento. Fuente: Creación propia*

#### **4. Conclusiones**

Durante el trabajo ha quedado patente la situación precaria en la que viven en Benín, y más concretamente en la Comuna de Nikki, mayormente rural. Esta precariedad, unida al desconocimiento generalizado, hace que aspectos como el mantenimiento de las bombas, vitales para la vida y desarrollo de la comunidad, se descuiden, provocando que estas no funcionen correctamente.

Por ello, este trabajo ha incidido fuertemente en la importancia del mantenimiento preventivo, como herramienta para atajar este problema. Este mantenimiento preventivo no solo se refiere a la reparación y cuidado de la bomba, sino que va más allá, ya que requiere de la involucración de la población y autoridades, a los cuales hay que convencer de que la sustitución de una bomba no debe ser la consecuencia de su estropeo, sino que la consecuencia de su sustitución deber ser el cumplimiento de su vida útil operativa. Por tanto, invertir dinero en una bomba que funciona correctamente no ha de ser visto como un desperdicio de recursos, sino una inversión para un ahorro futuro.

Además, durante el estudio económico se ha dejado patente que el mantenimiento se autofinancia, a través de las tarifas por consumo de agua, por lo que no requiere de una salida extra de capital.

Por último, la guía de mantenimiento debería ser un “documento vivo”, es decir, que debería actualizarse periódicamente, de forma que la información que se vaya obteniendo en Nikki complete, corrija o adapte la aquí recogida.

## 5. Referencias

- Pérez-Foguet, A., & Jiménez, A. (2011). *El agua como elemento clave para el desarrollo*. Canal Educa.
- Baumann, E., & Furey, S. (2013). *How Three Handpumps Revolutionised Rural Water Supplies*. RWSN.
- DINEPA. (2013). *Principios básicos de diferentes dispositivos volumétricos*.
- Ministère de l’Energie et de l’Eau, République du Bénin. (2008). *Guide à l’usage des communes* .
- Ministerio de Planificación y Desarrollo de Benín. (2018). *Cinquième Enquête Démographique*.
- OAN International. (2022). *Estado de Proyecto: ASEP-AGUAPP*.



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

ICAI

ICADE

CIHS

## **STUDY OF THE MECHANICAL COMPONENTS OF WATER PUMPS FOR USE AND MAINTENANCE IN NIKKI, BENIN**

**Author: García Hoyos, Antonio.**

Supervisor: Alfaro Posada, Daniel.

Collaborating Entity: OAN International

### **ABSTRACT**

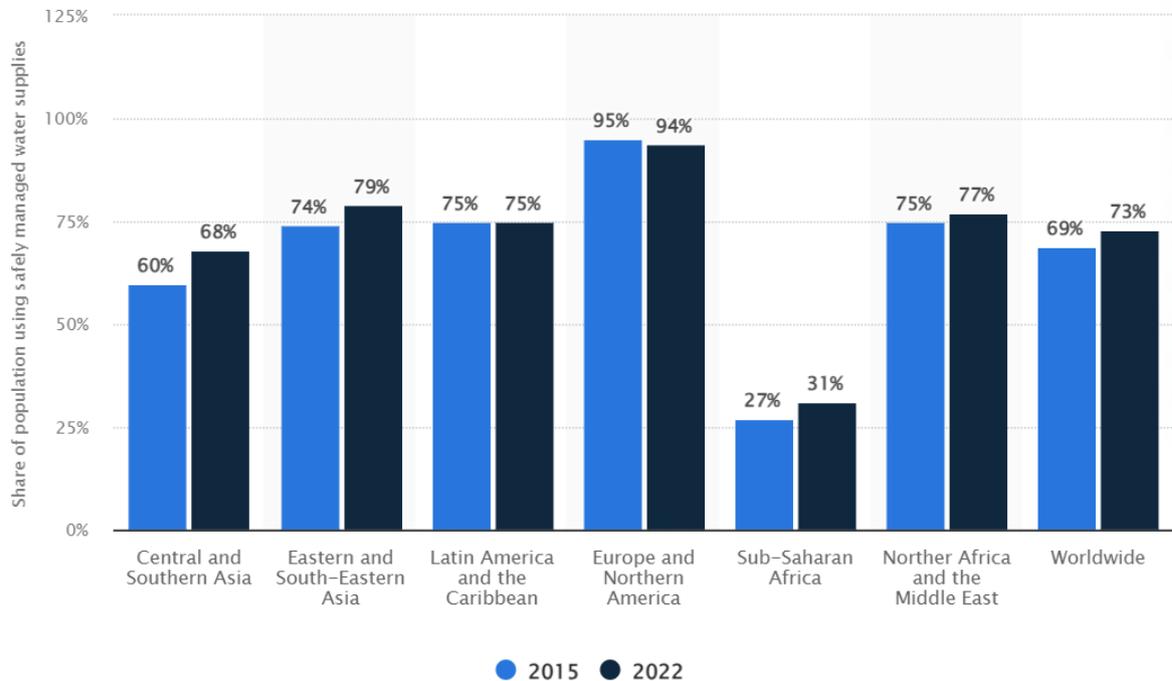
The project consists of improving the maintenance, efficiency and durability of the water pumps that deliver water to different regions in the north of Benin. To this end, this work aims to develop models for predicting the breakage of these pumps and their disassembly, in order to prevent their breakage and provide the capacity to replace them when the time comes, thus preventing defects in one part from compromising the operation of the rest.

**Keywords:** Water pump, maintenance, drinking water, repairer, drive, breakage, Vergnet, India Mark, Afridev, OAN International.

### **1. Introduction**

This project is framed in the context of collaboration with the NGO, OAN International, which works in the northern part of Benin, specifically in the Nikki region, one of the most rural and economically disadvantaged areas of the country. However, its implications have a wider dimension, as it influences human development, health and the economy of an extremely poor region of Africa. Therefore, the analysis will delve into the current situation in the Nikki region, pointing out the shortcomings of its system and focusing on covering those aspects that can generate value.

The distribution of water resources across the globe is far from equitable, making scarcity or poor quality a major problem in many places. The figure below shows the disparities in access to safe drinking water between continents.



*% of population with access to safe drinking water. Source: Statista*

As can be seen in the graph, Sub-Saharan Africa is by far the region of the world with the lowest per capita access to safe drinking water. These data are alarming, as access to drinking water should be a fundamental right for every inhabitant of the planet, regardless of their place of birth or residence.

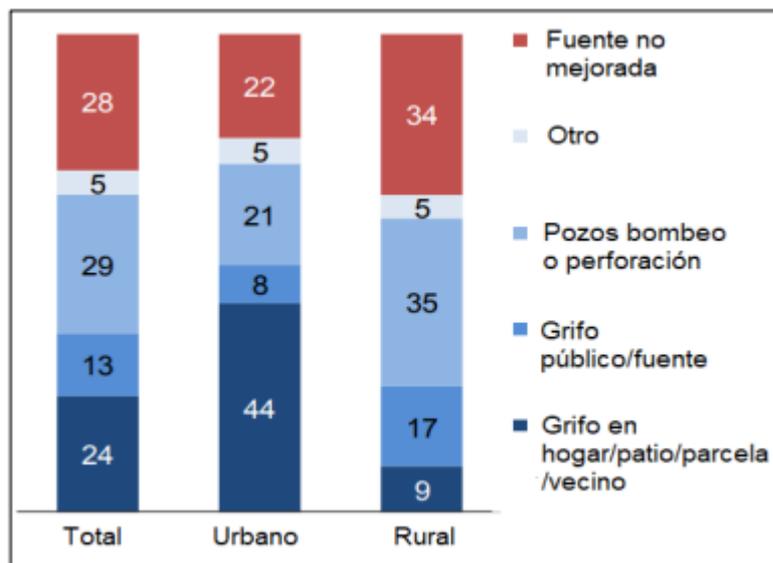
On the other hand, inequality becomes even more acute when we compare rural and urban areas, with 96% of urban areas having access to safe drinking water, compared to 78% of rural areas. These figures are even worse in terms of sanitation, with 76% of urban areas having coverage, while in rural areas only 45% (Jiménez & Marín, 2011).

In order to understand the reasons for this situation, it must be explained that, at the beginning of the 21st century, a large number of developing countries, including Benin, decided to decentralize the management and maintenance of water and sanitation services in rural areas, due to the inability to meet the particularities and specific needs of each region.

This led to this responsibility falling on local people, who often lacked the necessary knowledge and resources to carry out this work (Jiménez & Marín, 2011).

This lack of well-defined policies, confusing distribution of responsibilities among the participants and, above all, the lack of intentionality to reverse and change things, led to the fact that, in a short space of time, a large number of rural regions ceased to function properly, preventing an increase in coverage and confirming the current system of self-management as a failed system.

In addition, exponential population growth has a direct impact on Africa's water needs. A 2018 study by the Ministry of Planning and Development indicated that only 71% of households in Benin consumed water from improved sources, with improved sources being understood as pumped wells, public taps or fountains and household taps. Of the improved sources, the most commonly used alternative was pumped wells at 44% (Benin Ministry of Planning and Development, 2018).



*Distribution of water sources in Benin (Benin's Ministry of Planning and Development, 2018)*

Although access to water is a human right, in Nikki it is unfortunately often not fulfilled. OAN works to find innovative solutions that facilitate access to water and improve water

collection, storage and sanitation services. Among the water access projects, the following stand out:

- EMAS pumps: They collaborate with the NGO Tadeh in the training of local technicians in the manufacture of technologies for water collection and storage.
- ASEP: Initiative focused on favoring access to drinking water by improving the preventive maintenance of water pumping systems, through the AGUAPP application, which facilitates the monitoring and management of breakdowns.

This last project is the one in which I have collaborated and from which this thesis is born. Later, we will go into it in more depth, explaining the questions that have been asked and presenting the current situation of the project.

## **2. Project definition**

As in any other research work, the methodology makes it possible to establish the delimitation of the tools and the approach to be given to the work. It also allows us to define the method through which we are going to go deeper into the objectives of the work.

In the case of this TFM, it has been decided to use a dual approach, in which a part of the study and analysis of the state of the question will be combined with a more analytical part, in which an attempt will be made to respond to some of the problems regarding the maintenance of pumps in Nikki, complementing the existing information.

On the one hand, for the study of the state of the question, emphasis will be placed on the 2008 Benin's Government Maintenance Manual, trying to find the most significant shortcomings, which will allow us to adjust the needs of the maintenance guide that we want to produce here. In addition, the ASEP project of OAN will be studied in depth, showing the needs of the Nikki community, as well as the difficulties they are experiencing and how this thesis can be of help for their next projects.

On the other hand, there will also be a more problem-situation analysis part in which the way in which pump maintenance can be carried out will be explored at a more technical level, including the most common problems and how to repair them, establishing the useful

life of parts and establishing maintenance criteria and times. This set of information will make up the new maintenance guide.

Finally, an approximate budget will be established for the cost of carrying out the maintenance of all this infrastructure, guaranteeing its sustainability over time. The final objective is that this budget will serve as a reference so that local authorities and donors can allocate the necessary economic resources for its maintenance, thus ensuring a continuous and quality supply of drinking water for the community.

The objectives of the project in brief are:

- To renew the Benin Government's water pump maintenance guide.
- To study the operation and parts of the main models of water pumps present in Nikki.
- To analyse the service life of the components of the water pump models, as well as the interdependence between the parts and the possible impacts of breakages on their service life.
- To model the possible breakages of each pump model and the parts affected.
- Create a rough budget for pump maintenance and refurbishment

### **3. Results**

The following information has been produced during the study, for each model of the 3 main brands of pumps with a presence in Benin:

- Description, characteristics and operation of the pumps.
- Causes of pump malfunctioning and their corresponding solutions.
- Useful life of the parts for each model.
- Steps for correct maintenance and the frequency of maintenance.
- Budget needed to deal with maintenance.

Most of this information is contained throughout the work or annexes, only a summary table with the budget will be included here:

	<b>Máx to collect</b>	<b>Mín to collect</b>
Water fee (CFA)	1.518.901.875	300.030.000
Annual Cost (CFA)	139.770.782	139.770.782
<b>% to be allocated to maintenance</b>	<b>9,2%</b>	<b>46,6%</b>

*Maintenance budget summary table. Source: Own creation*

#### 4. Conclusions

During the work, the precarious situation in which they live in Benin, and more specifically in the largely rural Commune of Nikki, became evident. This precariousness, together with a general lack of knowledge, means that aspects such as the maintenance of pumps, which are vital for the life and development of the community, are neglected, causing them to malfunction.

For this reason, this work has strongly emphasized the importance of preventive maintenance as a tool to tackle this problem. This preventive maintenance does not only refer to the repair and care of the pump, but goes beyond this, as it requires the involvement of the population and authorities, who must be convinced that the replacement of a pump should not be the consequence of its breakdown, but rather that the consequence of its replacement should be the fulfilment of its useful operational life. Therefore, investing money in a well-functioning pump should not be seen as a waste of resources, but as an investment for future savings.

Furthermore, it has been made clear during the course of the project that maintenance is self-financing, through water charges, and therefore does not require any extra capital outlay.

Finally, the maintenance guide should be a 'living document', i.e. it should be updated periodically, so that the information obtained in Nikki complements, corrects or adapts the information provided here.

#### 5. References

- Pérez-Foguet, A., & Jiménez, A. (2011). *El agua como elemento clave para el desarrollo*. Canal Educa.

- Baumann, E., & Furey, S. (2013). *How Three Handpumps Revolutionised Rural Water Supplies*. RWSN.
- DINEPA. (2013). *Principios básicos de diferentes dispositivos volumétricos*.
- Ministère de l’Energie et de l’Eau, République du Bénin. (2008). *Guide à l’usage des communes*.
- Ministerio de Planificación y Desarrollo de Benín. (2018). *Cinquième Enquête Démographique*.
- OAN International. (2022). *Estado de Proyecto: ASEP-AGUAPP*.



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

ICAI

ICADE

CIHS

## *Índice de la memoria*

<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1. Aprendizaje y servicio.....	1
1.2. Motivación del proyecto.....	1
1.3. Objetivos del trabajo .....	15
1.4. Metodología.....	16
<b>Capítulo 2. Estado de la cuestión.....</b>	<b>19</b>
2.1. Guía de mantenimiento para municipios.....	19
2.2. OAN: Proyecto ASEP .....	26
<b>Capítulo 3. Bombas manuales empleadas en proyectos de cooperación para el desarrollo 35</b>	
3.1. Evolución histórica de las bombas de agua.....	35
3.2. Tipos de bombas manuales más comunes.....	37
3.3. Bombas manuales en Benín .....	42
<b>Capítulo 4. Análisis de las bombas con presencia en Nikki.....</b>	<b>45</b>
4.1. Vergnet.....	45
4.2. India Mark.....	52
4.3. Afridev .....	57
<b>Capítulo 5. Guía de mantenimiento de las bombas con presencia en Nikki.....</b>	<b>61</b>
5.1. Despiece y vida útil por modelo de bomba .....	61
5.2. Plan de mantenimiento .....	68
5.3. Posibles fallos de funcionamiento, causas y soluciones.....	77
5.4. Ficha de mantenimiento .....	97
<b>Capítulo 6. Presupuesto del mantenimiento preventivo en Nikki.....</b>	<b>99</b>
6.1. Introducción.....	99
6.2. Fondos necesarios para la financiación .....	101
6.3. Fuentes de financiación.....	107
6.4. Resumen .....	108
<b>Capítulo 7. Conclusiones y líneas futuras de investigación.....</b>	<b>109</b>
7.1. Conclusiones .....	109
7.2. Líneas futuras de investigación .....	110
<b>Bibliografía 113</b>	



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

ICAI

ICADE

CIHS

## *Índice de figuras*

Figura 1. % de población con acceso a agua potable segura. Fuente: Statista .....	2
Figura 2. Relación entre las coberturas de abastecimiento y saneamiento y el IDH (OMS y Unicef, 2009).....	4
Figura 3. Mapa de Benín (OAN International, 2024).....	7
Figura 4. Distribución de fuentes de agua en Benín (Ministerio de Planificación y Desarrollo de Benín, 2018) .....	9
Figura 5. Distribución por tipo de instalación sanitaria de hogares en Benín (Ministerio de Planificación y Desarrollo de Benín, 2018) .....	12
Figura 6. Delegación de la dirección de obra (Ministère de l’Energie et de l’Eau, République du Bénin, 2008) .....	22
Figura 7. Proceso de mantenimiento y reparación de bombas (Ministère de l’Energie et de l’Eau, République du Bénin, 2008) .....	23
Figura 8. Fases de un proyecto (Ministère de l’Energie et de l’Eau, République du Bénin, 2008).....	25
Figura 9. Muestra de agua del Manantial de Marigot. Fuente: OAN International .....	27
Figura 10. Pozo de agua en Benín. Fuente: Fundación Pedro Navalpotro.....	27
Figura 11. Bomba de agua (Ministère de l’Energie et de l’Eau, République du Bénin, 2008) .....	28
Figura 12. Pozos y bombas existentes en Nikki (OAN International, 2016) .....	28
Figura 13. Pozos fuera de servicio o con funcionamiento defectuoso (OAN International, 2016).....	29
Figura 14. Mapa de incumplimiento del indicador de la OMS. Fuente: OAN International .....	30
Figura 15. Sistema actual y propuestas de mejora. Fuente: OAN International .....	32
Figura 16. Prototipo de AGUAPP. Fuente: OAN International .....	33
Figura 17. Shaduf (Muñoz, 2023) .....	35
Figura 18. Tornillo de Arquímedes (Landels, 2000).....	36
Figura 19. Rueda de Cántaros en las minas de Riotinto (Landels, 2000) .....	36
Figura 20. Bomba de Ctesibio (Landels, 2000).....	37

Figura 21. Principios básicos de diferentes dispositivos volumétricos (DINEPA, 2013)...	38
Figura 22. Principio de funcionamiento del accionamiento directo (DINEPA, 2013).....	39
Figura 23. Bomba manual de palanca (DINEPA, 2013) .....	40
Figura 24. Principio de funcionamiento de la bomba con tracción a ruedas (DINEPA, 2013) .....	41
Figura 25. Distribución por marca de bomba en Nikki. Fuente: Dirección General del Agua de Benín.....	42
Figura 26. Distribución de bombas en Nikki por modelo (%). Fuente: Creación propia....	43
Figura 27. Principio de desplazamiento positivo (OAN International, 2015).....	45
Figura 28. Funcionamiento de una bomba difragma. Fuente: OAN International.....	47
Figura 29. Rendimiento HPV 60-2000. Fuente: Vergnet Hydro.....	48
Figura 30. Rendimiento HPV 100. Fuente: Vergnet Hydro .....	48
Figura 31. Principales componentes de la bomba Vergnet. Fuente: Vergnet Hydro .....	49
Figura 32. Aspiración de la bomba Vergnet. Fuente: Fundación ingenieros ICAI para el desarrollo .....	50
Figura 33. Descarga de la bomba Vergnet. Fuente: Fundación ingenieros ICAI para el desarrollo .....	51
Figura 34. Principales componentes de la bomba India Mark. Fuente: Wateraid.....	56
Figura 35. Bajada del pistón en la bomba India Mark. Fuente: (Skinner, Shaw, & Chatterton, 2019).....	57
Figura 36. Esquema de funcionamiento de la bomba Afridev. Fuente: OAN International	59
Figura 37. Primer nivel de mantenimiento. Fuente: Vergnet Hydro .....	70
Figura 38. Sustitución de segmentos. Fuente: Vergnet Hydro .....	71
Figura 39. Herramientas para el segundo nivel de mantenimiento. Fuente: Vergnet Hydro .....	72
Figura 40. Bomba India Mark con losa de hormigón y desagüe. Fuente: (Skinner B. , 2019) .....	76
Figura 41. Ejemplo de ficha de identificación de fallo. Fuente: OAN International .....	97
Figura 42. Deflactor del PIB (%) de Benín. Fuente: Grupo Banco Mundial .....	100
Figura 43. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Fuente: ONU.....	119
Figura 44. Plano de despiece Vergnet HPV 100. Fuente: Vergnet Hydro .....	123

Figura 45. Plano de despiece Vergnet HPV 60-2000. Fuente: Vergnet Hydro.....	124
Figura 46. Plano de despiece India Mark II. Fuente: RWSN .....	125
Figura 47. Plano de despiece India Mark III. Fuente: RWSN.....	126
Figura 48. Plano de despiece Afridev. Fuente: RWSN .....	127



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

ICAI

ICADE

CIHS

## *Índice de tablas*

Tabla 1. Procedencia del agua en los hogares (Ministerio de Planificación y Desarrollo de Benín, 2018) .....	10
Tabla 2. Disponibilidad de agua en las 2 últimas semanas (Ministerio de Planificación y Desarrollo de Benín, 2018).....	11
Tabla 3. Resumen para la elección del principio y mecanismo. Fuente: Creación propia ..	41
Tabla 4. Características generales bombas Vergnet. Fuente: Vergnet Hydro .....	47
Tabla 5. Características de la bomba India Mark. Fuente: RWSN.....	53
Tabla 6. Características de la bomba Afridev. Fuente: Dayliff .....	58
Tabla 7. Tabla reducida de despiece y vida útil del modelo Vergnet HPV 60-2000. Fuente: Creación propia.....	63
Tabla 8. Tabla reducida de despiece y vida útil del modelo Vergnet HPV 100. Fuente: Creación propia.....	64
Tabla 9. Tabla reducida de despiece y vida útil del modelo India Mark II. Fuente: Creación propia .....	65
Tabla 10. Tabla reducida de despiece y vida útil del modelo India Mark III. Fuente: Creación propia .....	66
Tabla 11. Tabla reducida de despiece y vida útil del modelo Afridev. Fuente: Creación propia .....	67
Tabla 12. Coste material de la bomba Vergnet HPV 60-2000 .....	102
Tabla 13. Coste material de la bomba Vergnet HPV 100 .....	102
Tabla 14. Coste material de la bomba India Mark II.....	103
Tabla 15. Coste material de la bomba India Mark III .....	103
Tabla 16. Coste material de la bomba Afridev .....	104
Tabla 17. Costes del reparador. Fuente: OAN International .....	104
Tabla 18. Coste total unitario por modelo de bomba del mantenimiento preventivo. Fuente: Creación propia.....	105
Tabla 19. Distribución del número de bombas en Nikki por marca y modelo. Fuente: Creación propia.....	105

Tabla 20. Presupuesto a destinar al mantenimiento de bombas de agua en Nikki. Fuente: Creación propia..... 106

Tabla 21. Intervalo de recaudación por tarifa del agua. Fuente: Creación propia..... 108

Tabla 22. Tabla resumen del presupuesto de mantenimiento. Fuente: Creación propia... 108

# **Documento I.**

# **Memoria Descriptiva**



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

ICAI

ICADE

CIHS

# Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

## *1.1. APRENDIZAJE Y SERVICIO*

Para entender este proyecto creo que es importante enmarcar en que contexto este aparece en mi vida.

Inicialmente y previo a que este trabajo se convirtiera en un TFM, el proyecto surge de la mano de Ramiro Viñuales Ferreiro, docente de la asignatura de Aprendizaje y Servicio impartida durante el primer año del Máster de Ingeniería Industrial de la Universidad Pontificia Comillas, ICAI.

Ramiro es la persona que me pone en contacto con Daniel Alfaro Posada, presidente de OAN International (ONG), el cual me da las primeras pinceladas del proyecto humanitario en el que se encontraban trabajando en Benín.

Desde un primer momento y a medida que voy manteniendo diferentes reuniones con Daniel me doy cuenta de que el proyecto de Aprendizaje y Servicio va más allá de un simple voluntariado y que mi labor aparte de ayudar a la comunidad de Nikki en Benín, puede ser una buena oportunidad para profundizando un poco más, poderlo convertir en un proyecto de mayor alcance.

## *1.2. MOTIVACIÓN DEL PROYECTO*

El presente proyecto, como se ha comentado en el anterior punto, se enmarca en el contexto de colaboración con la ONG, OAN International. Sin embargo, sus implicaciones tienen una dimensión mayor, ya que, estas influyen al desarrollo humano, la salud y la economía de una región extremadamente pobre de África. Por ello, el análisis ahondará en la situación actual de la región de Nikki, señalando las deficiencias de su sistema y focalizándose en dar cobertura en aquellos aspectos que puedan generar valor.

### 1.2.1. El agua como elemento fundamental para el desarrollo humano

España en su conjunto no es un país en el que escaseen los recursos hídricos, este hecho puede generar que en ocasiones se pierda la perspectiva de que este no es un bien abundante y que su distribución a lo largo del planeta dista mucho de ser equitativa, provocando que en muchos lugares su escasez o mala calidad sean uno de los principales problemas. En la siguiente figura se presentan las disparidades existentes entre los diferentes continentes en el acceso a agua potable segura.

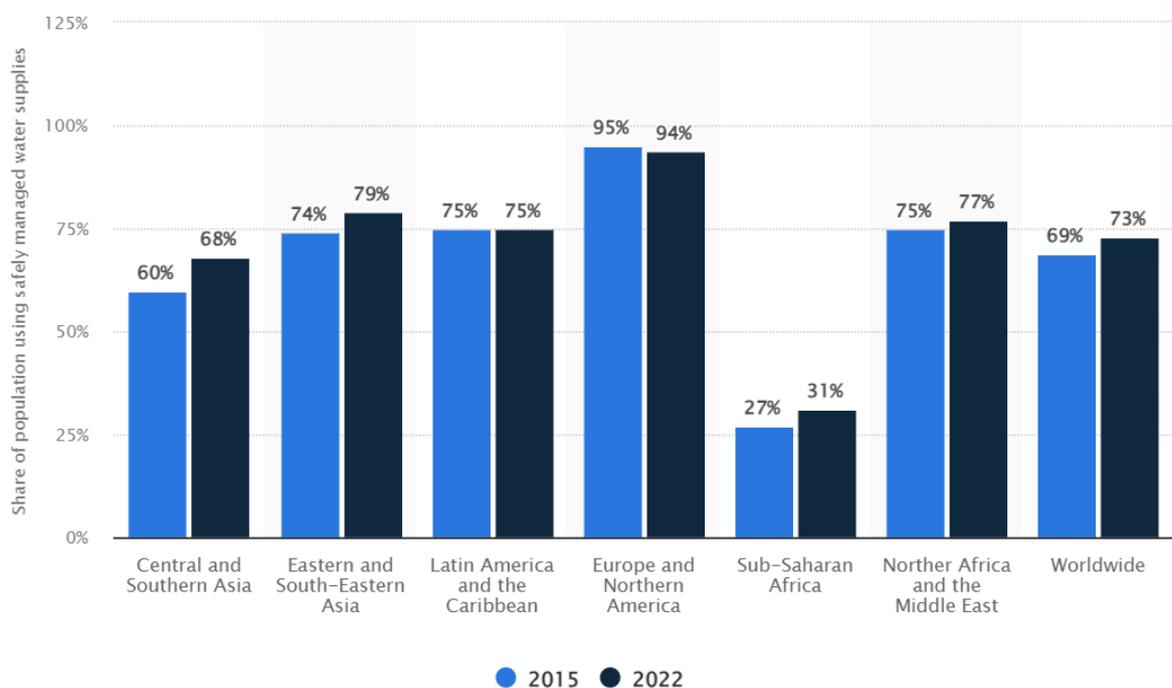


Figura 1. % de población con acceso a agua potable segura. Fuente: Statista

Como se observa en la gráfica el África subsahariana es con diferencia la región del mundo en la que el acceso a agua potable por habitante es la menor.

Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en el año 2015, un 29% de la población mundial carecía de acceso a una fuente de agua potable segura, de los cuales, 844 millones no tenían, ni siquiera un servicio básico de suministro de agua potable (Aqueae

Fundación, 2021). Estos datos son alarmantes, ya que el acceso a agua potable debería de constituir un derecho fundamental para cualquier habitante del planeta, independientemente de su lugar de nacimiento o residencia.

Desde las instituciones nacionales e internacionales se lleva trabajando durante décadas para que esto así sea. La Conferencia de Naciones Unidas, celebrada en 1977 en Mar de Plata, supuso el primer momento en el que el agua pasó a formar parte de la agenda de cooperación internacional para el desarrollo, pasando a incorporar tanto políticas de intervención, como campañas de financiación. Los años 80 se dedicaron principalmente a la potabilización y saneamiento del agua, marcándose como objetivo el alcanzar cobertura mundial para el año 1990. Sin embargo, este intento resultó un fracaso, ya que, a pesar de mejorar la cobertura, el número de personas sin acceso a agua potable permaneció, prácticamente inalterable. Tras ello, a partir de los años 90 se llevaron a cabo varias cumbres y conferencias, como los foros mundiales del agua o la cumbre de 2000. Fue en esta última en la que se aprobaron los Objetivos del Milenio, los cuales en 2015 fueron renovados por los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y que establecían metas, en materia de pobreza, desigualdad o educación (Pérez-Foguet & Jiménez, 2011). En la actualidad el ODS número 6 es el que marca los objetivos en cuanto al acceso a agua potable de cualquier persona.

Todo ello reafirma la importancia del agua como fuente necesaria para la supervivencia humana. Sin embargo, la falta de acceso a agua supone, también, un lastre para el desarrollo y crecimiento de los países con menores recursos. Esta relación se puede observar en los siguientes gráficos (ver Figura 2.), los cuales reflejan la relación entre el Índice de Desarrollo Humano (IDH) y la cobertura de abastecimiento y saneamiento de agua (Pérez-Foguet & Jiménez, 2011).

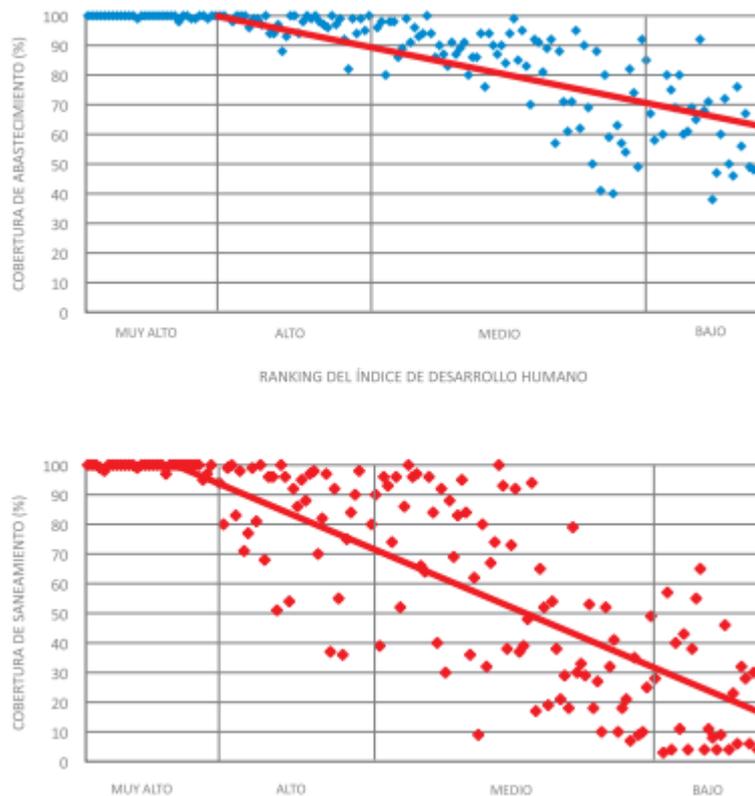


Figura 2. Relación entre las coberturas de abastecimiento y saneamiento y el IDH (OMS y Unicef, 2009)

Este hecho es especialmente relevante, ya que los datos reflejan que de los países con coberturas por debajo del 75%, un 90% son considerados países pobres o fuertemente endeudados, mientras que este % se reduce al 50%, si las coberturas son mayores del 75% (Pérez-Foguet & Jiménez, 2011).

Por otro lado, la desigualdad se encrucece aún más cuando realizamos la comparación entre zonas rurales y urbanas, teniendo un 96% de las zonas urbanas acceso a agua potable, frente al 78% de las zonas rurales. Estas cifras son aún peores en términos de saneamiento, ya que en medios urbanos un 76% presenta cobertura, mientras que en medios rurales solo el 45% (Jiménez & Marín, 2011).

Para poder llegar a entender las razones que justifican esta situación, hay que explicar que, a principios del siglo XXI, una gran parte de los países en desarrollo, entre ellos Benín, país

en el que se enmarca el proyecto, decidieron descentralizar las tareas de gestión y mantenimiento de los servicios de agua y saneamiento en las zonas rurales, por la incapacidad de poder hacer frente a las particularidades y necesidades específicas de cada región. Una de las razones de esta decisión fueron las características particulares del medio rural, como la baja densidad de población y su dispersión, la inaccesibilidad a determinados lugares y la alta inversión per cápita necesaria. Todo ello, condujo a que esta responsabilidad recayera en gente local, en muchas ocasiones carente de los conocimientos y recursos necesarios para llevar a cabo esta labor (Jiménez & Marín, 2011).

En muchas ocasiones, esta falta de políticas bien definidas, confuso reparto de responsabilidades entre los participantes y, principalmente, la poca intencionalidad de querer revertir y cambiar las cosas, condujo a que, en un corto espacio de tiempo, un número elevado de regiones del medio rural dejaran de funcionar correctamente, impidiendo el aumento de coberturas y confirmando el sistema actual de autogestión, como un sistema fallido.

### **1.2.2. El agua en África**

África ha experimentado un fuerte crecimiento económico desde principios de siglo, el cual se ha visto reflejado, en un gran crecimiento de la población. Según proyecciones del African Development Bank (AfDB), se espera que la población en África se incremente hasta los 1,6 billones para el año 2030, lo cual supone un crecimiento del 60% con respecto a valores del año 2010 (African Development Bank, 2022).

Este crecimiento exponencial repercute directamente en las necesidades hídricas de África. En recientes informes de la ONU se indica que, en los próximos 25 años, la demanda de agua en África casi se multiplicará por cuatro. Otro informe publicado en el Blog Neo<sup>1</sup>, señala que el crecimiento de la población avanza con mayor rapidez que el aumento del

---

<sup>1</sup> El blog Neo es el lugar en el que los trabajadores de Indra comparten sus impresiones acerca de sus negocios, avances tecnológicos o innovación (Indra, s.f.).

acceso a instalaciones de saneamiento, generando que en torno al 70% de los habitantes del África subsahariana carezca de acceso a instalaciones de saneamiento. Este hecho provoca entre otras situaciones que más del 50% de las necesidades de atención médica deriven de las deficiencias en el acceso a agua potable segura y las malas condiciones de saneamiento e higiene (De Stefano).

Por tanto, uno de los mayores retos a los que se enfrenta África es la tarea de hacer accesible una fuente de agua potable a todos sus ciudadanos. No obstante, este desarrollo se encuentra condicionado a las capacidades de inversión en infraestructura de cada país. En la actualidad, muchos de ellos se encuentran a la cola en este tipo de iniciativas, y más si se comparan con otros continentes o países emergentes, como es el caso de China, país que dedica más de un 14% de su PIB a inversión en infraestructura, frente al 4% de media del continente africano (De Stefano).

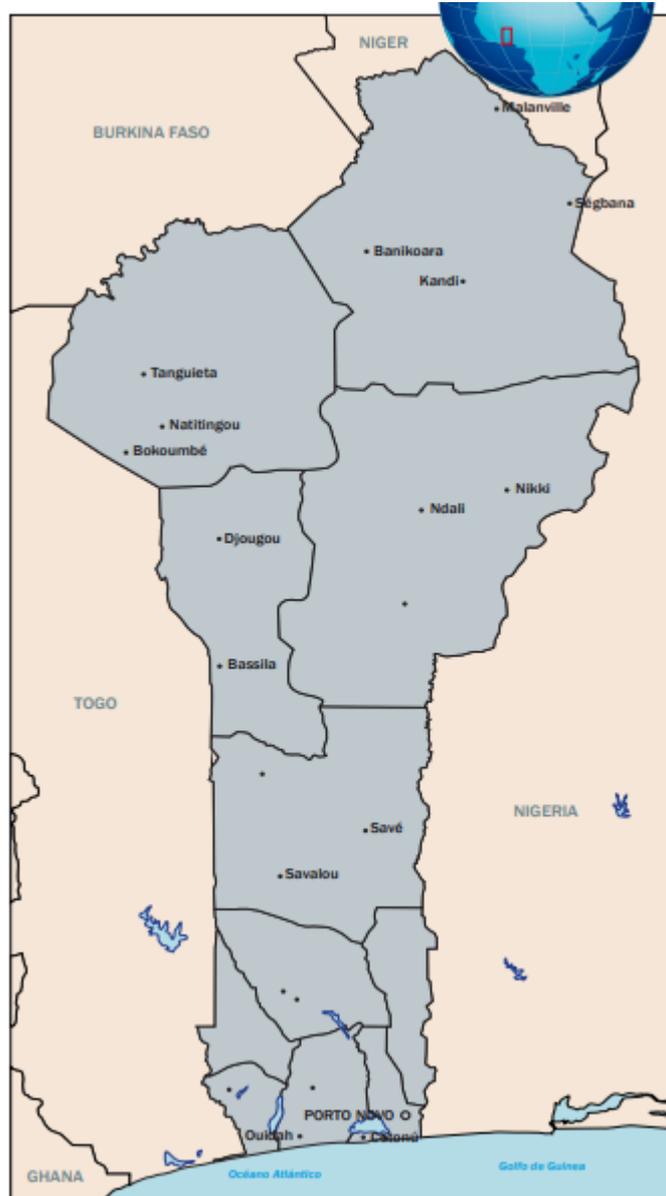
Por otro lado, otro de los aspectos que habitualmente no se analiza son las desigualdades que genera el no poder tener acceso a una fuente de agua cercana. En muchas ocasiones, la tarea de recolección del agua recae en las mujeres y niñas lo cual repercute directamente en su salud, educación y posibilidades de prosperar. Un informe del 2013 de la ONU en el que se trataban temas como la pobreza extrema y los derechos humanos indicaba que un 71% de las tareas de recolección de agua eran responsabilidad de las mujeres (De Stefano).

Todo ello, constata que la escasez de fuentes de agua es un problema que afecta todos los aspectos de la vida, no solo poniendo en riesgo la salud, sino limitando el desarrollo de países y personas.

### **1.2.3. Acceso al agua y saneamiento en Benín**

En el caso de este trabajo, es fundamental detenerse a analizar individualmente, la situación de Benín, y más concretamente de la región de Nikki.

Benín se sitúa en el Golfo de Guinea, haciendo frontera con Togo, Nigeria, Burkina Faso y Níger (ver Figura 3.).



*Figura 3. Mapa de Benín (OAN International, 2024)*

La actual República de Benín, llegó a ser una potencia regional durante los siglos XVII y XIX, formando parte de Dahomey, un reino de África Occidental. Posteriormente pasó a ser colonia francesa durante más de 65 años, hasta que en 1960 alcanzó la independencia, aunque no fue hasta 1975 cuando adoptó su actual nombre (CIA. gov, 2024).

Según datos del Banco Mundial, la población de Benín en 2022 se situaba en el entorno de los 13,35 millones habitantes, con una esperanza de vida media de 61 años, la cual es 22 años inferior a la de España (World Bank, 2024). En cuanto al Índice de Desarrollo Humano, los datos no son mucho más alentadores, ya que presenta un IDH de 0,525, lo cual lo sitúa en la posición 166 de un total de 191 países. Esto es debido principalmente a su baja esperanza de vida y a los pocos años de escolarización de los niños, los cuales de media reciben educación escolar solo durante 4,4 años (World Population Review, 2024).

Entre los principales problemas a solucionar se encuentra el reto de reducir el nivel de pobreza, el cual a raíz del Covid-19 se ha visto multiplicado. Según datos publicados por PNUD casi el 40% de la población de Benín se encuentra situada por debajo del umbral de pobreza. Además, otras cuestiones en las que se han de focalizar son la reducción de la dependencia económica en sus servicios portuarios como país exportador y estabilizar sus relaciones fronterizas con Nigeria, país vecino con el que mayor número de kms de frontera comparte (MAEC, 2023)<sup>2</sup>.

Sin embargo, el trabajo hacia la corrección de estas situaciones no va a ser sencillo, actualmente, crisis globales, como la guerra en Ucrania y la inestabilidad en el Sahel, junto con eventos regionales como las sanciones de la Unión Económica y Monetaria de África Occidental (UEMOA) han incrementado la volatilidad en los precios de productos básicos, lo que pone en riesgo los logros en la lucha contra la pobreza y provocando que los hogares más vulnerables se vean obligados a destinar una mayor proporción de sus ingresos a cubrir necesidades básicas, empeorando aún más su situación (World Bank, 2024); (CIA. gov, 2024).

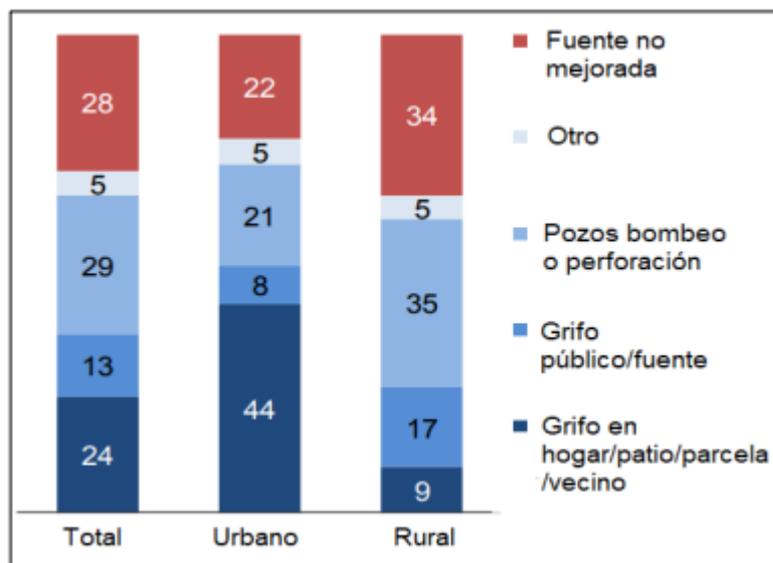
Por otro lado, la orografía de Benín se caracteriza principalmente por ser predominantemente llana con la presencia de algunas montañas semiáridas de baja altitud, lo cual unido a la estacionalidad de las lluvias, las cuales se concentran entre los meses de junio y septiembre,

---

<sup>2</sup> MAEC es el acrónimo de Ministerio de Asuntos Exteriores, Unión Europea y Cooperación

y que desde los años 70 se han visto reducidas en un 15-20% hacen de Benín, un país fuertemente afectado por la sequía. Este hecho, junto con el aumento de población que se está dando, repercute en que los recursos hídricos asignados a cada habitante se hayan visto reducidos.

Un estudio del año 2018 efectuado por el Ministerio de Planificación y desarrollo, indicaba que solo el 71% de los hogares en Benín consumía agua procedente de fuentes mejoradas, entendiéndose como fuentes mejoradas, pozos de bombeo, grifos o fuentes públicas y grifos en hogar. De las fuentes mejoradas, la alternativa más empleada eran las fuentes de bombeo con un 44% (Ministerio de Planificación y Desarrollo de Benín, 2018).



*Figura 4. Distribución de fuentes de agua en Benín (Ministerio de Planificación y Desarrollo de Benín, 2018)*

Características	Hogares			Población		
	Urbano	Rural	Total	Urbano	Rural	Total
<b>Fuente de suministro de agua</b>						
<b>Fuente mejorada</b>	<b>77,8</b>	<b>66,1</b>	<b>71,2</b>	<b>75,0</b>	<b>63,0</b>	<b>67,8</b>
Grifo en vivienda/patio/parcela	19,4	1,6	9,3	17,4	1,3	7,8
Grifo vecino	24,2	7,8	14,9	21,4	6,4	12,5
Grifo público/fuente	7,9	16,9	13,0	8,3	15,4	12,6
Pozos de bombeo/perforaciones	21,1	34,8	28,9	22,5	34,5	29,7
Pozos protegidos	4,7	4,2	4,4	4,9	4,5	4,7
Fuente protegida	0,2	0,3	0,3	0,2	0,4	0,3
Agua de lluvia	0,2	0,5	0,4	0,2	0,4	0,3
Agua embotellada	0,2	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0
<b>Fuente no mejorada</b>	<b>21,8</b>	<b>33,5</b>	<b>28,4</b>	<b>24,7</b>	<b>36,7</b>	<b>31,9</b>
Pozo no protegido	17,8	23,1	20,8	20,0	26,0	23,6
Fuente de agua desprotegida	0,7	1,5	1,2	0,9	1,6	1,3
Camión cisterna/carro con pequeña cisterna/barril	0,4	0,6	0,5	0,4	0,5	0,5
Agua de la superficie	2,7	8,2	5,8	3,2	8,5	6,4
Agua embotellada	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1
<b>Otra fuente</b>	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,3</b>
<b>Total</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
<b>Tiempo de viaje para abastecerse agua potable (ida y vuelta)</b>						
Agua en el hogar	57,3	22,0	37,2	53,0	20,5	33,6
Menos de 30 minutos	29,1	52,2	42,2	31,8	53,2	44,6
30 minutos o más	12,9	25,1	19,9	14,6	25,8	21,3
No sabe	0,7	0,7	0,7	0,6	0,5	0,6
<b>Total</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
<b>Medios de tratamiento de agua</b>						
Ebullición	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
Agregar lejía/cloro	2,4	2,6	2,5	2,5	2,7	2,6
A través de una tela	0,4	0,6	0,5	0,4	0,5	0,5
Cerámica, arena u otro filtro	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
Aquatab	4,4	3,0	3,6	4,6	2,8	3,5
Dejar reposar y asentarse	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Otro	0,5	0,7	0,6	0,6	0,7	0,7
Sin tratamiento	91,7	92,6	92,2	91,4	92,8	92,2
Porcentaje usando método de tratamiento adecuado	7,1	6,1	6,5	7,4	6,0	6,5
Personal	6 104	8 052	14 156	29 518	43 902	73 420

Tabla 1. Procedencia del agua en los hogares (Ministerio de Planificación y Desarrollo de Benín, 2018)

Pero aún, más preocupantes son los resultados presentados en la siguiente tabla, en los cuales un 21,8% de los encuestados indicaba, que, en las dos semanas previas a la encuesta, al menos durante 1 día, no había tenido acceso agua potable. Bien es cierto, que, en realidad, gran parte de la población conscientes de estas posibles eventualidades, cuenta con reservas de emergencia (barriles de agua en el baño de 50-100l) en sus casas, los cuales rellenan para tener agua por si hay cortes.

Disponibilidad de agua en las 2 últimas semanas	Hogares			Población		
	Urbano	Rural	Total	Urbano	Rural	Total
No disponible por al menos 1 días	21,8	23,7	22,8	21,8	22,2	22,0
Disponible continuamente por al menos 1 día	76,4	75,8	76,1	76,8	77,3	77,1
No sabe	1,8	0,5	1,1	1,4	0,5	0,9
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Población usando agua de un grifo o de un pozo con bomba	4 439	4 915	9 353	20 575	25 329	45 903

*Tabla 2. Disponibilidad de agua en las 2 últimas semanas (Ministerio de Planificación y Desarrollo de Benín, 2018)*

Es cierto, que desde 2001 a 2018 la tendencia es positiva y ascendente, habiéndose incrementado el % de agua procedente de una fuente mejorada del 67% al 71% y contando con una mayor proporción de familias con agua en sus hogares, crecimiento del 26% al 37% (Ministerio de Planificación y Desarrollo de Benín, 2018).

A pesar de ello, el acceso a instalaciones de saneamiento mejoradas<sup>3</sup> sigue siendo muy limitado, ya que solo un 13% de los hogares cuenta con ellas, decreciendo este % hasta el 6%, si analizamos las regiones rurales.

<sup>3</sup> Las instalaciones de saneamiento mejoradas incluyen: descarga de agua manual a alcantarillado, tanque séptico o pozo negro.

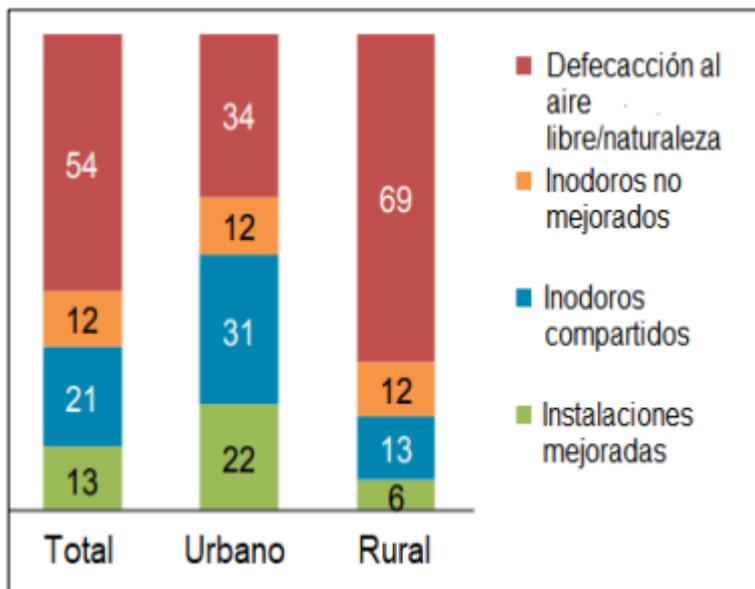


Figura 5. Distribución por tipo de instalación sanitaria de hogares en Benín (Ministerio de Planificación y Desarrollo de Benín, 2018)

Como se ha podido observar, en un contexto como el de Benín toda ayuda es poca. Por tanto, cualquier proyecto o iniciativa, ya sea gubernamental o privada, que contribuya a acercar el agua potable a las comunidades más pobres es una gran ayuda para estas regiones y un primer paso para intentar abandonar sus condiciones de pobreza extrema.

#### 1.2.4. OAN International

Esta es la realidad que se encuentra Daniel Alfaro cuando en 2013 viaja por primera vez a Nikki como voluntario. Un año más tarde junto a otros 7 jóvenes funda la ONG OAN International<sup>4</sup> (OAN International, s.f.).

OAN International trabaja en la zona norte del país, concretamente en la región de Nikki, una de las zonas más rurales y con menos recursos económicos del país. En la actualidad, se estima que la población total asciende a unos 160.000 habitantes (OAN International, s.f.).

<sup>4</sup> OAN es el acrónimo de Objetivo Analizar Nikki.

Desde su llegada a Nikki, OAN International ha puesto en marcha diversos proyectos humanitarios, destinados a generar un impacto en la comunidad. Entre estos proyectos, los cuales se puede acceder a través de su página web<sup>5</sup>, cabe destacar los siguientes:

### **Mujeres y medio de vida sostenibles**

Como se comentaba anteriormente el papel de las mujeres es de especial relevancia para el correcto desarrollo de las comunidades, en concreto en Nikki son habitualmente las responsables de la educación, alimentación y cuidado de los niños, lo cual limita sus posibilidades para acceder a la educación y/o al mercado laboral, favoreciendo los matrimonios precoces y la violencia doméstica.

Para ello desde OAN se han desarrollado 3 proyectos para promover la capacitación y trabajo digno de las mujeres:

- Nikarit: Proyecto que apoya a las mujeres productoras de manteca de karité, la cual es posteriormente empleada para la producción de cosmética. Mediante este proyecto se impulsa a 6 cooperativas de mujeres en el acceso a herramientas y posterior venta nacional e internacional.
- Huertas comunitarias: Impulsa a grupos de mujeres rurales a la creación de huertas comunitarias en las que cultivar, dotándoles de acceso a una variedad de alimentos y vendiéndose los excedentes para conseguir ingresos adicionales.
- Microcréditos para mujeres: La falta de autonomía económica es uno de los problemas a los que se enfrentan las mujeres de Nikki, por ello, mediante este proyecto se presenta facilitar el acceso a microcréditos a mujeres emprendedoras que quieran impulsar sus propios negocios.

---

<sup>5</sup> <https://oaninternational.org/projects>

## **Nutrición**

La FAO<sup>6</sup> recoge a Benín como uno de los 51 países de bajos ingresos y déficit de alimentos, siendo la malnutrición un problema que se extiende entre toda su población, afectando especialmente a los más jóvenes, de los cuales un 30% de ellos sufre malnutrición crónica. Además, uno de cada tres niños sufre retraso en el crecimiento por falta de nutrientes. En Nikki, la malnutrición constituye la tercera causa de hospitalización y la segunda de muerte en los menores de 5 años. Para combatir estos, desde OAN cuentan con la siguiente iniciativa:

- PReMASE: Proyecto en colaboración con el Colegio de Enfermería de Cantabria, el cual aporta recursos económicos y técnicos. El objetivo principal es intentar mejorar la salud y nutrición de los más jóvenes, para ello se realizan revisiones periódicas del estado de los niños y se instruye a las personas líderes en la comunidad para que velen por la seguridad nutricional de sus pueblos.

## **Acceso al agua**

A pesar de ser el acceso al agua un derecho humano, en Nikki desgraciadamente muchas veces este no se cumple. Desde OAN trabajan en la búsqueda de soluciones innovadoras que faciliten el acceso al agua y mejoren los servicios de recolección, almacenamiento y saneamiento del agua. Entre los proyectos de acceso al agua destacan:

- Bombas EMAS: Colaboran con la ONG Tadeh en la formación de técnicos locales en la fabricación de tecnologías destinadas a la recolección y almacenamiento de agua.
- ASEP: Iniciativa enfocada en favorecer el acceso a agua potable mediante la mejora en el mantenimiento preventivo de los sistemas de bombeo de agua, a través de la aplicación AGUAPP, que facilita la monitorización y gestión de las averías.

---

<sup>6</sup> Food and Agriculture Organization of the United Nations

Este último proyecto es en el que yo he colaborado y del cual nace este TFM. Más adelante se profundizará en él, explicándose las cuestiones que se han ido haciendo y presentando la situación actual del proyecto.

### ***1.3. OBJETIVOS DEL TRABAJO***

Los objetivos primordiales del proyecto son:

**1. Renovar la guía de mantenimiento de bombas de agua del Gobierno de Benín**

El Gobierno de Benín cuenta con una guía de mantenimiento de bombas de aguas sin actualizar desde el 2008, el objetivo es renovarla y hacerla funcional y sencilla de emplear para la población de Nikki.

**2. Estudiar el funcionamiento y piezas de los principales modelos de bombas de agua con presencia en Nikki**

En la región de Nikki, hay 3 tipos de modelos de bombas empleados, Vergnet, India Mark y Afridev, por ello, se analizarán las principales características de estos modelos y su funcionamiento.

**3. Analizar la vida útil de los componentes de los modelos de bombas de agua, al igual que la interdependencia entre las piezas y los posibles impactos de las roturas en su vida útil**

El objetivo es establecer un período de vida útil por componente de la bomba de manera que se asegure que el mantenimiento y renovación de los elementos se realiza de manera apropiada y acorde a unos tiempos previamente fijados.

**4. Modelar las posibles roturas de cada modelo de bomba y las piezas afectadas**

Se procederá a recoger los principales problemas que han sufrido las bombas en los últimos años, estableciendo las posibles causas y estableciendo la solución para cada uno de los problemas experimentados sobre el terreno.

## 5. Crear un presupuesto aproximado para el mantenimiento y renovación de bombas

Se pretende generar un presupuesto que permita a la comunidad de Nikki tener una proyección anual de cuánto dinero les va a suponer el mantenimiento y renovación de las instalaciones de bombeo de agua, de manera que se pueda demostrar a las autoridades la necesidad de destinar ese dinero para tales actividades.

### ***1.4. METODOLOGÍA***

Como en cualquier otro trabajo de investigación, la metodología permite establecer la delimitación de herramientas y enfoque que se le quiere dar al trabajo. Además, permite definir el método a través del cual se va a profundizar en los objetivos del trabajo.

En el caso de este TFM, y como ya se ha dejado entrever por los objetivos planteados, se ha decidido emplear un enfoque dual, en el que se combinará una parte más de estudio y análisis del estado de la cuestión, profundizando en material ya existente, con una parte más de análisis, en la que se intentará dar respuesta a alguno de los problemas en cuanto al mantenimiento de bombas en Nikki, complementando la información, ya existente.

Por un lado, para el estudio del estado de la cuestión, se hará hincapié en el Manual de mantenimiento del Gobierno de Benín del año 2008, intentando encontrar aquellas carencias más significativas, que permitan ajustar las necesidades de la guía de mantenimiento que aquí se quiere producir. Además, se profundizará en el proyecto de ASEP de OAN, mostrando las necesidades de la comunidad de Nikki, así como las dificultades que están experimentando y como este TFM puede ser de ayuda para sus próximos proyectos.

Por otro lado, se recurrirá también, a una parte más de análisis de problema-situación en la que se profundizará a nivel más técnico la forma en la que se puede llevar a cabo el mantenimiento de las bombas, recogiendo sus problemas más comunes y como repararlos, fijando vidas útiles de piezas y estableciendo unos criterios y tiempos de mantenimiento. Este conjunto de información será la que conformará la nueva guía de mantenimiento.

Todo ello, nos permitirá llevar a cabo un análisis completo de en qué punto se encuentra actualmente el mantenimiento de las bombas de agua en la región de Nikki, entender las necesidades de sus habitantes y establecer unos criterios y procedimientos que permitan en un futuro cercano que estos puedan ser autónomos en cuanto a la gestión y supervisión de la infraestructura responsable de hacer llegar el agua potable a sus casas.

Por último, se establecerá un presupuesto aproximado de lo que cuesta llevar a cabo el mantenimiento de toda esta infraestructura, garantizando su sostenibilidad en el tiempo. El objetivo final es que este presupuesto sirva como referencia para que las autoridades locales puedan destinar los recursos económicos necesarios para su mantenimiento, asegurando así un suministro continuo y de calidad para la comunidad.



## Capítulo 2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

### 2.1. *GUÍA DE MANTENIMIENTO PARA MUNICIPIOS*

En el año 2008 el Gobierno de la República de Benín publicó una guía (Guide à l'usage des communes, 2008) en la que se incluían las principales directrices para el correo mantenimiento y conservación de las bombas de agua del país. Esta guía fue desarrollada de manera participativa por todos los jefes de división de los Servicios Desarrollo Comunitario de Agua de Benín y los asistentes técnicos de diversos programas de apoyo al sector del agua.

A continuación, se presentará un pequeño resumen del contenido principal de esta (Ministère de l'Energie et de l'Eau, République du Bénin, 2008), resaltando los puntos más relevantes e incidiendo en aquellos que no se están cumpliendo o que sobre la práctica se han comprobado poco prácticos o deficientes.

#### 2.1.1. Introducción

Entre 1980 a 1990, el Decenio Internacional del Agua Potable y del Saneamiento (DIEPA) permitió al gobierno de Benín mejorar considerablemente la tasa de cobertura, llegando a más de 5.000 puntos de agua en 1990. Sin embargo, como se expuso en la Conferencia Internacional de Nueva Delhi de 1990 la falta de sostenibilidad de las inversiones realizadas fue el principal punto débil de que este no siguiera avanzando al mismo ritmo.

En 1992, la búsqueda de la durabilidad de los equipos llevó al gobierno de Benín a adoptar una estrategia basada en el traspaso de la gestión de obras y mantenimiento de la infraestructura a las comunidades. Esta estrategia basada en la demanda fue implementada, inicialmente para obras simples, por los “Proyectos de Ayuda al Desarrollo del Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento en el Área Rural” (PADEAR), iniciados en 1994 con financiamiento de varios socios técnicos y financieros externos.

Tras esto en 1999 se aprueban las leyes de descentralización en la que se establecía al municipio como único responsable de la construcción de la infraestructura hidráulica, así como del suministro y distribución de agua potable. Y en 2005 se publica el documento: “Estrategia nacional para el abastecimiento de agua potable en las zonas rurales para el período 2005-2015”, en el que se abandonaba del enfoque basado en la demanda en favor de una programación municipal basada en un análisis de diagnóstico de necesidades. Además, se delegaba la gestión de las obras por parte del municipio a una persona elegida por la comunidad o a un operador privado en lugar del hasta ahora encargado, que era el Comité de Gestión del Punto de Agua.

Teniendo en cuenta esta reforma administrativa, la Dirección General de Agua inició el proceso de transferencia de habilidades a los municipios en 2007. Y tras un taller nacional celebrado en julio de 2008 se fijaron los siguientes principios:

- La creación de nueva infraestructura que abandona el enfoque basado en la demanda, estableciendo el diagnóstico general de las necesidades y objetivos estratégicos del desarrollo, como sus nuevas bases.
- La eliminación de los comités de gestión de puntos de agua y la delegación de la gestión de las obras a un responsable elegido en el seno de la comunidad o procedente del sector privado.
- La elección del modelo de bombas por parte del municipio teniendo en cuenta las limitaciones técnicas.
- La organización de un plan de mantenimiento de los sistemas de extracción de agua por parte del municipio, basado en acuerdos contractuales con reparadores y proveedores de bombas.
- La implementación de un mantenimiento preventivo rutinario de las bombas y sustitución de piezas por desgaste, el cual se sostendrá mediante el pago una tarifa por volumen de agua consumido.

### **2.1.2. Implementación de la programación del sector del agua**

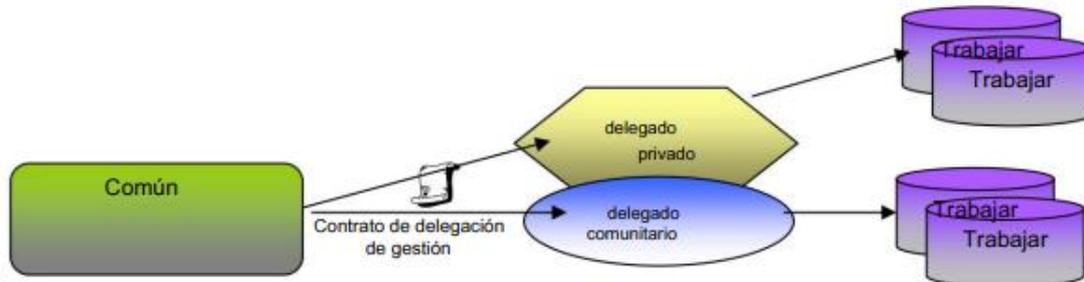
La implementación de un programa de acción en una localidad requiere de una serie de pasos:

- 1) Preparación: El municipio a través de los departamentos municipales de planificación establece un sistema, asistido en caso necesario por el departamento de aguas y un especialista/proveedor de servicios con conocimientos técnicos en el sector del agua, basado en la recopilación, procesamiento y análisis de datos. Este sistema dirige desde el proceso de planificación hasta la programación de las obras.
- 2) Análisis de diagnóstico: El objetivo es llegar a conocer la situación de abastecimiento de agua en cada una de las localidades de una región y servir de base para la programación municipal. Este estudio incluye las siguientes actividades:
  - a. Análisis de documentación existente: censo, base de datos, mapas, etc.
  - b. Recolección y análisis de documentación adicional: Organización de talleres por distrito para la puesta en común de necesidades y la realización de encuestas por pueblo para identificar necesidades y establecer planes de acción concretos.
- 3) Definición de objetivos y estrategias: El municipio diseña su programa de desarrollo de infraestructuras sobre la base de objetivos como la tasa de cobertura que debe alcanzarse a nivel municipal, tamaño mínimo de las localidades que deben recibir el servicio, número de habitantes por punto de agua, % de localidades que deben estar equipadas en una fecha determinada, etc.
- 4) Programación: El programa fija el número, tipo y calendario de las obras que se realizarán por localidad. La programación final se establece para un período de tres años y esta debe ser adoptada por el consejo municipal de cada pueblo. Aunque la demanda no es ya el criterio sobre el que se establece la programación, se sigue considerando uno de los criterios prioritarios.

### 2.1.3. Delegación de dirección de obras

La transferencia de la gestión y mantenimiento de puntos de agua a los usuarios les ha convertido en responsables últimos de la operación, conservación y mantenimiento de la infraestructura, al igual que de los costes financieros. Para ello, se han realizado importantes esfuerzos de formación y comunicación para incentivar a los beneficiarios a asumir su rol de gestores dentro de la comunidad.

Sin embargo, este método de gestión orientado a la comunidad ha dejado patente, también sus deficiencias. Solo los principales responsables asignados han gestionado los puntos de agua en nombre de la comunidad, sin embargo, su trabajo de calidad dudosa no garantiza la financiación del mantenimiento y rehabilitación de los puntos de agua. En los casos en los que se ha producido alguna rotura o paradas de servicio, la comunidad si se ha organizado para repararla, sin embargo, el interés mostrado para llevar a cabo un mantenimiento preventivo ha sido nulo.



*Figura 6. Delegación de la dirección de obra (Ministère de l'Energie et de l'Eau, République du Bénin, 2008)*

### 2.1.4. Mantenimiento

El marco de mantenimiento municipal debe permitir el mantenimiento regular de las obras y la reparación de las bombas con la mayor rapidez posible, de acuerdo con la siguiente organización:

- Contratación y organización por parte de la localidad, de artesanos reparadores para el mantenimiento preventivo de bombas.

- Distinción de las reparaciones en función de su problema y necesidad y el establecimiento de un stock de piezas de repuesto.
- Asignar un porcentaje de presupuesto municipal al mantenimiento y reparaciones de las bombas.

Originalmente este era el esquema de mantenimiento y reparación propuesto por el Gobierno de Benín:

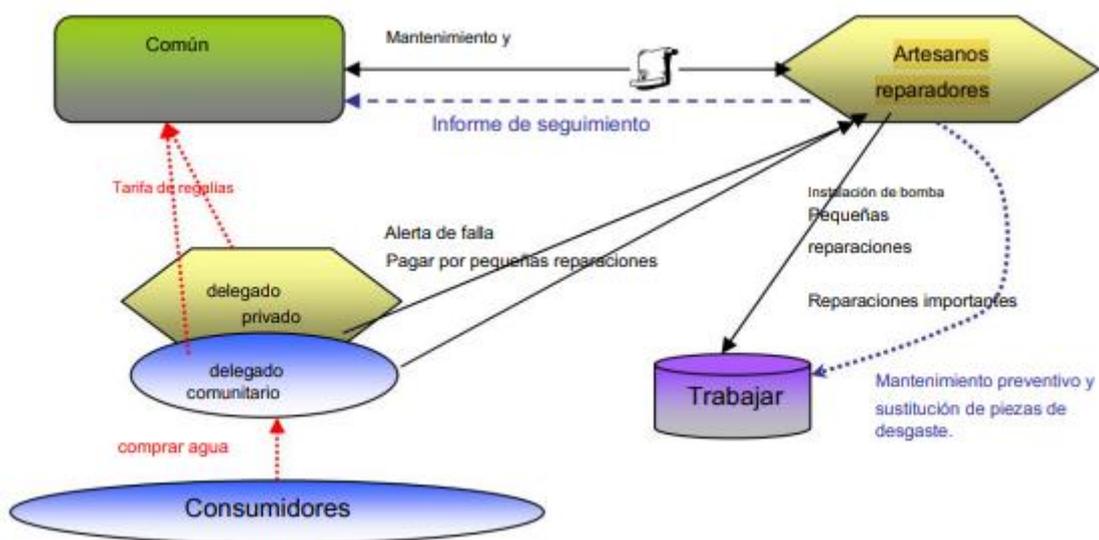


Figura 7. Proceso de mantenimiento y reparación de bombas (Ministère de l'Energie et de l'Eau, République du Bénin, 2008)

Por otro lado, un gran número de artesanos reparadores, formados en sucesivos proyectos, han abandonado esta actividad dado el escaso número de intervenciones y su poca rentabilidad, ya que en la actualidad la instalación de bombas cae a cargo de las perforadoras. Este hecho también genera que los artesanos locales no reciben la formación adecuada para el mantenimiento de estas.

Otra de las actividades que no es rentable y que está provocando que el mantenimiento de las bombas no sea el adecuado es la comercialización de piezas de repuesto, ya que se compran pocas piezas, los márgenes son bajos y los costos de renovación de inventario son altos. Todo ello provoca que los depósitos regionales se desabastezcan y sufran una escasez

regular de existencias, lo cual repercute en la organización de la red de repuestos como conjunto, volviéndola completamente ineficiente, teniendo incluso en ocasiones algún artesano que recorrer cientos de kilómetros para encontrar una pieza de repuesto. Por tanto, otro de los factores en los que hay que trabajar es en mejorar la actual red de repuestos, focalizándolo en 3 puntos: fondos para pagar el mantenimiento y reparaciones necesarias, formación e incentivos a los reparadores y disponibilidad de repuestos.

Por último, otro de los factores que se ha observado es que por la falta de reparadores y su deficiente formación en muchas ocasiones las bombas que no han podido ser reparadas o cuyas averías son graves son abandonadas, lo cual repercute directamente en la cantidad de agua que se puede obtener y en muchas ocasiones aislar a comunidades enteras, las cuales se quedan sin capacidad para acceder a una fuente de agua cercana y segura.

#### **2.1.5. Venta de agua**

Según la guía de mantenimiento de Benín, el objetivo debería ser que el precio del agua cubriera los costes de operación y mantenimiento y permitiera la renovación de equipos, para ello la tarifa del agua debe incluir los siguientes costes:

- Costes de conservación y mantenimiento, entre lo que se incluye: piezas de desgaste, herramientas, mano de obra para pequeñas reparaciones...
- Tasa municipal que cubra las visitas de los reparadores y la mano de obra para reparaciones importantes.
- Gastos de personal del delegado de la localidad.

Sin embargo, este reparto de costes y tarifas no es tampoco justo, ya que uno de los principales factores que influye en el precio del agua es el tamaño de la población, y por ello, en el caso de localidades pequeñas y escasa población, los costes fijos de mantenimiento, más los costes de las pequeñas reparaciones pesan mucho sobre el usuario.

Por tanto, el definir un sistema más justo en el reparto de costes, debería ser otro de los objetivos a perseguir.

### 2.1.6. Fases de un proyecto

A continuación, se muestra, de manera esquemática cuales deberían de ser las fases de un proyecto estándar:

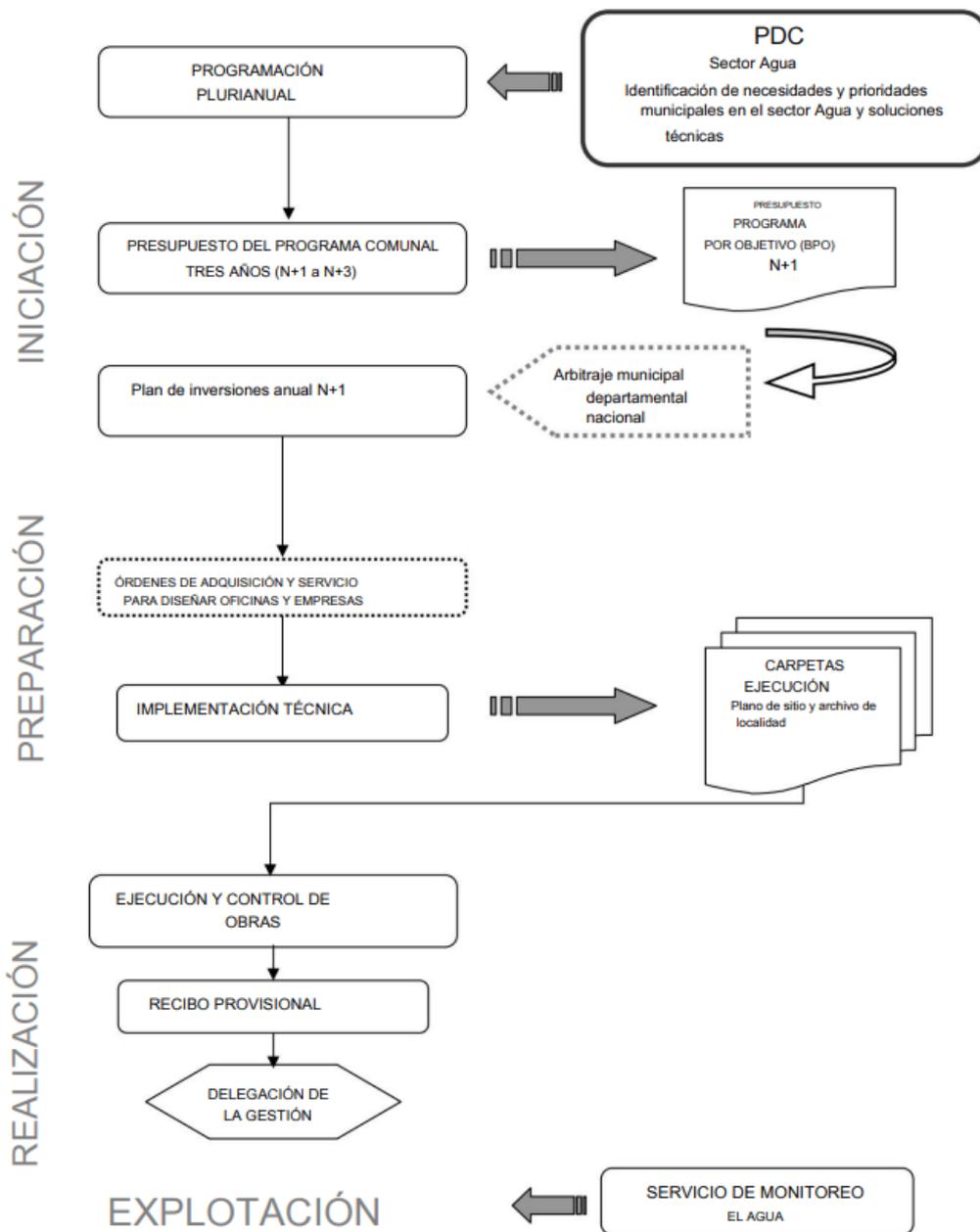


Figura 8. Fases de un proyecto (Ministère de l'Énergie et de l'Eau, République du Bénin, 2008)

## **2.2. OAN: PROYECTO ASEP**

En muchas ocasiones y principalmente en las zonas más rurales, los municipios no cuentan con los recursos humanos necesarios para llevar a cabo todo el proceso de gestión y mantenimiento de la infraestructura hídrica, en estas ocasiones recurren a un proveedor de servicios, generalmente una ONG, la cual es seleccionada mediante una licitación municipal (Ministère de l’Energie et de l’Eau, République du Bénin, 2008). Esta es la situación que presenta la región de Nikki y en la cual OAN International lleva años desarrollando su proyecto ASEP, para la mejora del sistema de mantenimiento de las bombas de agua.

### **2.2.1. Situación en la región de colaboración de OAN International**

Como ya se ha comentado a lo largo del trabajo, OAN International colabora en la región de Nikki, la cual es una región mayormente rural situada en el noreste del país. Por tratarse esta de una zona rural, el acceso a fuentes de agua se encuentra muy limitado siendo las aguas superficiales y/o subterráneas las principales fuentes de agua de muchas de las localidades.

Las fuentes de agua superficial como ríos, lagos y manantiales son fuentes estacionales que dependen en gran medida de las lluvias, lo que las vuelve vulnerables a las sequías. Además, son fuentes de agua propensas a contener agentes contaminantes, como desechos humanos, residuos o parásitos, lo que puede deteriorar significativamente la calidad del agua y poner en riesgo la salud de quienes la consumen. La siguiente imagen, suministrada por OAN, refleja una muestra del agua recogida del manantial de Marigot, la cual como se puede observar no parece ser apta para el consumo humano.



*Figura 9. Muestra de agua del Manantial de Marigot. Fuente: OAN Internacional*

Por otro lado, el agua subterránea suele estar contenida en acuíferos, los cuales son una formación geológica bajo tierra en la que se acumula el agua. En la región de Nikki estos suelen estar situados a una profundidad de entre 30 y 60 metros, por lo que para la extracción del agua se hace necesario emplear pozos con mecanismo de cuerda y cubo y/o perforaciones equipadas con bombas de accionamiento humano.



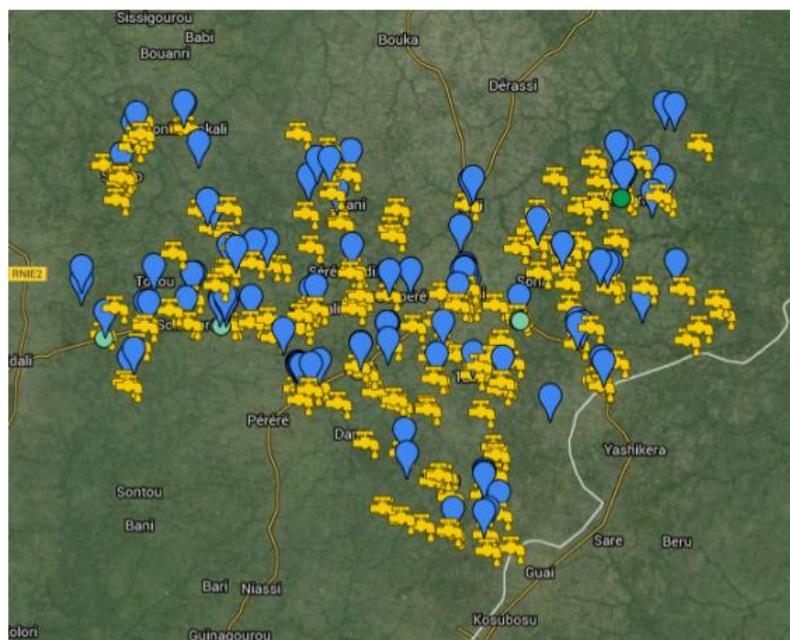
*Figura 10. Pozo de agua en Benín. Fuente: Fundación Pedro Navalpotro*

En los casos en que la aldea o pueblo está alejada de la fuente de agua, se suele recurrir al uso de bombas de agua, de las cuales se obtiene, además, una mejor calidad de agua.



*Figura 11. Bomba de agua (Ministère de l'Énergie et de l'Eau, République du Bénin, 2008)*

En la siguiente imagen, proporcionada por OAN se puede constatar como en la comuna de Nikki, una gran parte de este suministro de agua procede de las bombas de agua, las cuales se encuentran ampliamente extendidas por toda la región.



*Figura 12. Pozos y bombas existentes en Nikki (OAN International, 2016)*

A pesar de ello, la información del anterior mapa correspondía al año 2010 y, por tanto, se encontraba muy desactualizada, ya que en él no se reflejaban aquellos pozos o bombas en desuso, abandonados o averiados. A la llegada de OAN en 2016, esta información fue actualizada (ver Figura 13.) dejando un mapa mucho menos alentador en el que un gran % de las fuentes y bombas se encontraban fuera de servicio.



Figura 13. Pozos fuera de servicio o con funcionamiento defectuoso (OAN International, 2016)

Esta situación con los años no ha hecho más que empeorar y según datos de OAN International, en agosto de 2022, del total de bombas desplegadas en la comuna de Nikki, un 60% de ellas no funcionaban correctamente, lo cual fue uno de los detonantes para que ese mismo año se iniciara el proyecto ASEP, el cual tiene como objetivo mejorar el mantenimiento preventivo de las bombas de agua, a través de una aplicación móvil y web, la cual permite monitorizar las bombas existentes en la comuna, pudiendo de esta manera anticipar las reparaciones necesarias, y evitando que la población se quede sin acceso a esa fuente de agua, a causa de una avería o desgaste predecible (OAN International, 2022).

### 2.2.2. Avances del proyecto ASEP y su estado actual

El proyecto de ASEP nace precisamente para corregir la situación expuesta arriba, ya que lo que no puede suceder es que teniendo una infraestructura ya construida y funcional esta no pueda ser empleada porque el mantenimiento que se haya hecho de la misma haya sido incorrecto o en muchas ocasiones inexistente. Por ello, este proyecto pretende realizar una primera implementación del sistema de mantenimiento preventivo en 44 bombas de la región de Nikki, las cuales constituyen, únicamente un 10% del total del parque hidráulico de la zona, antes de extenderlo al resto (OAN International, 2022).

Hasta el momento los avances realizados por OAN International<sup>7</sup> han sido los siguientes:

- Análisis de la región: Análisis juntos a las autoridades locales para determinar el estado del parque hidráulico, del cual se extrajo (ver Figura 14.) que la mayoría de las localidades de la región de Nikki no cumple con el indicador de 500 habitantes por bomba. Además, juntos a la Universidad Pontificia Comillas se realizó otro estudio para determinar las causas del mal funcionamiento de las bombas, determinándose que en el 90% de las bombas no se realizaba el adecuado mantenimiento preventivo y que de estas el 60% presentaba averías.



Figura 14. Mapa de incumplimiento del indicador de la OMS. Fuente: OAN International

<sup>7</sup> Información facilitada por OAN Internacional, a través de una presentación no pública.

- Formación de reparadores: Apoyo a dos emprendedores en la creación de una red de reparadores capaces de arreglar todos los modelos de bombas presentes en la región (India Mark, Afridev y Vergnet), a la vez que sesiones formativas y prácticas en la manipulación y reparación de bombas.
- Tienda de repuestos: Financiación de la apertura de una tienda de repuestos, supliendo de esta forma la falta de presencia de un distribuidor oficial del modelo más común en Nikki (Vergnet, 80% del parque acuático). Durante los primeros 2 años tras su apertura, se vendieron alrededor de 450 piezas y se arreglaron unas 100 bombas (lo que supone un 40% del total).

Durante este período y gracias al excelente trabajo de campo de los colaboradores de OAN se han detectado una serie de problemas:

- Delegados: Son los encargados de la gestión del capital necesario para el mantenimiento de la infraestructura. Sin embargo, carecen de conocimientos en cuanto a la gestión y reparación de bombas, desconociendo el coste real de las piezas y, por tanto, haciendo un uso ineficiente de los recursos económicos. Además, es habitual que se salten el circuito normal de reparaciones, contactando directamente a los reparadores, aparte de carecer de una retribución económica, lo cual les genera hastío y dejación de funciones.
- Comunidades: Desconocimiento generalizado de la correcta manipulación de la bomba, su mantenimiento y costes asociados.
- Administración local: Excesiva burocracia que ralentiza los tiempos de reacción, falta de planificación e ignorancia de la importancia de destinar dinero al mantenimiento preventivo de las bombas y del ahorro económico que este puede generar.
- Reparadores: En primer lugar, Nikki solo cuenta con 5 reparadores oficiales, lo cual implica que de media cada uno de ellos se encarga de la gestión de un total de 80 bombas, lo cual es excesivo. A esto hay que sumar sus limitadas habilidades, en algunas ocasiones, para la identificación del problema y su resolución, y la mala fe

de alguno de ellos, el cual es consciente de que gana más dinero por la sustitución de la pieza, que por su reparación.

- Tiendas de repuestos: Falta de stock, especialmente alarmante en el caso de las piezas grandes las cuales se solicitan bajo pedido, lo cual provoca que un pueblo pueda quedarse sin acceso a agua durante varios días. Además, los precios varían según la tienda.

A continuación, se muestra un esquema del sistema actual y alguna de las propuestas de OAN para atajar los problemas de cada punto de la cadena:



Figura 15. Sistema actual y propuestas de mejora. Fuente: OAN International

Como solución para atajar este problema, OAN se propuso en 2022 la creación de una aplicación (AGUAPP) que permitiera la monitorización de la red de bombas de agua de Nikki, facilitando el seguimiento individualizado de cada una de ellas.

Para ello, inicialmente se comenzó con un proyecto piloto, en el que se decidió monitorizar únicamente el 10% de las bombas presentes en la red de Nikki.

Esta tarea, a pesar de parecer sencilla requiere de una cantidad ingente de datos, una monitorización precisa de la actividad y funcionamiento de cada una de las bombas y una

actualización regular del estado y métricas de cada una. Entre los datos necesarios a conocer de cada bomba destacan: ubicación, modelo, año de construcción, historial de reparaciones, piezas reemplazadas, vida útil de los componentes, estado de funcionamiento...

Además, de la creación de la aplicación el proyecto también requiere de la configuración de un sistema de seguimiento para los reparadores y la implementación de un sistema de mantenimiento preventivo. A continuación, se muestra la interfaz de la fase piloto:

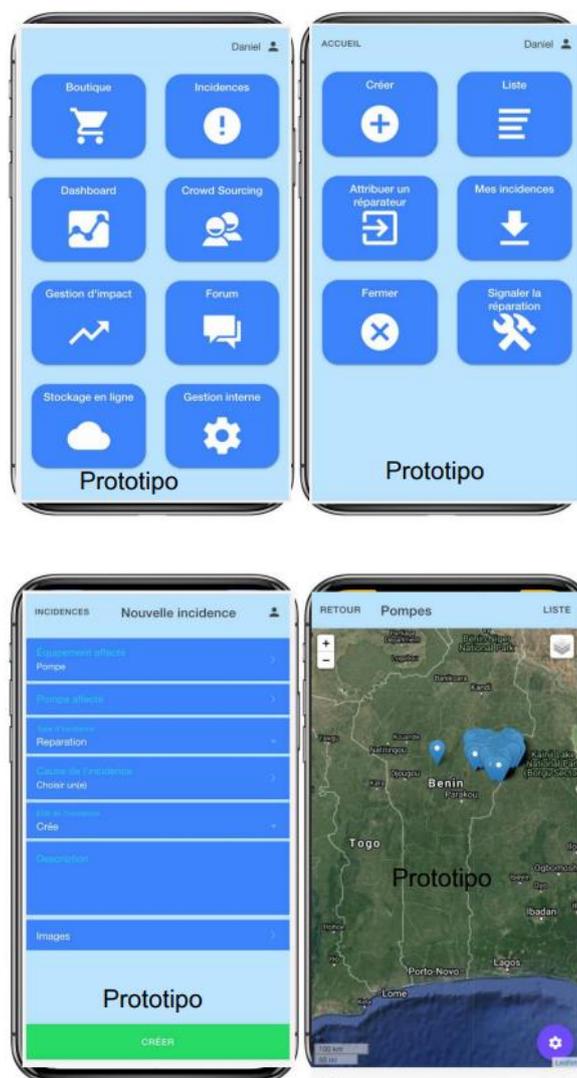


Figura 16. Prototipo de AGUAPP. Fuente: OAN International



# Capítulo 3. BOMBAS MANUALES EMPLEADAS EN PROYECTOS DE COOPERACIÓN PARA EL DESARROLLO

En este capítulo se profundizará en las bombas manuales, haciendo un repaso rápido a su evolución histórica, para después continuar con los tipos de bombas más empleados en proyectos de cooperación para el desarrollo, finalizando con los modelos más comunes en Benín.

## 3.1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LAS BOMBAS DE AGUA

Desde principios de la humanidad la obtención de agua siempre ha sido una tarea de vital importancia para el desarrollo cultural del ser humano. La primera constancia que se tiene del uso de bombas de agua para la recolección de agua se fija en el Antiguo Egipto, estimándose entre los años 2500 A.C. y el 2000 A.C. Esta bomba era conocida como “Shaduf” (ver Figura 17.) y consistía simplemente en un palo de madera apoyado sobre dos columnas, en las que en un extremo tenía colocado un contrapeso y en el otro un cubo de cuero sujeto por una cuerda (Muñoz, 2023)

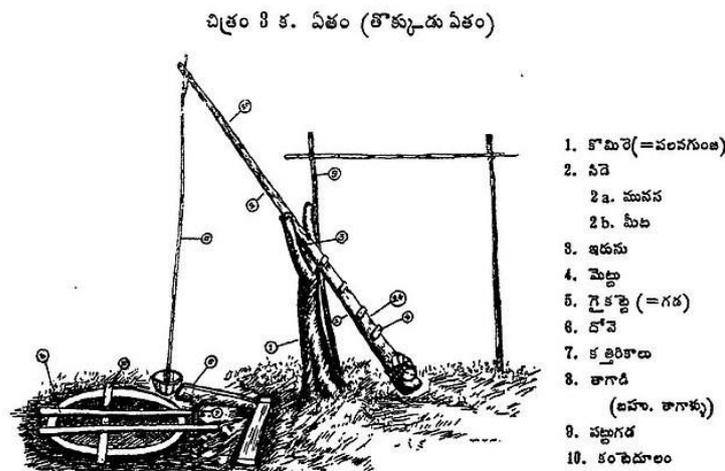
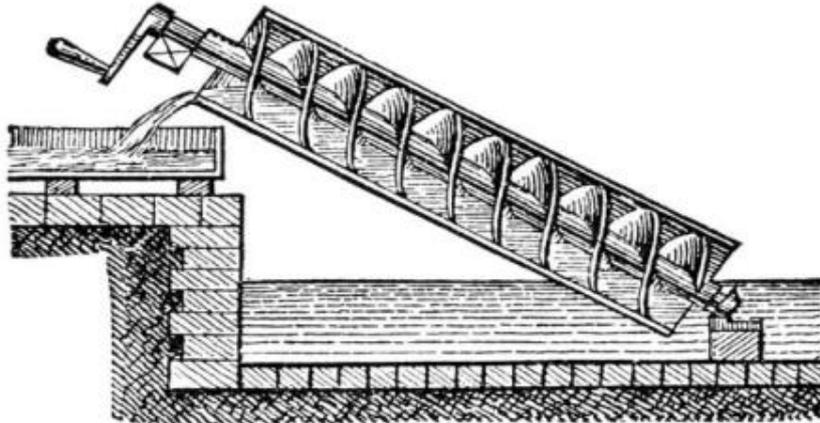


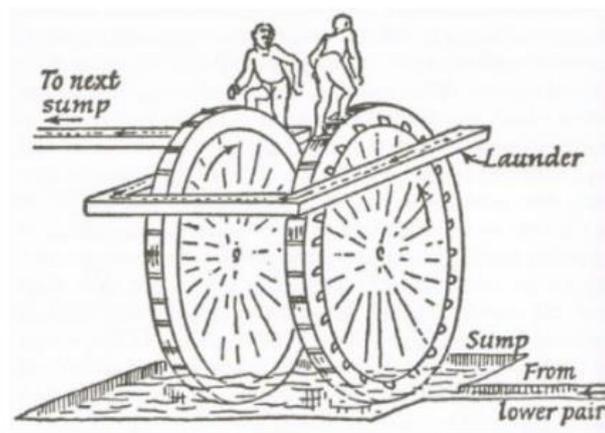
Figura 17. Shaduf (Muñoz, 2023)

El siguiente sistema que adquirió un gran reconocimiento y cuyo uso se extendió bastante fue el Tornillo de Arquímedes (ver Figura 18.) que data del 300 A.C., empleado para elevar agua de elevado caudal a bajas alturas.



*Figura 18. Tornillo de Arquímedes (Landels, 2000)*

Otro sistema novedoso a destacar sería la rueda de cántaros, la cual fue el primer sistema capaz de conseguir recoger agua de mayores profundidades. El mejor ejemplo de esta tecnología fue el empleado por los romanos en las minas de Riotinto en Huelva (ver Figura 19.), en las cuales mediante el uso de 8 pares de este sistema y la fuerza de 16 hombres eran capaces de obtener más de 9.000 l/hora a una profundidad superior a los 29 metros (Landels, 2000).



*Figura 19. Rueda de Cántaros en las minas de Riotinto (Landels, 2000)*

En la edad antigua, por último, hay que hacer una mención a la bomba (ver Figura 20.) desarrollada por Ctesibio en siglo III A.C., primera bomba que empleaba pistones, cilindro y válvulas (Landels, 2000).

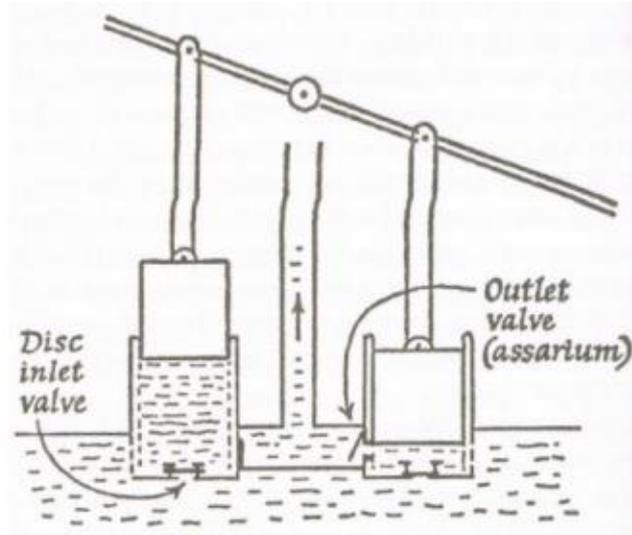


Figura 20. Bomba de Ctesibio (Landels, 2000)

A lo largo de los siglos venideros grandes científicos investigaron en este campo, incluso llegando a desarrollar algún prototipo como Leonardo Da Vinci o Johannes Kepler. Sin embargo, no sería hasta la explosión de la Revolución Industrial cuando las bombas centrífugas pasarían a consolidarse como una máquina eficiente, barata de fabricar y con capacidad para elevar grandes caudales. Gran parte de este desarrollo hay que agradecerse a John Appold y su bomba, la cual presentaba un 68% de eficiencia, triplicando a las del resto del mercado.

### **3.2. TIPOS DE BOMBAS MANUALES MÁS COMUNES**

En la actualidad, las bombas de propulsión humana conforman uno de los sistemas más accesibles para la obtención de agua a elevadas profundidades, ya que son sistemas mecánicamente sencillos, robustos, simples de manipular, y fáciles de implementar y

mantener, si se tienen unas nociones básicas. Además, si su utilización y mantenimiento son los correctos son sistemas relativamente económicos.

En cuanto a la fabricación de una bomba de agua existen 3 sistemas principales en función del principio básico (ver Figura 21.) que se siga (DINEPA, 2013):

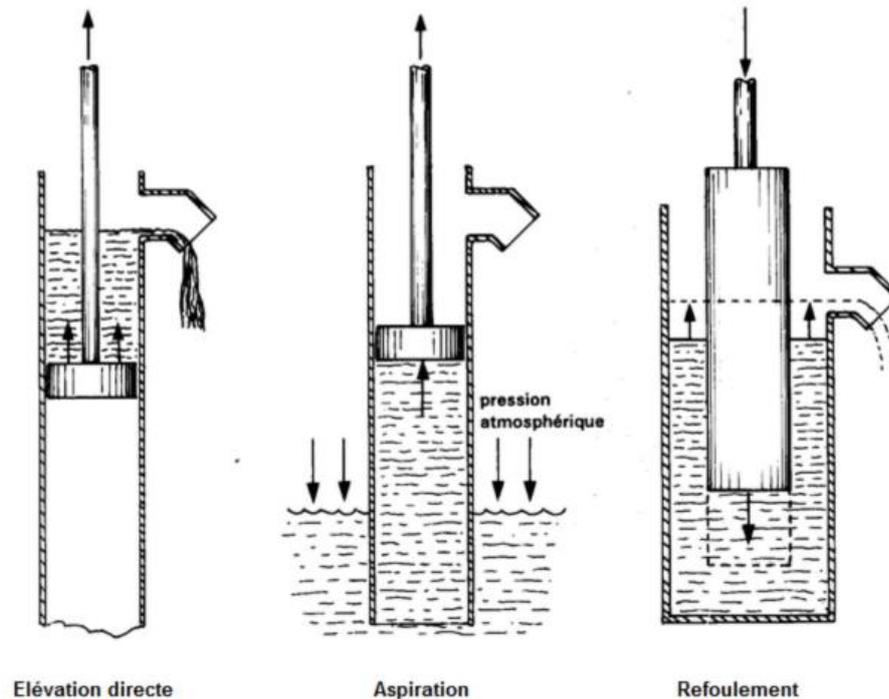


Figura 21. Principios básicos de diferentes dispositivos volumétricos (DINEPA, 2013)

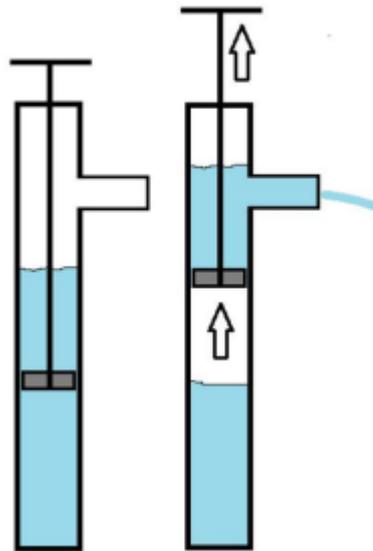
- Elevación directa: Sistema que no es energéticamente eficiente, por lo que se obvia su tratamiento.
- Aspiración: La diferencia entre la presión atmosférica y la depresión creada por la bomba ejerce presión sobre el agua empujándola hacia la tubería en la que se ha reducido la presión. Sin embargo, la succión no puede alcanzar alturas de agua superiores al equivalente de la presión atmosférica (6,9 m al nivel del mar).
- Descarga: Utilizan el mismo principio que las bombas de aspiración, es decir, crean una depresión para succionar el agua, no obstante, en las bombas de descarga el mecanismo de succión está ubicado en el fondo del pozo y tiene una válvula de retención, de manera que solo se genera aspiración en una pequeña porción de la

columna de agua, empujando el agua el resto del tiempo. Además, permiten operar a profundidades superiores a los 7 metros.

La mayoría de las bombas de propulsión humana utilizadas son bombas de descarga, ya que las profundidades de operación suelen ser siempre superiores a los 7 metros. Estas requieren siempre que una persona se encargue de su operativa las cuales pueden ser de tres tipos en función del mecanismo empleado:

### **Accionamiento directo**

Sistema que permite bombear agua a una profundidad máxima de 15 metros, a mayores profundidades, la fuerza requerida por el usuario es demasiado grande y el agua no se puede bombear. En estos casos hay que recurrir al accionamiento por palanca.



*Figura 22. Principio de funcionamiento del accionamiento directo (DINEPA, 2013)*

### **Accionamiento por palanca o pedal**

Está basado en el mismo principio que el anterior, pero en este caso se añade un brazo palanca para aumentar la cantidad de fuerza a ejercer, lo que permitirá alcanzar mayores profundidades. En el caso de que se emplee un pedal en vez de una palanca, este permitirá

aprovechar la fuerza de la gravedad al pisar el pedal, haciendo de la extracción del agua una tarea algo menos ardua.

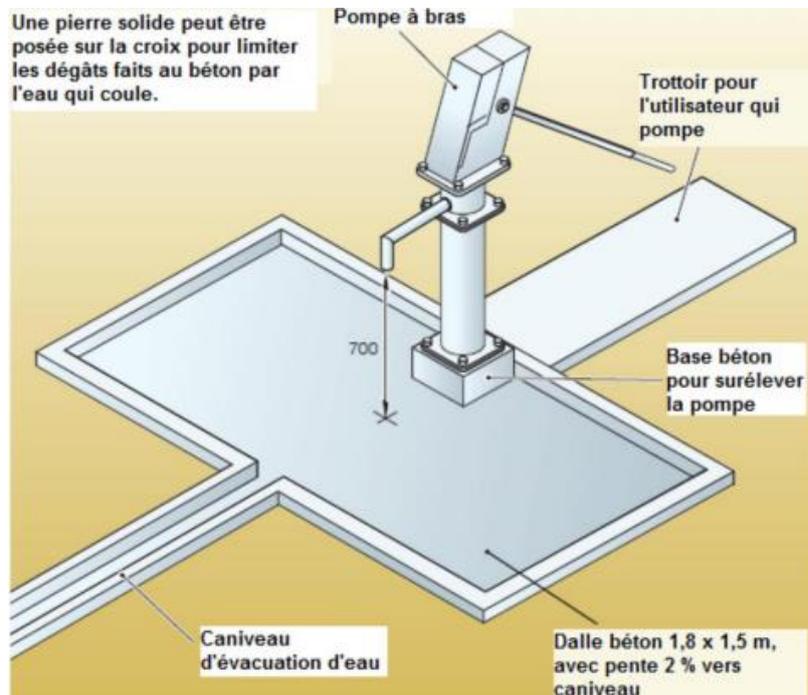


Figura 23. Bomba manual de palanca (DINEPA, 2013)

### **Accionamiento por palanca y tracción a las ruedas**

Este sistema sigue el principio presente en los motores de coches, motos o máquinas de vapor, mediante el cual, el giro de la manivela hace rotar la rueda, la cual genera el movimiento vertical del pistón.

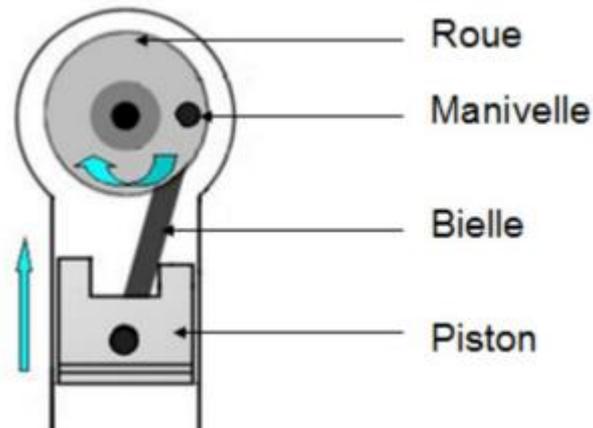


Figura 24. Principio de funcionamiento de la bomba con tracción a ruedas (DINEPA, 2013)

Por tanto, en función de las necesidades de cada lugar, será más conveniente el empleo de una bomba u otra. A continuación, se presenta una tabla resumen:

Profundidad	Principio	Directo	Rueda	Palanca	Pedal
0-7m	Aspiración	X	X	X	X
0-15m	Descarga	X	X	X	X
0-30m	Descarga		X	X	X
0-60m	Descarga		X	X	X
0-100m	Descarga			X	X

Tabla 3. Resumen para la elección del principio y mecanismo. Fuente: Creación propia

### 3.3. BOMBAS MANUALES EN BENÍN

Como se comentaba en el mercado existen una gran variedad de sistemas y modelos de bombas manuales, en el caso de Nikki predominan las bombas con accionamiento por palanca o pedal. En la siguiente imagen se puede apreciar el reparto aproximado en porcentaje de bombas por marca:

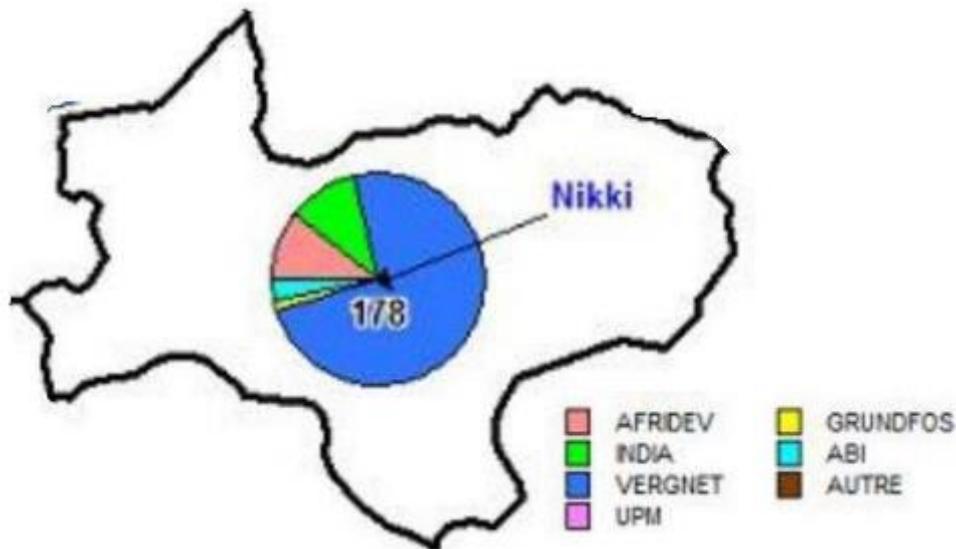


Figura 25. Distribución por marca de bomba en Nikki. Fuente: Dirección General del Agua de Benín

Del anterior gráfico se puede concluir que las marcas Vergnet, India Mark y Afridev son las que presentan una mayor presencia, destacando la marca Vergnet la cual concentra entre el 70-75% de la red de bombas de Nikki. Sin embargo, estos números no son precisos, ya que OAN International sobre el terreno ha identificado un total de 431 bombas en todo Nikki, presentando la siguiente distribución:

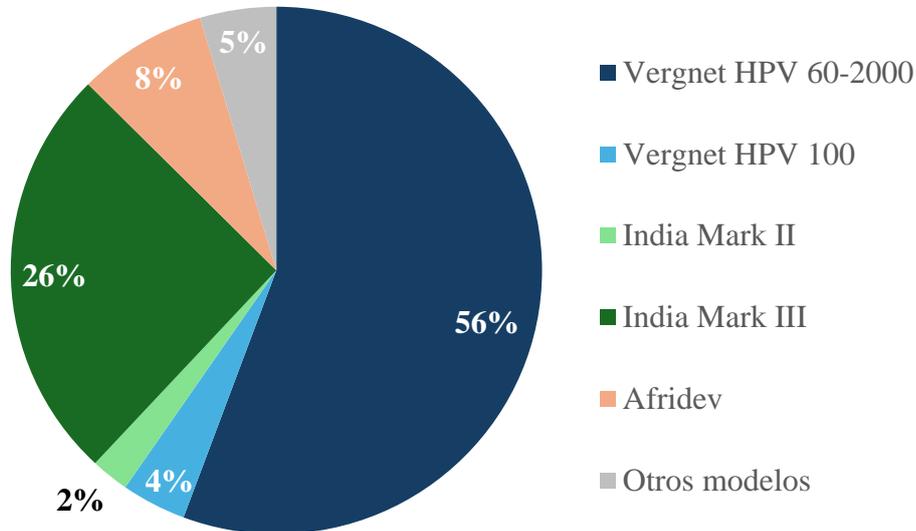


Figura 26. Distribución de bombas en Nikki por modelo (%). Fuente: Creación propia

Según los datos aportados por OAN el porcentaje de bombas de la marca Vergnet cae un 10-15% frente a los datos del Gobierno, situándose en el 60% y la marca India Mark crece mucho, adelantando a la marca Afridev y situándose como la segunda marca con mayor relevancia en la región con un 28%.

En el siguiente capítulo se analizarán en profundidad estas tres principales marcas y cada uno de sus modelos particulares.



## Capítulo 4. ANÁLISIS DE LAS BOMBAS CON PRESENCIA EN NIKKI

Las bombas manuales presentes en Benín son sistemas hidráulicos que actúan bajo el principio de desplazamiento positivo, el cual relaciona el caudal de agua que atraviesa la bomba con la variación de volumen de su cámara interna. De esta forma, según el pistón se vaya moviendo debido al ejercicio de una fuerza, el volumen dentro de la cámara de la bomba variará, generando el caudal de fluido saliente (OAN International, 2015). Esto de manera esquemática se encuentra representado en la siguiente imagen:

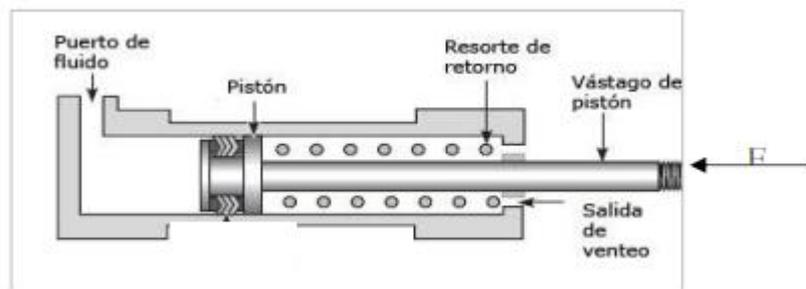


Figura 27. Principio de desplazamiento positivo (OAN International, 2015)

### 4.1. VERGNET

Como se ha comentado en el capítulo anterior Vergnet es la marca de bombas de agua con mayor presencia en la región de Nikki, abarcando el 60% de la red de bombas. Concretamente, en Nikki hay dos modelos de Vergnet instalados, el HPV 60-2000 y el HPV 100, siendo su principal diferencia la profundidad en la que pueden operar. En el caso de la HPV 60-2000, su rango óptimo de operación es entre los 30 y 60 metros, frente a la HPV 100, que puede operar de manera fiable entre los 60 y 100 metros de profundidad.

#### **4.1.1. Historia de la bomba Vergnet**

La historia de la bomba Vergnet se remonta al año 1974 cuando Marc Vergnet, de origen francés, y que se encontraba trabajando de ingeniero en Burkina Faso comprobó de primera mano los estragos que generaba la sequía. Durante esa época las bombas empleadas en el África Subsahariana eran muy pesadas, poco fiables y muy caras de mantener y arreglar. Por ello, Marc se propuso crear una bomba que se adaptara al contexto particular de estos países (Vergnet Hydro).

En la actualidad se emplean alrededor de 110k bombas Vergnet a nivel mundial, las cuales abastecen a más de 50 millones de personas. El África Subsahariana es su principal mercado, siendo sus principales clientes bancos internacionales, ONGs y proyectos de cooperación.

Se calcula que una sola bomba es capaz de suministrar agua para 600 personas, y que puede llegar a tener una vida útil de más de 20 años (el fabricante la fija en más de 15 años), si se realiza un correcto mantenimiento. Además, el fabricante ha establecido una cadena de suministro local en la mayoría de los países africanos a los que suministra bombas manuales. En cada país en el que Vergnet se instala, elige una empresa local o crea su propio representante. Esta empresa almacenará las bombas y los repuestos a nivel central y distribuirá las existencias a los minoristas locales, que las venderán a los reparadores o a las comunidades (Sansom & Koestler, 2009). En el pasado existía un proveedor en Benín, el cual ya no se encuentra presente.

#### **4.1.2. Descripción de los modelos Vergnet**

La bomba manual Vergnet es una bomba de diafragma que utiliza el principio de desplazamiento positivo para extraer el agua. El cambio de volumen genera una diferencia de presión que succiona el agua por un lado del diafragma y la expulsa por el otro. El movimiento oscilatorio del diafragma, controlado por válvulas unidireccionales, asegura un flujo continuo en una sola dirección.

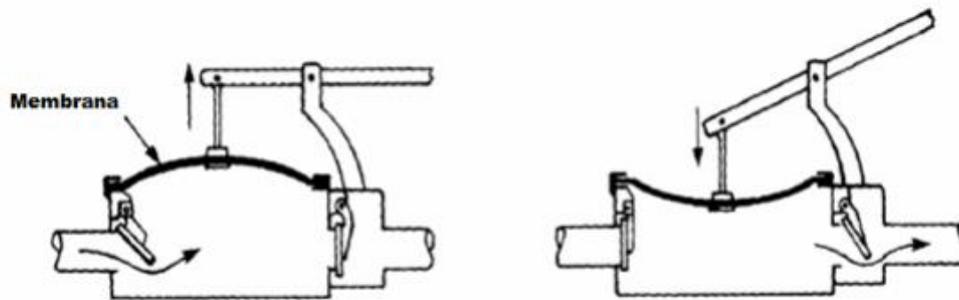


Figura 28. Funcionamiento de una bomba diafragma. Fuente: OAN International

Las características de la bomba Vergnet según el tipo de modelo se presentan en la siguiente tabla:

		HPV 60-2000	HPV 100
General	Profundidad máx	60m	100m
	D. min de perforación	4"	4"
	Peso	23kg	23kg
	Vida útil	15 años	15 años
Cuerpo	Longitud	1,36m	2,32m
	D. exterior	94mm	90mm
	Peso	10kg	15kg
	Material	Acero	Acero
Tuberías	Peso	0,3kg/m	0,3kg/m
	Material	Polietileno	Polietileno

Tabla 4. Características generales bombas Vergnet. Fuente: Vergnet Hydro

Por último, se incluye el rendimiento de ambos modelos:

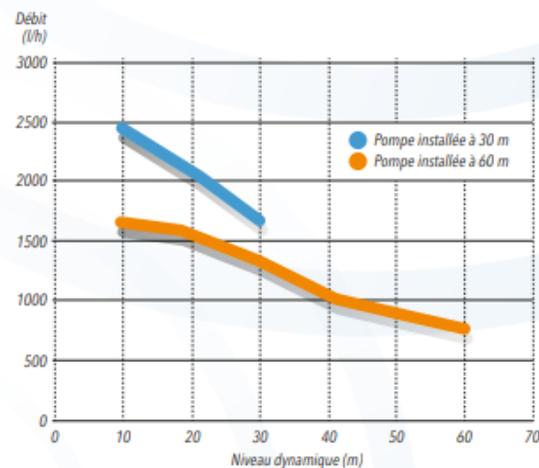


Figura 29. Rendimiento HPV 60-2000. Fuente: Vergnet Hydro

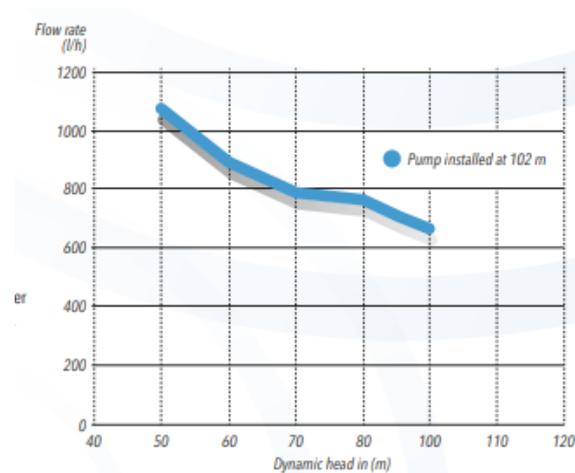


Figura 30. Rendimiento HPV 100. Fuente: Vergnet Hydro

#### 4.1.3. Componentes principales de la bomba Vergnet

La bomba Vergnet presenta los siguientes elementos:

- Cabeza de la bomba: Situada por encima de la superficie, es la parte encargada de transmitir el movimiento del pedal al agua de las tuberías, gracias a la acción de un pistón.
- Tuberías: Comunican la cabeza de la bomba con el cuerpo de la bomba. Canalizan el agua desde el pistón hasta la cámara de aire.

- Cuerpo de la bomba: Situado en el fondo del pozo, se encuentra compuesto por:
  - o Caja de válvulas: Controla la dirección del flujo de agua durante los ciclos de carga y descarga.
  - o Cámara de aire
  - o Válvula de aspiración: Controla el flujo de entrada de agua del pozo al cuerpo de la bomba.

A continuación, se presenta una representación simplificada de la estructura de la bomba Vergnet y su subdivisión en los tres principales elementos. En el Anexo II se ha incluido un plano de despiece detallado de cada uno de los dos modelos de Vergnet (HPV 60-2000 y HPV 100).

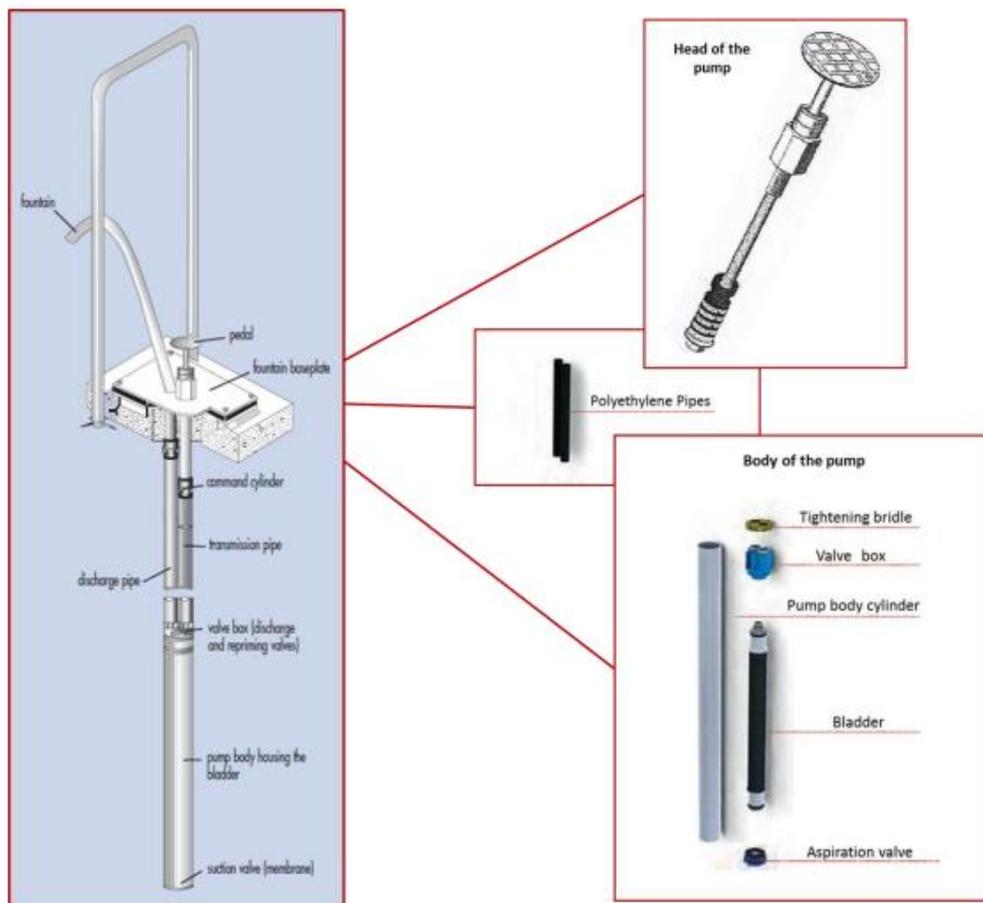


Figura 31. Principales componentes de la bomba Vergnet. Fuente: Vergnet Hydro

#### 4.1.4. Funcionamiento

El funcionamiento de la bomba Vergnet se basa en dos movimientos simultáneos:

##### Aspiración

El usuario de la bomba, situado en un punto elevado y de pie, para poder hacer uso de su peso y fuerza de inercia, deja de ejercer presión sobre el pedal, el cual se retrae hasta su posición original. El movimiento de subida del pistón genera que la cámara de aire se contraiga, succionando el agua situada en la parte inferior de la bomba, donde la válvula de aspiración se encuentra en posición abierta, lo que lleva a que el cuerpo de la bomba se llene de agua, mientras que la válvula antirretorno está cerrada, evitando que el líquido descienda de nuevo hacia el interior del pozo. Este proceso se puede ver representado en la siguiente figura:

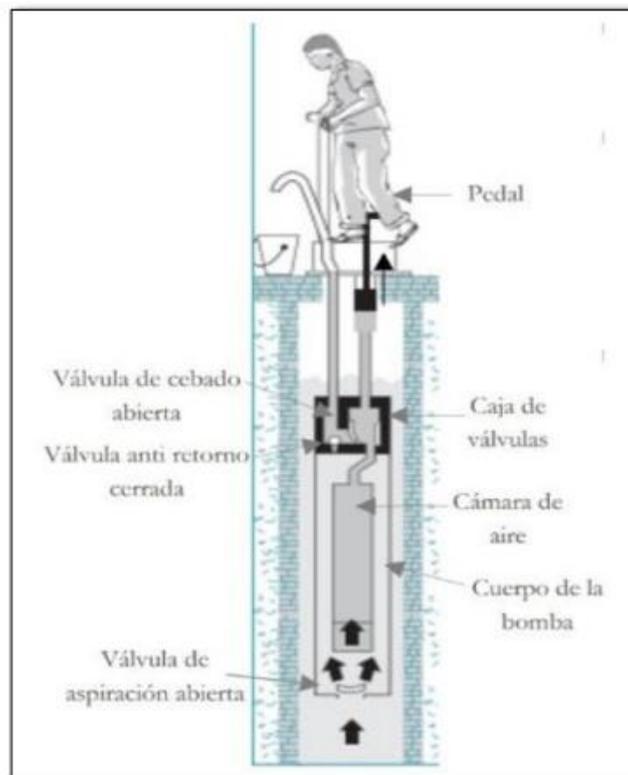


Figura 32. Aspiración de la bomba Vergnet. Fuente: Fundación ingenieros ICAI para el desarrollo

### Descarga

Habiendo retornado el pedal a su posición original, el usuario puede volver a pisarlo. En este caso, la bajada del pedal genera que la válvula de membrana se cierre, haciendo que la cámara de aire vuelva a su volumen original y moviendo el agua hacia abajo, esta fuerza también provoca que la válvula de aspiración se cierre. La presión generada en la cámara de aire permite que el caudal de agua sea impulsado hacia la válvula antirretorno, la cual se abre y desencadena que el agua fluya, a través del grifo. Este proceso se puede ver representado en la siguiente figura:

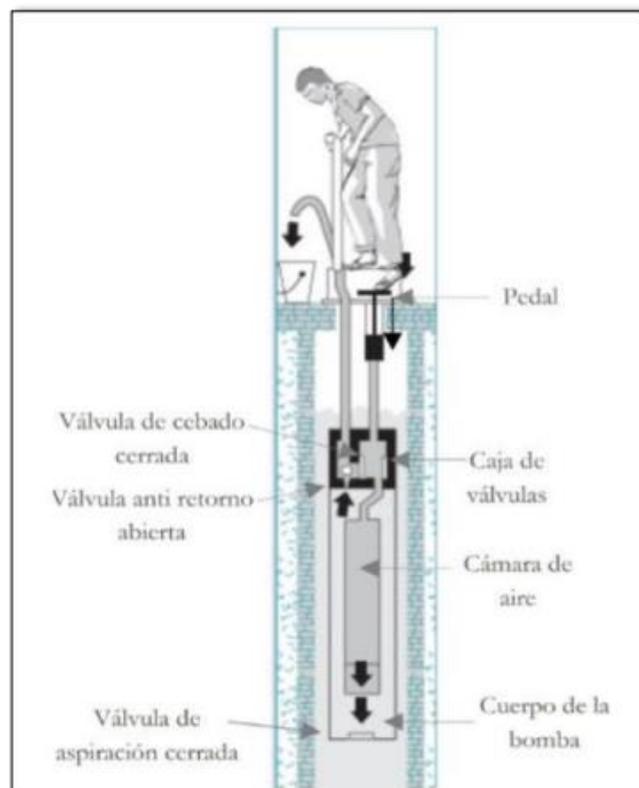


Figura 33. Descarga de la bomba Vergnet. Fuente: Fundación ingenieros ICAI para el desarrollo

## **4.2. INDIA MARK**

India Mark es la segunda marca de bombas de agua con mayor presencia en Nikki y cuenta con dos modelos principales, India Mark II e India Mark III, los cuales en función del diámetro del cilindro pueden extraer agua de hasta 50 metros de profundidad. En el caso del modelo India Mark II, se cuenta con una variación conocida como India Mark II Extra-Deep, la cual permite aumentar su rango óptimo de operación hasta los 80 metros.

### **4.2.1. Historia de la bomba India Mark**

Como bien indica su nombre la bomba India Mark es originaria de la India y su creación se desencadena tras la independencia de este país de Gran Bretaña.

Al igual que sucede en Benín, en la India el acceso al agua a mediados del siglo XX era bastante limitado y las bombas con las que contaban para las tareas de extracción de agua se encontraban en mal estado y sin mantenimiento, este hecho llevó a que UNICEF decidiera tomar cartas en el asunto. Inicialmente UNICEF proporcionó la maquinaria necesaria para que la India llevara a cabo las excavaciones. Sin embargo, como la escasez de agua seguía creciendo, en 1971 el acceso a agua potable se situaba en torno al 6% (Mudgal, 1997), y un sondeo sobre el estado de las bombas reveló que el 75% de ellas no se encontraban operativas, UNICEF decidió que, para atajar el problema, no valía solo con aportar maquinaria, sino que había que diseñar una bomba fiable que pudiera asistir a las poblaciones rurales (Baumann & Furey, 2013).

La bomba debía contar con un diseño sencillo y replicable en talleres no especializados. Además, se necesitaba que esta pudiera funcionar, al menos, diez horas al día y su producción no supusiera más de 200\$ (expresado en \$ de los años 70) (Baumann & Furey, 2013).

Por ello, UNICEF junto al Gobierno de la India, la OMS y Rural Water Supply Programme (RWSP) aunaron esfuerzos para la creación del primer modelo de India Mark II. Curiosamente, se dice que la razón de que no exista un modelo de India Mark I es debido a

que el diseño de la bomba se basa en otra bomba muy popular de la época, la Sholapur, diseñada por Oscar Carisson (Talbot, 2017).

El programa de instalación supuso un éxito rotundo, desplegándose más de 2,3 millones de bombas y dando cobertura a más de 600 mil aldeas, entre las décadas de los 80 y 90 (Mudgal, 1997), lo cual permitió elevar el acceso de agua potable del país hasta el 85% en 1996 (UNICEF, 1997). Todo esto llevó a que la bomba ganara reconocimiento internacional y se exportara a otros países.

#### **4.2.2. Descripción de los modelos India Mark**

La bomba India Mark emplea el principio de desplazamiento de masas de agua, mediante el cual la masa de agua se mueve de la fuente a la bomba, gracias al principio de incompresibilidad, cerrándose posteriormente la válvula que conecta la bomba con el pozo y abriéndose la salida hacia el exterior.

Las características de la bomba India Mark según el tipo de modelo se presentan en la siguiente tabla:

	India Mark II	India Mark III
Profundidad máx	50m	50m
D. cilindro	63,5 mm	50 mm
Max carrera del cilindro	125 mm	125 mm
Cuadal por ciclo	0,4 l	0,4 l
Max caudal	900 l/h	600 l/h
Cantidad de personas abastecidas/bomba	Max 300	Max 300

*Tabla 5. Características de la bomba India Mark. Fuente: RWSN*

En el caso de la bomba India Mark III es relevante señalar sus principales diferencias con respecto al modelo de India Mark II son:

- Cilindro de la bomba: En la India Mark III es un cilindro abierto por arriba que permite realizar el mantenimiento de elementos críticos como las juntas de estanqueidad y la válvula de pie, lo cual no se puede con la India Mark II.

- Diámetro del cilindro: Existen dos posibilidades de diámetro del cilindro:
  - Diámetro de 63,5 mm: Igual que el de la India Mark II, permite bombear un caudal máximo de 900 l/h, sin embargo, su profundidad máxima de operación es de 30 metros.
  - Diámetro de 50 mm: La reducción de diámetro permite bombear agua a mayores profundidades (máximo de 50 metros), sin embargo, el caudal máximo bombeado baja hasta los 600 l/h.
- Tuberías de impulsión: Están fabricadas con PVC en vez de acero galvanizado como en la India Mark II.

Uno de los principales inconvenientes de las bombas India Mark<sup>8</sup> es que el modelo original de la India Mark II no cuenta con la etiqueta VLOM, etiqueta otorgada a aquellas bombas que permite su funcionamiento y mantenimiento a nivel de poblado, ya que es una bomba pesada y que requiere de un trípode para su instalación y de especialistas para ciertas reparaciones, además los elementos de cuero que envuelven al pistón deben ser reemplazados cada medio año y es una bomba que opone baja resistencia a la corrosión, oxidándose con frecuencia.

#### **4.2.3. Componentes principales de la bomba India Mark y funcionamiento**

La bomba se puede dividir en tres partes principales:

- Cabeza: Contiene el mecanismo que convierte la fuerza aplicada por el usuario, movimiento de vaivén de la palanca, en un movimiento lineal y perpendicular al suelo, gracias a un eje de rotación que permite un movimiento repetitivo y más cómodo para las personas.
- Cuerpo: En él se encuentra la salida de agua, la cual se podría limitar a un agujero, sin embargo, se utiliza una tubería con forma de codo para dirigir el agua hacia los

---

<sup>8</sup> El modelo más reciente de India Mark II y todos los modelos de India Mark III sí cuentan con la etiqueta VLOM.

contenedores y evitar pérdidas. En los pozos, el cuerpo de la bomba se suele fijar al suelo mediante una plataforma, la cual evita el movimiento de la bomba, así como la contaminación del agua por elementos exteriores.

- Bomba: Compuesta principalmente por:
  - Vástago: Transmite la fuerza aplicada en la palanca a la bomba.
  - Pistón: Elemento cuya principal función es controlar el flujo de agua hacia arriba, su movimiento se encuentra sincronizado con el vástago, lo que hace que la válvula interna se abra y cierre alternativamente. Cuando la válvula está abierta, el agua puede pasar a través del hueco del pistón y ser impulsada hacia arriba, mientras que cuando está cerrada, se bloquea el paso del agua.
  - Cierre inferior: Está formado por un elemento desplazable con una junta de estanqueidad y separa a la bomba de la fuente de agua, permitiendo la entrada de agua, cuando la bomba es accionada.

A continuación, se presenta una representación simplificada de la estructura de la bomba India Mark y su subdivisión en los tres principales elementos. En el Anexo II se ha incluido un plano de despiece detallado de cada uno de los dos modelos de India Mark.

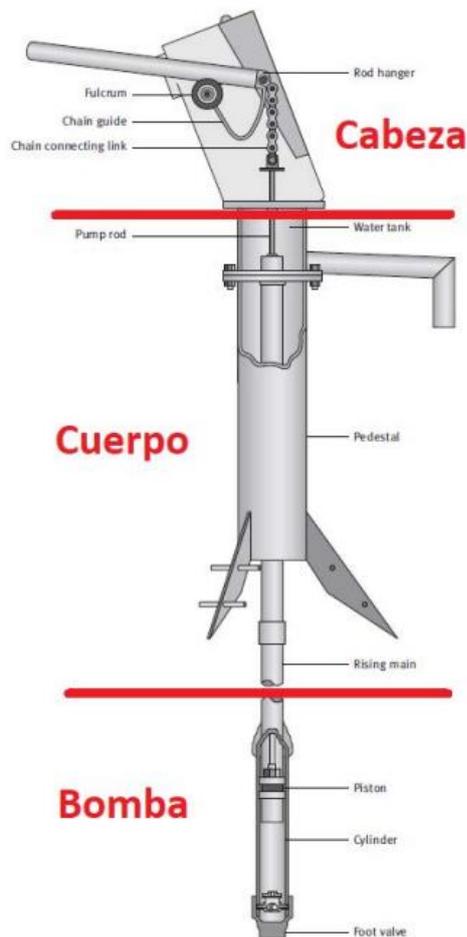


Figura 34. Principales componentes de la bomba India Mark. Fuente: Wateraid

Como ya se ha explicado el funcionamiento de la bomba se produce por diferencias de presiones, las cuales abren o cierran las válvulas. De forma resumida, la bajada del pistón genera que la cámara situada entre las juntas de estanqueidad se reduzca, comprimiendo el agua allí alojada. Este incremento de la presión genera una fuerza en las paredes del cilindro, que abre la válvula situada en el pistón, permitiendo el ascenso del agua. La siguiente figura, pretende representar este movimiento:

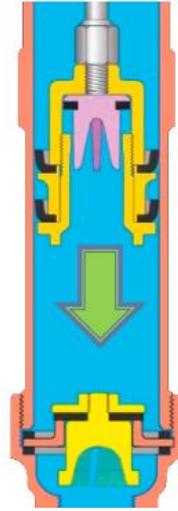


Figura 35. Bajada del pistón en la bomba India Mark. Fuente: (Skinner, Shaw, & Chatterton, 2019)

### 4.3. AFRIDEV

De las tres marcas analizadas en este trabajo, la Bomba de agua de la marca Afridev es la que menor presencia tiene en Benín.

#### 4.2.1. Historia de la bomba Afridev

La bomba Afridev empieza a surgir como proyecto en Malawi a principios de 1981. Inicialmente, se empleó como base el modelo de la bomba India Mark II, pero corrigiendo aquellas deficiencias que esta presentaba, como el caro y difícil mantenimiento, pudiéndose producir en un país como Malawi, donde los recursos industriales son limitados. En 1982 se inició la producción del cabezal de la bomba conocida, inicialmente, como Maldev (desarrollo malawi). En 1983 el desarrollo se traslada a Kenia (SKAT - HTN, 2007).

Durante la década de los 80 varios expertos locales de África colaboraron con las industrias locales en el diseño y la producción de prototipos. Además, organizaciones como DuPont Plastics que ayudó en la investigación y desarrollo de material plástico o Skat que facilitó el contacto con empresas suizas de fabricación de herramientas y moldeo por inyección, proporcionaron asesoramiento especializado. Con el apoyo de la organización sueca SIDA,

se estableció un proyecto de pruebas en Kenia, donde se instalaron unas 300 bombas, momento en el que se decidió cambiar el nombre de Maldev a Afridev (desarrollo africano), ya que varios países en África habían contribuido a su diseño y desarrollo. En 1989, Skat publicó la primera especificación estándar internacional de la bomba (Baumann & Furey, 2013).

En la actualidad las bombas manuales Afridev se fabrican en varios países en desarrollo de África y Asia, como Mozambique, Nigeria, Ghana, Tanzania, Etiopía o Pakistán.

#### **4.2.2. Descripción de la bomba Afridev**

El modelo de bomba de Afridev es el de una bomba manual de palanca convencional. Su diseño está preparado para un uso intenso, pudiendo abastecer pueblos de hasta 300 personas. Su rango de operación es menor al de los otros dos modelos de bombas comentados, pudiendo trabajar a profundidades máximas de 45 metros. Es una bomba que destaca principalmente por su resistencia a la corrosión y fácil instalación y mantenimiento. A pesar de ello, sus piezas de recambio suelen ser caras y difíciles de encontrar.

Las características de la bomba Vergnet según el tipo de modelo se presentan en la siguiente tabla:

		Afridev
General	Profundidad máx	45 m
	D. min de perforación	100 mm
	Material	Acero Galvanizado
	Caudal máx	1.300 l/h
Cilindro	Carrera	225 mm
	Diámetro	50 mm
	Caudal por ciclo	0,4 l
Tuberías	D. exterior	10mm
	Longitud	Series de 3 m

*Tabla 6. Características de la bomba Afridev. Fuente: Dayliff*

#### 4.2.3. Funcionamiento y esquema de la bomba Afridev

La bomba Afridev es una bomba manual de palanca que basa su funcionamiento en un pistón o émbolo, el cual permite la entrada de agua cuando este es accionado por medio de la palanca a la cual está unida, a través de una varilla. Cuando la palanca inicia su recorrido descendente la arandela baja, cortando el paso del agua y haciendo que este se acumule en el interior de la bomba. El movimiento ascendente y descendente de palanca, genera una fuerza de aspiración que genera el ascenso del agua a través de la tubería de impulsión hasta finalmente alcanzar el orificio de salida.

Una de las ventajas con las que cuenta esta bomba es que el pistón se puede extraer sin necesidad de desmontar la palanca, lo cual facilita y abarata el mantenimiento. La bomba manual Afridev, puede separarse en cuatro secciones (en el Anexo II se incluye un plano más detallado):

- La cabeza de la bomba, el soporte y el mango
- La varilla de la bomba
- La tubería de impulsión y la carcasa
- El conjunto de pistón, cilindro y válvula de pie

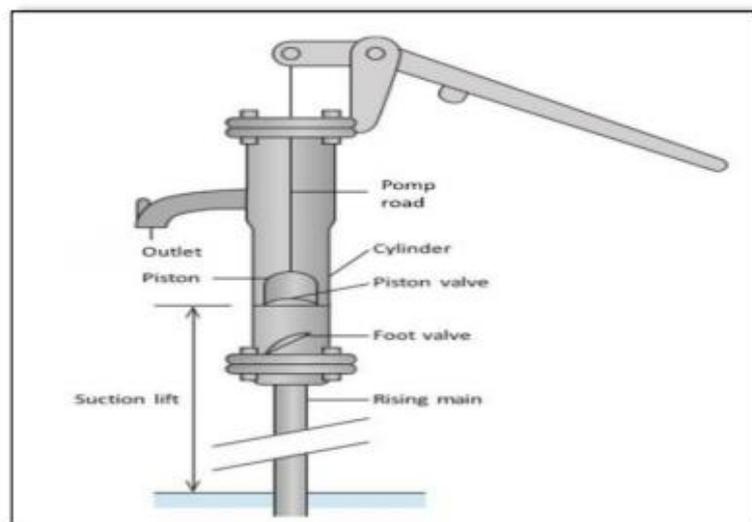


Figura 36. Esquema de funcionamiento de la bomba Afridev. Fuente: OAN International



# Capítulo 5. GUÍA DE MANTENIMIENTO DE LAS BOMBAS CON PRESENCIA EN NIKKI

En este capítulo se recoge la documentación, específicamente creada para el proyecto ASEP de OAN International. El objetivo final es que la información aquí incluida se cargue en la aplicación de AGUAPP, a través de la cual se pretende facilitar el mantenimiento preventivo al ayuntamiento de Nikki.

Entre el contenido del capítulo se incluye la siguiente información:

- Vida útil de las piezas de cada modelo de bomba.
- Fases de mantenimiento a realizar, indicando fechas y acciones a llevar a cabo.
- Roturas y problemas más comunes de cada modelo de bomba, incluyéndose las posibles causas de los fallos y diversas soluciones para su corrección.
- Ficha de mantenimiento y propuesta de recogida de datos y monitoreo.

## **5.1. DESPIECE Y VIDA ÚTIL POR MODELO DE BOMBA**

Uno de los puntos más importantes del trabajo era fijar la vida útil de cada una de las piezas que componen los diferentes modelos de bombas, de manera que posteriormente se pudiera iniciar un plan específico de mantenimiento acorde a las necesidades de las diferentes bombas. Por ello, si se desconoce el periodo efectivo de uso que se les puede dar a cada una de las piezas, no se puede llevar un control de desgaste de las piezas, y por consiguiente hacer un mantenimiento preventivo adecuado.

Esta tarea no ha sido sencilla, ya que ha implicado el empleo y lectura de numerosa documentación, en muchas ocasiones poco actualizada, y el intercambio de numerosos correos con las diferentes marcas para que enviarán información fiable. Para la obtención de datos, no solo se ha empleado información teórica del fabricante, sino que también se ha empleado información práctica obtenida del testeo desarrollado en las bombas instaladas en

Nikki. Como es comprensible, la información de las piezas con menor durabilidad se encuentra en su mayoría compuesta de datos recogidos gracias al testeo de OAN International, RSWN o el Departamento de Aguas de Benín. Sin embargo, en el caso de piezas de mayor durabilidad los datos reflejados se componen casi en su mayoría de información del fabricante o suministrador de las bombas.

A lo largo del siguiente apartado se podrá observar como las tablas de despiece y vida útil creadas para cada modelo de bomba presentan una agrupación concreta, la cual en el apartado siguiente (ver apartado 5.2) cuando se trate el mantenimiento se ampliará:

- Grupo: Las piezas se encuentran organizadas en 4 categorías, las cuales permiten fijar el grado de mantenimiento necesario en cada una de las piezas: piezas de desgaste, piezas para pequeñas reparaciones, piezas para grandes reparaciones y piezas de renovación.
- Tipo: Subclasificación establecida por OAN International, en la que fija que piezas cree que requieren de reparación y mantenimiento y cuáles de renovación.

Además, en las tablas la vida útil se representa en dos columnas distintas, una con el valor de vida útil más desfavorable y otra con el favorable, esto es debido a que en muchas ocasiones la documentación recibida/consultada o los datos recibidos no coincidían entre ellos. De esta forma se dejan recogidas estas pequeñas variaciones, aunque la recomendación siempre sea tomar el valor desfavorable como referencia.

A continuación, se mostrarán versiones reducidas (las tablas completas se pueden encontrar en el Anexo III) de las tablas de despiece y vida útil de las bombas. El nombre de las piezas se ha decidido mantener en francés, ya que era un requerimiento de OAN International, además de que, al estar una gran parte de los planos en francés, esto facilita su reconocimiento y subida a AGUAPP.

### 5.2.1. Vergnet

La bomba Vergnet cuenta con dos modelos en Benín, los cuales, a pesar de compartir la mayor parte de las piezas, presentan pequeñas variaciones. Por tanto, y de cara a ser más preciso se ha decidido crear una tabla específica para cada modelo.

#### HPV 60-2000

<b>Pieza</b>	<b>Grupo</b>	<b>Tipo</b>	<b>Vida útil (Desfavorable)</b>	<b>Vida útil (Favorable)</b>
Butees Basses	Pieza de desgaste	Mantenimiento y reparación	1	1
Bague de guidage	Pieza de desgaste	Mantenimiento y reparación	1	2
Joint etancheite piston	Pieza de reparación pequeña	Mantenimiento y reparación	1	2
Piston	Pieza de reparación pequeña	Mantenimiento y reparación	1	1
Segments de piston	Pieza de reparación pequeña	Mantenimiento y reparación	0,5	1
Joint calotte	Pieza de reparación pequeña	Mantenimiento y reparación	1	2
Bille polyuretane DIAM 25.4	Pieza de reparación pequeña	Renovación	5	8
Ecrou de guidage	Pieza de reparación pequeña	Renovación	8	10
Ecrou freim HM 12	Pieza de reparación pequeña	Renovación	8	10
Tuyau de refoulement	Pieza de renovación	Renovación	15	>15

Tabla 7. Tabla reducida de despiece y vida útil del modelo Vergnet HPV 60-2000. Fuente: Creación propia

**HPV 100**

<b>Pieza</b>	<b>Grupo</b>	<b>Tipo</b>	<b>Vida útil (Desfavorable)</b>	<b>Vida útil (Favorable)</b>
Butees Basses	Pieza de desgaste	Mantenimiento y reparación	1	1
Bague de guidage	Pieza de desgaste	Mantenimiento y reparación	1	2
Joint etancheite piston	Pieza de reparación pequeña	Mantenimiento y reparación	1	2
Piston	Pieza de reparación pequeña	Mantenimiento y reparación	1	1
Segments de piston	Pieza de reparación pequeña	Mantenimiento y reparación	0,5	1
Joint calotte	Pieza de reparación pequeña	Mantenimiento y reparación	1	2
Bille polyuretane DIAM 25.4	Pieza de reparación pequeña	Renovación	3	8
Bille rectifiee D10	Pieza de reparación pequeña	Renovación	3	8
Buse de reamorçage complete	Pieza de reparación pequeña	Renovación	8	8
Ecrou de guidage	Pieza de reparación pequeña	Renovación	8	10
Ecrou de freim HM 12	Pieza de reparación pequeña	Renovación	8	10

Tabla 8. Tabla reducida de despiece y vida útil del modelo Vergnet HPV 100. Fuente: Creación propia

### 5.2.2. India Mark

India Mark cuenta con dos modelos en Benín, los cuales, a pesar de compartir una gran parte de las piezas, presentan pequeñas variaciones. Por tanto, y de cara a ser más preciso se ha decidido crear una tabla específica para cada modelo.

#### India Mark II

Pieza	Grupo	Tipo	Vida útil (Desfavorable)	Vida útil (Favorable)
Roulement	Pieza de desgaste	Mantenimiento y reparación	1,5	2
Chaîne	Pieza de desgaste	Mantenimiento y reparación	2	2
Centreur de tuyau	Pieza de reparación importante	Mantenimiento y reparación	2	10
Axe	Pieza de reparación pequeña	Mantenimiento y reparación	2	5
Clapet de piston	Pieza de reparación pequeña	Mantenimiento y reparación	3	5
Tringle/Tige	Pieza de reparación importante	Renovación	5	5
Joint de clapet piston	Pieza de desgaste	Renovación	5	5
Entretoise	Pieza de reparación pequeña	Renovación	5	5
Corps de piston	Pieza de renovación	Renovación	5	10
Joint clapet de pied	Pieza de desgaste	Renovación	5	5
Guide de clapet de pied	Pieza de reparación pequeña	Renovación	5	10

Tabla 9. Tabla reducida de despiece y vida útil del modelo India Mark II. Fuente: Creación propia

**India Mark III**

<b>Pieza</b>		<b>Tipo</b>	<b>Vida útil (Desfavorable)</b>	<b>Vida útil (Favorable)</b>
Roulement	Pieza de desgaste	Mantenimiento y reparación	1,5	2
Centreur de tuyau	Pieza de reparación importante	Mantenimiento y reparación	2	10
Axe	Pieza de reparación pequeña	Mantenimiento y reparación	2	2
Chaîne	Pieza de desgaste	Mantenimiento y reparación	2	2
Clapet de piston	Pieza de desgaste	Renovación	5	5
Corps de piston	Pieza de renovación	Renovación	5	10
Tringle/Tige	Pieza de reparación importante	Renovación	5	5
Entretoise	Pieza de reparación pequeña	Mantenimiento y reparación	2	5
Joint clapet de pied	Pieza de reparación pequeña	Mantenimiento y reparación	1	5
Clapet de pied	Pieza de reparación pequeña	Renovación	5	5
Siège de clapet	Pieza de reparación pequeña	Renovación	5	5

*Tabla 10. Tabla reducida de despiece y vida útil del modelo India Mark III. Fuente: Creación propia*

### 5.2.3. Afridev

<b>Pieza</b>	<b>Grupo</b>	<b>Tipo</b>	<b>Vida útil (Desfavorable)</b>	<b>Vida útil (Favorable)</b>
Bague ou palier (paire)	Pieza de desgaste	Mantenimiento y reparación	0,5	1
Segment	Pieza de desgaste	Mantenimiento y reparación	1	1
Join torique	Pieza de desgaste	Mantenimiento y reparación	0,5	1
Compression de cône elastique	Pieza de reparación pequeña	Mantenimiento y reparación	3	3
Piston plasticou clapet de fond	Pieza de reparación pequeña	Mantenimiento y reparación	5	5
Flotteur	Pieza de reparación pequeña	Mantenimiento y reparación	5	5
Guide tringle	Pieza de reparación pequeña	Renovación	5	5
Valve	Pieza de reparación pequeña	Renovación	5	5
Petit axe	Pieza de reparación pequeña	Renovación	5	5
Grand axe	Pieza de reparación pequeña	Renovación	5	5
Tuyau d'exhaure (3m)	Pieza de reparación importante	Renovación	30	30

Tabla 11. Tabla reducida de despiece y vida útil del modelo Afridev. Fuente: Creación propia

## **5.2. PLAN DE MANTENIMIENTO**

Como se lleva comentando desde la introducción, el nulo o deficiente mantenimiento llevado a cabo hasta la fecha en las bombas de la región de Nikki, es el principal responsable de que previo a la llegada de OAN al país, alrededor del 60% de las bombas tuvieran un funcionamiento defectuoso o se encontraran inutilizadas. Para evitar estas situaciones es vital el realizar un mantenimiento preventivo bien definido y adaptado a los diferentes modelos de bombas presentes en Nikki. A lo largo de este capítulo se fijarán una serie de directrices a seguir para desarrollar las tareas de mantenimiento, estas directrices, aunque presentan una estructura común han sido diseñadas específicamente para cada marca de bomba.

### **5.2.1. Mantenimiento de la bomba Vergnet**

El fabricante, Vergnet Hydro, clasifica a sus piezas en cuatro grupos, según las necesidades de mantenimiento que precisen:

- Piezas de desgaste: Piezas con menor vida útil, debiéndose remplazar de manera regular, para evitar que su desgaste afecte al resto de elementos de la bomba, suelen tener que cambiarse cada 6-12 meses. Algunas piezas de desgaste son: Buje guía o discos de amortiguación.
- Piezas para pequeñas reparaciones: Piezas que no precisan de un artesano para su reemplazamiento, ya que este es sencillo y accesible para un ciudadano de a pie. Estas a su vez se encuentran subdivididas en 2 grupos:
  - Piezas comunes: Piezas situadas en la cabeza de la bomba, y, por tanto, a nivel de la superficie, haciéndolas fácilmente accesibles. Presentan una vida útil corta-media (1-2 años). Ejemplos: Sello del pistón, pistón, segmentos o seguro de sellado.
  - Piezas de modelos exclusivos: Piezas que varían en función del modelo. Estas al contrario que las otras presentan una mayor vida útil, que puede ir de los 5-8 años. Ejemplo: Tuerca guía.

- Piezas de reparación importante: Piezas con vida útil media-larga (5-12 años), pero con alta tendencia a fallar, por lo que requiere de reparaciones frecuentes, las cuales en este caso han de ser efectuadas por un profesional. Un ejemplo es el pedal.
- Piezas de renovación: Piezas de mayor vida útil, la mayor parte por encima de los 10-15 años. Suelen ser piezas que no requieren de reparaciones de manera frecuente, ya que presentan pocos fallos y cuando se produce uno normalmente implica la sustitución de aquella pieza que no funciona correctamente. Este grupo lo componen principalmente el cuerpo de la fuente, el cilindro de la bomba y las tuberías.

Esta clasificación es de suma importancia tanto para los reparadores como para la población, ya que les especifica aquellas piezas que requieren de una mayor frecuencia de mantenimiento, evitando situaciones pasadas en las que las piezas de menor vida útil no eran reemplazadas y su mal funcionamiento conducía al fallo de piezas más importantes y costosas.

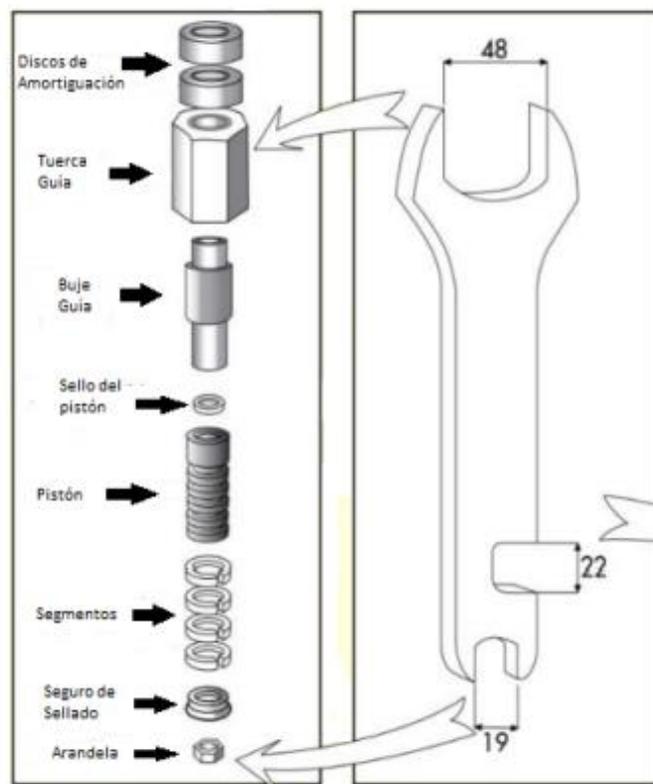
Sin embargo, esta subdivisión sería de poca ayuda sino se definiera a su vez un proceso de mantenimiento y unos tiempos y frecuencia en los que realizarlo. Para ello, se han establecido dos niveles de mantenimiento, un primero más sencillo (realizable por los habitantes de Nikki) basado en la renovación de las piezas más accesibles, y un segundo de mayor complejidad (necesidad de un reparador profesional) al centrarse en la reparación de piezas situadas en la zona más profunda del pozo.

### **Primer nivel de mantenimiento**

La comunidad en la que se localiza la bomba es la principal responsable de realizar este primer nivel de mantenimiento, que consiste en el mantenimiento de las piezas que componen la cabeza de la bomba, las cuales son fácilmente accesibles. Para ello, solo se requiere de una llave inglesa de doble cabeza o cabeza ajustable (ver Figura 37.), que permita desenroscar la cabeza de la bomba.

En el primer nivel de mantenimiento se incluyen las siguientes piezas:

- Pistón
- Discos de amortiguación
- Buje guía
- Sello del pistón
- Segmentos
- Arandela
- Seguro de sellado

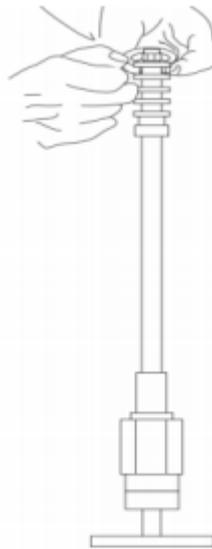


*Figura 37. Primer nivel de mantenimiento. Fuente: Vergnet Hydro*

En este primer nivel, la pieza con menor vida útil, y que por tanto necesita ser reemplazada con mayor frecuencia son los segmentos, los cuales sufren gran desgaste y están expuesto a roturas. Lo estándar sería reemplazarlos ente los 6-12 meses, sin embargo, si el usuario percibe que es necesario levantar el pedal con la mano con asiduidad, será conveniente su

sustitución, aunque no se haya cumplido el 100% de su vida útil. La secuencia de operación (ver Figura 38.) es la siguiente:

1. Aflojar la tuerca guía con la llave.
2. Retirar la cabeza de la bomba, tirando del pedal hacia arriba.
3. Retirar los segmentos gastados del pistón.
4. Colocar los nuevos segmentos.



*Figura 38. Sustitución de segmentos. Fuente: Vergnet Hydro*

### **Segundo nivel de mantenimiento**

Como se comentaba, para el segundo nivel de mantenimiento se requerirá de la participación de un reparador profesional, el cual tendrá que acceder a las piezas situadas al final del tubo de impulsión, requiriéndose por tanto la extracción total de la bomba y el empleo de un mayor número de herramientas (ver Figura 39.).

En el segundo nivel de mantenimiento se incluyen las siguientes piezas:

- Huot Kit: Piezas que conectan el cilindro (localizado en la cabeza de la bomba) con los tubos.

- Caja de válvulas (incluye la válvula de cebado y la válvula de retención).
- Cámara de aire.
- Válvula de aspiración

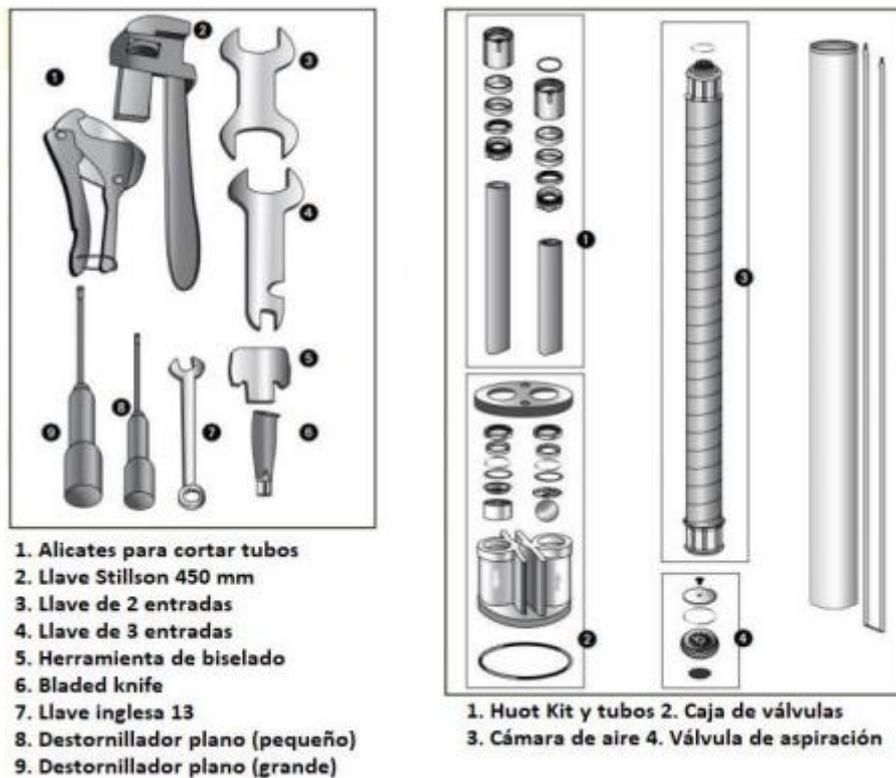


Figura 39. Herramientas para el segundo nivel de mantenimiento. Fuente: Vergnet Hydro

Por otro lado, además de establecer unas especificaciones para el mantenimiento, hay que fijar unos tiempos para que se realicen estos procesos. Para ello, se han subdividido en frecuencia semanal, mensual y anual.

- Semanalmente:
  - o Limpiar y engrasar pasadores, cojinetes y partes deslizantes, verificando que no exista óxido.
  - o Registrar aquellos fallos observados durante el funcionamiento, para ello se ha creado una cartilla en la que registrarlos (ver Sección 5.4)

- Mensualmente:
  - Ajuste de la caja de estopas, asegurándose que exista un pequeño escape de agua para que refrigere.
  - Inspeccionar todas las uniones roscadas para asegurar que estén debidamente apretadas y que no haya juego en el pedal.
  - Verificar el nivel de desgaste de las empaquetaduras. En el caso de que la bomba no opere correctamente a bajas velocidades se deberán cambiar las zapatillas.
- Anualmente:
  - Pintar las piezas con mayor exposición a la oxidación.
  - Revisar plataforma de la bomba y reparar cualquier posible fractura en el hormigón.
  - Comprobar el desgaste de los cojinetes y reemplazar en caso de que se requiera.
  - Verificar el estado de las válvulas.
  - Sustituir el empaque de la caja de estopas.

Las piezas de repuesto que requieran sustituciones periódicas deben estar disponibles y almacenadas en tiendas de repuestos cerca de los usuarios de las bombas. Además, todo componente nuevo de la bomba ha de ser comprobado estrictamente antes de su instalación.

### **5.2.2. Mantenimiento de la bomba India Mark**

Para la bomba India Mark, RWSN, recomienda en su guía: “Installation & Maintenance Manual for the India Mark III Handpump” (RWSN, 2008) una serie de procesos a realizar. Por un lado, un test de rendimiento y por otro una guía de mantenimiento preventivo.

#### **Test de rendimiento**

En el caso del proyecto ASAP de OAN, es importante que previo a poder registrar la bomba en su aplicación e iniciarse los trámites para su mantenimiento preventivo se realice un test de rendimiento a la bomba para comprobar su estado. Para ello se efectúan las siguientes dos

pruebas:

- Prueba de fuga: Se inicia cuando se obtenga un flujo continuo de agua a través de la boquilla. Tras ello, se recoge el agua impulsada del pozo en un recipiente, que permita medir la cantidad de agua extraída, durante 40 pulsaciones completas en un período de un minuto. A continuación, se deja reposar la bomba durante 30 minutos, transcurridos los cuales se repite la misma operación. En el caso de que la diferencia de agua extraída sea mayor a los 2 litros es que existe una fuga importante, la cual se ha de investigar donde se produce y reparar.

Otra prueba de fuga a efectuar consiste en contar el número de accionamientos de palanca necesarios para que se produzca la salida de agua por el caño. Para ello, la bomba ha de haber estado detenida durante 30 minutos previos a la prueba. Si el número de accionamientos es mayor a 5, es una indicación de que existe una fuga.

Las fugas se producen principalmente por la existencia de componentes de goma desgastados en el cilindro, fugas en las juntas de la tubería de impulsión o tuberías corroídas.

- Prueba de descarga: Al igual que con la prueba de fuga, esta no se podrá iniciar hasta que no se haya obtenido un flujo continuo de agua a través de la boquilla. Tras ello, se recogerá el agua en un recipiente durante 40 pulsaciones completas en un período de un minuto. Por norma general, el agua recogida no deberá ser inferior a 16 litros y en el caso de que esta fuera inferior a 10 litros, se requeriría contactar con un reparador profesional para que investigara la causa de la fuga.

### **Mantenimiento preventivo**

En la región de Nikki un pequeño porcentaje de las bombas India Mark, son modelo India Mark II, y como se comentaba anteriormente, este modelo de bomba no cuenta con la etiqueta VLOM<sup>9</sup>, de manera que la mayoría de las reparaciones y tareas de mantenimiento deben realizarse o estar supervisadas por un reparador profesional.

---

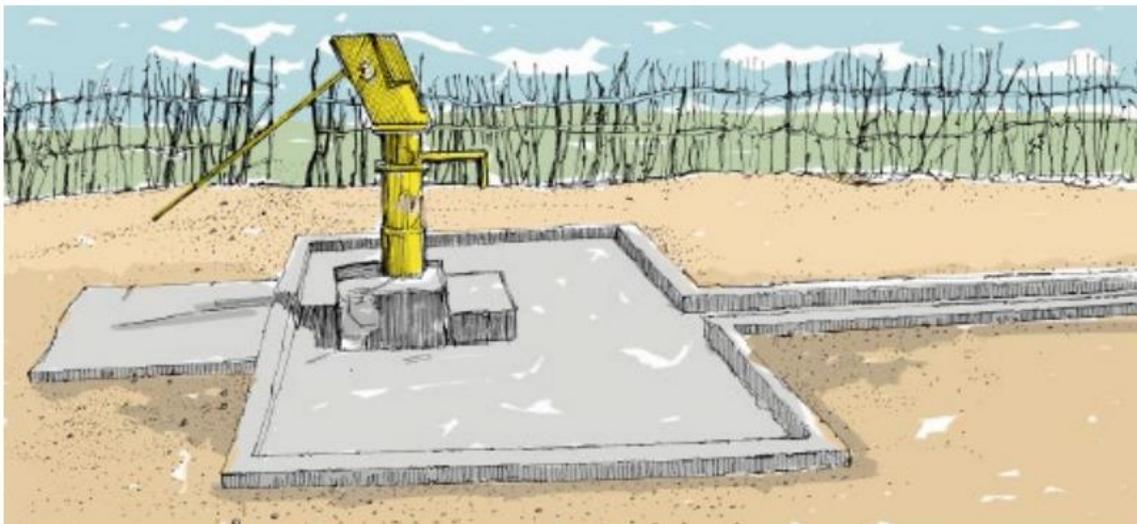
<sup>9</sup> Village Level Operation & Maintenance

Al igual que con la bomba Vergnet para la India Mark se ha fijado una frecuencia para llevar a cabo el mantenimiento preventivo.

- Semanalmente (a realizar por los usuarios de la bomba):
  - Comprobar el apriete de todos los tornillos y tuercas.
  - Comprobar el apriete de las tuercas del eje de la manivela y del perno de la cadena.
- Mensualmente (a realizar por los usuarios de la bomba):
  - Engrasar la cadena.
  - Reparar grietas en la plataforma de la bomba.
  - Limpiar el drenaje y reparar las grietas.
  - Verificar el nivel de desgaste de las piezas de goma.
- Trimestralmente (a realizar por los usuarios de la bomba con ayuda de un reparador profesional):
  - Comprobar si falta algún elemento de fijación de la bomba.
  - Confirmar que la bomba no hace un ruido extraño que pueda indicar un problema de funcionamiento.
  - Comprobar si el soporte de la bomba tiembla durante el funcionamiento.
  - Comprobar la existencia de fugas. En el caso de que se requieran de más de 10 carreras antes de que salga agua por el caño, la bomba tendrá una fuga importante que habrá que detectar y reparar. Para ello, y tras realizar una prueba de fuga contactar con un mecánico de bombas.
  - Realizar una prueba de fugas y descarga.
- Anualmente (a realizar por un reparador profesional):
  - Desmontar los componentes de la bomba.
  - Sustituir los asientos de goma (válvula superior y válvula inferior), las juntas de copa y los anillos de estanqueidad.
  - Sustituir los rodamientos de bolas.

En el caso de la bomba India Mark los elementos más críticos y que requieren de una mayor frecuencia de sustitución son: los acoplamientos de la tubería de impulsión, rodamientos, cadena y las válvulas de estanqueidad y antirretorno.

Para un mantenimiento adecuado de la bomba y la prevención de la contaminación del agua, se recomienda construir una solera de hormigón impermeable de dimensiones suficientes para albergar la bomba y un canal de drenaje conectado a un sistema de evacuación de aguas residuales (ver Figura 40.). Además, se recomienda la construcción de un cerco alrededor de la bomba que la proteja de los animales.



*Figura 40. Bomba India Mark con losa de hormigón y desagüe. Fuente: (Skinner B. , 2019)*

### **5.2.3. Mantenimiento de la bomba Afridev**

Como se comentaba la bomba Afridev surge como una alternativa a la bomba India Mark II, pero corrigiendo aquellas deficiencias que esta presentaba, como el caro y difícil mantenimiento, ya que esta requiere para un gran número de intervenciones la participación de un reparador formado y especialista. En cambio, la bomba Afridev es de mucho más sencillo acceso y, por tanto, su mantenimiento preventivo en gran medida puede ser llevado a cabo por los propios usuarios.

De todas formas, los pasos a seguir para su mantenimiento preventivo son los explicados en la bomba India Mark, ya que el funcionamiento y estructura de la bomba es muy similar (ver apartado 5.2.2).

Los problemas de mantenimiento más comunes asociados a la bomba Afridev tienen que ver con las juntas de las piezas móviles de la bomba, ya que al igual que sucede con la India Mark las piezas de goma tienden a desgastarse mucho con el tiempo y el uso. La mayoría de las demás piezas presentan una vida útil mucho más larga y sólo será necesario sustituirlas en caso de un mal funcionamiento o su rotura.

### **5.3. POSIBLES FALLOS DE FUNCIONAMIENTO, CAUSAS Y SOLUCIONES**

Como ha ido quedando patente a lo largo del trabajo cada modelo de bomba posee sus peculiaridades. Por tanto, no es de extrañar que también tengan sus diferencias en cuanto a los fallos más habituales que suelen sufrir. A continuación, se presentan para cada uno de los modelos de bombas, aquellos fallos observados a lo largo de los años y que diversas organizaciones, fabricantes o suministradores han ido recogiendo.

#### **4.2.1. Vergnet**

**Problema 1.** El pedal funciona, pero no sale agua del pozo.

a) Causa:

El pozo está seco.

Solución 1:

Para optimizar el rendimiento del pozo y asegurar que la tubería de aspiración esté siempre llena, se propone reducir la sección transversal del pozo. Una solución viable consiste en instalar anillos de revestimiento de 5 a 10 cm de espesor, lo que elevará el nivel del agua dentro del pozo y mejorará la eficiencia de bombeo.

Solución 2:

Una alternativa para rehabilitar el pozo consiste en realizar una excavación en el fondo del mismo y construir una galería horizontal. Esta galería, idealmente fabricada con un tubo de PVC de 300 mm de diámetro, debe perforarse con ranuras para permitir la entrada de agua.

b) Causa:

Se ha detectado que el nivel de agua ha descendido por debajo de la altura de succión de la bomba. Para confirmar esta situación, se recomienda realizar una medición directa utilizando un dispositivo de sondaje equipado con un sensor de nivel. Este dispositivo, que puede consistir en una piedra lastrada unida a una cuerda o cable, emitirá una señal sonora al entrar en contacto con el agua.

Solución:

Reducir la tasa de bombeo o bajar el cilindro haciendo el pozo más profundo.

c) Causa:

La bomba se ha descebado.

Solución:

Con el objetivo de cebar la bomba, se extraerá la tubería para su reparación. Se prestará especial atención a la válvula antirretorno, la cual será ajustada mediante el limado de la goma y el lijado de la superficie de contacto, garantizando así un cierre mecánico adecuado.

Si el descebado se repite asiduamente, es recomendable verificar si el pozo cuenta con suficiente agua o si existe alguna fuga en la tubería de succión o en las válvulas. En tal caso, se debería proceder a su reparación y comprobar las causas a) y b).

d) Causa:

Las empaquetaduras de la taza del cilindro se han desgastado.

Solución:

Las empaquetaduras pueden deteriorarse debido a diversos factores como la presión, las fluctuaciones de temperatura o el desgaste natural por el uso. La expulsión de pequeñas partículas sólidas (gravilla) a través de la tubería es un claro indicativo de que las empaquetaduras están dañadas. Si bien es posible reemplazar únicamente las empaquetaduras, este proceso requiere de alta precisión y herramientas especializadas para asegurar un sellado correcto, por ello, la sustitución completa de la bomba puede ser la opción más viable y económica a largo plazo.

e) Causa:

Es posible que el cilindro de transmisión de la bomba esté averiado, moviéndose, pero sin impulsar agua. Esta situación suele ser consecuencia de la presencia de partículas abrasivas, como granos de arena, en el agua que la bomba succiona. Estas partículas, al ser arrastradas hacia el interior de la bomba, rayan y desgastan sus componentes internos, especialmente cuando la bomba se encuentra situada en el fondo del pozo.

Un indicio adicional es que la bomba opera con menor esfuerzo, produciendo menos ruido. Para verificar esto, se puede colocar la mano sobre la bomba y notar si existe resistencia al movimiento ascendente del émbolo.

Solución:

Reemplazar el cilindro.

f) Causa:

Existencia de un agujero en la tubería de succión.

Solución:

Renovar la tubería.

g) Causa:

La tubería de succión se encuentra taponada por sedimentos. Esto se puede verificar mediante un vacuómetro.

Solución:

Renovar o limpiar la tubería.

h) Causa:

El cuerpo de la bomba se encuentra fisurado.

Solución:

Renovar el cilindro.

i) Causa:

Las válvulas se quedan abiertas por la suciedad, lo que impide completar toda la carrera.

Solución:

Limpiar las válvulas y lijar los asientos.

j) Causa:

La acumulación de sedimentos en el interior del grifo puede provocar grietas y obstrucciones, afectando su funcionamiento.

Solución:

Limpiar el grifo y en caso de que haya grietas, cambiar el grifo.

**Problema 2.** La bomba funciona, pero el caudal de agua entregado es inferior al habitual.

a) Causa:

Zapatas del émbolo gastadas.

Solución:

Renovar zapatas

b) Causa:

El pozo no rinde suficiente caudal.

Solución:

Un bajo caudal suele ser consecuencia de la acumulación de suciedad en el sistema. Por ello, es fundamental realizar una limpieza exhaustiva de todos los componentes.

Asimismo, la desalineación o deterioro de las tuberías de aspiración puede reducir el caudal. En estos casos, es necesario revisar las uniones, ajustándolas o reemplazándolas según corresponda.

c) Causa:

Cilindro fisurado.

Solución:

Renovar cilindro.

d) Causa:

Fugas en las válvulas de retención.

Solución:

Reparar válvulas.

e) Causa:

Válvula de succión obstruida.

Solución:

Extraer y limpiar.

f) Causa:

Las tuberías de succión son demasiado estrechas, lo que provoca altas velocidades de carga y por tanto grandes pérdidas.

Solución:

Renovar la tubería de succión por una de mayor diámetro.

g) Causa:

Tubería de succión fisurada.

Solución:

Se priorizará la reparación de la tubería, siempre y cuando las condiciones de la misma lo permitan. De lo contrario, se optará por su reemplazo.

**Problema 3.** El arranque de la bomba requiere un número elevado de pedaladas.

a) Causa:

La bomba se ha descebado.

Solución:

Cebat la bomba hasta alcanzar el caudal de funcionamiento correcto. En el caso de que el descebado se repita, comprobar que el pozo no se encuentra seco (Solución 1a). En caso contrario, lo más probable es que se deba a una fuga en la tubería o

válvula de succión, por lo que se deberá renovar aquella que cause la fuga (Solución 1c).

b) Causa:

Las empaquetaduras del cilindro pueden estar gastadas.

Solución:

Sustituir empaquetaduras, aunque puede llegar a ser más recomendable reemplazar toda la bomba (Solución 1d).

**Problema 4.** El pedal salta al terminar la bajada.

a) Causa:

La tubería de succión se encuentra taponada.

Solución:

Limpiar la tubería y verificar el nivel del pozo. Si es necesario, retirar sedimentos o ajustar la longitud de la tubería.

b) Causa:

La válvula de retención falla en la apertura o en el cierre.

Solución:

Reparar o sustituir la válvula.

c) Causa:

La tubería de succión es demasiado estrecha.

Solución:

Reemplazar por una tubería de mayor diámetro.

d) Causa:

El nivel del agua se encuentra muy por debajo de la posición de la bomba.

Solución:

Emplazar el cuerpo de la bomba por debajo del nivel del agua.

**Problema 5.** Fugas en la caja de estopas.

a) Causa:

Las empaquetaduras se encuentran gastadas o poco apretadas.

Solución:

Renovar las empaquetaduras si están dañadas o ajustarlas si están flojas. Aflojar ligeramente la tuerca de la empaquetadura para permitir un goteo lento de agua que actúe como lubricante.

b) Causa:

La varilla del émbolo está muy dañada.

Solución:

Cambiar la varilla.

**Problema 6.** La bomba hace excesivo ruido.

a) Causa:

Los cojinetes u otro elemento de la bomba están flojos/sueltos.

Solución:

Realizar una inspección exhaustiva de válvulas, cojinetes y conexiones, verificando que estén debidamente unidas y ajustadas.

---

b) Causa:

La bomba no se encuentra bien sujeta.

Solución:

Asegurar la correcta sujeción del soporte de la bomba mediante el apriete de todos los tornillos y pernos.

**Problema 7.** Se requiere una intervención manual constante para auxiliar el ascenso del pedal

a) Causa:

Segmentos gastados.

Solución:

Reemplazar los segmentos.

**Problema 8.** Juego excesivo del pedal en el anillo de guía

a) Causa:

Anillo guía desgastado.

Solución:

Sustituir el anillo.

**Problema 9.** Se presenta un fallo en el llenado del circuito de agua, lo cual impide el arranque o reinicio de la bomba

a) Causa:

Tuerca de fijación mal apretada.

Solución:

Apretar las tuercas.

b) Causa:

Base suelta

Solución:

Sellar correctamente la base.

#### 4.2.2. India Mark

**Problema 1.** La bomba funciona correctamente, pero no fluye el agua

a) Causa:

Juntas de estanqueidad desgastadas.

Solución:

Extraer la tubería de impulsión, abrir el cilindro y sustituir las juntas desgastadas.

b) Causa:

El nivel del agua ha descendido por debajo del cilindro.

Solución:

Si el pozo lo permite, añadir más tuberías verticales y varillas de transmisión.

c) Causa:

Cadena de transmisión rota.

Solución:

Sustituir la cadena.

d) Causa:

Válvula de retención atascada (no cierra).

Solución:

Extraer la tubería de impulsión, abrir el cilindro, comprobar el funcionamiento de la válvula de retención y realizar las sustituciones necesarias.

e) Causa:

Varilla de transmisión desconectada.

Solución:

Extraer la tubería de impulsión y unir la varilla de transmisión desconectada.

**Problema 2.** Retraso en el flujo de agua o poco flujo de agua

a) Causa:

Válvula de retención con posibles fugas o filtraciones.

Solución:

Extraer la tubería de impulsión, abrir el cilindro, comprobar la estanqueidad de la válvula de retención y sustituirla si es necesario.

b) Causa:

Juntas de estanqueidad desgastadas.

Solución:

Extraer la tubería de impulsión, comprobar las juntas de estanqueidad y sustituirlos si es necesario.

c) Causa:

Sellos de copa desgastados.

Solución:

Extraer la tubería de impulsión, abrir el cilindro y sustituir todos los sellos de copa desgastados.

d) Causa:

Tubería de impulsión dañada (fugas en las roscas de la tubería o corrosión grave de la tubería).

Solución:

Extraer la tubería de impulsión y comprobar su estado. En caso de que sea necesario, sustituir elemento.

**Problema 3.** Plegado de la cadena durante la carrera descendente

a) Causa:

Pistón atascado dentro del cilindro.

Solución:

Extraer la tubería de impulsión, abrir el cilindro, comprobar el diámetro del pistón y del cilindro y sustituir los componentes erróneos o defectuosos. Además, comprobar que no haya obstrucciones en la cámara del cilindro.

b) Causa:

Vástago superior demasiado largo, lo que provoca el choque del pistón con la válvula de antirretorno.

Solución:

Quitar el cabezal de la bomba, comprobar la longitud correcta del vástago y el ensamblaje superior para adaptarlo a la profundidad de la válvula de antirretorno inferior.

**Problema 4.** Ruido anormal durante el funcionamiento de la bomba

a) Causa:

Falta de engrasado de la cadena y los componentes conectados a ella.

Solución:

Abrir componente superior y engrasar la cadena y demás elementos.

b) Causa:

Rodamientos desgastados.

Solución:

Sustituir los rodamientos.

c) Causa:

Base de la bomba inestable.

Solución:

Comprobar la estabilidad de la base y fijar los elementos correspondientes.

**Problema 5.** Palanca de la bomba suelta o inestable.

a) Causa:

Tuercas del eje de la manilla sueltas.

Solución:

Apretar las tuercas del eje de la manivela.

b) Causa:

Separador desgastado o dañado.

Solución:

Sustituir separador.

c) Causa:

Eje desgastado o dañado.

Solución:

Sustituir el eje de la empuñadura.

d) Causa:

Rodamientos desgastados.

Solución:

Sustituir los rodamientos.

e) Causa:

Rodamientos sueltos en el alojamiento.

Solución:

Desacoplar el conjunto de la empuñadura para una posible reparación o sustitución.

**Problema 6.** El mango está suelto y nada lo sostiene

a) Causa:

La cadena ya no está fijada a la empuñadura ni a la biela.

Solución:

Fijar la cadena a la empuñadura o a la biela.

b) Causa:

Desconexión entre las bielas.

Solución:

Fijar y apretar con tuerca larga.

c) Causa:

La cadena está rota.

Solución:

Cambiar la cadena.

**Problema 7.** Se oye un ruido metálico

a) Causa:

Una biela rota o una tuerca larga desenroscada.

Solución:

Desmontar todo, cambiar la biela o apretar la tuerca larga.

**Problema 8.** La biela ya no baja.

a) Causa:

El pistón está atascado en la posición superior.

Solución:

Limpiar el pistón y el cilindro de la bomba.

b) Causa:

El cilindro no es lo suficientemente profundo y no puede bajar por su propio peso.

Solución:

Añadir tubos y bielas si es posible.

**Problema 9.** El asa es difícil de bajar y sube sola

a) Causa:

Desconexión a lo largo de la tubería.

Solución:

Desmontar el conjunto, comprobar el tubo ascendente y la toma, cambiarlos si es necesario y volver a apretarlos.

b) Causa:

El nivel de agua del pozo es demasiado bajo.

Solución:

Rehabilitar o añadir tuberías si es posible.

**Problema 10.** El agua está turbia.

a) Causa:

El cilindro está en el barro.

Solución:

Reducir la longitud de la tubería.

b) Causa:

El nivel de agua del pozo es demasiado bajo.

Solución:

Rehabilitar o añadir tuberías si es posible.

**Problema 11.** La bomba aspira agua oxidada.

a) Causa:

Corrosión en la bomba, tubería de impulsión o varilla de transmisión.

Solución:

Abrir el ensamblaje, extraer la bomba y llevar a cabo una inspección de todos sus componentes. Sustituir aquellas piezas que presenten desgaste, rotura o cualquier otro tipo de daño.

### 4.2.3. Afridev

**Problema 1.** La palanca es difícil de accionar o se ha atascado

a) Causa:

Acumulación de suciedad, óxido o desgaste de la manivela y el cuerpo de la bomba.

Solución:

Limpieza del mango y el cuerpo de la bomba. Posteriormente, se procederá a lubricar la varilla con aceite para facilitar su movimiento. En caso de detectar desgaste en las juntas tóricas, se llevará a cabo su sustitución para restablecer el funcionamiento óptimo de la bomba.

**Problema 2.** El caudal de agua es bajo o la bomba no impulsa agua.

a) Causa:

Puede estar provocado por varios factores, como juntas de pistón desgastadas, tubos de aspiración obstruidos, una biela rota o suelta o válvula de pie desgastada.

Solución:

Previo a cualquier intervención, se realizará un diagnóstico para identificar la causa del fallo. Se procederá a la limpieza del tubo de aspiración y la válvula de pie, con el objetivo de garantizar un caudal de agua adecuad, Si las juntas del pistón presentan desgaste, deben sustituirse. Por último, se verificará la correcta sujeción de la biela.

b) Causa:

Válvula de salida obstruida o bloqueo en el caño.

Solución:

Comprobar la válvula de salida y sustituir si es necesario. Si el problema no se encuentra ocasionado por la válvula de salida, comprobar si el caño está taponado y limpiarlo si es necesario.

**Problema 3.** Fuga en la bomba.

a) Causa:

Tornillos sueltos o juntas tóricas desgastadas.

Solución:

Apretar los tornillos y sustituir las juntas tóricas

**Problema 4.** La bomba hace ruido durante el funcionamiento.

a) Causa:

Puede deberse a unos cojinetes desgastados o a una biela desalineada.

Solución:

Sustituir los cojinetes y asegurarse del correcto alineamiento de la biela.

b) Causa:

Perno de la palanca flojo o desgastado, una varilla desgastada o un cabezal de la bomba desgastado.

Solución:

Apretar el perno de la palanca y sustituir los componentes desgastados.

**Problema 5.** La bomba tiene poca altura de aspiración.

a) Causa:

Obstrucción de los tubos de aspiración o desgaste de las válvulas de pie.

Solución:

Limpiar los tubos de aspiración y la válvula de pie. Si la válvula de pie está desgastada, debe reemplazarse.

**Problema 6.** La palanca de la bomba está suelta o se tambalea

a) Causa:

Puede deberse a que el cabezal de la bomba o los rodamientos estén desgastados, a que el perno de la palanca esté flojo o que la plataforma esté agrietada.

Solución:

En el caso de que los rodamientos estén desgastados, sustituirlos. Apretar el perno de la empuñadura y, si sigue estando flojo, sustituir la palanca de la bomba.

**Problema 7.** La bomba no se ceba

a) Causa:

Puede deberse a un tubo de aspiración obstruido o que presenta unan fuga o a una válvula de pie desgastada.

Solución:

Comprobar la válvula de salida y sustituir si es necesario. Si el problema no es la válvula de salida, comprobar si el caño está obstruido y limpiarlo.

## 5.4. FICHA DE MANTENIMIENTO

Casi igual de importante que llevar a cabo la reparación o mantenimiento de la bomba es dejar registrada la información relativa al proceso realizado en ella, de manera que se pueda tener un historial de mantenimiento individual por bomba. Para ello, es de vital importancia el crear un registro de averías y reparaciones. De esta forma se consigue que próximos operarios que vayan a manipular la bomba tengan constancia de los fallos previos y las piezas que ya han sido renovadas.

Para este fin, se cuenta con dos métodos. El primero es un método más formal en el que se registra a través de una ficha de identificación de fallo (ver Figura 41.) el tipo de fallo y la reparación efectuada, de manera que quede constancia de la labor del reparador. Este posteriormente se archiva y sirve de referencia para reparadores posteriores. El segundo método es el registro de la reparación en AGUAPP, de manera que la monitorización de las bombas esté actualizada.

<b>FICHA DE IDENTIFICACIÓN DE FALLO</b>	
<u>Problema inicial:</u>	
<u>Problema técnico:</u>	
<u>Reparación:</u>	
<u>Recambios necesarios:</u>	
<u>Herramientas necesarias:</u>	
<u>Tiempo aproximado:</u>	_____ horas

Figura 41. Ejemplo de ficha de identificación de fallo. Fuente: OAN International



# Capítulo 6. PRESUPUESTO DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN NIKKI

## 6.1. INTRODUCCIÓN

Todo proyecto requiere de fondos para su realización y para ello es de suma importancia contar con un presupuesto ajustado a las necesidades de este. Esto toma aún más importancia si el proyecto se lleva a cabo en una región o país pobre en el que el acceso a financiación es aún más complicado.

Concretamente en Nikki, como se ha venido repitiendo a lo largo del trabajo, el mantenimiento preventivo de las bombas nunca ha sido una prioridad, por lo que el ayuntamiento de la Comunidad siempre se ha mostrado reacio a suministrar dinero a esta tarea y solo cuando el Gobierno nacional les ha otorgado alguna subvención han accedido a destinar un pequeño porcentaje para el reacondicionamiento de las bombas inutilizadas.

Desde OAN se lleva tiempo trabando en mostrar al ayuntamiento la importancia del mantenimiento preventivo y como este a largo plazo es una estrategia más económica, en comparación al reacondicionamiento total.

Es por ello, que el objetivo de este capítulo es dejar definido un presupuesto orientativo<sup>10</sup>, el cual sería conveniente ir actualizándolo de manera periódica (anualmente sería suficiente), para que la cifra final del presupuesto pudiera encontrarse ajustada a las condiciones precisas de cada momento. Este presupuesto debería ser el que el ayuntamiento de Nikki tomara como

---

<sup>10</sup> Gran parte de la información económica presentada ha sido obtenida de diversas fuentes las cuales pueden no estar actualizadas al contexto económico concreto del país, variar entre pueblos o en función de la oferta y demanda de repuestos.

referencia para la destinación anual de fondos al mantenimiento y reparación de la red de bombas.

En el presupuesto se incluirán todos los costes en los que se debería incurrir anualmente, es decir, coste material de las piezas a sustituir, coste de la reparación, coste del desplazamiento del reparador...

Por otro lado, en Benín la moneda de curso legal es el Franco CFA por lo que toda la información financiera a lo largo del capítulo se encuentra en esta moneda. A modo de facilitar la comprensión del presupuesto, este se ha convertido a €, utilizando el cambio fijado por Oanda<sup>11</sup> a fecha de 31 de diciembre de 2023, pero únicamente para el desglose del presupuesto por modelo de bomba y presupuesto total final.

Además, gran parte de los precios de las piezas son anteriores al 2024, por lo que se ha decidido aplicar a estas la inflación experimentada en Benín (ver Figura 42.).



Figura 42. Deflactor del PIB (%) de Benín. Fuente: Grupo Banco Mundial

<sup>11</sup> <https://www.oanda.com/currency-converter/es/?from=EUR&to=USD&amount=1>

## **6.2. FONDOS NECESARIOS PARA LA FINANCIACIÓN**

Para llevar a cabo el mantenimiento de las bombas se requerirá de un dinero que permita hacer frente a dos tipos de costes, el coste de sustitución de las piezas que hayan cumplido su vida útil (coste material) y el coste asociado a las tareas de reparación y renovación (coste del reparador).

### **6.2.1. Coste material**

Al contar la región de Benín con 3 modelos de bombas diferentes, se calculará el coste de mantenimiento para cada modelo en función a la vida útil esperada de sus piezas. Para ello, conocida la vida útil de una pieza, se calcula el número de veces que esta va a tener que ser sustituida a lo largo del año (ver Ecuación 1.), por tanto, una pieza con 6 meses de vida útil requerirá 2 reparaciones al año, lo que es equivalente a un 200% del valor real de la nueva pieza. Si este % es multiplicado por el precio unitario de la pieza (ver Ecuación 2.) se obtiene el coste anual de sustitución. Por último, este coste es multiplicado por la inflación para obtener un precio más ajustado a las condiciones actuales de mercado (ver Ecuación 3.).

$$\% \text{ coste (año)} = \frac{1}{\text{vida útil pieza (años)}}$$

*Ecuación 1. Coste anual de reparación de una pieza (%)*

$$\text{coste anual sustitución pieza} = \% \text{ coste (año)} * \text{precio unitario}$$

*Ecuación 2. Coste anual de sustitución de una pieza (CFA)*

$$\text{coste anual sustitución pieza 2023} = \text{inflación} * \text{coste anual sustitución pieza}$$

*Ecuación 3. Coste anual de sustitución de una pieza (CFA 2023)*

Todos los precios presentados a continuación han sido obtenidos de diversas fuentes, siendo las principales: proveedores oficiales de la marca, tiendas de reparación de Nikki y experiencia sobre el terreno de OAN. Al igual que se hizo con el desglose de piezas y vida útil, aquí se presentarán únicamente el desglose de algunas piezas, para ver tabla completa acudir al Anexo IV.

### Vergnet HPV 60-2000

La inflación acumulada desde el 2016 es del 12,6%.

Pieza	Vida útil	% Coste (año)	Coste pieza (2016)	Coste pieza (2023)	Coste anual
Butees Basses	1	100,0%	1.110CFA	1.250CFA	1.250CFA
Bague de guidage	1	100,0%	16.700CFA	18.804CFA	18.804CFA
Joint etancheite piston	1	100,0%	490CFA	552CFA	552CFA
Piston	1	100,0%	3.900CFA	4.391CFA	4.391CFA
Segments de piston	0,5	200,0%	2.200CFA	2.477CFA	4.954CFA
Joint calotte	1	100,0%	3.000CFA	3.378CFA	3.378CFA
Bille polyuretane	5	20,0%	6.810CFA	7.668CFA	1.534CFA
Ecrou de guidage	8	12,5%	29.400CFA	33.104CFA	4.138CFA
Ecrou freim HM 12	8	12,5%	8.510CFA	9.582CFA	1.198CFA
Joint plat de B. A clapets	8	12,5%	4.860CFA	5.472CFA	684CFA
Joint metallo-plastique	4	25,0%	660CFA	743CFA	186CFA

Tabla 12. Coste material de la bomba Vergnet HPV 60-2000

### Vergnet HPV 100

Pieza	Vida útil	% Coste (año)	Coste pieza (2016)	Coste pieza (2023)	Coste anual
Butees Basses	1	100,0%	1.110CFA	1.250CFA	1.250CFA
Bague de guidage	1	100,0%	16.700CFA	18.804CFA	18.804CFA
Joint etancheite piston	1	100,0%	490CFA	552CFA	552CFA
Piston	1	100,0%	3.900CFA	4.391CFA	4.391CFA
Segments de piston	0,5	200,0%	2.200CFA	2.477CFA	4.954CFA
Joint calotte	1	100,0%	3.000CFA	3.378CFA	3.378CFA
Bille polyuretane	3	33,3%	6.810CFA	7.668CFA	2.556CFA
Bille rectifiee D10	3	33,3%	2.200CFA	2.477CFA	826CFA
Buse de rearmorage	8	12,5%	62.470CFA	70.341CFA	8.793CFA
Ecrou de guidage	8	12,5%	29.400CFA	33.104CFA	4.138CFA
Ecrou de freim HM 12	8	12,5%	8.510CFA	9.582CFA	1.198CFA

Tabla 13. Coste material de la bomba Vergnet HPV 100

### India Mark II

La inflación acumulada desde el 2015 es del 13,4%.

Pieza	Vida útil	% Coste (año)	Coste pieza (2015)	Coste pieza (2023)	Coste anual
Roulement	1,5	66,7%	7.400CFA	8.384CFA	5.589CFA
Chaîne	2	50,0%	11.300CFA	12.803CFA	6.401CFA
Centreur de tuyau	2	50,0%	5.000CFA	5.665CFA	2.833CFA
Axe	2	50,0%	6.285CFA	7.121CFA	3.560CFA
Clapet de piston	3	33,3%	6.000CFA	6.798CFA	2.266CFA
Tringle/Tige	5	20,0%	12.000CFA	13.596CFA	2.719CFA
Joint de clapet piston	5	20,0%	550CFA	623CFA	125CFA
Entretoise	5	20,0%	689CFA	781CFA	156CFA
Corps de piston	5	20,0%	8.000CFA	9.064CFA	1.813CFA
Joint clapet de pied	5	20,0%	1.500CFA	1.700CFA	340CFA
Guide de clapet de pied	5	20,0%	6.720CFA	7.614CFA	1.523CFA

Tabla 14. Coste material de la bomba India Mark II

### India Mark III

Pieza	Vida útil	% Coste (año)	Coste pieza (2015)	Coste pieza (2023)	Coste anual
Roulement	1,5	66,7%	7.400CFA	8.384CFA	5.589CFA
Centreur de tuyau	2	50,0%	5.000CFA	5.665CFA	2.833CFA
Axe	2	50,0%	6.285CFA	7.121CFA	3.560CFA
Chaîne	2	50,0%	11.300CFA	12.803CFA	6.401CFA
Clapet de piston	5	20,0%	4.550CFA	5.155CFA	1.031CFA
Corps de piston	5	20,0%	8.000CFA	9.064CFA	1.813CFA
Tringle/Tige	5	20,0%	2.000CFA	2.266CFA	453CFA
Entretoise	2	50,0%	689CFA	781CFA	390CFA
Joint clapet de pied	1	100,0%	1.500CFA	1.700CFA	1.700CFA
Clapet de pied	5	20,0%	6.720CFA	7.614CFA	1.523CFA
Siège de clapet	5	20,0%	3.000CFA	3.399CFA	680CFA

Tabla 15. Coste material de la bomba India Mark III

### Afridev

La inflación acumulada desde el 2016 es del 12,6%.

Pieza	Vida útil	% Coste (año)	Coste pieza (2016)	Coste pieza (2023)	Coste anual
Roulement	1,5	66,7%	7.400CFA	5.058CFA	10.116CFA
Centreur de tuyau	2	50,0%	5.000CFA	5.620CFA	5.620CFA
Axe	2	50,0%	6.285CFA	674CFA	1.349CFA
Chaîne	2	50,0%	11.300CFA	5.620CFA	1.873CFA
Clapet de piston	5	20,0%	4.550CFA	8.992CFA	1.798CFA
Corps de piston	5	20,0%	8.000CFA	2.248CFA	450CFA
Tringle/Tige	5	20,0%	2.000CFA	2.248CFA	450CFA
Entretoise	2	50,0%	689CFA	1.349CFA	270CFA

Tabla 16. Coste material de la bomba Afridev

### **6.2.2. Coste del reparador**

Los costes que supone la reparación, mantenimiento o sustitución de piezas llevada a cabo por el reparador en cada bomba se muestran en la siguiente tabla:

Tarea	% Coste (año)	Coste unitario	Coste anual
Salario del gerente de ventas	1200%	12.000 CFA	144.000 CFA
Intervención del reparador	300%	5.000 CFA	15.000 CFA
Desplazamiento y otros	100%	20.000 CFA	20.000 CFA
		<b>Total al año</b>	<b>179.000 CFA</b>

Tabla 17. Costes del reparador. Fuente: OAN International

### **6.2.3. Coste total unitario por modelo de bomba**

En la siguiente tabla, y a modo de resumen, se muestra el presupuesto necesario para poder acometer el mantenimiento preventivo de una bomba:

	Coste anual (CFA)	Coste anual (€)	Cambio €/CFA
Vergnet HPV 60-2000	182.539	277,5	0,00152
Vergnet HPV 100	232.900	354,0	
India Mark II	109.306	166,1	
India Mark III	110.582	168,1	
Afridev	46.944	71,4	
Coste reparador	179.000	272,1	

Tabla 18. Coste total unitario por modelo de bomba del mantenimiento preventivo. Fuente: Creación propia

Es conveniente indicar que el coste de la Tabla 18 por modelo de bomba, a excepción del modelo Afridev, no se ajusta a lo presentado en el Anexo IV, esto es debido a que al desconocer el precio de ciertas piezas se ha decidido fijar el precio de las piezas desconocidas, en el precio medio de las piezas conocidas. De esta forma se obtiene un presupuesto más cercano a la realidad.

El ajuste es solo mínimamente relevante en las bombas India Mark, en los modelos Vergnet se cuenta con el precio de más del 90% de las piezas.

#### 6.2.4. Número de bombas en Nikki

En la actualidad y según datos de OAN International la región de Nikki cuenta con 431 bombas manuales de agua, las cuales se encuentran distribuidas entre las diversas marcas de la siguiente forma:

	Nº bombas Nikki	%
Vergnet HPV 60-2000	240	56%
Vergnet HPV 100	17	4%
India Mark II	10	2%
India Mark III	110	26%
Afridev	34	8%
Otros modelos	20	5%
Total	431	100%

Tabla 19. Distribución del número de bombas en Nikki por marca y modelo. Fuente: Creación propia

Como se puede comprobar en la información de la tabla, mediante este trabajo se cubre el 95% de la red de bombas de agua de Nikki, y, por tanto, casi la totalidad de los costes asociados al mantenimiento provendrán de estas 3 marcas principales.

### 6.2.5. Presupuesto total para el mantenimiento preventivo

Conocido el coste unitario anual por marca de bomba que supone el mantenimiento, el coste asociado a la labor de reparadores y el número de bombas por marca y modelo, con una simple multiplicación se puede obtener el presupuesto anual a destinar al mantenimiento de la red de bombas manuales de agua en Nikki. En la siguiente tabla se muestran esos resultados:

*coste anual (CFA)*

$$= \sum_i^3 (\text{coste anual bomba}_i * n^{\circ} \text{ bombas}_i) + \text{coste reparador} * n^{\circ} \text{ bombas}_{total}^{12}$$

*Ecuación 4. Coste anual de sustitución de una pieza (CFA)*

	<b>Coste anual (CFA)</b>	<b>Coste anual (€)</b>
Vergnet HPV 60-2000	43.809.338	66.590,2
Vergnet HPV 100	3.959.298	6.018,1
India Mark II	1.093.060	1.661,5
India Mark III	12.163.995	18.489,3
Afridev	1.596.091	2.426,1
Coste reparador	77.149.000	117.266,5
<b>Total</b>	<b>139.770.782</b>	<b>212.452</b>

*Tabla 20. Presupuesto a destinar al mantenimiento de bombas de agua en Nikki. Fuente: Creación propia*

<sup>12</sup> Para el cálculo del número de bombas totales solo se han considerado los modelos de bomba tratados en el trabajo (Vergnet HPV 60-2000, Vergnet HPV 100, India Mark II, India Mark III y Afridev).

Por tanto, anualmente y siempre ajustando los precios al contexto económico real de ese año, aproximadamente se deberían destinar 212 mil euros al mantenimiento del 95% de las bombas de la red hídrica de Nikki.

### **6.3. FUENTES DE FINANCIACIÓN**

En la actualidad en Nikki se cobra un precio a la población por la extracción de agua a través de las bombas. Por ello, parece lógico que parte de este dinero se destine a las tareas de mantenimiento.

Según datos del Gobierno de Benín, aproximadamente una bomba manual de agua puede impulsar alrededor de 900 l/h, funcionando durante 12 h, de manera que si se fija en 20 litros el agua que se puede extraer por persona al día se obtiene el número máximo de personas al que puede servir con una bomba (ver Ecuación 5.).

$$\text{número de usuarios (máx día)} = \frac{900 \frac{\text{l}}{\text{h}} * 12 \text{ h} * 0,75(\text{pérdidas})}{20 \frac{\text{l} * \text{usuario}}{\text{día}}} = 405 \text{ usuarios}$$

*Ecuación 5. Número máximo de usuarios al día por bomba*

Sin embargo, el Gobierno de Benín recomienda que el número de usuarios por pozo/bomba no sea superior a 250 personas. Además, según datos de OAN, realmente al día por usuario se emplean más de 20 litros, situándose el consumo de agua real alrededor de los 25 litros.

En cuanto al precio de la tarifa del agua este no es fijo, ya que varía entre los diferentes pueblos, situándose entre los 10-25 CFA por 25 litros.

Por tanto, conocidas las disparidades entre las recomendaciones del Gobierno Beninés y los datos de OAN, para el cálculo de la recolección máxima de dinero que se podría hacer a través de la tarifa del agua, se ha decidido calcular un intervalo.

	<b>Máx a recaudar</b>	<b>Mín a recaudar</b>
Consumo de agua persona	25 litros	20 litros
Precio 25 litros	25	10
Numero de bombas	411	411
Usuarios/bomba	405	250
Días al año	365	365
<b>CFA recaudados</b>	<b>1.518.901.875</b>	<b>300.030.000</b>
<b>€ recaudados</b>	<b>2.308.731</b>	<b>456.046</b>

Tabla 21. Intervalo de recaudación por tarifa del agua. Fuente: Creación propia

## 6.4. RESUMEN

A continuación, se presenta una tabla resumen que recoge las necesidades de dinero para poder llevar a cabo el mantenimiento de la red, así como la recaudación estimada que se podría hacer gracias a la tarifa del agua, la cual se considera la manera más efectiva y sencilla de obtener los fondos necesarios.

	<b>Máx a recaudar</b>	<b>Mín a recaudar</b>
Tarifa del agua (CFA)	1.518.901.875	300.030.000
Coste anual (CFA)	139.770.782	139.770.782
<b>% a destinar mantenimiento</b>	<b>9,2%</b>	<b>46,6%</b>

Tabla 22. Tabla resumen del presupuesto de mantenimiento. Fuente: Creación propia

Como se observa en la tabla, en ninguno de los casos el mantenimiento absorbería más del 50% del dinero obtenido, a través de la tarifa del agua, lo cual evitaría que agentes externos tuvieran que aportar fondos para el mantenimiento y dotaría al mantenimiento preventivo de una calidad hasta la fecha no observada, ya que se contaría con un apoyo financiero ya definido al principio del año.

## **Capítulo 7. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN**

A modo de cierre del trabajo considero conveniente resaltar las principales limitaciones que este trabajo haya podido tener, de manera que permita enmarcar los resultados y conclusiones obtenidas. Además, creo que este es solo es la primera versión de un proyecto que se tiene que ir ampliando y desarrollando con el tiempo.

### **7.1. CONCLUSIONES**

Durante el trabajo ha quedado patente la situación precaria en la que viven en Benín, y más concretamente en la Comuna de Nikki, mayormente rural. Esta precariedad, unida al desconocimiento generalizado, hace que aspectos como el mantenimiento de las bombas, vitales para la vida y desarrollo de la comunidad, se descuiden, provocando que estas no funcionen correctamente.

Por ello, este trabajo ha incidido fuertemente en la importancia del mantenimiento preventivo, como herramienta para atajar este problema. Este mantenimiento preventivo no solo se refiere a la reparación y cuidado de la bomba, sino que va más allá, ya que requiere de la involucración de la población y autoridades, a los cuales hay que convencer de que la sustitución de una bomba no debe ser la consecuencia de su estropeo, sino que la consecuencia de su sustitución deber ser el cumplimiento de su vida útil operativa. Por tanto, invertir dinero en una bomba que funciona correctamente no ha de ser visto como un desperdicio de recursos, sino una inversión para un ahorro futuro.

Además, en el capítulo anterior se ha dejado patente que el mantenimiento se puede llegar a autofinanciar, a través de las tarifas por consumo de agua, de manera que no requiera de una salida extra de capital.

Por otro lado, el trabajo ha contado con ciertas limitaciones para poder dejar hecha una guía de mantenimiento precisa. En primer lugar, gran parte de las vidas útiles fijadas para las piezas de los modelos no se encuentran refrendadas sobre el terreno, de manera que hay que fiarse de los valores que fijan el fabricante o los proveedores.

Por otra parte, el presupuesto ha sido probablemente la parte del trabajo que más abierta haya quedado, ya que ha sido complicado encontrar precios que se ajustaran a la realidad de Benín, por ello, en algunos modelos de bombas no se han incluido todos los precios de sus componentes, habiéndose tenido que sobrestimar el presupuesto para que cubriera el valor hipotético de estas piezas. Además, en Nikki, se carece de proveedores oficiales de piezas, solo contando con una tienda de repuestos, en la que en muchas ocasiones el precio no es fijo, lo que dificulta el establecimiento de un presupuesto.

Por último, la guía de mantenimiento debería ser un “documento vivo”, es decir, que debería actualizarse periódicamente, de forma que la información que se vaya obteniendo en Nikki complete, corrija o adapte la aquí recogida.

## **7.2. *LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN***

Al estar OAN aún en una fase inicial del proyecto, este tiene muchas vertientes en las que avanzar y seguir desarrollándose.

Por un lado, el proyecto inicial de ASEP solo monitoriza 44 bombas del total de 431, que componen la red. Por tanto, una vez que AGUAPP funcione correctamente, y se vea que la estrategia de monitorización y mantenimiento es la apropiada, este se debería extender al resto de las bombas.

Por otro lado, el tener una guía y unas directrices e instrucciones para llevar a cabo el mantenimiento es un excelente primer paso, sin embargo, si luego la obtención de repuestos es complicada o costosa económicamente, todos los anteriores esfuerzos no sirven para nada. Por ello, sería conveniente el crear una red de proveedores, que suministren los recambios

de piezas, al igual que la creación de una tienda que gestione los pedidos y tenga stock amplio.

Evidentemente, el proyecto bien organizado, debería poder ser trasladado e implementado por otras comunidades, ya que este problema no es único de la comunidad de Nikki.

Por último, otra de las posibles líneas futuras podría ser la instalación de bombas sostenibles, las cuales estén actualizadas a tecnologías más modernas, su funcionamiento sea mejor y requieran de un menor mantenimiento.



## BIBLIOGRAFÍA

- Pérez-Foguet, A., & Jiménez, A. (2011). *El agua como elemento clave para el desarrollo*. Canal Educa.
- African Development Bank. (2022). *Africa's Urbanisation Dynamics 2022*.
- Aquae Fundación. (2021). Obtenido de La importancia del agua en los seres vivos:  
<https://www.fundacionaquae.org/wiki/importancia-del-agua/#:~:text=Es%20un%20elemento%20fundamental%20para,absorci%C3%B3n%20y%20eliminaci%C3%B3n%20de%20desechos>.
- Baumann, E., & Furey, S. (2013). *How Three Handpumps Revolutionised Rural Water Supplies*. RWSN.
- CIA. gov. (2024). *The World Factbook: Benin*. Obtenido de <https://www.cia.gov/the-world-factbook/countries/benin/>
- De Stefano, M. (s.f.). Agua y saneamiento en África, esto también es “desigualdad” de genero. *Blog Neo*.
- DINEPA. (2013). *Principios básicos de diferentes dispositivos volumétricos*.
- Fernández, C. (s.f.). Agua y desarrollo humano. Obtenido de [https://www.fundacionpfizer.org/sites/default/files/ars\\_medica\\_2004\\_vol01\\_num05\\_012\\_030\\_fernandez.pdf](https://www.fundacionpfizer.org/sites/default/files/ars_medica_2004_vol01_num05_012_030_fernandez.pdf)
- Indra. (s.f.). *Blog Neo*. Obtenido de Blog Neo.
- Jiménez, A., & Marín, G. (2011). *Abastecimiento y saneamiento en el ámbito rural*. Canal Educa.
- Landels, J. (2000). *Engineering in the Ancient World*.

MAEC. (2023). *Ficha País: Benín*. Oficina de Información Diplomática del Ministerio de Asuntos Exteriores, Unión Europea y de Cooperación. Obtenido de [https://www.exteriores.gob.es/Documents/FichasPais/BENIN\\_FICHA%20PAIS.pdf](https://www.exteriores.gob.es/Documents/FichasPais/BENIN_FICHA%20PAIS.pdf)

Ministère de l’Energie et de l’Eau, République du Bénin. (2008). *Guide à l’usage des communes*.

Ministerio de Planificación y Desarrollo de Benín. (2018). *Cinquième Enquête Démographique*.

Mudgal, A. (1997). *Indian Handpump Revolution: Challenge and change*. HTN - Skat.

Muñoz, J. (2023). La historia del primer Dosificador. Obtenido de <https://www.linkedin.com/pulse/la-historia-del-primer-dosificador-joan-fco-mu%C3%B1oz-sastre-wrd3e/>

OAN International. (s.f.). Obtenido de Nuestra historia: <https://oaninternational.org/about-us>

OAN International. (2015). *BOMBA MANUAL HPV 60-2000*.

OAN International. (2016). *Gestión de Bombas Manuales, Formación y Sensibilización*.

OAN International. (2022). *Estado de Proyecto: ASEP-AGUAPP*.

OAN International. (2024). *Benín*.

OAN International. (s.f.). *OAN International*. Obtenido de <https://oaninternational.org/about-us>

OMS y Unicef. (2009). *Informe de desarrollo humano*.

ONU. (s.f.). *Objetivo 1: Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo*. Obtenido de ONU: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/poverty/>

ONU. (s.f.). *Objetivo 17: Revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible.*

Obtenido de Onu:

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/globalpartnerships/>

ONU. (s.f.). *Objetivo 3: Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en*

*todas las edades.* Obtenido de ONU:

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/health/>

ONU. (s.f.). *Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el*

*saneamiento para todos.* Obtenido de ONU:

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>

RSWN. (2008). *Installation & Maintenance Manual.*

Sansom, K., & Koestler, L. (2009). *African Handpump Market Mapping Study.* Delta Partnership.

SKAT - HTN. (2007). *Installation and Maintenance Manual for the Afridev Handpump.*

Skinner, B. (2019). Repositorio de Loughborough University. Obtenido de

<https://repository.lboro.ac.uk/>

Skinner, B., Shaw, R., & Chatterton, K. (2019). *Handpumps – An Overview: Part 4a of 6 –*

*Deepwell pumps: The India Mark II.* Obtenido de WEDC, Loughborough University:

[https://repository.lboro.ac.uk/articles/media/Handpumps\\_An\\_Overview\\_Part\\_4a\\_of\\_6\\_Deepwell\\_pumps\\_The\\_India\\_Mark\\_II/9761540/1?file=17485127](https://repository.lboro.ac.uk/articles/media/Handpumps_An_Overview_Part_4a_of_6_Deepwell_pumps_The_India_Mark_II/9761540/1?file=17485127)

Talbot, R. (2017). *RWSN.* Obtenido de <https://rwsn.blog/>

UNICEF. (1997). *UNICEF.* Obtenido de <https://www.unicef.org/>

Vergnet Hydro. (s.f.). *Presentation of the ODIAL SOLUTIONS group.* Obtenido de Vergnet

Hydro.

World Bank. (2024). *The World Bank in Benin; an Overview*. World Bank.

World Population Review. (2024). *Human Development Index (HDI) by Country 2024*.

World Population Review. Obtenido de <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/hdi-by-country>

# Documento II.

# Anexos



## **Anexo I. Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)**

Como ha quedado patente a lo largo del trabajo, este proyecto tiene una clara vinculación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), los cuales son un conjunto de retos económicos, sociales, políticos y medioambientales establecidos en 2012 por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) con la idea de poder alcanzarse para el año 2030. Por ello, el objetivo de este apartado es analizar la participación de este trabajo en la consecución de estos objetivos. En la siguiente figura se presentan los 17 ODS:



*Figura 43. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Fuente: ONU*

Concretamente, en este trabajo se ha incidido, principalmente, en los siguientes objetivos:

### **Objetivo 1 - Fin de la pobreza:**

La pobreza es una condición que engloba la carencia de numerosos aspectos claves para la vida y el desarrollo humano, como son: comida, agua potable, vivienda, educación, sanidad... Por ello, la erradicación de la pobreza extrema, entendiéndose por pobreza extrema el sobrevivir con menos de 2,15 \$ (poder adquisitivo de 2017) al día, es uno de los principales objetivos de la Agenda 2030.

En las últimas décadas el número de familias en situación extrema de precariedad se había visto reducida paulatinamente. Sin embargo, la aparición de COVID-19 generó un retroceso en esta tendencia. Según datos de la ONU, a finales de 2022 un 8,4% de la población, que equivale a 670 millones de personas, se encontraba en situación de pobreza extrema, concentrándose una amplia mayoría de esta población en el África subsahariana (ONU, s.f.)

En el caso de este trabajo, la vinculación con el primer ODS es muy grande, ya que el proyecto se enmarca en ayudar a una ONG, OAN International, que colabora en un país del África subsahariana, como Benín, en el cual una parte importante de su población se encuentra viviendo en una situación muy precaria y que sin la ayuda externa sus posibilidades de poder mejorar y salir de este estado son muy limitadas.

Por tanto, con este proyecto lo que se pretende es dotar a la comunidad de Nikki de unas herramientas que les permitan llevar a cabo el correcto mantenimiento de su infraestructura hídrica, de forma que toda la población tenga acceso a una fuente de agua potable segura y se puedan emplear el resto de los recursos en otros aspectos, que les permitan mejorar sus condiciones de vida.

### **Objetivo 3 – Salud y bienestar:**

Una parte importante de la población mundial no cuenta con acceso a servicios de salud básicos. Para ello, es necesario cubrir estas carencias y garantizar una prestación de atención sanitaria equitativa, de manera que se pueda hacer frente a las disparidades.

Aunque, en los últimos años, se han registrado avances significativos en la reducción de la mortalidad infantil y en el tratamiento del VIH, la pandemia del COVID-19 ha interrumpido estos progresos, exacerbando las desigualdades existentes en el acceso a la atención sanitaria. Entre otros aspectos se ha producido el descenso la vacunación infantil y el aumento de casos de tuberculosis y malaria con respecto a las cifras prepandemia (ONU, s.f.).

Para poder hacer frente a las actuales dificultades y abordar las deficiencias en la atención sanitaria, es fundamental aumentar la inversión en sanidad, especialmente en aquellos países con menores recursos.

Como ha quedado patente a lo largo del trabajo, el agua en mal estado o el deficiente mantenimiento de los sistemas de impulsión de agua son focos claros de transmisión y contagio de enfermedades. Por ello, iniciativas como el proyecto ASEP de OAN, al que se ha contribuido con este trabajo, son fundamentales para asegurar, no solo el funcionamiento, sino también la higiene y salud de la infraestructura implicada.

### **Objetivo 6 – Agua limpia y saneamiento:**

Este objetivo probablemente sea el que tenga mayor vinculación con el fin principal de este trabajo.

Como se ha ido recordando a lo largo de los capítulos de este trabajo, el acceso a agua potable es probablemente una de las necesidades humanas más básicas a cubrir. Sin embargo, el incremento de la población, la urbanización y las necesidades de agua de los sectores agrícola, industrial y energético están provocando un aumento de la demanda de agua, la cual unida al cambio climático y proliferación de las sequías ha generado que la mitad de la población mundial actualmente sufra escasez de agua grave, al menos un mes al año (ONU, s.f.).

Entre las medidas que la ONU recoge para asegurar el acceso universal al agua potable resaltan las inversiones en infraestructura e instalaciones de saneamiento, la protección de

los ecosistemas relacionados con el agua y la mejora del uso eficiente de los recursos hídricos (ONU, s.f.).

El proyecto ASEP de OAN en su conjunto, así como este trabajo en particular, están enfocados en colaborar en la consecución de estos objetivos fijados por la ONU. Para ello, el mantenimiento preventivo de las bombas y la destinación de fondos a esta tarea deben ser fundamentales.

### **Objetivo 17 – Alianzas para lograr los objetivos:**

La consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible depende en gran medida de la construcción de asociaciones mundiales sólidas y de una cooperación efectiva. Sin embargo, la pesada carga de la deuda que enfrentan muchos países de ingresos bajos limita su capacidad para invertir en aquellos sectores claves para lograr un desarrollo sostenible (ONU, s.f.).

Para ello, se requiere de la colaboración de los países más desarrollados, así como de colaboración entre los gobiernos, el sector privado y la sociedad civil.

Por ello, la labor de OAN International es de tanta importancia, ya que gracias a sus proyectos de colaboración sirve de nexo entre la población civil y las instituciones gubernamentales de Benín. Además, señala a las autoridades locales la importancia de destinar fondos a la conservación de sus infraestructuras, de manera que su región puede funcionar de una manera más sostenible y la vida de sus ciudadanos mejore.

## Anexo II. Planos de los modelos de bombas de agua

### Vergnet HPV 100

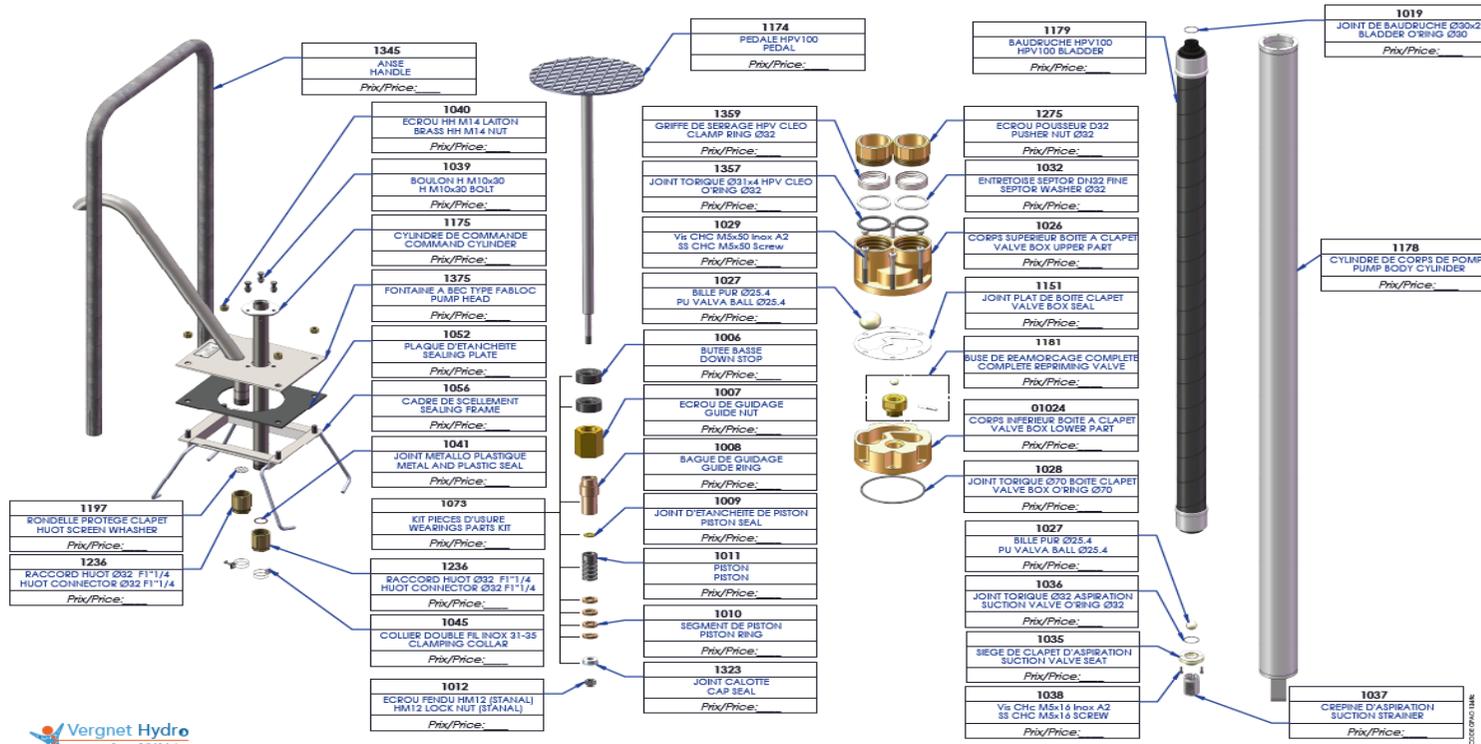


Figura 44. Plano de despiece Vergnet HPV 100. Fuente: Vergnet Hydro

**Vergnet HPV 60-2000**

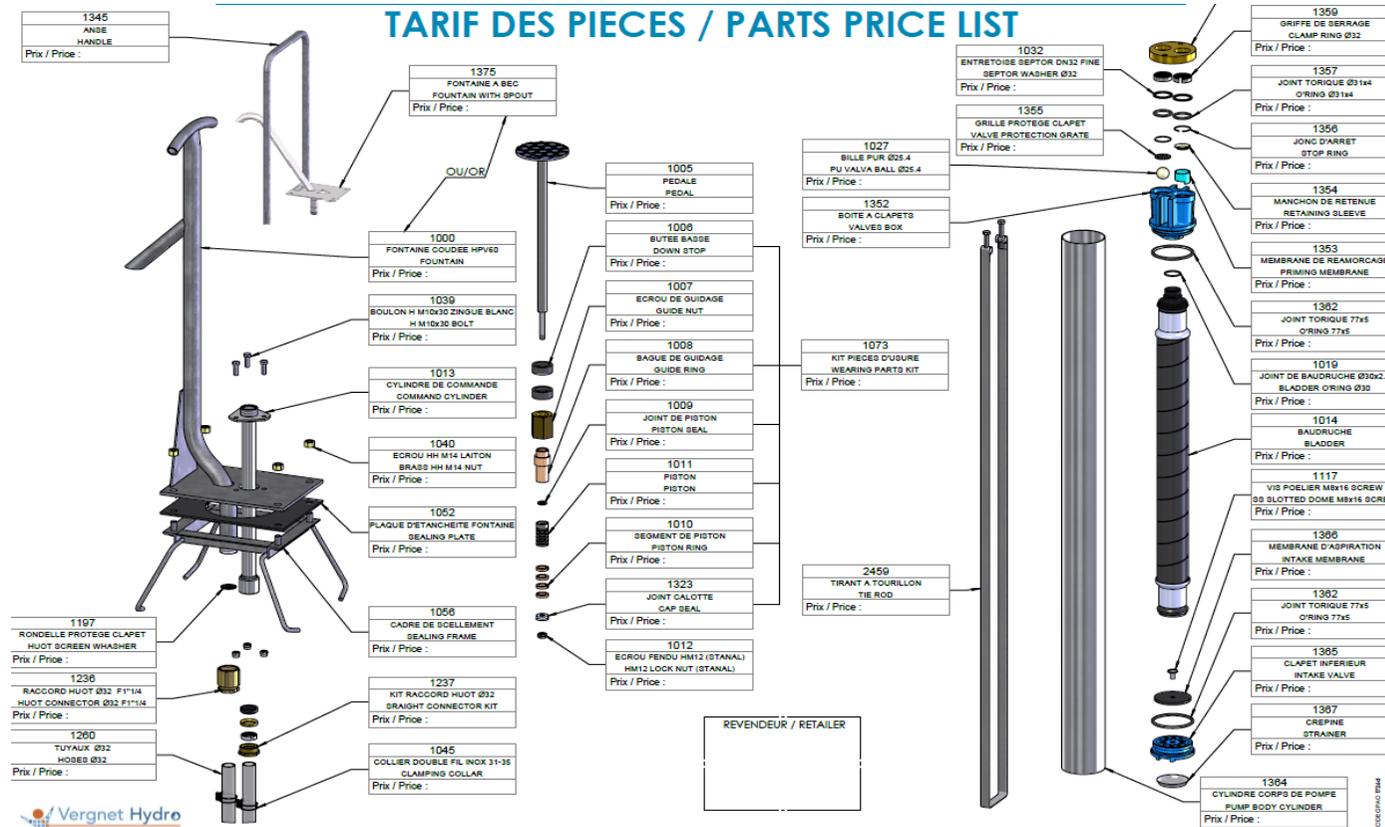


Figura 45. Plano de despiece Vergnet HPV 60-2000. Fuente: Vergnet Hydro

**India Mark II**

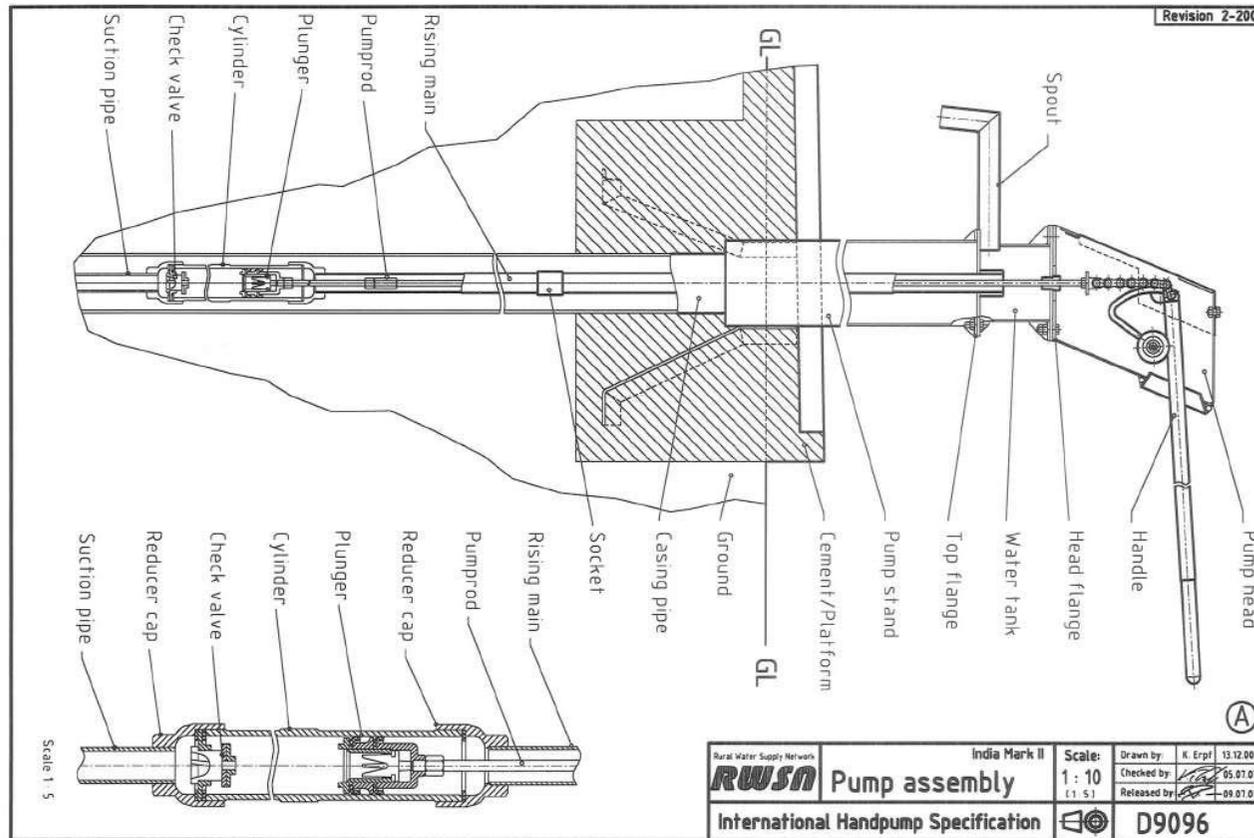


Figura 46. Plano de despiece India Mark II. Fuente: RWSN

**India Mark III**

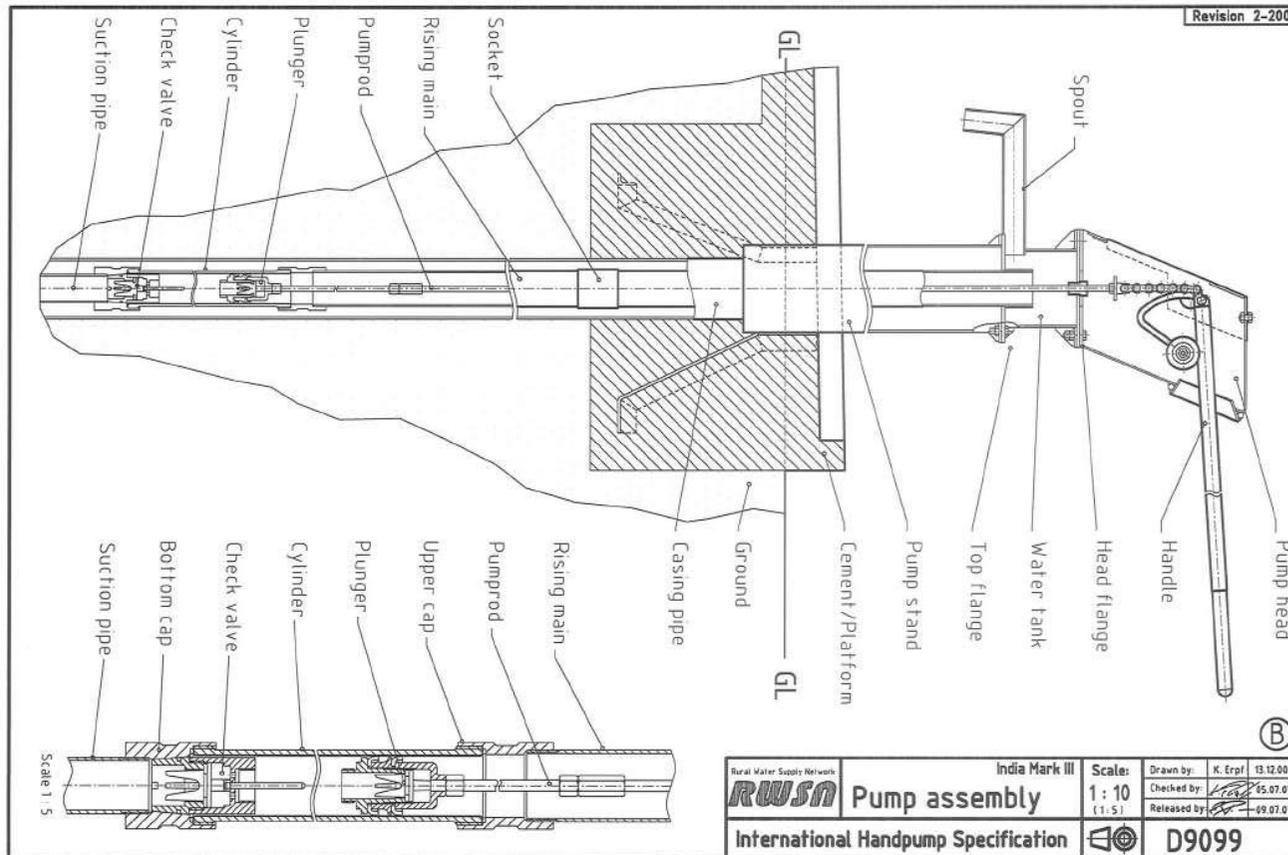


Figura 47. Plano de despiece India Mark III. Fuente: RWSN

**Afridev**

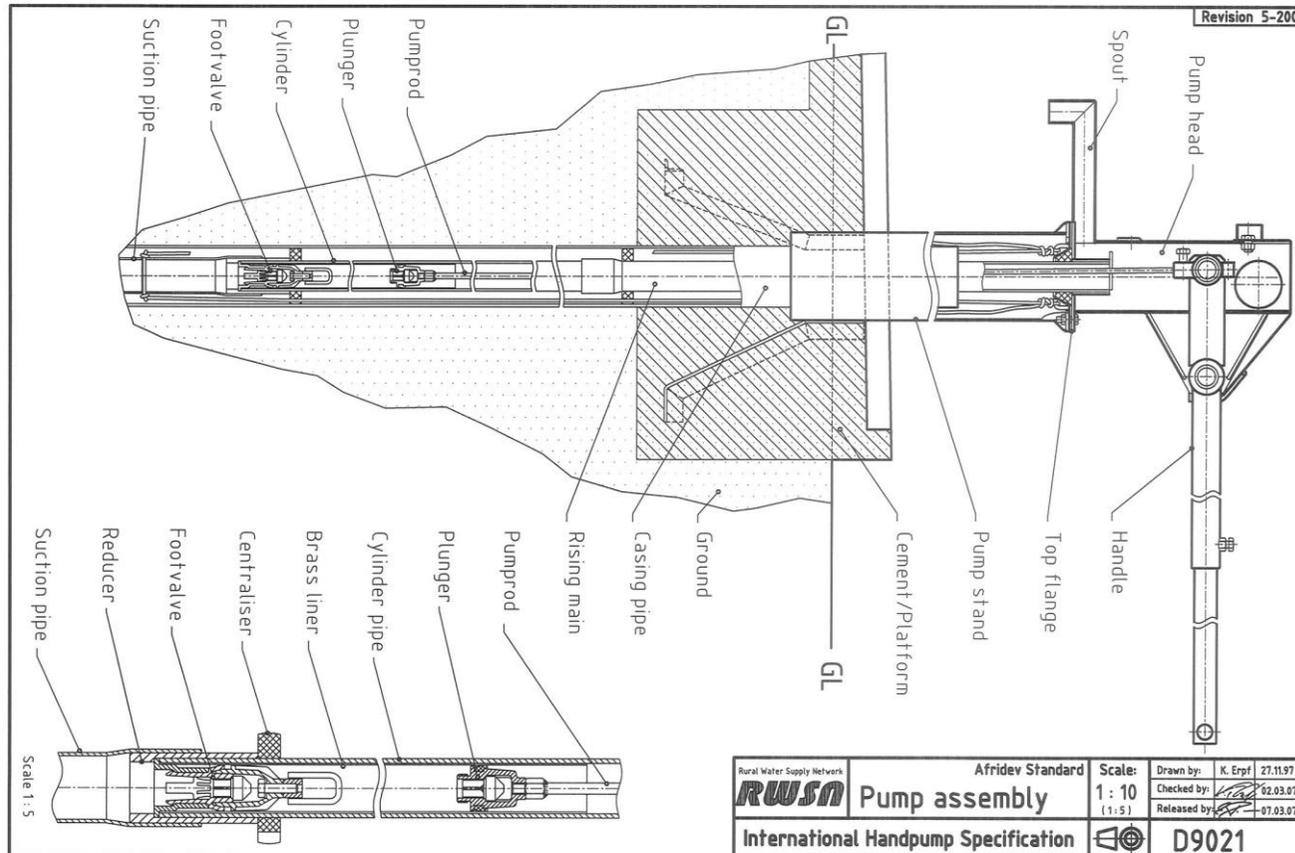


Figura 48. Plano de despiece Afridev. Fuente: RWSN

## **Anexo III. *Despiece y vida útil de los modelos de bombas de agua***

### **Vergnet HPV 100**

<b>Pieza</b>	<b>Grupo</b>	<b>Tipo</b>	<b>Vida útil (Desfavorable)</b>	<b>Vida útil (Favorable)</b>
Butees Basses	Pieza de desgaste	Mantenimiento y reparación	1	1
Bague de guidage	Pieza de desgaste	Mantenimiento y reparación	1	2
Joint etancheite piston	Pieza de reparación pequeña	Mantenimiento y reparación	1	2
Piston	Pieza de reparación pequeña	Mantenimiento y reparación	1	1
Segments de piston	Pieza de reparación pequeña	Mantenimiento y reparación	0,5	1
Joint calotte	Pieza de reparación pequeña	Mantenimiento y reparación	1	2
Bille polyuretane DIAM 25.4	Pieza de reparación pequeña	Renovación	3	8
Bille rectifiee D10	Pieza de reparación pequeña	Renovación	3	8
Buse de rearmorage complete	Pieza de reparación pequeña	Renovación	8	8
Ecrou de guidage	Pieza de reparación pequeña	Renovación	8	10
Ecrou de freim HM 12	Pieza de reparación pequeña	Renovación	8	10
Joint plat de B. A clapets	Pieza de reparación pequeña	Renovación	8	8
Joint metallo-plastique	Pieza de reparación pequeña	Renovación	4	8
Joint de baudruche 30x2.5	Pieza de reparación pequeña	Renovación	6	10
Joint torique D70 B a clapet	Pieza de reparación pequeña	Renovación	5	6
Joint torique D32 clapet asp.	Pieza de reparación pequeña	Renovación	5	6
Kit interieuer raccord huot D40	Pieza de reparación pequeña	Renovación	5	7
Ancien siege de clapet d'aspiration	Pieza de reparación pequeña	Renovación	3	8
Raccord huot D32	Pieza de reparación importante	Renovación	12	16



## **Vergnet HPV 60-2000**

<b>Pieza</b>	<b>Grupo</b>	<b>Tipo</b>	<b>Vida útil (Desfavorable)</b>	<b>Vida útil (Favorable)</b>
Butees Basses	Pieza de desgaste	Mantenimiento y reparación	1	1
Bague de guidage	Pieza de desgaste	Mantenimiento y reparación	1	2
Joint etancheite piston	Pieza de reparación pequeña	Mantenimiento y reparación	1	2
Piston	Pieza de reparación pequeña	Mantenimiento y reparación	1	1
Segments de piston	Pieza de reparación pequeña	Mantenimiento y reparación	0,5	1
Joint calotte	Pieza de reparación pequeña	Mantenimiento y reparación	1	2
Bille polyuretane DIAM 25.4	Pieza de reparación pequeña	Renovación	5	8
Ecrou de guidage	Pieza de reparación pequeña	Renovación	8	10
Ecrou freim HM 12	Pieza de reparación pequeña	Renovación	8	10
Joint plat de B. A clapets	Pieza de reparación pequeña	Renovación	8	8
Joint metallo-plastique	Pieza de reparación pequeña	Renovación	4	8
Joint de baudruche 30x2.5	Pieza de reparación pequeña	Renovación	6	10
Griffe de serrage Diam 32	Pieza de reparación pequeña	Renovación	5	6
Joint torique 31´4	Pieza de reparación pequeña	Renovación	5	6
Joint torique 77´5	Pieza de reparación pequeña	Renovación	5	6
Kit raccord huot D32	Pieza de reparación pequeña	Renovación	5	12
Membrane d´aspiration	Pieza de reparación pequeña	Renovación	5	10
Membrane de reamorcage	Pieza de reparación pequeña	Renovación	2	10
Raccord huot D32	Pieza de reparación importante	Renovación	12	16
Plaque etancheite de fontaine	Pieza de reparación importante	Renovación	5	12
Baudruche HPV160 4AT-INOX	Pieza de reparación importante	Renovación	10	10
Collier de securite INOX36	Pieza de reparación importante	Renovación	10	10
Croisillon de clapet plastique	Pieza de reparación importante	Renovación	12	12
Pedale HPV60	Pieza de reparación importante	Renovación	7	10

ICAI	ICADE	CIHS		
B. A clapets avec insert	Pieza de reparación importante	Renovación	10	10
Bride de serrage	Pieza de reparación importante	Renovación	10	16
Clapet inferieur	Pieza de reparación importante	Renovación	10	10
Ecrou HM8 INOX	Pieza de reparación importante	Renovación	10	10
Grille protege clapet	Pieza de reparación importante	Renovación	7	12
Joint d´arret	Pieza de reparación importante	Renovación	12	15
Manchon de retenue	Pieza de reparación importante	Renovación	10	12
Tirant INOX	Pieza de reparación importante	Renovación	10	>15
Vis Poelier M8 x 16 INOX	Pieza de reparación importante	Renovación	10	>15
Tuyau de refoulement	Pieza de renovación	Renovación	15	>15
Raccord inter tuyaux D32	Pieza de renovación	Renovación	15	15
Fontaine HPV60	Pieza de renovación	Renovación	15	>15
Tuyau de commande 32 HPV60	Pieza de renovación	Renovación	15	>15
Cylindre de commande HPV60	Pieza de renovación	Renovación	15	16
Cylindre de corps de pompe HPV60	Pieza de renovación	Renovación	15	>15
Boulon H M10x30 zingue blanc	Pieza de reparación importante	Renovación	10	10
Cadre de scellement	Pieza de reparación importante	Renovación	10	10
Entretoise septor DN32 fine	Pieza de renovación	Renovación	15	>15
Crepine	Pieza de reparación importante	Renovación	10	10
Ecrou HH M14 laitón	Pieza de reparación importante	Renovación	10	10

## **India Mark II**

<b>Pieza</b>	<b>Grupo</b>	<b>Tipo</b>	<b>Vida útil (Desfavorable)</b>	<b>Vida útil (Favorable)</b>
Roulement	Pieza de desgaste	Mantenimiento y reparación	1,5	2
Chaîne	Pieza de desgaste	Mantenimiento y reparación	2	2
Centreur de tuyau	Pieza de reparación importante	Mantenimiento y reparación	2	10
Axe	Pieza de reparación pequeña	Mantenimiento y reparación	2	5
Clapet de piston	Pieza de reparación pequeña	Mantenimiento y reparación	3	5
Tringle/Tige	Pieza de reparación importante	Renovación	5	5
Joint de clapet piston	Pieza de reparación importante	Renovación	5	5
Entretoise	Pieza de reparación pequeña	Renovación	5	5
Corps de piston	Pieza de renovación	Renovación	5	10
Joint clapet de pied	Pieza de desgaste	Renovación	5	5
Guide de clapet de pied	Pieza de reparación pequeña	Renovación	5	10
Bride du socle	Pieza de reparación importante	Renovación	10	10
Boulon d'ancrage	Pieza de reparación importante	Renovación	10	10
Tige de piston	Pieza de reparación pequeña	Renovación	10	10
Bouchon haut	Pieza de renovación	Renovación	10	10
Bouchon bas	Pieza de renovación	Renovación	10	10
Chapelle	Pieza de reparación importante	Renovación	10	10
Ecrou clapet de pied	Pieza de reparación importante	Renovación	10	10
Siège de clapet	Pieza de reparación importante	Renovación	10	10
Tuyau	Pieza de reparación importante	Renovación	12	Plus de 20 ans
Bras	Pieza de renovación	Renovación	20	Plus de 20 ans
Couvercle	Pieza de renovación	Renovación	20	Plus de 20 ans
Tête	Pieza de renovación	Renovación	20	Plus de 20 ans
Réservoir	Pieza de renovación	Renovación	20	Plus de 20 ans

ICAI	ICADE	CIHS		
Tuyau de sortie	Pieza de reparación importante	Renovación	20	Plus de 20 ans
ocle/Pied	Pieza de renovación	Renovación	20	Plus de 20 ans
Joint d'embase	Pieza de renovación	Renovación	20	Plus de 20 ans
Corps de cylindre	Pieza de renovación	Renovación	20	Plus de 20 ans
Plaque	Pieza de renovación	Renovación		
Plaque d'embase	Pieza de renovación	Renovación		
Joint	Pieza de desgaste	Mantenimiento y reparación		
Coupelle	Pieza de desgaste	Mantenimiento y reparación	1	1

## **India Mark III**

<b>Pieza</b>	<b>Grupo</b>	<b>Tipo</b>	<b>Vida útil (Desfavorable)</b>	<b>Vida útil (Favorable)</b>
Roulement	Pieza de desgaste	Mantenimiento y reparación	1,5	2
Centreur de tuyau	Pieza de reparación importante	Mantenimiento y reparación	2	10
Axe	Pieza de reparación pequeña	Mantenimiento y reparación	2	2
Chaîne	Pieza de desgaste	Mantenimiento y reparación	2	2
Clapet de piston	Pieza de desgaste	Renovación	5	5
Corps de piston	Pieza de renovación	Renovación	5	10
Tringle/Tige	Pieza de reparación importante	Renovación	5	5
Entretoise	Pieza de reparación pequeña	Mantenimiento y reparación	2	5
Joint clapet de pied	Pieza de reparación pequeña	Mantenimiento y reparación	1	5
Clapet de pied	Pieza de reparación pequeña	Renovación	5	5
Siège de clapet	Pieza de reparación pequeña	Renovación	5	5
Bride du socle	Pieza de reparación importante	Renovación	10	10
Boulon d'ancrage	Pieza de reparación importante	Renovación	10	10
Tige de piston	Pieza de reparación importante	Renovación	10	10
Bouchon haut	Pieza de renovación	Renovación	10	10
Bouchon bas	Pieza de renovación	Renovación	10	10
Chapelle	Pieza de reparación importante	Renovación	10	10
Joint torique	Pieza de desgaste	Mantenimiento y reparación	1	10
Tuyau	Pieza de reparación importante	Renovación	12	Plus de 20 ans
Bras	Pieza de renovación	Renovación	20	Plus de 20 ans
Couvercle	Pieza de renovación	Renovación	20	Plus de 20 ans
Tête	Pieza de renovación	Renovación	20	Plus de 20 ans
Réservoir	Pieza de renovación	Renovación	20	Plus de 20 ans

ICAI	ICADE	CIHS		
Tuyau de sortie	Pieza de reparación importante	Renovación	20	Plus de 20 ans
Socle/Pied	Pieza de renovación	Renovación	20	Plus de 20 ans
Joint d'embase	Pieza de renovación	Renovación	20	Plus de 20 ans
Corps de cylindre	Pieza de renovación	Renovación	20	Plus de 20 ans
Joint	Pieza de desgaste	Mantenimiento y reparación		
Plaque	Pieza de renovación	Renovación		
Plaque d'embase	Pieza de renovación	Renovación		
Joint de clapet piston	Pieza de desgaste	Mantenimiento y reparación	1	1
Coupelle	Pieza de desgaste	Mantenimiento y reparación	1	1

## Afridev

Pieza	Grupo	Tipo	Vida útil (Desfavorable)	Vida útil (Favorable)
Bague ou palier (paire)	Pieza de desgaste	Mantenimiento y reparación	0,5	1
Segment	Pieza de desgaste	Mantenimiento y reparación	1	1
Join torique	Pieza de desgaste	Mantenimiento y reparación	0,5	1
Compression de cône elastique	Pieza de reparación pequeña	Mantenimiento y reparación	3	3
Piston plasticou clapet de fond	Pieza de reparación pequeña	Mantenimiento y reparación	5	5
Flotteur	Pieza de reparación pequeña	Mantenimiento y reparación	5	5
Guide tringle	Pieza de reparación pequeña	Renovación	5	5
Valve	Pieza de reparación pequeña	Renovación	5	5
Petit axe	Pieza de reparación pequeña	Renovación	5	5
Grand axe	Pieza de reparación pequeña	Renovación	5	5
Tuyau d'exhaure (3m)	Pieza de reparación importante	Renovación	30	30
Centreur tuyau	Pieza de reparación importante	Renovación	10	10
Tringle (3m)	Pieza de reparación importante	Renovación	30	30
Tube sabot	Pieza de reparación importante	Renovación	30	30
Manchon tuyau	Pieza de reparación importante	Renovación	30	30
Tête de pompe ou couvercle	Pieza de renovación	Renovación	20	>20
Déversoir	Pieza de renovación	Renovación	20	>20
Bras de pompe	Pieza de renovación	Renovación	20	>20
Barre de commande	Pieza de renovación	Renovación	20	>20
Cadre de scellement	Pieza de renovación	Renovación	20	>20
Piédestal ou fontaine	Pieza de renovación	Renovación	20	>20
Cône d'acier ou plateau	Pieza de renovación	Renovación	20	>20
Cylindre	Pieza de renovación	Renovación	20	>20

## *Anexo IV. Coste material del mantenimiento por modelo de bomba*

### **Vergnet HPV 60-2000**

Pieza	Vida útil (Desfavorable)	% Coste (año)	Coste pieza (2016)	Coste pieza (2024)	Coste anual
Butees Basses	1	100,0%	1.110CFA	1.250CFA	1.250CFA
Bague de guidage	1	100,0%	16.700CFA	18.804CFA	18.804CFA
Joint etancheite piston	1	100,0%	490CFA	552CFA	552CFA
Piston	1	100,0%	3.900CFA	4.391CFA	4.391CFA
Segments de piston	0,5	200,0%	2.200CFA	2.477CFA	4.954CFA
Joint calotte	1	100,0%	3.000CFA	3.378CFA	3.378CFA
Bille polyuretane DIAM 25.4	5	20,0%	6.810CFA	7.668CFA	1.534CFA
Ecrou de guidage	8	12,5%	29.400CFA	33.104CFA	4.138CFA
Ecrou freim HM 12	8	12,5%	8.510CFA	9.582CFA	1.198CFA
Joint plat de B. A clapets	8	12,5%	4.860CFA	5.472CFA	684CFA
Joint metallo-plastique	4	25,0%	660CFA	743CFA	186CFA
Joint de boudruche 30x2.5	6	16,7%	660CFA	743CFA	124CFA
Griffe de serrage Diam 32	5	20,0%	6.200CFA	6.981CFA	1.396CFA
Joint torique 31´4	5	20,0%	1.020CFA	1.149CFA	230CFA
Joint torique 77´5	5	20,0%	1.710CFA	1.925CFA	385CFA
Kit raccord huot D32	5	20,0%	8.510CFA	9.582CFA	1.916CFA
Membrane d´aspiration	5	20,0%	4.700CFA	5.292CFA	1.058CFA
Membrane de reamorcage	2	50,0%	7.830CFA	8.817CFA	4.408CFA
Raccord huot D32	12	8,3%	18.230CFA	20.527CFA	1.711CFA
Plaque etancheite de fontaine	5	20,0%	5.040CFA	5.675CFA	1.135CFA

	ICAI	ICADE	CIIS			
Baudruche HPV160 4AT-INOX	10	10,0%	183.470CFA	206.587CFA	20.659CFA	
Collier de securite INOX36	10	10,0%	3.060CFA	3.446CFA	345CFA	
Croisillon de clapet plastique	12	8,3%	15.000CFA	16.890CFA	1.408CFA	
Pedale HPV60	7	14,3%	60.750CFA	68.405CFA	9.772CFA	
B. A clapets avec insert	10	10,0%	152.270CFA	171.456CFA	17.146CFA	
Bride de serrage	10	10,0%	31.320CFA	35.266CFA	3.527CFA	
Clapet inferieur	10	10,0%	28.180CFA	31.731CFA	3.173CFA	
Ecrou HM8 INOX	10	10,0%	3.290CFA	3.705CFA	370CFA	
Grille protege clapet	7	14,3%	1.710CFA	1.925CFA	275CFA	
Joint d'arret	12	8,3%	780CFA	878CFA	73CFA	
Manchon de retenue	10	10,0%	5.500CFA	6.193CFA	619CFA	
Tirant INOX	10	10,0%	46.970CFA	52.888CFA	5.289CFA	
Vis Poelier M8 x 16 INOX	10	10,0%	780CFA	878CFA	88CFA	
Tuyau de refoulement	15	6,7%	2.430CFA	2.736CFA	182CFA	
Raccord inter tuyaux D32	15	6,7%	21.870CFA	24.626CFA	1.642CFA	
Fontaine HPV60	15	6,7%	196.500CFA	221.259CFA	14.751CFA	
Tuyau de commande 32 HPV60	15	6,7%	3.890CFA	4.380CFA	292CFA	
Cylindre de commande HPV60	15	6,7%	151.880CFA	171.017CFA	11.401CFA	
Cylindre de corps de pompe	15	6,7%	326.840CFA	368.022CFA	24.535CFA	
Boulon H M10x30 zingue blanc	10	10,0%	1.415CFA	1.415CFA	142CFA	
Cadre de scellement	10	10,0%				
Entretoise septor DN32 fine	15	6,7%				
Crepine	10	10,0%				
Ecrou HH M14 laiton	10	10,0%	629CFA	629CFA	63CFA	
				<b>Total al Año</b>	<b>169.182CFA</b>	

## Vergnet HPV 100

Pieza	Vida útil (Desfavorable)	% Coste (año)	Coste pieza (2016)	Coste pieza (2024)	Coste anual
Butees Basses	1	100,0%	1.110CFA	1.250CFA	1.250CFA
Bague de guidage	1	100,0%	16.700CFA	18.804CFA	18.804CFA
Joint etancheite piston	1	100,0%	490CFA	552CFA	552CFA
Piston	1	100,0%	3.900CFA	4.391CFA	4.391CFA
Segments de piston	0,5	200,0%	2.200CFA	2.477CFA	4.954CFA
Joint calotte	1	100,0%	3.000CFA	3.378CFA	3.378CFA
Bille polyuretane DIAM 25.4	3	33,3%	6.810CFA	7.668CFA	2.556CFA
Bille rectifiee D10	3	33,3%	2.200CFA	2.477CFA	826CFA
Buse de rearmorage complete	8	12,5%	62.470CFA	70.341CFA	8.793CFA
Ecrou de guidage	8	12,5%	29.400CFA	33.104CFA	4.138CFA
Ecrou de freim HM 12	8	12,5%	8.510CFA	9.582CFA	1.198CFA
Joint plat de B. A clapets	8	12,5%	4.860CFA	5.472CFA	684CFA
Joint metallo-plastique	4	25,0%	660CFA	743CFA	186CFA
Joint de boudruche 30x2.5	6	16,7%	660CFA	743CFA	124CFA
Joint torique D70 B a clapet	5	20,0%	660CFA	743CFA	149CFA
Joint torique D32 clapet asp.	5	20,0%	660CFA	743CFA	149CFA
Kit interieuer raccord huot D40	5	20,0%	10.940CFA	12.318CFA	2.464CFA
Ancien siege de clapet d´aspiration	3	33,3%	18.230CFA	20.527CFA	6.842CFA
Raccord huot D32	12	8,3%	18.230CFA	20.527CFA	1.711CFA
Plaque etancheite de fontaine	5	20,0%	5.040CFA	5.675CFA	1.135CFA
Boudruche 4ATD HPV100	10	10,0%	260.000CFA	292.760CFA	29.276CFA
Corps Inferieur de B. a clapets	10	10,0%	114.800CFA	129.265CFA	12.926CFA
Corps Superieur de B. a clapets	10	10,0%	129.800CFA	146.155CFA	14.615CFA

ICAI	ICADE	CIHS						
			Cable inox de D3 Lg 2m	15	6,7%	4.370CFA	4.921CFA	328CFA
			Pedale HPV100	10	10,0%	72.900CFA	82.085CFA	8.209CFA
			Raccord huot D40	7	14,3%	20.060CFA	22.588CFA	3.227CFA
			Vis CHC 5x50 inox	15	6,7%	970CFA	1.092CFA	73CFA
			Tuyau de refoulement	15	6,7%	2.430CFA	2.736CFA	182CFA
			Raccord inter tuyaux D32	15	6,7%	21.870CFA	24.626CFA	1.642CFA
			Cylindre de corps de pompe	15	6,7%	349920	394.010CFA	26.267CFA
			Cylindre de commande de pompe	10	10,0%	184680	207.950CFA	20.795CFA
			Fontaine complete HPV100	15	6,7%	267300	300.980CFA	20.065CFA
			Tuyau de commande D40	15	6,7%	9110	10.258CFA	684CFA
			Raccord inter tuyaux D40	10	10,0%	25000	0CFA	0CFA
			Ecrou hh m14 laiton	10	10,0%	629CFA	629CFA	63CFA
			Boulon h m10x30	10	10,0%	1.415CFA	1.415CFA	142CFA
			Cadre de scellement	10	10,0%			
			Griffe de serrage hpv c	5	20,0%	6.200CFA	6.981CFA	1.396CFA
			Entretoise septor dn32	15	6,7%			
			Crepine d'aspiration	10	10,0%			
			Collier double fil inox 31	10	10,0%	3.060CFA	3.446CFA	345CFA
			Ecrou pousseur d32	5	20,0%	8.510CFA	9582,26	1916,452
			Rondelle protege clapet					
			Anse					
							<b>Total al Año</b>	<b>206.434CFA</b>

## India Mark II

Pieza	Vida útil (Desfavorable)	% Coste (año)	Coste pieza (2016)	Coste pieza (2024)	Coste anual
Roulement	1,5	66,7%	7.400CFA	8.384CFA	5.589CFA
Chaîne	2	50,0%	11.300CFA	12.803CFA	6.401CFA
Centreur de tuyau	2	50,0%	5.000CFA	5.665CFA	2.833CFA
Axe	2	50,0%	6.285CFA	7.121CFA	3.560CFA
Clapet de piston	3	33,3%	6.000CFA	6.798CFA	2.266CFA
Tringle/Tige	5	20,0%	12.000CFA	13.596CFA	2.719CFA
Joint de clapet piston	5	20,0%	550CFA	623CFA	125CFA
Entretoise	5	20,0%	689CFA	781CFA	156CFA
Corps de piston	5	20,0%	8.000CFA	9.064CFA	1.813CFA
Joint clapet de pied	5	20,0%	1.500CFA	1.700CFA	340CFA
Guide de clapet de pied	5	20,0%	6.720CFA	7.614CFA	1.523CFA
Bride du socle	10	10,0%			
Boulon d'ancrage	10	10,0%			
Tige de piston	10	10,0%	6.000CFA	6.798CFA	680CFA
Bouchon haut	10	10,0%			
Bouchon bas	10	10,0%	5.000CFA	5.665CFA	567CFA
Chapelle	10	10,0%	6.000CFA	6.798CFA	680CFA
Ecrou clapet de pied	10	10,0%	3.425CFA	3.881CFA	388CFA
Siège de clapet	10	10,0%	3.000CFA	3.399CFA	340CFA
Tuyau	12	8,3%	12.750CFA	14.446CFA	1.204CFA
Bras	20	5,0%	45.000CFA	50.985CFA	2.549CFA
Couvercle	20	5,0%			
Tête	20	5,0%	122.000CFA	138.226CFA	6.911CFA

	ICAI	ICADE	CIHS			
Réservoir	20	5,0%		42.000CFA	47.586CFA	2.379CFA
Tuyau de sortie	20	5,0%				
ocle/Pied	20	5,0%				
Joint d´embase	20	5,0%				
Corps de cylindre	20	5,0%		113.000CFA	128.029CFA	6.401CFA
Plaque						
Plaque d´embase						
Joint						
Coupelle	1	100,0%		9.000CFA	10.197CFA	10.197CFA
					<b>Total al Año</b>	<b>59.621CFA</b>

## **India Mark III**

<b>Pieza</b>	<b>Vida útil (Desfavorable)</b>	<b>% Coste (año)</b>	<b>Coste pieza (2016)</b>	<b>Coste pieza (2024)</b>	<b>Coste anual</b>
Roulement	1,5	66,7%	7.400CFA	8.384CFA	5.589CFA
Centreur de tuyau	2	50,0%	5.000CFA	5.665CFA	2.833CFA
Axe	2	50,0%	6.285CFA	7.121CFA	3.560CFA
Chaîne	2	50,0%	11.300CFA	12.803CFA	6.401CFA
Clapet de piston	5	20,0%	4.550CFA	5.155CFA	1.031CFA
Corps de piston	5	20,0%	8.000CFA	9.064CFA	1.813CFA
Tringle/Tige	5	20,0%	2.000CFA	2.266CFA	453CFA
Entretoise	2	50,0%	689CFA	781CFA	390CFA
Joint clapet de pied	1	100,0%	1.500CFA	1.700CFA	1.700CFA
Clapet de pied	5	20,0%	6.720CFA	7.614CFA	1.523CFA
Siège de clapet	5	20,0%	3.000CFA	3.399CFA	680CFA
Bride du socle	10	10,0%			
Boulon d'ancrage	10	10,0%			
Tige de piston	10	10,0%	6.000CFA	6.798CFA	680CFA
Bouchon haut	10	10,0%			
Bouchon bas	10	10,0%	5.000CFA	5.665CFA	567CFA
Chapelle	10	10,0%	6.000CFA	6.798CFA	680CFA
Joint torique	1	100,0%	2.000CFA	2.266CFA	2.266CFA
Tuyau	12	8,3%	12.750CFA	14.446CFA	1.204CFA
Bras	20	5,0%	45.000CFA	50.985CFA	2.549CFA
Couvercle	20	5,0%			
Tête	20	5,0%	122.000CFA	138.226CFA	6.911CFA
Réservoir	20	5,0%	42.000CFA	47.586CFA	2.379CFA

	ICAI	ICADE	CIHS			
Tuyau de sortie	20	5,0%				
Socle/Pied	20	5,0%				
Joint d´embase	20	5,0%				
Corps de cylindre	20	5,0%	115.000CFA	130.295CFA	6.515CFA	
Joint						
Plaque						
Plaque d´embase						
Joint de clapet piston	1	100,0%	550CFA	623CFA	623CFA	
Coupelle	1	100,0%	8.800CFA	9.970CFA	9.970CFA	
				<b>Total al Año</b>	<b>60.317CFA</b>	

## Afridev

Pieza	Vida útil (Desfavorable)	% Coste (año)	Coste pieza (2016)	Coste pieza (2024)	Coste anual
Bague ou palier (paire)	0,5	200,0%	4.500CFA	5.058CFA	10.116CFA
Segment	1	100,0%	5.000CFA	5.620CFA	5.620CFA
Join torique	0,5	200,0%	600CFA	674CFA	1.349CFA
Compression de cône elastique	3	33,3%	5.000CFA	5.620CFA	1.873CFA
Piston plasticou clapet de fond	5	20,0%	8.000CFA	8.992CFA	1.798CFA
Flotteur	5	20,0%	2.000CFA	2.248CFA	450CFA
Guide tringle	5	20,0%	2.000CFA	2.248CFA	450CFA
Valve	5	20,0%	1.200CFA	1.349CFA	270CFA
Petit axe	5	20,0%	15.000CFA	16.860CFA	3.372CFA
Grand axe	5	20,0%	25.000CFA	28.100CFA	5.620CFA
Tuyau d'exhaure (3m)	30	3,3%	18.000CFA	20.232CFA	674CFA
Centreur tuyau	10	10,0%	4.000CFA	4.496CFA	450CFA
Tringle (3m)	30	3,3%	20.000CFA	22.480CFA	749CFA
Tube sabot	30	3,3%	2.500CFA	2.810CFA	94CFA
Manchon tuyau	30	3,3%	7.000CFA	7.868CFA	262CFA
Tête de pompe ou couvercle	20	5,0%	8.000CFA	8.992CFA	450CFA
Déversoir	20	5,0%	39.000CFA	43.836CFA	2.192CFA
Bras de pompe	20	5,0%	43.000CFA	48.332CFA	2.417CFA
Barre de commande	20	5,0%	9.500CFA	10.678CFA	534CFA
Cadre de scellement	20	5,0%	20.000CFA	22.480CFA	1.124CFA
Piédestal ou fontaine	20	5,0%	40.000CFA	44.960CFA	2.248CFA
Cône d'acier ou plateau	20	5,0%	6.000CFA	6.744CFA	337CFA
Cylindre	20	5,0%	80.000CFA	89.920CFA	4.496CFA
				<b>Total al Año</b>	<b>46.944CFA</b>

