



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
TRABAJO FIN DE MÁSTER

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE POTABILIZACIÓN
DE AGUA PARA LA ONG ANIDAN (KENIA)**

Autor: DIEGO LORENTE GÓMEZ

Director: RAFAEL ABAJO PÉREZ

2021, Madrid

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

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA
PARA LA ONG ANIDAN (KENIA)**

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2020/21 es de mi autoría, original e inédito y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

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



Fdo.: Diego Lorente Gómez

Fecha: 18 / 06 / 2021

Autorizada la entrega del proyecto
EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Rafael Abajo Pérez

Fecha: 18 / 06 / 2021

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

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

El autor D. Diego Lorente Gómez

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: Diseño de un sistema de potabilización de agua para la ONG ANIDAN (Kenya), que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

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

3º. Condiciones de la cesión y acceso

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

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

4º. Derechos del autor.

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

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

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

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

podieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.

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

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

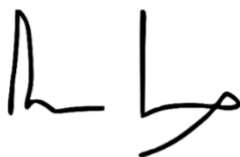
La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes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

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

Madrid, a 18 de Junio de 2021

ACEPTA: Diego Lorente Gómez

Fdo



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



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE POTABILIZACIÓN
DE AGUA PARA LA ONG ANIDAN (KENIA)**

Autor: DIEGO LORENTE GÓMEZ

Director: RAFAEL ABAJO PÉREZ

2021, Madrid

Agradecimientos

A mi Familia, principal motor de mis deseos e ilusiones. Gracias por confiar en mí.

A mi director, Rafael, luz y maestro en el más allá con su conocimiento y actitud incansable.

A mis amigos y compañeros de camino, por alumbrarme durante este viaje, Luis Carlos y Pablo.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA PARA LA ONG ANIDAN (KENIA)

Autor: Lorente Gómez, Diego.

Director: Abajo Pérez, Rafael.

Entidad Colaboradora: ONG ANIDAN.

RESUMEN DEL PROYECTO

El agua es un bien esencial para la vida y su acceso es un derecho humano reconocido por la Comunidad Internacional. El agua potable, es aquella que se puede consumir o usar para preparar alimentos sin que exista un riesgo para la salud. Al margen de estas correctas definiciones, la realidad es distinta para diversas regiones en países subdesarrollados. No tanto por recursos, sino por acceso. El agua como recurso, ya es considerada como un bien escaso en todo el mundo. Es importante la adopción de una educación en torno al uso de la misma.

Una de esas comunidades más vulnerables es la Isla de Lamú, en Kenia, donde desde el año 2002 opera la ONG Anidan para responder a algunos de los verdaderos problemas que afectan a la sociedad, y más en concreto a los niños: orfandad, enfermedades, falta de recursos o de educación. Todo ello, recogido en un poblado donde se reúnen alrededor de 300 personas cada día, teniendo como actividades principales la de un hospital y un orfanato. La Fundación de Ingenieros de ICAI, es la responsable de crear un nexo entre las personas que realizan un proyecto de índole social, y en este caso la ONG.

El problema a resolver en el poblado de Anidan viene dado por la falta de continuidad en el suministro de agua potable por parte de la empresa local de aguas, donde hay épocas en las que se decide cortar el suministro sin algún otro motivo. El plan de acción para poder garantizar este recurso sin depender de un tercero, pasa por la construcción de un sistema para obtener agua subterránea. Se ha calculado una cantidad de 20 m³ al día, tanto de agua potable como no potable.

En primer lugar, es necesario realizar estudios hidrogeológicos y análisis químicos de agua para conocer la cantidad de bolsas subterráneas de las de que se dispone, la recarga tras la extracción, así como los contaminantes existentes en la composición del agua, que tras un largo proceso, será consumida y/o utilizada con fines sanitarios por todas las personas del poblado. El resultado de dichos estudios

es positivo; hay agua, se recarga el acuífero a buen ritmo, y, es viable el tratamiento de potabilización.

El flujo que sigue el agua hasta ser consumida contiene las siguientes etapas: extracción, almacenamiento intermedio, potabilización, distribución y almacenamiento final. En primer lugar, para la extracción, la construcción del pozo físico ya se encontraba presente antes de nuestra actuación. Por tanto, lo más importante es el cálculo de la bomba de extracción, ya que es necesario tener en mente el circuito final para que la bomba ofrezca la altura necesaria y no se presenten problemas de cavitación, manteniendo el caudal fijado de $Q = 4 \text{ m}^3/\text{h}$, cuya justificación puede encontrarse en el capítulo 5.

Estando el agua a nivel del suelo, es necesario su tratamiento de potabilización para poder ser consumida. En este punto del sistema, se encuentra el cuello de botella del sistema, ya que para poder potabilizar la cantidad que se extrae por hora, el tamaño de la planta y potencia requerida sería muy elevado. Se ha decidido dividir el flujo en circuitos de agua no potable, para labores donde no se necesite que el agua sea de calidad, y , un circuito de agua potable por donde fluirá la cantidad de 5 m^3 diarios.

Los 15 m^3 que no se potabilizarán, se destinarán directamente mediante la bomba de extracción hasta los depósitos de almacenaje situados en lo alto de los edificios y el huerto. El agua que si se potabilizará, tendrá como primer destino un depósito de almacenamiento intermedio, ya que la potabilizadora opera a un ritmo de $Q = 1 \text{ m}^3/\text{h}$. La potabilización está basada en un sistema de ósmosis inversa, que a su salida se distribuye el agua hasta los depósitos de almacenamiento de los edificios mediante una bomba más pequeña que la de extracción y acorde al cuello de botella.

El consumo de agua se realiza mediante gravedad, estando los depósitos a una altura de 3,5 m. En todo momento se ha buscado la idoneidad para que el sistema sea eficiente y los flujos inteligentes. Consecuencia de ello, los equipos que consumen energía eléctrica están pensados para tener la mínima potencia posible y que los costes de operación no sacrifiquen el funcionamiento del sistema. Los equipos se van a alimentar mediante energía fotovoltaica, para aprovechar otro recurso disponible en la isla como es la energía del sol.

DESIGN OF A WATER TREATMENT SYSTEM FOR ANIDAN NGO (KENYA)

Author: Lorente Gómez, Diego.

Supervisor: Abajo Pérez, Rafael.

Collaborating Entity: ANIDAN NGO.

ABSTRACT

Water is an essential good for life and its access is a human right recognized by the international community. Potable water is water that can be consumed or used to prepare food without risk to health. Apart from these right definitions, the reality is different for various regions in underdeveloped countries. Not so much in terms of resources, but in terms of access. Water as a resource is already considered a scarce commodity throughout the world. It is important to adopt an education on its use.

One of the most vulnerable communities is Lamu Island in Kenya, where the NGO Anidan has been operating since 2002 to address some of the real problems affecting children: orphanhood, disease, lack of resources and education. All this, gathered in a village where around 300 people gather every day, having as main activities a hospital and an orphanage. The ICAI Engineers Foundation is responsible for creating a link between the people who carry out a social project and, in this case, the NGO.

The problem to be solved in the village of Anidan is given by the lack of continuity in the supply of drinking water by the local water company, where there are times when it is decided to cut the supply for no other reason. The action plan to be able to guarantee this resource without depending on a third party, involves the construction of a system to obtain subway water. A quantity of 20 m³ per day has been calculated, both for drinking and non-drinking water.

First of all, it is necessary to carry out hydrogeological studies and chemical analysis of water to know the amount of subway water available, the recharge after extraction, as well as the existing contaminants in the composition of the water, which after a long process, will be consumed and/or used for sanitary purposes by all the people in the village. The result of these studies is positive; there is water, the aquifer is recharged, and the drinking water treatment is feasible.

The flow that water follows until it is consumed contains the following stages: extraction, potabilization, distribution and storage. First of all, for extraction, the construction of the physical well was already present before our action. Therefore, the most important thing is the calculation of the extraction pump, since it is necessary to have in mind the final circuit so that the pump offers the necessary head and no cavitation problems occur, while maintaining the set flow rate of $Q = 4 \text{ m}^3/\text{h}$.

Since the water is at ground level, it is necessary to treat it to make it drinkable. At this point of the system, the bottleneck of the system is found, since in order to be able to purify the amount that is extracted per hour, the size of the plant and consumption of electrical energy would be very high. It has been decided to divide the flow into non-potable water circuits, for jobs where water quality is not required, and a potable water circuit through which the amount of 5 m^3 per day will flow.

The 15 m^3 that will not be made drinkable will be sent directly by the extraction pump to the storage tanks located on top of the buildings and the orchard. The water that will be purified will be sent to an intermediate storage tank as the first destination, since the purification plant operates at a rate of $Q = 1 \text{ m}^3/\text{h}$. Potabilization is based on a reverse osmosis system, which at its outlet distributes the water to the storage tanks of the buildings by means of a smaller pump than the extraction pump and according to the bottleneck.

Water consumption is by gravity, the tanks being at a height of 3.5 meters. At all times, the system has been designed to be efficient and the flows intelligent. As a result, the equipment that consumes electrical energy is designed to have the minimum possible power so that operating costs do not sacrifice the operation of the system. The equipment will be powered by photovoltaic energy, to take advantage of another resource available on the island, the sun.

ÍNDICE DE LA MEMORIA

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	8
1.1. INTRODUCCIÓN	8
1.2. ESTADO DE LA CUESTIÓN	9
1.3. MOTIVACIÓN.....	11
1.4. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL PROYECTO	11
CAPÍTULO 2. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROYECTO	14
2.1. ONG ANIDAN	14
2.2. FUNDACIÓN DE INGENIEROS DE ICAI.....	17
2.3. UBICACIÓN DEL PROYECTO	18
2.4. CLIMA Y VEGETACIÓN.....	19
2.5. ASPECTOS SOCIALES Y ECONÓMICOS	20
CAPÍTULO 3. ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE. ..25	
CAPÍTULO 4. TECNOLOGÍAS DISPONIBLES Y FORMA DE OPERACIÓN.30	
4.1. DISTRIBUCIÓN DE AGUA ACTUALMENTE.....	30
4.2. TECNOLOGÍAS DISPONIBLES MÁS ADECUADAS	33
4.3. ESQUEMA DEL SI STEMA DE OPERACIÓN	35
CAPÍTULO 5. ETAPA DE EXTRACCIÓN	37
5.1. RECURSO HÍDRICO.....	37
5.2. INSTALACIÓN DE BOMBEO DE AGUA	40
5.3. ETAPA DE ALMACENAJE INICIAL.....	50

CAPÍTULO 6. ETAPA DE POTABILIZACIÓN	51
6.1. ANÁLISIS DEL ESTUDIO QUÍMICO.....	52
6.2. ESTÁNDARES DE AGUA POTABLE	52
6.3. TECNOLOGÍAS DISPONIBLES.....	53
6.4. SOLUCIÓN ADOPTADA	56
CAPÍTULO 7. RED DE DISTRIBUCIÓN.....	59
7.1. BOMBA DE DISTRIBUCIÓN HORIZONTAL.....	59
7.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN Y PÉRDIDAS EN EL MISMO	60
7.3. JUSTIFICACIÓN DE LA ALTURA DE LA BOMBA DE DISTRIBUCIÓN HORIZONTAL ...	65
7.4. CANALIZACIONES DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.....	66
CAPÍTULO 8. PUNTOS DE CONSUMO.....	68
9.1. CALENTADORES DE AGUA SOLARES.....	69
9.2. REGULACIÓN AUTOMÁTICA DE VÁLVULAS.....	71
9.3. AUMENTO DE LA CAPACIDAD DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE	72
9.4. SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA.....	73
CAPÍTULO 10. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	75
9.1. ANÁLISIS DE COSTES E INVERSIÓN	75
OPCIÓN 1: 1 SÓLO CIRCUITO DE AGUA POTABLE (SE POTABILIZAN 15 M ³ /DÍA)	75
OPCIÓN 2: 2 CIRCUITOS (SE POTABILIZAN 5 M ³ /DÍA).....	76
9.2. ANÁLISIS VAN TIR.....	77
BIBLIOGRAFÍA	79
ANEXO A. PÉRDIDAS DE CARGA EN ELEMENTOS Y TUBERÍAS	82

<i>ANEXO B: BOMBA DE EXTRACCIÓN DE POZO.....</i>	<i>84</i>
<i>ANEXO C. ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA</i>	<i>85</i>
<i>ANEXO D. PLANTA DE ÓSMOSIS INVERSA.....</i>	<i>86</i>
<i>ANEXO E: BOMBA DE DISTRIBUCIÓN HORIZONTAL.....</i>	<i>94</i>
<i>ANEXO F: PRESUPUESTO</i>	<i>95</i>
<i>ANEXO G: PLANO RED DE DISTRIBUCIÓN.....</i>	<i>97</i>
<i>ANEXO H: PLANO DE CONSUMO EN EDIFICIOS DE LABORATORIO Y BAÑOS PÚBLICOS</i>	<i>98</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Logo ONG Anidan. (Fuente: anidan.org)</i>	14
<i>Figura 2. Casa de acogida Anidan. (Fuente: anidan.org)</i>	15
<i>Figura 3. Niña de Anidan recibiendo educación. (Fuente: anidan.org)</i>	16
<i>Figura 4. Hospital pediátrico. (Fuente: anidan.org)</i>	16
<i>Figura 5. Logo Fundación. (Fuente: fundacioningenierosicai.org)</i>	17
<i>Figura 6. Colaboración con la Fundación en 2019. (Fuente: Propia)</i>	18
<i>Figura 7. Ubicación del proyecto. (Fuente: Google Maps)</i>	20
<i>Figura 8. Vista sobre la isla de Lamu. (Fuente: traveler.es)</i>	23
<i>Figura 9. Animales de transporte en la isla de Lamu. (Fuente: blog.africavive.es)</i>	25
<i>Figura 10. ODS. (Fuente: un.org)</i>	27
<i>Figura 11. ODS. (Fuente: un.org)</i>	28
<i>Figura 12. ODS. (Fuente: un.org)</i>	29
<i>Figura 13. ODS. (Fuente: un.org)</i>	30
<i>Figura 14. ODS. (Fuente: un.org)</i>	31
<i>Figura 15. Ejemplo de factura de agua. (Fuente: Anidan)</i>	35
<i>Figura 16. Esquema del sistema. (Fuente: Elaboración propia)</i>	37
<i>Figura 17. Pozo de extracción de agua. (Fuente: Anidan)</i>	40
<i>Figura 18. Localización del pozo. (Fuente: Anidan)</i>	40
<i>Figura 19. Dimensiones del pozo. (Fuente: Elaboración propia)</i>	42

<i>Figura 20. Esquema etapa de bombeo. (Fuente: ingemecánica.com)</i>	45
<i>Figura 21. Esquema extracción. (Fuente: ingemecánica.com)</i>	45
<i>Figura 22. Distribución global de agua. (Fuente: ICAI-Ingeniería medioambiental)</i> ..	56
<i>Figura 23. ETAP completa. (Fuente: ICAI-Ingeniería medioambiental)</i>	59
<i>Figura 24. ETAP completa. (Fuente: ICAI-Ingeniería medioambiental)</i>	60
<i>Figura 25. Ejemplo ETAP. (Fuente: postpolítico.com)</i>	61
<i>Figura 26. Potabilizadora compacta. (Fuente: IMA Water)</i>	62
<i>Figura 27. Ósmosis inversa (Fuente: vdf.es)</i>	63
<i>Figura 28. Diagrama de Moody. (Fuente: Mecánica de fluidos-ICAI)</i>	71
<i>Figura 29. Pérdidas en accesorios de distribución. (Fuente: Mecánica de fluidos-ICAI)</i>	
73	
<i>Figura 30. Calentador de agua solar. (Fuente: www.caloryfrio.com)</i>	79
<i>Figura 31. ElectroVálvula automática 3 vías. (Fuente: www.belgicast.eu)</i>	80
<i>Figura 32. ElectroVálvula automática todo-nada. (Fuente: www.belgicast.eu)</i>	81
<i>Figura 33. Precipitaciones Isla de Lamu. (Fuente: www.weather.org)</i>	82
<i>Figura 34. Sistema de captación de agua subterráneo. (Fuente: sitiosolar.com)</i>	83
<i>Figura 35. Precipitaciones Isla de Lamu. (Fuente: ecoinventos.com)</i>	84
<i>Figura 36. Datos técnicos bomba de extracción. (Fuente: TransAfricaWater)</i>	96
<i>Figura 37. Análisis químico agua de pozo. (Fuente: Anidan)</i>	98
<i>Figura 38. Datos técnicos bomba de distribución horizontal. (Fuente: TransAfricaWater)</i>	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos de partida. (Fuente: Elaboración propia)	46
Tabla 2. Cálculo diámetro de aspiración. (Fuente: Elaboración propia)	47
Tabla 3. Cálculo diámetro de impulsión. (Fuente: Elaboración propia)	48
Tabla 4. Esquema de instalación. (Fuente: Elaboración propia)	49
Tabla 5. H tubería de aspiración. (Fuente: Elaboración propia)	50
Tabla 6. H tubería de impulsión. (Fuente: Elaboración propia)	52
Tabla 7. Resumen análisis químico. (Fuente: Elaboración propia)	57
Tabla 8. Resumen análisis químico. (Fuente: Elaboración propia)	58
Tabla 9. Pérdidas de carga en elementos. (Fuente: <i>ingemecánica.com</i>)	92
Tabla 10. Pérdidas de pérdidas de carga. (Fuente: <i>ingemecánica.com</i>)	94
Tabla 11. Pérdidas de pérdidas de carga. (Fuente: <i>ingemecánica.com</i>)	94
Tabla 12. Pérdidas de pérdidas de carga. (Fuente: <i>ingemecánica.com</i>)	94

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

El proyecto consiste en el diseño de un sistema que facilite la extracción y potabilización del agua, así como su almacenaje, en cooperación con la ONG ANIDAN y la Fundación de Ingenieros de ICAI. La ONG ANIDAN, que opera en la isla de Lamú (Kenia), cuenta con una casa de acogida en la que viven 280 niños y un hospital pediátrico. En los últimos años la sequía azota severamente todo el distrito y se hace imprescindible un diseño que garantice estabilidad y continuidad.

El poblado, conformado por la casa de acogida y dicho hospital donde también acuden personas externas, tiene unas necesidades de agua de 20.000L diarios. Estos 20 metros cúbicos diarios estarían repartidos según la proporción de 75% de agua para uso humano (potable y no potable), y un 25% restante para labores de riego en una huerta y que no necesitaría por tanto de ser tratada en cuanto a potabilización.

Actualmente, en dicha zona disponen de agua procedente de una empresa local, aunque es evidente que debido a las necesidades existentes no pueden depender del azar y del querer de dicha empresa para un bien tan esencial como es el agua. La distribución de agua de la empresa local va hasta ciertos puntos de dentro del poblado, así como depósitos de emergencia para poder hacer frente a los cortes repentinos.

Tras la situación expuesta por ANIDAN, combinándola con la experiencia de mi director Rafael en proyectos de ingeniería y cooperación, el rumbo del proyecto se sitúa hacia obtener el máximo agua, tanto potable como sin potabilizar, sin dependencia externa. Además, aunque forma parte de otro proyecto relacionado con éste, se quiere usar energía limpia o renovable para alimentar eléctricamente cualquier elemento presente en la instalación.

ANIDAN lleva realizando una labor excepcional sobre el terreno desde hace casi 20 años, factor clave para poder contar con recursos fundamentales como pueden ser estudios sobre el terreno para su posterior análisis, documentos o normativas para la ejecución del proyecto.

Se podría realizar una división del proyecto en dos bloques fundamentales: Un bloque donde se conozcan las necesidades locales y características sociodemográficas y culturales de la población. Por otra parte, y con mayor peso en el proyecto, debe desarrollarse el bloque ingenieril teniendo en cuenta futuras modificaciones para mejorar aún más el suministro.

Ingenierilmente, han de abordarse las siguientes etapas:

- Extracción de agua
- Almacenaje intermedio antes de potabilizar
- Potabilización de agua
- Distribución de agua
- Almacenaje final de agua potable y no potable

1.2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

El problema que se pretende solucionar pasa por generar un recurso hídrico con todas las fuentes disponibles, como puede ser el agua subterránea almacenada en acuíferos, la energía solar para generar la electricidad necesaria o la gravedad para distribuir el agua con los depósitos existentes (además de los que se van a incluir) genuinamente.

Partiendo desde el origen del agua, son necesarios tanto un pozo de construcción como un sistema de extracción vertical. Para el caso del pozo, ya se encuentran construidas las paredes y se ha calculado el volumen de agua del mismo hasta que se vuelve a reponer por completo (7 m³). El pozo posee una altura de 6m.

La mejor opción para la bomba de extracción, ya que pueden encontrarse más de 20 familias de bombas distintas, es una bomba centrífuga horizontal situada

en el exterior del pozo ante situaciones de mantenimiento preventivo o correctivo.

En segundo lugar, la potabilizadora se calculará según las necesidades y características del agua a mejorar acorde al estudio químico que se posee. Aunque hay algunas potabilizadoras “estándar”, en nuestro caso se personalizará para incluir lo estrictamente necesario y reducir costes de operación debido a que el lugar de estudio se encuentra en África.

Para las etapas restantes, se hará uso de la lógica e ingeniería para tener que usar la mínima energía posible para la distribución y consumo, trabajando siempre que pueda el agua bajo el fenómeno de la gravedad (para el consumo final, en la mayoría), aunque no se podrá prescindir de elementos de distribución horizontal, válvulas o BY-PASS. Antes de la ejecución del proyecto, en el poblado se disponía de una red de distribución simplificada procedente del agua de la empresa local, depósitos de almacenamiento para suplir las épocas de cortes de agua y distribución hasta puntos de consumo dentro de los edificios.

Cualquier tipo de conexión eléctrica necesaria para los elementos anteriores se intentará hacer por medio de autoconsumo antes que el consumo de red (véase el proyecto en materia eléctrica de mi compañera Laura Cansado)

Los materiales necesarios para el montaje de la instalación serán previstos en el país de Kenia, siendo el envío y posteriores repuestos más asequibles de obtener en lugar de realizarlo en Europa. Hay que tener en cuenta que se conseguirá una optimización menor al haber menos oferta, y posiblemente calidades no tan superiores también.

La mano de obra contratada será cualificada para tareas de estudio, teniendo siempre en cuenta la opinión del técnico de mantenimiento sobre el terreno del que dispone Anidan.

1.3. MOTIVACIÓN

La realización de un proyecto de esta índole viene dada por la necesidad vital que sufre esta parte del planeta subdesarrollada; el recurso que es el agua existe y las herramientas y/o tecnologías necesarias que se conocen en países desarrollados no tienen fronteras.

Los factores que me han movido a iniciar el trabajo son sociales e ingenieriles, creo que no hay mejor que opción al aportar una solución real y conocer el manejo del agua que también empieza a tratarse y valorarse en países desarrollados. El hecho de que no haya que cumplir de una tan burocrática y reglamentaria forma como ocurre en nuestro país me lleva a poder hacer un mayor uso de la imaginación.

El poder viajar hasta el terreno y ejecutar el proyecto es una motivación plus, aunque ya de antemano hay una negativa a esa cuestión debido a la situación de la pandemia mundial Covid-19. No obstante, en ocasiones posteriores siempre se tendrá dicha oportunidad. Resulta gratificante el hecho de poder hacer voluntariado también desde un despacho de Madrid, y se espera que el hecho motive a futuros compañeros a realizar estas acciones intelectuales, además de las operativas sobre el terreno que como se sabe son más que necesarias.

1.4. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL PROYECTO

Siendo el presente un proyecto real, el principal objetivo global es que los residentes del poblado puedan acceder al agua potable como ocurre en los países desarrollados.

Por tanto, debe realizarse tanto un cálculo como un diseño preciso para que el montaje y funcionamiento del proyecto sea satisfactorio. Hay que tener en cuenta que debido a la situación originada por la pandemia se imposibilita viajar hasta la zona para coordinar y ayudar con la construcción así como puesta en

marcha, lo que significa que hay que tener en mente en todo momento que va a ser ejecutado por un tercero.

- **Suministro de agua potable de calidad:** Para ello se va a prestar especial atención a la etapa de potabilización para que las características que no cumplen con la normativa de la OMS para agua potable estén dentro de los rangos indicados.
 - **Obtención de 20m³ / día = Cero dependencia de la empresa local de agua:** Actualmente el precio por metro cúbico agua de la empresa local es de 75 ksh/m³, lo que es equivalente a 0,59€/m³. Aunque como se ha comentado anteriormente, no es tan problema de precio si no de múltiples averías que no son fáciles de resolver en Kenia con un grupo de presión que da presión directamente a la red.
 - **Mínima dependencia del consumo de energía eléctrica de la red:** Se busca conseguir que la instalación sea lo más eficiente en cuanto a maquinaria eléctrica para que el consumo y suministro eléctrico no sea otro problema añadido. El objetivo del proyecto presente será de utilizar los elementos más eficientes para que en la previsión de cargas del proyecto eléctrico de mi compañera Laura Cansado se tenga la menor potencia posible y se pueden conectar por autoconsumo.
 - **Funcionamiento total así como garantía de fiabilidad y continuidad:** Diversos puntos de la instalación se podrían regular electrónicamente para conseguir su automatización, pero se considera que a medio-largo plazo podría dejar el sistema inhabilitado por falta de conocimiento técnico ante un problema o mantenimiento. En este punto se busca la fiabilidad en el sistema sin tener que realizar un proceso repetitivo o de fuerza cada vez que se desee obtener agua.
 - **Obtener presupuestos inferiores a los solicitados anteriormente por ANIDAN :**
-

Previamente a la realización del proyecto, por parte de la ONG habían solicitado presupuestos en los que se cree que se puede obtener un margen bastante inferior y así disponer de más fondos para mejorar algunos otros aspectos del poblado, ya que aunque sea una organización no significa que deba gastar dinero por gastar como cualquier institución pública. Hay una alta probabilidad de que algunos proyectos ambiciosos no sean ejecutados por falta de presupuesto o presupuestos elevados.

El alcance del proyecto del sistema de potabilización de agua podría definirse como puramente mecánico, ya que se hace uso principalmente de conocimientos de mecánica de fluidos y turbomáquinas, cuyas leyes y ecuaciones se irán desarrollando con el avance de las diversas etapas del proyecto.

La parte eléctrica formaría parte del proyecto de mi compañera Laura Cansado, aunque ambos proyectos están en sintonía y con objetivos comunes así como colaboración y cooperación.

CAPÍTULO 2. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROYECTO

2.1. ONG ANIDAN

En 2002, Rafael Selas tuvo en mente una idea un poco distinta a lo que es hoy en día Anidan. Dejó todo con la intención de marcharse para acoger en una casa de alquiler a niños huérfanos que necesitaban buscar en la basura para comer, aunque todo derivó en la consolidación de la ONG pensando no solo en las necesidades del momento y concretas si no en las futuras brechas y previstas que habría que atender.

Anidan es una organización sin ánimo de lucro, apolítica y aconfesional que es financiada principalmente en España y transmite las ayudas a la isla de Lamu en Kenia. El principal destinatario son los niños indigentes, abandonados o huérfanos. También existen niños en riesgo de exclusión por trato tales como abusos, malos tratos o enfermedades. Las enfermedades más comunes son VIH o cardiopatías graves. Los niños más amenazados son ingresados internamente en el hospital del poblado. Una quinta parte de los niños son refugiados.



Figura 1. Logo ONG Anidan. (Fuente: anidan.org)

Aparte de la atención sobre los menores, se muestra una especial atención sobre los principales problemas que azotan sobre el entorno, como puede ser la sequía y otros conflictos locales. El Cuerno de África, con Somalia y su interminable guerra en el centro, incluye el norte árido y el noreste de Kenia, donde se encuentran la Casa y el Hospital.

Desde 2007, el hospital atiende gratuitamente a más de 8000 consultas internas así como externas al año gracias a la colaboración con la Fundación Horstmann. En 2011 se funda en Roma Anidan Italia para dar apoyo a Anidan Kenia.

Los trabajadores sobre la isla son kenianos, siendo jóvenes previamente formados en la ONG sirviendo como modelo para la motivación de una sociedad que necesita de levantarse. En España la casi totalidad del equipo son voluntarios que se encargan de la relación de donantes (socios, empresas, padrinos, etc.).

En la Casa de acogida cada niño recibe una atención integral: cura, comida, ropa, hogar, protección, atención y formación, desde que llega el primer día hasta que termina sus estudios y se independiza.



Figura 2. Casa de acogida Anidan. (Fuente: anidan.org)

La educación ha demostrado ser un factor esencial para el desarrollo de grupos humanos, especialmente efectivo cuando se llega al nivel de secundaria y con mayor repercusión entre las mujeres. La educación nivela las desigualdades, la falta de acceso a la educación perpetúa las diferencias y hace que la pobreza y la marginación se hagan hereditarias.



Figura 3. Niña de Anidan recibiendo educación. (Fuente: anidan.org)

Las familias a las que se asisten apenas pueden comer cada día. Gracias a la ayuda de Anidan pueden vestirse, educar a sus hijos, ir al médico o mejorar sus chozas que la sucesión de estaciones va deshaciendo.



Figura 4. Hospital pediátrico. (Fuente: anidan.org)

Desde la ONG se asiste a madres sin recursos, ayudando a las abuelas indigentes, facilitando agua potable a comunidades sin acceso, colaborando con colegios, dando papillas nutritivas o con el proyecto agrícola. En Anidan se busca resolver los problemas de la pobreza, malos usos hacia la infancia, discriminación de la mujer, desnutrición y enfermedad, pero también la atonía y la marginación social. [1]

Eficiencia y transparencia, dos palabras a modo de resumen que definen a la organización y su forma de operar.

2.2. FUNDACIÓN DE INGENIEROS DE ICAI

La Fundación de Ingenieros de ICAI nace bajo el lema de “Ingeniería con Propósito”, para dar respuesta a las necesidades del mundo subdesarrollado así como el pleno desarrollo de la sociedad en todos sus ámbitos. A través de distintos proyectos, la actividad de la Fundación se lleva a cabo por Ingenieros voluntarios de la escuela, teniendo la mayoría como objetivo el acceso a la energía o agua potable.

Misión: Contribución a que las personas más desfavorecidas alcancen unas condiciones de vida dignas, facilitando que la comunidad ICAI y las empresas relacionadas pongan al servicio de las mismas su conocimiento y sus recursos.

Visión: La Fundación trabaja para que los ingenieros ICAI constituyan una comunidad comprometida y participen activamente en la construcción de una sociedad más justa y solidaria.^[2]



Figura 5. Logo Fundación. (Fuente: fundacioningenierosicai.org)

La colaboración por parte de la Fundación para este proyecto es la del director D. Rafael Abajo Pérez, habiendo trabajado previamente en el sector energético y aguardando tanto experiencia como actual actividad en cooperación con distintas ONG´s. Esa combinación, sumada a la constancia y tesón, son factores clave a la hora de cumplir con los plazos y requisitos impuestos por cualquier organización que solicita ayuda a la Fundación de Ingenieros de ICAI.

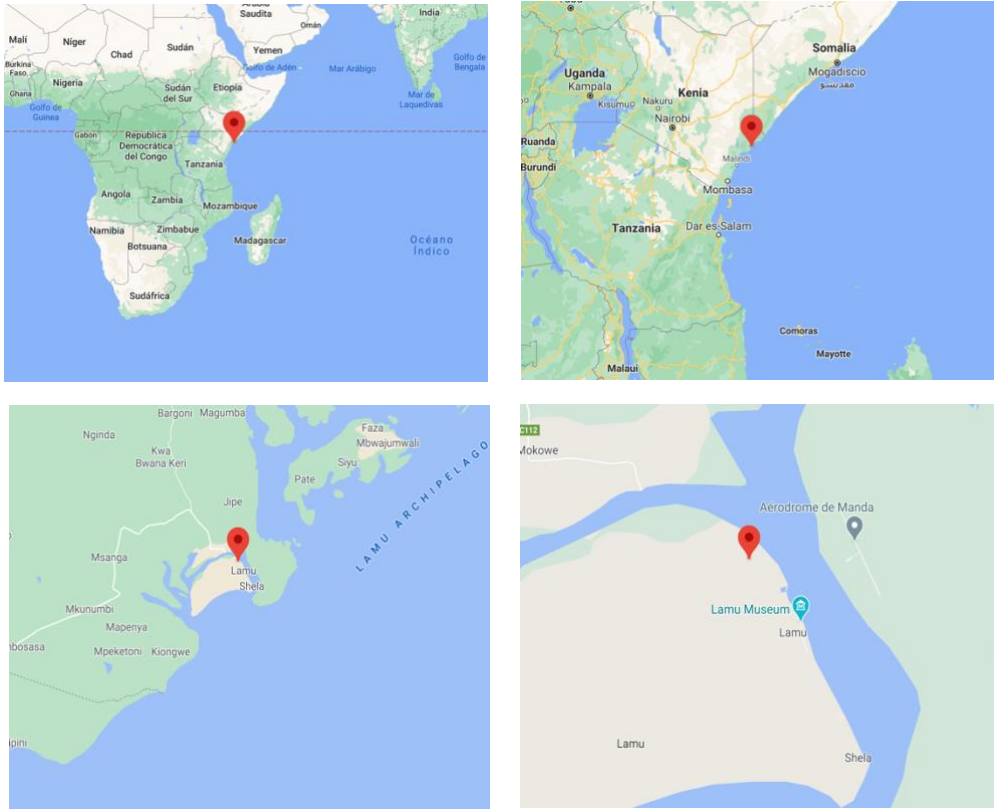
La Fundación no solo está al servicio en países subdesarrollados, en 2019 pude tener una experiencia en Madrid como voluntario. Trató de impartir sesiones sobre eficiencia energética en un colegio de Madrid que acogía a personas en riesgo de exclusión y que trataban de integrarse en la sociedad.



Figura 6. Colaboración con la Fundación en 2019. (Fuente: Propia)

2.3. UBICACIÓN DEL PROYECTO

Mkomani es la localización exacta donde se encuentra Anidan y se va a llevar a cabo el proyecto, dentro de la isla de Lamu en el país de Kenia. Como se puede observar en las imágenes, la zona se ve beneficiada al estar rodeada por completo por zonas de agua. Aunque dicho agua sea salada, quedan abiertas futuras posibles soluciones para hacer de ella un recurso de valor, generación de energía así como la aplicación de tecnologías para la conversión a dulce.



2°15'20.4"S 40°53'30.1"E

Figura 7. Ubicación del proyecto. (Fuente: Google Maps)

2.4. CLIMA Y VEGETACIÓN

El poblado se encuentra en una zona que experimenta cantidades de lluvia entre moderadas y altas. Los registros pluviométricos de la zona se sitúan en una zona climática de semihúmeda a semiárida con una precipitación media anual de entre 900 y 1100 mm. La temperatura máxima media es de unos 30°C a 31°C y la temperatura mínima media de 22°C a 24°C, lo que se describe como clima semihúmeda a semiárido. La lluvia sigue un patrón bimodal de abril a junio y de octubre a diciembre.

La zona está cubierta por suelos arenosos derivados de la meteorización de rocas volcánicas. Estos suelos tienen un potencial medio para el crecimiento de las plantas y soportan una vegetación natural compuesta por bosques secos y matorrales.

2.5. ASPECTOS SOCIALES Y ECONÓMICOS

Kenia es un país situado al este de África que cuenta con una población aproximada de 51 millones de habitantes (FMI 2018), y una esperanza de vida al nacer de 67,3 años (PNUD, est. 2015-2020). Según el Índice de Desarrollo Humano (IDH), que mide la riqueza de un país desde una dimensión económica y social, el país ocupó en el 2018 la posición 142 de un total de 189 países.

La pobreza se sigue presentando como el principal reto del país, ya que actualmente más de un tercio de su población vive por debajo del umbral de la pobreza, esto es, con menos de 1,90\$ al día (PNUD, 2018), lo que le sitúa por encima de países vecinos como Etiopía o Uganda. Otro de los principales problemas a los que hace frente el país es la falta de acceso a alimentos suficientes, ya que alrededor del 80% de las tierras son áridas o semiáridas (PMA, 2018). Esta situación se está viendo agravada además en los últimos años por las perturbaciones climáticas cada vez más frecuentes en la zona que contribuyen a la escasez de recursos y a la degradación de la tierra, lo que genera elevados niveles de inseguridad alimentaria y desnutrición sobre todo en las zonas rurales, más dependientes de la agricultura de subsistencia. En el año 2018 el nivel de malnutrición infantil se situó en un 29% (PNUD, 2018).

En cuanto al sistema educativo, aunque la educación primaria en colegios públicos es gratuita, la tasa de escolarización sigue siendo muy baja debido principalmente a la falta de infraestructuras educativas y a que no todas las familias pueden hacer frente a los gastos de matriculación, uniforme, materiales escolares, libros, comida, etc. que los estudios conllevan.

Según los últimos datos disponibles, alrededor de 1,2 millones de niños en edad escolar de primaria no asisten a la escuela, y el 40% de las niñas que residen en condados de tierras áridas y semiáridas están sin escolarizar (UNICEF, 2018). En cuanto a la educación secundaria, que no es gratuita, se presenta un bajo índice nacional de transición desde la educación primaria a la secundaria, debido principalmente al coste de la educación, al número insuficiente de escuelas secundarias que hay y a otras prioridades de los progenitores.

Según también los últimos datos disponibles por parte del Gobierno, en Kenia hay alrededor de 3,6 millones de niños que viven una situación de vulnerabilidad (UNICEF, 2018), incluidos los huérfanos, que requieren de asistencia social. Sin embargo, la supervisión de los servicios de bienestar infantil resulta deficiente y ofrece pocas modalidades alternativas de cuidado familiar de los huérfanos. En cuanto al Distrito de Lamu, situado al noreste de Kenia y lugar donde se encuentra nuestro proyecto, se caracteriza por ser un archipiélago de islas que no cuentan con infraestructuras básicas de carreteras, agua y saneamiento. A ello se suma que solo hay luz eléctrica en el núcleo urbano de la ciudad de Lamu y la mayoría de las casas no cuentan con agua corriente. La ausencia de infraestructuras para la potabilización del agua y su almacenamiento, sumado a la falta de tratamiento de las aguas residuales, hace que se presenten frecuentes epidemias de cólera en algunas zonas del Distrito.

La esperanza de vida, si en Kenia es muy baja (67,3 años), en Lamu es aún menor, 55 años para los hombres y 53 años para las mujeres, y alrededor del 40% de la población padece de pobreza extrema (esto es, viven con menos de 1,9\$ al día). A esta situación general se suma que, en los últimos años, la sequía azota severamente a toda la zona del Distrito, lo que conlleva graves problemas de falta de agua potable, higiene, contaminación, inseguridad alimentaria, etc. La situación se agrava además con la continua llegada de refugiados de las tribus vecinas (Boni, Orma, Pokomo, Borana, Giriama o Bajun), quienes huyen de la inseguridad y la violencia que genera la guerra de la vecina Somalia y de los campos reseca, lo que ha hecho casi duplicar la población de la isla en los últimos 5 años.

En cuanto a la población infantil, alrededor de la mitad de la población en el Distrito de Lamu son niños y niñas infantiles, muchos de ellos huérfanos o abandonados, y un número importante de los mismos sufren de enfermedades graves como VIH, desnutrición y tuberculosis.

2.6. CONTEXTO CULTURAL Y POLÍTICO

La costa este de África está habitada principalmente por el pueblo swahili. Kenia presenta una variedad de culturas que conviven entre diferenciados grupos étnicos. La lengua principal del país es el inglés, resultado de la colonización británica. En el archipiélago, se aprecia una mezcla en la lengua, siendo el swahili el más hablado y expandido por otras zonas.

Lamu es el más antiguo y mejor conservado lugar de los poblamientos swahilíes. Al descubrir la ciudad, se puede apreciar la mezcla de la cultura africana, india y portuguesa, predominado la omaní de influencia árabe.



Figura 8. Vista sobre la isla de Lamu. (Fuente: traveler.es)

En Kenia, la religión cristiana(protestante) predomina sobre la mayoría de la población con un 50% aproximadamente, seguida del catolicismo y habiendo unas minorías musulmanas así como Testigos de Jehová entre otros. En Lamu

concretamente, la mayoría de la población se define como musulmana, habiendo numerosas mezquitas sobre la isla.

En esta cultura el día comienza a las 6 de la mañana, siendo esta hora equivalente a las 0:00 en horario waswahili. A diferencia de la cultura árabe, el día comienza con el amanecer y no con la puesta de sol.

La política del país se rige por una democracia multipartidaria desde 1991, estando el territorio dividido en 47 condados que se encuentran divididos por un gobernador.

La moneda de Kenia es el chelín keniano, denominado ksh, cuyo precio equivale a 0,0075 euros. A lo largo del proyecto servirá de referencia para la conversión de algunos valores, como cálculo de energía eléctrica, equipos o cálculo económico.

A la isla de Lamu solo se puede acceder a través de barco, no habiendo carreteras como tal en todo el territorio. Al no haber muchos vehículos a motor, lo normal es encontrarse con pequeñas calles y caminos donde la población se traslada a pie, siendo uno de los principales medios de transporte los burros. Los únicos motores que pueden ser escuchados son las barcas de transporte durante el día así como la central generadora de electricidad para las necesidades de la isla.



Figura 9. Animales de transporte en la isla de Lamu. (Fuente: blog.africavive.es)

CAPÍTULO 3. ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE.

En septiembre de 2015, los principales líderes mundiales definieron una serie de objetivos para acabar con la pobreza, conservación del medio ambiente y recursos, y, conseguir que cualquier persona de cualquier parte del mundo pueda lograr un desarrollo en todos sus aspectos. Todo esto va en línea de la agenda de desarrollo sostenible, cuyo tiempo consta en 15 años desde su definición.

Dicha agenda está formada por 17 objetivos que buscan no dejar a nadie atrás, incluyendo la igualdad de la mujer, educación o constitución de nuevas ciudades entre otros. También se ha definido la tercera década del siglo 21 como la década de acción, acorde a las tecnologías y facilidades que nos presta la actualidad en países desarrollados.

Cualquiera de los objetivos marcados debe mostrar colaboración y movimiento de todas las personas en todas partes del mundo, urgencia y ambición y tantas soluciones como ideas. También se pueden ver plasmadas estas buenas intenciones en el ámbito digital en la búsqueda de internet seguro, sin bullying, ciberacoso u odio en las redes entre otros.



Figura 10. ODS. (Fuente: un.org)

A fecha de 2021, cualquier proyecto desarrollado en el ámbito tanto privado como público, es impensable si no se puede ver desde la lente de la sostenibilidad. Un proyecto de conseguir agua potable debe ir en línea de los ODS, aunque es importante que se analicen uno a uno para ver cuáles se tienen y cuáles se podrían incluir para conseguir desarrollo por otra dimensión que no necesite ser hídrica.

A continuación se van a enumerar los puntos de los objetivos que van en línea con nuestro proyecto, aunque de antemano se podría decir que un 80% de ellos están incluidos, ya que sin una necesidad básica el día a día de una población se basa en la búsqueda de modos de supervivencia.



Figura 11. ODS. (Fuente: un.org)

Con el suministro de agua, el rendimiento del huerto así como el desarrollo de la ganadería recortarían la brecha del hambre, mejorando también la higiene y servicios del hospital pediátrico. Teniendo estas preocupaciones cubiertas, los habitantes del poblado podrían dedicarse por completo a la educación para conseguir un desarrollo tanto personal como en bienestar.



Figura 12. ODS. (Fuente: un.org)

En algunas tribus suele ocurrir que las mujeres son las encargadas de la búsqueda de agua en puntos lejanos, mientras la población masculina se ocupa de otras tareas. Es importante que ambos géneros puedan tener acceso a las mismas oportunidades. Para alimentar eléctricamente los equipos de agua se hará uso de energías limpias, como es el caso del sol. La no dependencia diaria de búsqueda de recursos permitirá crear oportunidades de trabajos y prosperidad en la zona que permitan desarrollar una economía sólida.



Figura 13. ODS. (Fuente: un.org)

La búsqueda de la reducción de las desigualdades no es en comparación con un país desarrollado como España, basta con desplazarse hasta la turística ciudad de Lamu donde pueden gozar de la continuidad del suministro por parte de la empresa local.

Aunque las poblaciones que carecen de algún recurso saben valorarlo cuando lo poseen, sería aconsejable impartir sesiones sobre un buen uso del agua además de una producción equilibrada para mantener una eficiencia energética acorde a la generación renovable.

Cuando la sequía azota como es el caso de Lamu, no afecta solo a las personas si no que también lo hace sobre la vida animal o cualquier vida terrestre. Cualquier ecosistema terrestre puede verse beneficiado por la existencia de agua sobre la superficie terrestre.

Como último objetivo, las alianzas para lograr los objetivos deberían realizarse entre instituciones o países con gran presencia o influencia internacional. La gran realidad es que la ejecución de este proyecto en concreto ha sido llevada a cabo entre dos instituciones por iniciativa privada, como fue el caso de Rafael al impartir el viaje a Lamu para la consolidación de la ONG y la Fundación de Ingenieros de ICAI donde cualquier participante es voluntario con una gran labor social.



Figura 14. ODS. (Fuente: un.org)

CAPÍTULO 4. TECNOLOGÍAS DISPONIBLES Y FORMA DE OPERACIÓN.

4.1. DISTRIBUCIÓN DE AGUA ACTUALMENTE

Para saber de que forma se va a realizar el suministro de agua y en que cantidad, primero deben conocerse las necesidades locales. Los tres destinos principales del agua serán el huerto, la casa de acogida y el hospital, siendo la proporción de 60-70% agua no potable y el resto potable.

El huerto, que dispone de tanque propio, se estima que necesita de unos 5000 litros de agua diaria para poder realizar los riegos que garanticen una cosecha para la alimentación del poblado.

En la casa de acogida, se diferencian dos tipos de programas de estancia: día o día y noche. Durante el día se pueden encontrar unos 200 niños mientras que a la noche se reduce a la mitad, 100. También entre ellos conviven los trabajadores de la casa de acogida del poblado, que cifra en 58.

El hospital da un servicio tanto de pacientes internos como de externos, que va cambiando y nos es fijo pero aproximadamente suele haber de media una afluencia de 28 pacientes externos al día así como de 4 pacientes ingresados. También hay que tener en cuenta el número los 26 trabajadores que conforman dicho hospital.

Teniendo en cuenta la suma de casa y hospital, la estimación diaria es de unos 15000 litros. Al proceder el agua de la empresa local de distribución, se realiza un desperdicio al estar usando agua potable para aplicaciones que no precisan de ella, como por ejemplo el riego o limpieza entre otros.

Uno de los principales motivos por los que se ha decidido seguir adelante con el proyecto del agua es por la discontinuidad en el suministro, habiendo épocas donde los cortes de agua pueden llegar a ser de semanas. Además de esto, con el nuevo sistema se puede ahorrar dinero al proceder el agua del subsuelo y la energía eléctrica del sol.

Actualmente, la forma de proceder para el suministro de agua es el almacenamiento en tanques para la posterior distribución a cada uno de los edificios, siempre teniendo en mente que se van a producir cortes inesperados en el sistema.

En el poblado se pueden encontrar los siguientes tanques de almacenamiento:

- 6 tanques de 5000l cada uno para posterior distribución (casa, hospital y huerto).

De aquí, se distribuye a los distintos edificios, cada uno con su propio tanque:

- Casa de acogida
 - 3 tanques de 1000L en cada uno de los dormitorios.
 - 1 tanque de 1000L en el edificio de comedor y oficinas.
 - 1 tanque de 1000L en el edificio de aseos exteriores.
 - 1 tanque de 1500L en el edificio de voluntarios.
 - Bajo la torre hay otro tanque, para extinción de fuego, en caso necesario, de 5000 L.
 - Hospital
 - 3 tanques de 1000L en el edificio principal.
 - 1 tanque de 250L en los aseos exteriores.
 - 1 tanque de 1500L en el edificio anexo (donde se encuentran la farmacia y laboratorio).
-

Antes de la realización del proyecto, además de los tanques de almacenamiento y distribución, ya se podía hallar una red de distribución de agua hasta cada edificio, además de la distribución depósito de edificio-puntos de consumo. Por eso, el sistema que se va a desarrollar es complementario al que había, procedente de la empresa local. Se analizará la idoneidad de la construcción de dos circuitos, de agua potable y no potable, debido a que aparecen cuellos de botella en el sistema y el coste de energía que podría conllevar el potabilizar todo el agua procedente del pozo.

Actualmente, el precio de un metro cúbico de agua cifra en 75 ksh (chelines kenianos), siendo de 0,5925 €/m³ al realizar la conversión. Se tiene el histórico de facturas de agua de la casa de acogida, aunque se observa que la media no es muy realista y aparecen bastantes outliers.

Cuando acontecen cortes, la factura de suministro es bastante baja, ocurriendo también en épocas de lluvias donde el consumo es mayor. Al ser el 2020 un año atípico, se muestran algunos datos correspondientes a 2019:

Media mensual: 31.083 Ksh (245,87€)

Mes más bajo (octubre): 11.045 Ksh (87,37€)

Mes más alto (abril): 45.615 Ksh (360,82€)

Teniendo en cuenta que el consumo de agua en el hospital será similar que en la casa, se podrán sacar conclusiones del periodo necesario para la amortización de la inversión a realizar en tecnologías hídricas. Más que el ahorro económico, que también es importante, se busca la continuidad del suministro en las épocas de cortes para garantizar el agua como bien esencial.



LAMU WATER & SEWERAGE COMPANY LTD							
		P. O. Box 185 – 80500, Tel No: 254717895682, Lamu, Kenya md@lamuwater.co.ke, info@lamuwater.co.ke, lamuwater@gmail.com					
WATER BILL							
DATE	17th June 2020	A/C No.	376-001-55100	CODE	01		
A/C NAME	Ayuda Ninas De Africa			PAYMENT FOR	WLBst1		
METER No.				BILLING MONTH	May 2020		
Current Reading Date	Previous Reading Date	Consumption m3	Water Charge (KSHS)	Meter Rent (KSHS)	DEBIT (DR) KSHS	CREDIT (CR) KSHS	
13563	13309	254	19050	50	19100		
Other Charges					-		
Arrears					45675		
Billing Officer Name	Shirreca			TOTAL KSHS	26575 64,775		
<small>Note:</small> (a) In accordance with the Water Act 2016 No. 43 and the Kenya Gazette Notice No. 7538 Charges are payable on Due Date or on Demand. (b) LAWASCO must be notified of any change in tenancy or the vacation of premises, if not the last known occupier will be responsible for all charges. WARNING NOTICE No..... Unless the total amount is received by LAWASCO on due date water will be cut off without further notice and proceedings taken for recovery of the amount. PAY BEFORE: 5th Day of Every Month A fee of Kshs.1,000/= is payable for Re-connection or as described by Gazette Notice No. 7538.							
PAY Through M-PESA PAY BILL NO. 862269							
				Hospital - Month - 13,565 April - 13,565 <u>27,170</u>		Shalhe - Month - 12,535 April - 12,565 May - 12,535 / 57,60	

Figura 15. Ejemplo de factura de agua. (Fuente: Anidan)

4.2. TECNOLOGÍAS DISPONIBLES MÁS ADECUADAS

Cuando se empieza a pensar en la realización y ejecución de un proyecto como el que se aborda, en primer lugar hay que cambiar la mentalidad (en nuestro caso europea) y situarse sobre el continente africano, donde la percepción con la que se desarrollan las labores parece cambiar.

Burocrática y técnicamente, existe casi plena libertad a la hora del diseño de la instalación, hecho que potencia la imaginación y la innovación por el hecho de la búsqueda de un objetivo con los recursos necesarios.

El consumo de energía eléctrica de los equipos debe minimizarse porque probablemente en el lugar donde vaya a instalarse, la instalación no se

encuentre preparada por la previsión de cargas. Luego además del acceso a la red, el gasto en energía eléctrica no debe superar otras alternativas que incluso pudieran depender de otros para el uso directo.

Hay que tener en cuenta otros demás factores, como las herramientas que pudieran existir en el lugar en cuanto a maquinaria para realizar la instalación o mantenimientos (por ejemplo, grúas para trabajar en altura). La PRL (prevención de riesgos laborales) es prácticamente nula, así que debe evitarse cualquier diseño que provocase una acción peligrosa por parte de un trabajador para cualquier tipo de mantenimiento predictivo o correctivo.

Existen incontables tecnologías para recursos hídricos hoy en día, aunque en todo momento el criterio a elegir debe ceñirse a sostenibilidad, seguridad e ingenuidad en la logística de la distribución o almacenaje. Los equipos más comunes y universales que se van a usar son: bombas, potabilizadora industrial o planta de osmosis, depósitos, válvulas y otros elementos auxiliares de distribución.

Claros ejemplos de las decisiones adoptadas en línea con lo anterior, que se irán desarrollando a lo largo del proyecto, son:

- Bomba centrífuga horizontal en vez de sumergible vertical.
- Depósito regulador antes de la potabilizadora para que no trabaje 24 horas , 7 días a la semana.
- Bomba de distribución horizontal para no trabajar en altura.
- Creación de dos circuitos de agua potable y no potable para no desperdiciar energía.

4.3. ESQUEMA DEL SISTEMA DE OPERACIÓN

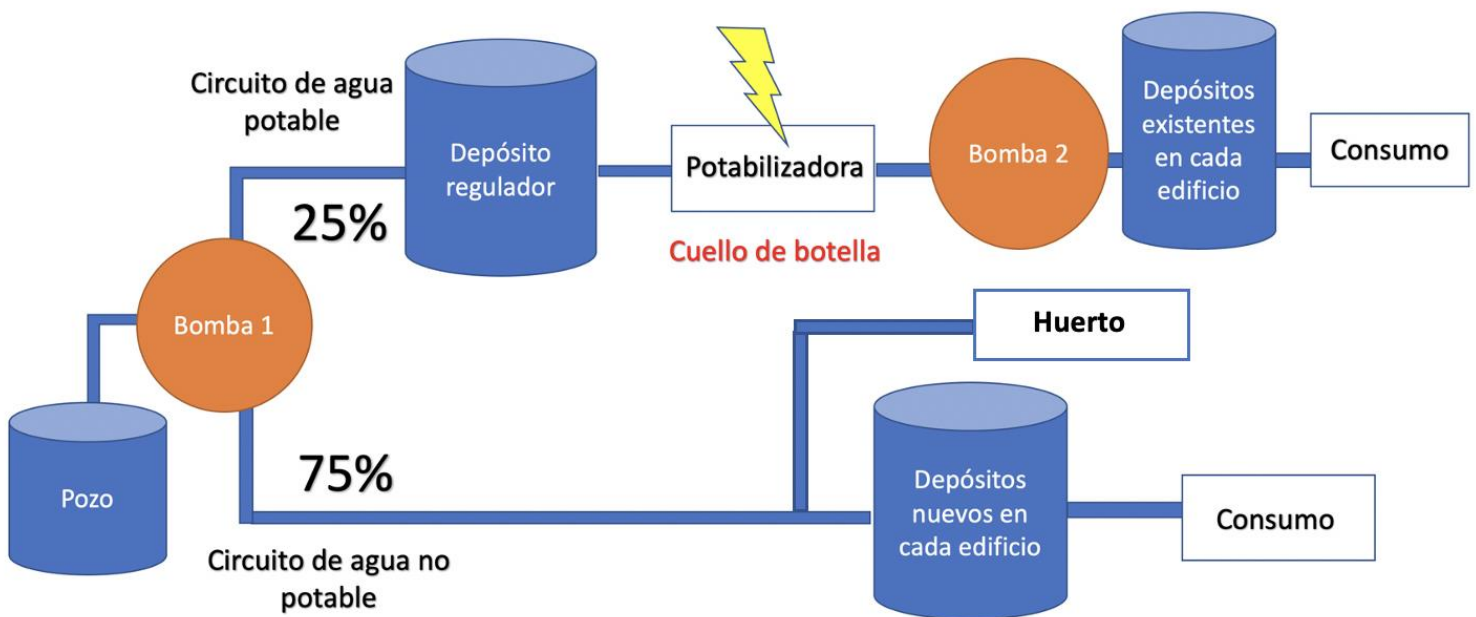


Figura 16. Esquema del sistema. (Fuente: Elaboración propia)

Al encontrar en la potabilizadora un cuello de botella, ya que este tipo de equipos suele producir un caudal por hora mucho menor que una bomba, se ha decidido no potabilizar todo el agua procedente del pozo, además de la creación de dos circuitos de agua (potable y no potable) para poder ser eficientes en todo momento de la producción.

Se ha incluido un depósito regulador antes de realizar el proceso de osmosis, para que el agua quede “en espera” y sea demandada acorde al ritmo del cuello de botella. La bomba de distribución horizontal debe subordinarse al ritmo de la potabilizadora, ya que no tendría sentido dotarla de un caudal que nunca va a tener según el diseño de este sistema.

La distribución de agua se realiza hasta unos depósitos de almacenaje disponibles en cada uno de los edificios, desde donde se puede consumir directamente por gravedad. Al crear dos circuitos de agua, también habría que añadir un depósito extra para el almacenaje del agua, cuyo consumo en ningún caso es instantáneo.

No hay que entrar en duda en relación al esquema con la distribución de agua en la proporción 25%-75%, pues se potabiliza un 25% de los 20.000L diarios (destinado a casa y hospital). El resto, ese 75% que no se potabiliza, tiene como destino la casa de acogida, hospital y huerto para labores de riego. En esos lugares también se necesita de agua no potable para diversas tareas, como por ejemplo limpieza.

El porqué de esta solución se justifica en el análisis de rentabilidad del punto 9. Teniendo en mente las potencias de cada uno de los elementos del sistema, los costes de operación han determinado el mix de funcionamiento más adecuado que hacen rentable la inversión. Para poder darse esas horas de funcionamiento, es necesario construir el circuito adicional.

CAPÍTULO 5. ETAPA DE EXTRACCIÓN

En los capítulos previos se ha definido la organización y logística del agua a través del recinto de Anidan hasta que es consumida. En el presente y contiguos capítulos, se van a presentar los detalles y cálculos técnicos que harán que la instalación garantice el suministro a los distintos puntos de consumo, así como el cumplimiento de las leyes físicas (en concreto de mecánica de fluidos y de turbomáquinas) que rigen el movimiento del agua y funcionamientos de los aparatos de impulsión.

5.1. RECURSO HÍDRICO

El sistema complementario que se va a desarrollar tiene como principal fuente de recurso el agua subterránea, que será extraída por medio de un pozo de construcción.

Previamente a la colaboración de la Fundación de Ingenieros con la Anidan, la ONG realizó distintos estudios hidrogeológicos y geofísicos donde se demostraba la certeza de existencia de agua subterránea. Dada la necesidad de tener un sistema de apoyo de suministro de agua, se realizó la construcción de un pozo (sin elementos de extracción) acorde al estudio que especificaba los volúmenes que se pueden extraer diariamente.

El punto del poblado donde se realizó la perforación está definido como el ideal para garantizar que hay suficiente agua y no se agota el acuífero, según el estudio. También se realizó un pozo anteriormente en un punto opuesto al pozo nuevo, pero no mostró buenos resultados de suministro.

En las siguientes figuras se puede ver el lugar donde se ha realizado la construcción y la forma física a la que habrá que acoplar los elementos de bombeo.



Figura 17. Pozo de extracción de agua. (Fuente: Anidan)

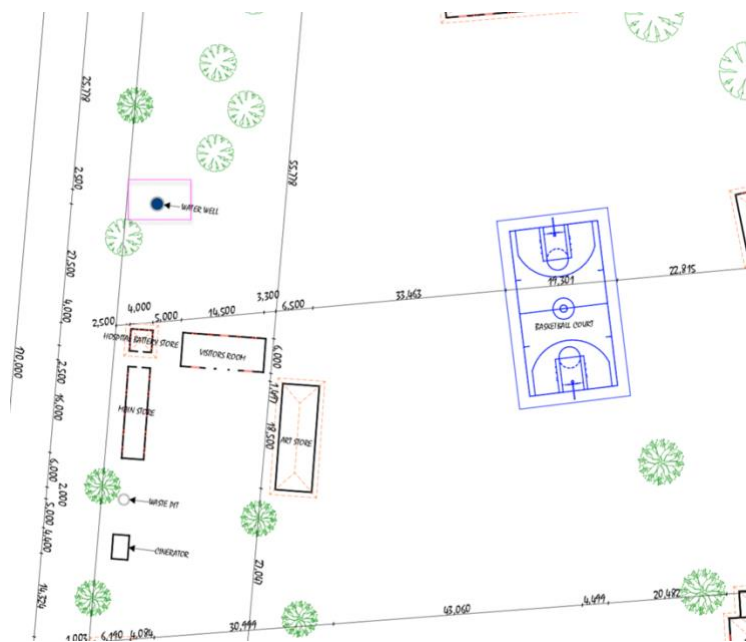


Figura 18. Localización del pozo. (Fuente: Anidan)

El volumen de agua es aproximadamente de unos 7m^3 , volviendo a recargarse hasta su máximo en un tiempo aproximado de 2 horas. Haciendo unos pequeños cálculos mentales, se observa que en algo menos de medio día se obtendría la cantidad requerida.

Hay que ser cautos, al igual que con cualquier otro recurso de la naturaleza, y saber que si se hace uso de este recurso cotidianamente acabará agotándose por un prolongado tiempo. Por parte de Anidan se ha transmitido la misma idea, de que el sistema de agua que se instale no será para hacer frente al consumo excepto en situaciones de cortes o con el objetivo del almacenaje.

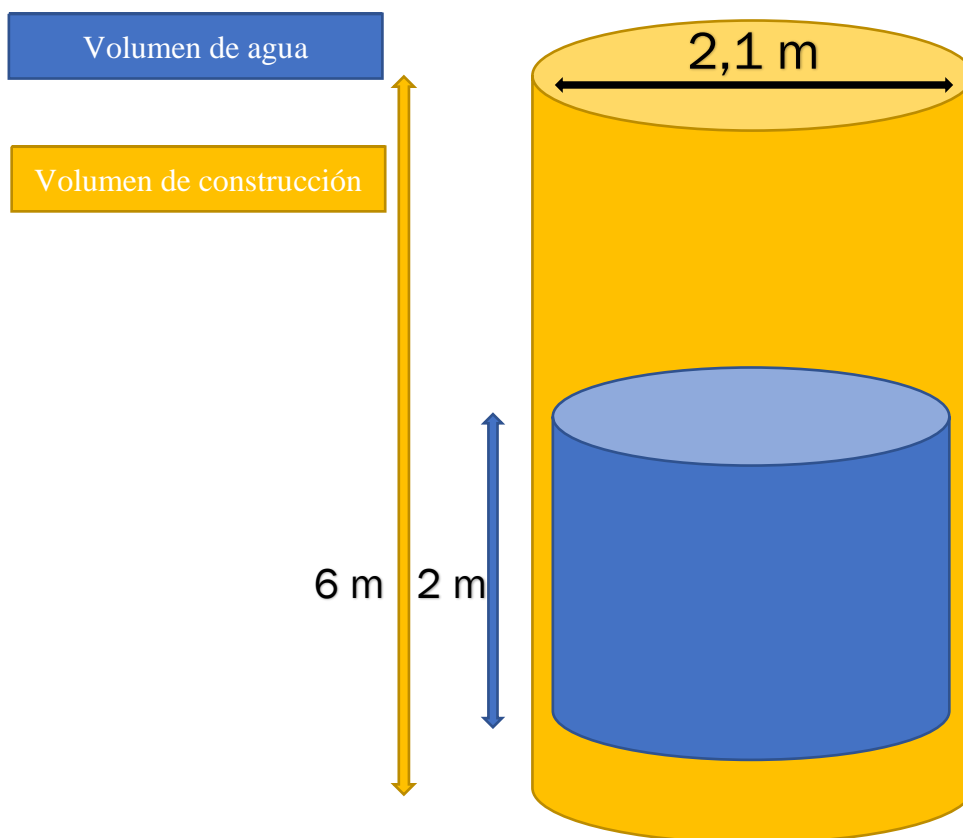


Figura 19. Dimensiones del pozo. (Fuente: Elaboración propia)

Por tanto, los volúmenes que ofrece la construcción son:

$$V_{agua} = \pi * h * \frac{D^2}{4} = \pi * 2 * \frac{2,1^2}{4} = 6,93 \text{ m}^3$$

$$V_{constr} = \pi * h * \frac{D^2}{4} = \pi * 6 * \frac{2,1^2}{4} = 20,79 \text{ m}^3$$

Hay situaciones a lo largo del año, como pueden ser épocas de lluvia, donde el nivel superior de agua del pozo alcance los 3 m. Es un buen dato del que se debe tener constancia, aunque siempre en los cálculos de diseño de algún sistema en ingeniería, hay que tener en cuenta un valor extremo (o más perjudicial). En este caso sería el de 2 m de altura de agua, que es el valor normal o que se encontrará en épocas de sequías.

5.2. INSTALACIÓN DE BOMBEO DE AGUA

Para poder realizar el diseño de la etapa de bombeo, hay que empezar fijando o definiendo una serie de variables, además de las ya existentes (como es el sistema físico del pozo) a las que hay que adaptarse.

La principal clave a la hora de la selección de una bomba es conocer la profundidad a la que se encuentra el agua, así como las necesidades de agua que se tienen. En el caso del poblado de Lamu, la superficie libre del agua se encuentra a 4 metros de profundidad, siendo la profundidad máxima de 6 metros, y la necesidad de 20 m³/día.

Se van a mostrar las bombas más comunes para la extracción de pozos con sus características principales:

- I. Bombas centrífugas de superficie: Profundidad máxima 7m, Grandes caudales pero con el inconveniente de que presentan cavitación si no hay un buen cálculo.
-

- II. Bombas centrífugas sumergibles: Profundidades pequeñas, son muy eficientes pero también presentan cavitación.
- III. Bombas verticales sumergibles: Son de tipo tubular, poco diámetro y pueden instalarse en profundidades muy elevadas. No suelen presentar problemas de cavitación.

Otra de las decisiones importantes ha sido escoger el tipo de bomba. Se ha elegido la primera opción, bomba centrífuga horizontal de superficie, por varios motivos. Principalmente, se adapta a las especificaciones de diseño, aunque ha pesado bastante el factor de no instalar en el fondo del pozo una bomba ante situaciones de mantenimiento preventivo y correctivo. Evitando este tipo de instalaciones ya se aplican muchos medias de PRL. La cavitación se presenta como un hándicap, por lo que más adelante se definirá este concepto y se hará un cálculo a modo de checkpoint para garantizar el flujo de agua.

En una instalación de bombeo, hay que distinguir entre dos zonas diferenciadas tomando como ecuador la bomba: la zona de aspiración, que comprende desde el recurso hídrico hasta la entrada de la bomba, y, la zona de impulsión hasta el punto donde el agua es consumida o almacenada. Es por ello, que para el cálculo de la bomba de extracción, hay que tener en cuenta prácticamente todo el circuito para que no aparezcan problemas tales como la cavitación.

A continuación se muestran los datos de partida junto a un pequeño esquema relacionado con este punto del sistema, de donde se puede realizar un desglose explicativo de algunos conceptos.

En relación con la zona de aspiración, se incluye una tubería de aspiración de 6 metros, que es la longitud desde el fondo del pozo hasta la cota cero de la bomba, una válvula de pie (a modo de filtrador de agua) del mismo diámetro de la tubería de aspiración, un codo de 90° como requiere la geometría, así como un cono difusor a la entrada de la bomba (para acoplar el diámetro de la tubería de aspiración con el diámetro de la zona de aspiración).

La zona de impulsión es más compleja de definir en este punto, porque hay algunos puntos de consumo que no están definidos, o incluso como es normal en este tipo de proyectos, surgen las mejores ideas cuando se está al borde de terminarlo. Por ello, la longitud de la tubería de impulsión (que se toma en horizontal), se ha tomado como la máxima hasta donde se va a suministrar con esta bomba : el depósito del huerto, como agua no potable (los demás edificios se encuentran más cercanos), siendo dicha distancia de 160m. Se incluyen una válvula de retención para el control de la potencia con la que se dispara el agua, así como una válvula de compuerta o no retorno hacia la bomba. El cono difusor, al igual que en la aspiración, tiene como función la adaptación de diámetros entre tuberías. Los codos de 90° que se incluyen no son todos los del sistema de distribución, ya que con esta bomba se diseña el circuito de agua no potable (hasta la potabilizadora, huerto y circuito secundario).

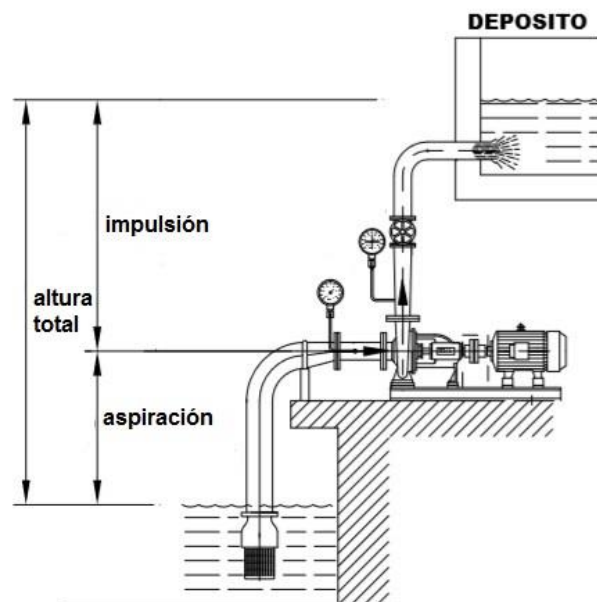


Figura 20. Esquema etapa de bombeo. (Fuente: ingemecánica.com)

Tubería aspiración	6 m
Codos difusores entrada bomba	1 ud
Codos 90º	1 ud
Válvula de pie	1 ud
Tubería impulsión	160 m
Válvula de retención	1 ud
Válvula de compuerta	1 ud
Codos 90º	10 ud
Codo difusor salida bomba	1 ud

Tabla 1. Datos de partida. (Fuente: Elaboración propia)

Elección de caudal de bombeo

Situados en este punto, se debe realizar la elección del caudal deseado en la instalación de bombeo. El valor escogido es de 4 m³/h, trabajando la bomba un tiempo no superior a 5 horas al día, estando dosificado teniendo en cuenta el tiempo de recarga del recurso hídrico. Este valor se sitúa en una buena relación potencia-consumo.

Cálculo de diámetros

a) Cálculo de los diámetros de aspiración:

Al trabajar con tuberías, cuando se habla de diámetro se refiere al diámetro interno de la misma. Para calcular el diámetro de aspiración, se aplica la siguiente fórmula para poder obtener un valor que no sea desproporcionado.

$$v = \frac{354 * Q}{D^2}$$

El valor de Q se ha fijado previamente, mientras que el valor de v (velocidad en m/s) suele tener un límite no superior a 1,8 m/s en las tuberías de aspiración.

Velocidad de agua	1,8 m/s
D	28,047 mm
Q (caudal agua de aspiración)	4 m ³ /h
Valores finales	
Velocidad de agua	1,142 m/s
D	35,2 mm
Q (caudal agua de aspiración)	4 m ³ /h

Tabla 2. Cálculo diámetro de aspiración. (Fuente: Elaboración propia)

Se escoge un DN40, presentando una tensión mínima requerida de 4 Mpa. El diámetro interior libre de la tubería es de $40 - 2,4 * 2 = 35,2 \text{ mm}$, adaptándose bastante bien a la segunda iteración realizada en búsqueda del la medida que satisfaga los requisitos.

b) Cálculo de los diámetros de impulsión:

El valor de Q se ha fijado previamente, mientras que el valor de v (velocidad en m/s) se aconseja no se sitúe en un valor superior a 2,5 m/s en las tuberías de impulsión.

Velocidad de agua	2,5 m/s
D	23,79 mm
Q (caudal agua de aspiración)	4 m ³ /h
Valores finales	
Velocidad de agua	1,1428 m/s
D	35,2 mm
Q (caudal agua de aspiración)	4 m ³ /h

Tabla 3. Cálculo diámetro de impulsión. (Fuente: Elaboración propia)

Se escoge un DN40, presentando una tensión mínima requerida de 4 Mpa. El diámetro interior libre de la tubería es de $40 - 2,4 * 2 = 35,1 \text{ mm}$, adaptándose bastante bien a la segunda iteración realizada en búsqueda de la medida que satisfaga los requisitos.

Los materiales más ideales para las ambas tuberías son el Polietileno (PE) y el PVC, siendo su denominación PE 40 o PVC 40.

Altura manométrica

H_m o H , es la altura que debe vencer la bomba para elevar un caudal desde un nivel inferior hasta un nivel superior. Dicha altura, se define por la siguiente fórmula

$$H = H_g + P_c + 10 * \frac{P_i - P_a}{\gamma}$$

Cuyos términos representan:

- H_g es la altura geométrica a vencer en metros.
- P_c es la pérdida de carga del fluido a través de la instalación.
- $\frac{P_i - P_a}{\gamma}$ es la presión diferencial entre aspiración e impulsión dividida entre el peso específico del fluido.

a) Cálculo de altura manométrica en tubería de aspiración:

Para el cálculo de la altura manométrica, se hará apoyo del esquema mostrado a continuación y de las tabulaciones correspondientes para el cálculo de las pérdidas de carga, y así no tener que hacer uso de la ecuación e iteraciones de Colebrook-White.

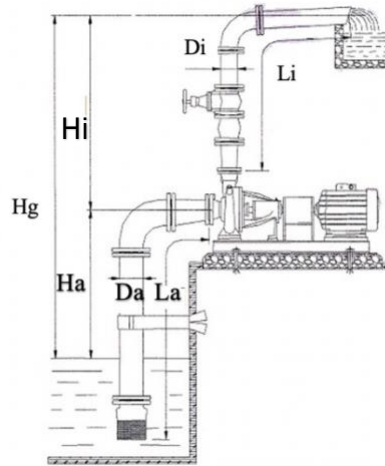


Figura 21. Esquema de instalación. (Fuente: Elaboración propia)

La altura geométrica de aspiración, H_a , es de 4,3 m. Para el cálculo del segundo término, pérdidas de carga, se debe calcular en primer lugar la longitud equivalente de la misma, ya que la unidad de medida de las pérdidas de carga son los metros lineales:

$$L_{eq} = L_a + L_{eq \text{ val pie}} + L_{eq \text{ codo } 90^\circ} + L_{eq \text{ cono difusor}}$$

$$L_{eq} = 6 + 8,4 + 0,65 + 5 = 20,05 \text{ m}$$

La tabla de pérdidas de carga en tuberías de PVC y PE establece que por cada 100 metros de tubería de aspiración, las pérdidas de carga son de 4,95m. En este caso, al tener 20,05 m de longitud equivalente, se corresponden 0,99 m de pérdida de carga.

Ha (geométrica)	4,3
Leq válvula pie	8,4
Leq codos 90º	0,65
Leq cono difusor	5
Leq tot	20,05
Pca	0,992475

Tabla 4. H tubería de aspiración. (Fuente: Elaboración propia)

** En el anexo A se pueden encontrar las tablas de pérdidas de carga en elementos auxiliares y de corrección de longitudes desglosadas.

b) Cálculo de altura manométrica en tubería de impulsión:

La altura geométrica de impulsión, H_i , es de 5m (véase la figura 21, es un valor de altura real). Se ha tomado este valor porque es la máxima altura geométrica que tendrá que vencer el agua desde la bomba, para los casos de los depósitos situados en lo alto de los edificios, así como los depósitos de almacenaje de mayor tamaño (como el del huerto).

Para el cálculo del segundo término, pérdidas de carga, se debe calcular en primer lugar la longitud equivalente de la misma, ya que la unidad de medida de las pérdidas de carga son los metros lineales:

$$Leq = L_i + Leq \text{ val ret} + Leq \text{ val comp} + Leq \text{ codos } 90^\circ + Leq \text{ cono difusor}$$

$$Leq = 100 + 5,3 + 0,5 + 4,7 + 5 = 115,5 \text{ m}$$

La tabla de pérdidas de carga en tuberías de PVC y PE establece que por cada 100 metros de tubería de aspiración, las pérdidas de carga son de 4,95m. En este caso, al tener 115,5 m de longitud equivalente, se corresponden 5,71725m de pérdida de carga.

Hi (geométrica)	5
Leq válvula retención	5,3
Leq válvula de compuerta	0,5
Leq Codos	4,7
Leq cono difusor	5
Leq total	115,5
Pci	5,71725

Tabla 5. H tubería de impulsión. (Fuente: Elaboración propia)

** En el anexo A se pueden encontrar las tablas de pérdidas de carga en elementos auxiliares y de corrección de longitudes desglosadas.

Presión diferencial

La presiones de aspiraciones e impulsión, en el pozo así como en los depósitos de almacenaje, es $P_i = P_a = 0$ ya que se encuentran a la presión atmosférica. Al aplicar Bernoulli, se toman las velocidades de ambos depósitos prácticamente de 0, ya que los diámetros son de dimensiones suficientemente elevadas como para que no afecte a la hidrodinámica.

El único punto del sistema donde debe considerarse la presión de impulsión es a la entrada de la potabilizadora, siendo de 0,15 bares= 15000 pascales. La altura equivalente a la presión diferencial viene dada por la siguiente fórmula:

$$10 * \frac{P_i - P_a}{\gamma} = 10 * \frac{15000}{9780,53} = 15,33 \text{ m}$$

$$\gamma(\text{peso específico del agua}) = 9780,53 \frac{N}{m^3}$$

Agrupando todos los términos, se tiene la altura total de la bomba:

$$H = H_g + P_c + 10 * \frac{P_i - P_a}{\gamma} = 5,29 + 10,71 + 15,33 = 31,3 \text{ m}$$

Por tanto, la primera bomba del sistema para extracción del agua de pozo será de caudal $Q = 4 \text{ m}^3/\text{h}$ y una $H = 31 \text{ m}$. Se va a realizar la elección del equipo según los catálogos con los que trabaja el personal de mantenimiento de la ONG Anidan en Kenia, facilitando los recambios de piezas de cara a mantenimiento preventivo y/o correctivo.

El modelo escogido para esta primera bomba es el K18/500 de la marca DAB, que proporciona un caudal y altura aproximados de $4 \text{ m}^3/\text{h}$ y 30 m respectivamente, de la empresa TransAfricaWater cuyos datos técnicos y curvas se pueden encontrar en el Anexo B del presente de este proyecto.

Comprobación de ausencia de cavitación

Cuando en una tubería la presión interior comienza a caer por debajo de la presión atmosférica se inicia el vacío, y a medida que dicho vacío aumenta el agua cambia de estado y se transforma en vapor. Al sufrir ese cambio de estado, se forman una serie de burbujas que viajan con el fluido a transportar, y al encontrarse en el punto en que vuelven a ganar presión dichas burbujas explotan pudiendo generar daños. Pues bien, este fenómeno se conoce como cavitación.

Debe satisfacerse la siguiente inecuación para tener una garantía de que no se encontrarán problemas en el funcionamiento relacionados con la cavitación:

$$NPSH_d \geq NPSH_r + 0,5m$$

NPSH (Net Positive Suction Head) es conocido como altura neta de aspiración, siendo NPSHr (requerido) un parámetro característico de la bomba, NPSHd el disponible para que no se encuentren problemas de cavitación y 0,5m un margen de seguridad. En este caso, el NPSHr de la bomba es de 0,7 m.

$$NPSHd = \frac{10 * Pa}{\gamma} - Ha - Pca - \frac{10 * Pv}{\gamma}$$

$$NPSHd = \frac{10 * 0,989}{0,9982} - 4,3 - 0,99 - \frac{10 * 0,0238}{0,9982} = 4,37$$

Por tanto se cumple la inecuación de la altura neta de aspiración:

$$4,37 \geq 0,7 + 0,5m$$

5.3. ETAPA DE ALMACENAJE INICIAL

En este punto del sistema, la bomba se encuentra proporcionando un caudal de 4 metros cúbicos a la hora. Tener un sistema de potabilización que trabaje a esa velocidad requeriría un tamaño, presupuesto y consumo energético bastante elevado para el continente donde se va a ejecutar la instalación.

El depósito de almacenaje inicial tiene como fin que el cuello del botella del sistema, que en este caso es la potabilizadora, no obstaculice el suministro de agua no potable a puntos como el huerto o los demás usos que no sean de consumo humano. Se va a colocar un depósito de 10m³ antes de la potabilizadora para que una vez lleno, o a mitad, la potabilizadora vaya trabajando a su ritmo y requiriendo el agua necesaria de dicho depósito, mientras las bombas trabajan en la distribución.

Se ha escogido el tamaño de este depósito debido a que el agua que se desea potabilizar al día es de 5m³, teniendo así un pequeño margen de capacidad además de no existir una notable diferencia de precio entre un depósito de capacidad menor de 5m³ y el de 10m³.

CAPÍTULO 6. ETAPA DE POTABILIZACIÓN

En esta sección se va a realizar un análisis, desde el estado en que procede el agua hasta que es apta para su consumo. En primer lugar, se muestran unos datos sobre la distribución del agua alrededor del planeta:

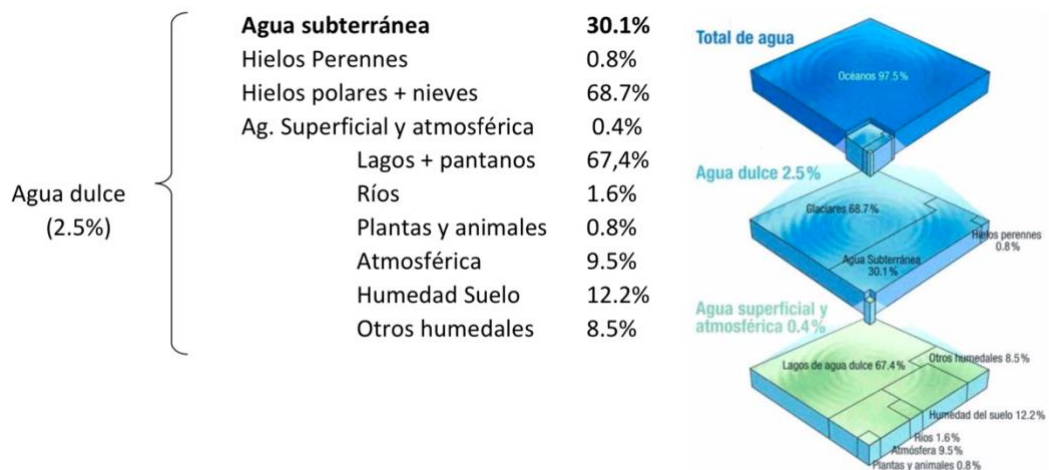


Figura 22. Distribución global de agua. (Fuente: ICAI-Ingeniería medioambiental)

Como se puede ver, la proporción de agua dulce es mínima. De esa proporción, el agua apta para consumo es mucho menor aún, debido a que una apariencia de agua en estado natural no indica que el agua sea idónea para consumo.

Las principales características que muestran las aguas subterráneas son temperaturas constantes durante todo el año, contenido en sales disueltas elevada y descomposición de materia orgánica en el fondo (poco O₂, elevado Fe²⁺ y Mn²⁺).

Con el análisis químico realizado por Anidan y los precedentes teóricos de las aguas subterráneas se adaptarán los parámetros del agua de la Isla de Lamu hasta conseguir hacerla apta para su consumo.

6.1. ANÁLISIS DEL ESTUDIO QUÍMICO

Con fecha de septiembre 2020, Anidan llevó a cabo un análisis químico del agua para poder afinar con el diseño de la potabilizadora en el sentido de albergar lo estrictamente necesario para que se eliminen los principales agentes, que en este caso no serán contaminantes pero si en presencia de partículas o materia orgánica.

En el Anexo C se incluye el análisis químico detallado, aunque en la siguiente tabla se resumen los parámetros más importantes que se salen de los límites establecidos por la norma KS 12:2014.

Partes por millón (PPM)	mg/L
Color	2,5
Olor	Sin olor
Turbidez	12
CaCO ₃	420
Ca	200
pH	10,12

Tabla 6. Resumen análisis químico. (Fuente: Elaboración propia)

6.2. ESTÁNDARES DE AGUA POTABLE

La Organización Mundial de la Salud, OMS, establece unos estándares para el consumo de agua potable según las especificaciones KS 12:2014. Dichas especificaciones están regidas por un límite máximo de partes por millón. En la tabla anterior se incluyeron los parámetros más importantes o aquellos que no cumplen con dichas especificaciones, por lo que a continuación se conocen los valores los cuales no hay que sobrepasar:

Partes por millón (PPM)	mg/L
Color	15
Olor	-
Turbidez	5
CaCO ₃	300
Ca	150
pH	6,5-8,5

Tabla 7. Resumen análisis químico. (Fuente: Elaboración propia)

Se podría decir que el estado de agua no es apto para consumo, aunque es bastante bueno al no tener que dar solución a problemas de color u olor. Hay que destacar que aunque el límite de turbidez 5 NTU, lo ideal sea de 1 NTU para que el consumo sea de calidad.

Al final, el resultado de dicho análisis es muy parecido a lo esperado teóricamente hablando, para lo cual hay diversas tecnologías para brindar soluciones.

6.3. TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

La potabilización de agua es una etapa crítica en lo que a suministro de agua se refiere, pues se suele realizar en grandes superficies y volúmenes teniendo como causa la baja velocidad a la que se realiza este proceso debido a que hay una serie de etapas concatenadas hasta que se consiga realizar el tratamiento adecuado hasta hacerla apta para el consumo humano. Previamente de ello, se realiza la captación de agua del medio natural.

Las distintas etapas que se muestran en la figuras de a continuación muestran lo que sería un proceso de potabilización completo, junto con los tratamientos adecuados para cada uno de los contaminantes específicos.

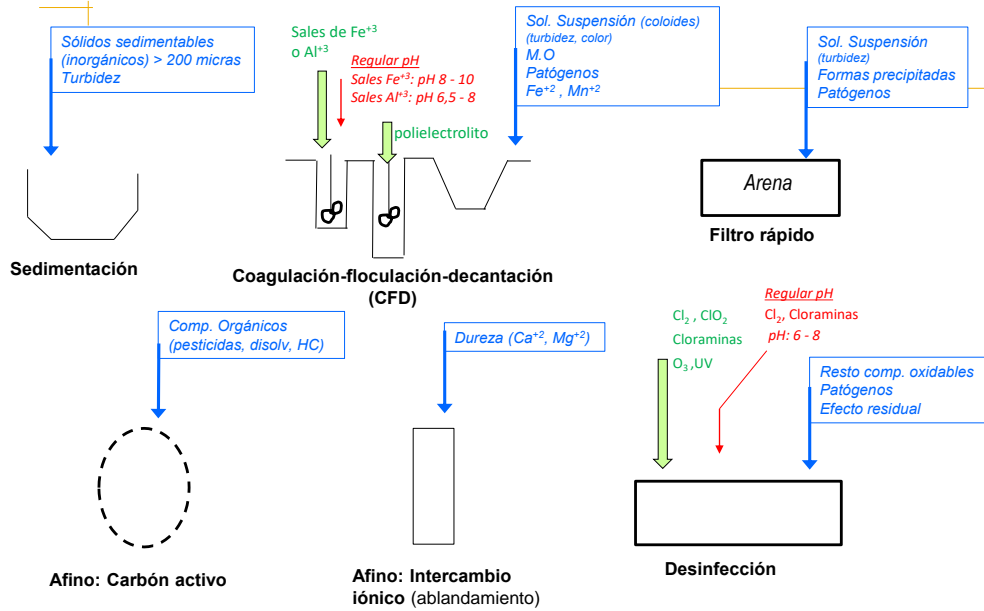


Figura 23. ETAP completa. (Fuente: ICAI-Ingeniería medioambiental)

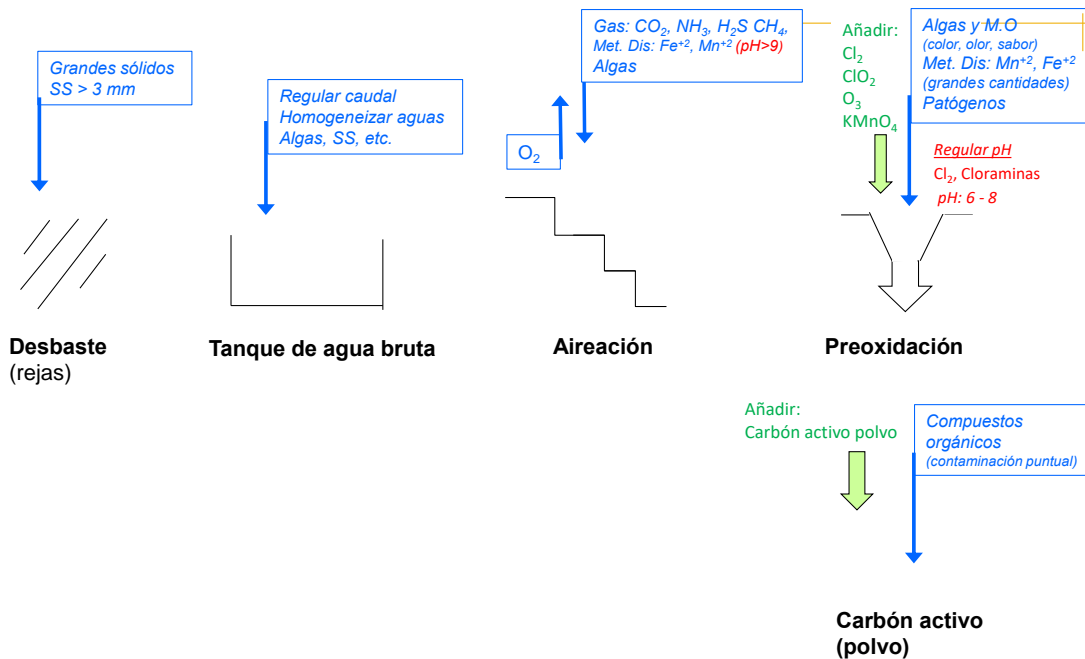


Figura 24. ETAP completa. (Fuente: ICAI-Ingeniería medioambiental)

Para hacerse una idea del tamaño en extensión para poder potabilizar agua para una localidad media en España e incluyendo las anteriores etapas, habría que tener un sistema similar al de la figura.



Figura 25. Ejemplo ETAP. (Fuente: postpolítico.com)

Debido a los recursos existentes y a una necesidad menor de agua, el modelo de potabilizadora que incluirá nuestro sistema estará orientado a un sistema compacto que esté alimentado mediante electricidad producida por energía solar y que proporcionará un caudal acorde con la relación entre recursos y necesidades disponibles.

La mayoría de estos sistemas se conocen como sistemas de potabilización doméstico, contando con una gran ventaja como es la ausencia de la realización de obra civil, la fácil automatización y/o manejo y el diseño modular en un espacio tan reducido y protegido para ambientes con condiciones extremas al estar dentro de un container. Aunque dichos sistemas son modulables según se ha comentado, la mayoría de ellos pasan por un sistema de osmosis inversa, integrado y pensado para cualquier parte del planeta tierra.



Figura 26. Potabilizadora compacta. (Fuente: IMA Water)

6.4. SOLUCIÓN ADOPTADA

La ósmosis inversa es una tecnología de membrana que permite eliminar la salinidad del agua. En el caso de Anidan, la solución trata de un sistema de desalinización por ósmosis inversa mediante membranas poliamida de bajo ensuciamiento, que se dispondrán en un rack con una capacidad de producción de hasta 24 m³/día de agua de alta pureza.

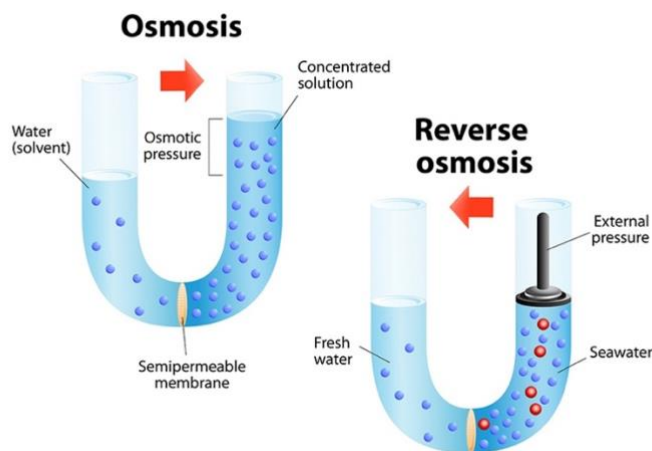


Figura 27. Ósmosis inversa (Fuente: vdf.es)

El destino del agua producida por la planta de ósmosis será para consumo humano, para ello el agua producida por la planta admitirá un porcentaje remineralización mediante mezcla.

Para esta planta, se utilizaran membranas en espiral de poliamida aromática ensambladas en una etapa con recirculación, que se dispondrán en un módulo con una capacidad de hasta 24 m³/día, en el que todos sus elementos irán ensamblados en chasis de acero.

Trabajando en un solo paso con recirculación forzada, además de limitar al máximo la cantidad de salmuera y consecuentemente el consumo de agua de alimentación y generación de rechazo, se ahorrará el máximo de energía con la máxima fiabilidad y economía de explotación.

La alimentación de agua cruda a las plantas se realizará desde el pozo directamente, desde el que se impulsará a la planta el agua cruda para ser desalada. Posteriormente, desde un depósito de 120 L de agua producto, se realizará el flushing de las membranas cada vez que sea necesario o haya una parada de planta, estos tanques de flushing irá normalmente instalado sobre el chasis de la planta, para que puedan hacer su función de desplazamiento positivo, aún en caso de corte de suministro eléctrico.

La planta incluye un equipo de limpieza química CIP, que trabaja desde los depósitos de Flushing mediante un segundo arranque de la bomba de alta.

En el Anexo D se incluyen las características de los equipos, parámetros de diseño, descripción del módulo y diagrama de flujo del sistema. Los datos de consumo y la oferta económica también han de conocerse para saber en qué cifras se mueve el proyecto. Dicho informe ha sido realizado por la compañía "IMEDAGUA" a modo de presupuesto según las necesidades que mostraba el análisis químico.

El coste de producir 1m^3 de agua es de $0,16\text{€}$, la producción máxima es de $1\text{m}^3/\text{hora}$ y la oferta económica es de 14k€ aproximadamente.

Llegados a este punto adquiere sentido el no potabilizar todo el agua extraída del pozo y la creación de dos circuitos de agua potable y no potable para que el sistema no trabaje más de 5 horas al día. En términos de energía eléctrica, el rendimiento sería de $2\text{-}3\text{ kWh}/\text{m}^3$ y el conexionado de 380 V en trifásica. La potencia nominal de dicha instalación se sitúa en torno a los 4 kW . Duplicar el caudal indicaría unos niveles de consumo elevados para unas necesidades que no existen a la fecha de realización del proyecto.

Las sucesivas etapas corresponden con la distribución de agua hasta los puntos de consumo, por medio de los dos circuitos que transcurrirán en paralelo. Esta etapa del sistema es el cuello de botella, lo que limita el caudal de agua del circuito de potable a $1\text{-}1,2\text{ m}^3/\text{h}$.

CAPÍTULO 7. RED DE DISTRIBUCIÓN

7.1. BOMBA DE DISTRIBUCIÓN HORIZONTAL

El agua procedente de la potabilizadora, con un caudal de 1000 litros a la hora, necesita un aporte de presión para ser transportada hasta los depósitos de almacenaje situados en lo alto de los edificios.

Hay que tener en cuenta que aunque el recurso hídrico ya potabilizado fluirá por un circuito distinto al no potabilizado, serán prácticamente paralelos ambos circuitos y con las mismas características en materia de cálculo.

Elección de caudal de bombeo

El valor escogido es de 1-1,2 m³/h. A diferencia de la bomba de extracción, no tiene sentido escoger un caudal de ese orden (4 m³/h) teniendo un cuello de botella en el sistema de ósmosis inversa de potabilización, trabajando la bomba un tiempo no superior a 5 horas al día.

Altura manométrica

La altura manométrica de la bomba de distribución es de H=19,5m, y dichas pérdidas se desglosarán en el siguiente punto 7.3. donde se pueden ver los distintos accesorios , como válvulas o cambios de dirección que añadirán metros la suma total.

Las características de dicha bomba de distribución se pueden encontrar en el anexo E.

7.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN Y PÉRDIDAS EN EL MISMO

En el comienzo de la ejecución del proyecto, ya existía un sistema de distribución sobre el terreno. Según explicado en puntos anteriores, el agua procede del proveedor local hasta depósitos de almacenamiento, para ser llevada hasta los puntos de consumo bajo el fenómeno de la gravedad. En cada edificio individual, dependiendo de su uso, se disponen de elementos tales como grifos, duchas, etc., los cuales no son necesarios reemplazar o aumentar en número en el momento actual. Fuera de los edificios, si que se va a realizar la instalación de algunos puntos estratégicos, destinados sobretodo a agua no potable, y conseguir que la eficiencia sea mayor, evitando el desperdicio y/o el transporte innecesario en el suministro.

Para realizar un cálculo de las pérdidas en la instalación, es necesario emplear la ecuación de Darcy-Weisbach, donde tendrá especial importancia si el flujo del fluido es laminar o turbulento (se rige por el número de Reynolds).

$$h_f = f \frac{L V^2}{d 2g}$$

Siendo cada uno de los componentes:

- h_f : Pérdidas de carga [m]
- f : Coeficiente adimensional de fricción [-]
- L : Longitud total del circuito de la instalación de distribución [m]
- d : Diámetro de las tuberías de la instalación [m]
- v : Velocidad del fluido [m/s]
- g : Gravedad, 9,8 [m/s²]

Si el número de Reynolds (que se calcula según la siguiente fórmula y cuyo elemento más importante es la velocidad) es menor de 2300, el régimen de transporte será laminar y por tanto el cálculo del coeficiente de fricción será

sencillo. Si por el contrario, el valor supera el valor de 2300, tendrán que desarrollarse una serie de iteraciones para obtener el valor correcto (pues es un fenómeno que necesita de un largo desarrollo experimental).

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

Siendo cada uno de los componentes:

- Re: Número de Reynolds, adimensional [-]
- V: Velocidad del fluido [m/s]
- ρ : Densidad del fluido, 998 [kg/m³]
- μ : Viscosidad del fluido, 0'001 [kg/m*s]
- d: Diámetro de las tuberías de la instalación 0,025[m]

En primer lugar hay que calcular la velocidad a la que se transportará el fluido:

$$Q = 1 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0,000278 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,000278}{\frac{\pi}{4} * (25 * 10^{-3})^2} = 0,56 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Re = \frac{\rho V d}{\mu} = \frac{998 * 0,56 * 0,025}{0,001} = 13972 > 2300$$

Siendo el flujo turbulento, es necesario el uso de la ecuación de Colebrook:

$$\frac{1}{f^{1/2}} = -2.0 \log \left(\frac{\varepsilon}{3.7 d} + \frac{2.51}{Re_d f^{1/2}} \right)$$

Lo importante de esta ecuación es la obtención del coeficiente de fricción f para poder incluirlo en la ecuación anterior de pérdidas de carga.

En la ecuación de Colebrook el único valor desconocido hasta ahora es ε , cuya denominación es la rugosidad de la tubería en unidades de mm, siendo su valor igual a 0,00152mm.

$$\frac{1}{f^{1/2}} = -2.0 \log \left(\frac{\frac{0.00152}{25}}{3.7} + \frac{2.51}{13972 f^{1/2}} \right)$$
$$f_1 = 0.02838$$

Se va a obtener la presión en distintos puntos intermedios de la instalación, dividiendo el circuito en dos zonas ramificadas: este y oeste, definiendo el punto 1 como punto intermedio de cálculo en el norte del poblado. En el plano pueden observarse los distintos puntos que conforman la instalación.

Las pérdidas de cargas de accesorios se corresponden a 0,9 para los codos de 90° y 1 para las T's. Dichos valores están registrados en la tabla al final del capítulo.

$$\frac{P_0 - P_1}{\rho * g} + Z_0 - Z_1 = \left(f_1 \frac{L_1}{d} + K \right) * \frac{v_1^2}{2g}$$

$$\frac{15500 - P_1}{998 * 9,81} = \left(0,02838 \frac{95}{0,025} + 4 * 0,9 + 1 \right) * \frac{0,56^2}{2 * 9,81}$$

En el punto 0, a la salida de la potabilizadora, se da una presión de 15500 Pa. Teniendo una incógnita resuelta, se procede al cálculo de la presión en el punto intermedio 1, del que se despeja un valor de 3000 Pa aproximadamente.

Se van a coger dos puntos más del sistema para determinar tanto las velocidades finales, así como los coeficientes de Darcy que darán lugar a un cálculo preciso de la altura de la bomba. El punto 2 escogido, es el depósito

situado en *Young Kings Dormitory*, que es el último punto de la ramificación ESTE del poblado.

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho * g} + Z_1 - Z_2 = \left(f_2 \frac{L_2}{d} + K \right) * \frac{v_2^2}{2g}$$

$$\frac{3120}{998 * 9,81} - 3,5 = \left(0,027 \frac{101,5}{0,025} + 16 * 0,9 + 3 * 1 \right) * \frac{v_2^2}{2 * 9,81}$$

Con el diagrama de Moody, es posible obtener una incógnita del sistema de ecuaciones, el coeficiente de fricción en concreto, según la relación entre la rugosidad de las tuberías y el diámetro de las mismas. En este caso la rugosidad es de 0.00152mm y el diámetro interno de 25mm, obteniendo un coeficiente de fricción de 0,027, y teniendo resulta una incógnita para las posteriores iteraciones.

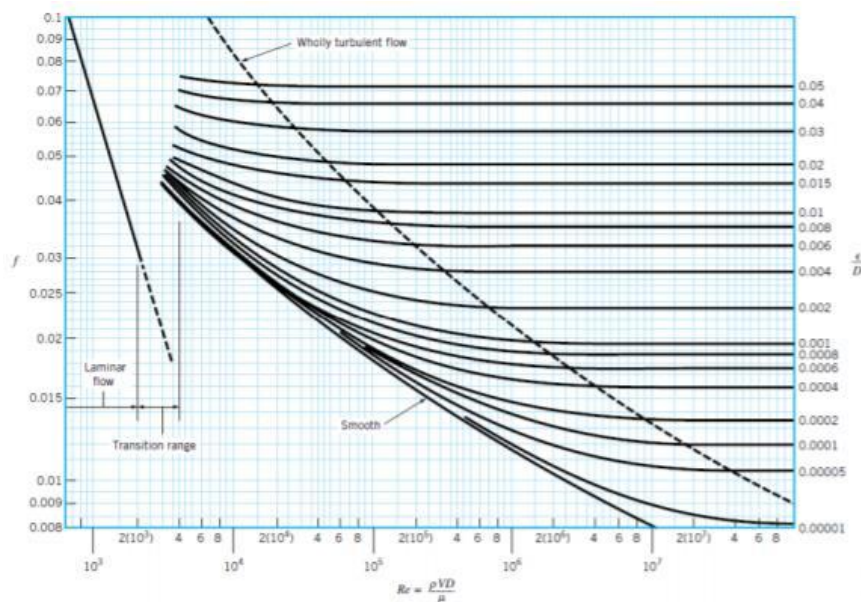


Figura 28. Diagrama de Moody. (Fuente: Mecánica de fluidos-ICAI)

Por último, el punto 3 es un punto situado en la zona norte del poblado, correspondiente al edificio *Girls Dormitory*, cuyo tanque se encuentra también a 3,5 metros de altura.

$$\frac{P_0 - P_3}{\rho * g} + Z_0 - Z_3 = \left(f_3 \frac{L_3}{d} + K \right) * \frac{v_3^2}{2g}$$

$$\frac{3120}{998 * 9,81} - 3,5 = \left(f_3 \frac{13,95}{0,025} + 4 * 0,9 + 1 \right) * \frac{v_3^2}{2 * 9,81}$$

Se tienen por tanto 2 ecuaciones y 3 incógnitas. Habrá que añadir otra ecuación de velocidades, y es que la velocidad en el punto intermedio, debe ser igual a la suma de las velocidades finales.

$$v_1 = v_2 + v_3$$

Los valores finales tras dos iteraciones son.

$$v_1 = 0,56 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 0,19 \text{ m/s}$$

$$v_3 = 0,37 \text{ m/s}$$

$$f_1 = 0,02838$$

$$f_2 = 0,0412$$

$$f_3 = 0,02957$$

Component	K_L			
a. Elbows				
Regular 90°, flanged	0.3		90° elbow	
Regular 90°, threaded	1.5			
Long radius 90°, flanged	0.2			
Long radius 90°, threaded	0.7			
Long radius 45°, flanged	0.2			
Regular 45°, threaded	0.4			
b. 180° return bends				
180° return bend, flanged	0.2		180° return bend	
180° return bend, threaded	1.5			
c. Tees				
Line flow, flanged	0.2		Tee	
Line flow, threaded	0.9			
Branch flow, flanged	1.0			
Branch flow, threaded	2.0			
d. Union, threaded				
	0.08		Union	
*e. Valves				
Globe, fully open	10		De compuerta	
Angle, fully open	2			
Gate, fully open	0.15			
Gate, 1/2 closed	0.26			
Gate, 1/4 closed	2.1			
Gate, 3/4 closed	17			
Swing check, forward flow	2	Anti-retorno	De globo	
Swing check, backward flow	∞			
Ball valve, fully open	0.05			
				De disco

Figura 29. Pérdidas en accesorios de distribución. (Fuente: Mecánica de fluidos-ICAI)

7.3. JUSTIFICACIÓN DE LA ALTURA DE LA BOMBA DE DISTRIBUCIÓN HORIZONTAL

La ecuación de Bernoulli permite el cálculo de la altura de la bomba, teniendo en cuenta las alturas, velocidades y presiones iniciales (salida de la potabilizadora), las finales (cualquiera de los depósitos de los edificios sirve como punto de referencia), así como las pérdidas h de la instalación calculada previamente.

$$H_b = \frac{v_2^2 - v_1^2}{\rho * g} + \frac{P_2 - P_1}{\rho * g} + Z_2 - Z_1 + h$$

La velocidad y presión en el punto 2 es de 0, debido a que el depósito tiene grandes dimensiones y se toma la hipótesis de no tener prácticamente energía cinética. El valor de la presión se justifica al estar en contacto con la presión atmosférica.

Se toma cota de alturas igual a cero en el punto 1, siendo la altura del punto 2 igual a 3,5 m, que es la altura de los edificios más el correspondiente tanque.

$$H_b = \frac{0,56^2 - 0,19^2}{998 * 9,81} + \frac{15500}{998 * 9,81} + 3,5 + \left(0,02838 \frac{214}{0,025} + 35 * 0,9 + 8 * 1\right) * \frac{0,56^2}{2 * 9,81} = 24,5 \text{ m}$$

7.4. CANALIZACIONES DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

Hay un elemento fundamental para realizar la distribución del agua, y son las tuberías. Como se puede observar en el plano del sistema, hay varias ramificaciones que se dirigen principalmente hacia los depósitos de los edificios, y existe otra distribución hacia el depósito existente en el huerto que recoge agua potable.

El layout está pensado para hacer líneas lo más largas posibles, evitando así la inclusión de accesorios que generen pérdidas. Principalmente, la instalación se ha pensado para que las tuberías vayan subterráneas, no imposibilitando el tránsito sobre la superficie terrestre y quedando protegidas de este modo ante situaciones adversas, proporcionando un aislamiento.

El material elegido para las tuberías será de PVC, ya que reúne las características buscadas para obtener una instalación sostenible y eficiente:

- Resistencia a la corrosión
- Capacidad hidráulica elevada
- Flexibilidad
- Buen comportamiento ante el golpe de ariete
- Eficiencia energética
- Bajo coste de instalación
- Ligereza para el montaje
- Se minimizan las pérdidas de presión

Para el circuito de distribución a los edificios, se va a incluir tubería de PVC de diámetro DN 25 (1in). La cantidad necesaria de tubería es de 400 metros lineales por circuito, es decir, 400 m para el agua potable y otros 400 m para el agua no potable.

Para el transporte del agua hacia el huerto, la tubería elegida de PVC será de un diámetro mayor, DN 40 (1'5in), ya que la bomba que impulsa el fluido es de un caudal mayor, tiene flujo directo hacia el depósito y éste es de una capacidad mayor. La cantidad necesaria de tubería es de 165 metros lineales desde la bomba hasta el depósito de almacenaje de la huerta.

Las tuberías de PVC soportan una presión máxima de 6 bares, siendo la presión máxima de nuestro circuito de 0,17 bares.

CAPÍTULO 8. PUNTOS DE CONSUMO

Dentro de cada uno de los edificios del poblado, existen una instalación hidráulica y sanitaria para hacer llegar el agua hasta los distintos puntos de consumo (como grifos, duchas, etc.). En el anexo H puede verse un ejemplo de como se distribuye el agua internamente hasta que es consumida.

Como la distribución previa a nuestro proyecto era de agua potable solamente, y el agua es un bien preciado en cualquier punto del planeta, estaba destinada solamente al consumo humano. Para obtener un mejor aprovechamiento del agua y conseguir un flujo inteligente, se han propuesto añadir ciertos puntos de consumo intermedios para labores cuya finalidad tengan la mejora de la calidad de vida de las personas residentes en el poblado.

En el anexo H se incluye un plano de la red de distribución, además de haber marcado con una X los puntos tanto de almacenaje y consumo inmediato. Al estar considerados los grifos y válvulas como accesorios que añaden metros al cálculo total de la altura de la bomba de distribución, han sido incluidos en el cálculo anterior.

CAPÍTULO 9. AMPLIACIONES Y MEJORAS DEL SISTEMA

Con la solución aportada ante el problema expuesto, se cumplirían los requisitos mínimos que garantizan un funcionamiento correcto y suministro adecuado, además de haber añadido con proactividad alguna mejora que mejore la logística y no comprometa energética o económicamente al sistema.

Cualquier diseño es objeto de mejora en cualquier punto en el que se encuentre, por lo que se van a proponer a continuación diferentes alternativas e inclusiones adicionales para conseguir que el sistema de potabilización pueda aumentar la capacidad de suministro, evolucione hacia un consumo sostenible de energía y se consiga una mayor autonomía de funcionamiento con el uso de la tecnología en términos de automatización.

9.1. CALENTADORES DE AGUA SOLARES

El clima de la isla de Lamu se mantiene constante durante todo el año, no habiendo temperaturas estacionales. Este tipo de clima puede darse en cualquier zona costera, estando las temperaturas medias mínimas y máximas en torno a los valores de 24° y 31°. No obstante, se piensa que una vez se cuente con acceso continuo al agua (tanto potable como no potable), el siguiente paso iría orientado hacia la regulación de temperatura de la misma. El poder acceder a agua caliente al instante también es una labor de necesidad cuando se refiere a situaciones especiales.

La mejor forma de implementar esta mejora es con la instalación de un calentador de agua solar de agua. Este sistema estaría integrado principalmente por los captadores de energía (captadores térmicos), así como un depósito acumulador de almacenamiento para albergar el agua caliente dentro de un

emplazamiento. Pues bien si esta mejora no estaría pensada para todos los edificios, en aquellos donde se considere más conveniente o aprovechable. Además, con la configuración propuesta de dos depósitos por edificio (agua potable/no potable), esta idea sería más fácil de imponer en aquellos edificios estratégicos donde se decida implantar.

El sistema ideal estaría entre 2 y 6 m², estando los captadores térmicos inclinados a 45° y libre de obstáculos que impidiesen a los rayos llegar los paneles para generar la electricidad. El sistema ideal para la isla, teniendo en cuenta tanto el clima como el número de personas a atender, sería de unos 4 m² de paneles térmicos.

Los días en el que la radiación solar sea lo suficientemente baja como para no poder generar energía eléctrica, la alternativa es que funcionase un calentador convencional conectado a la red eléctrica, opción que no se contempla hasta el momento por el consumo elevado que presenta.

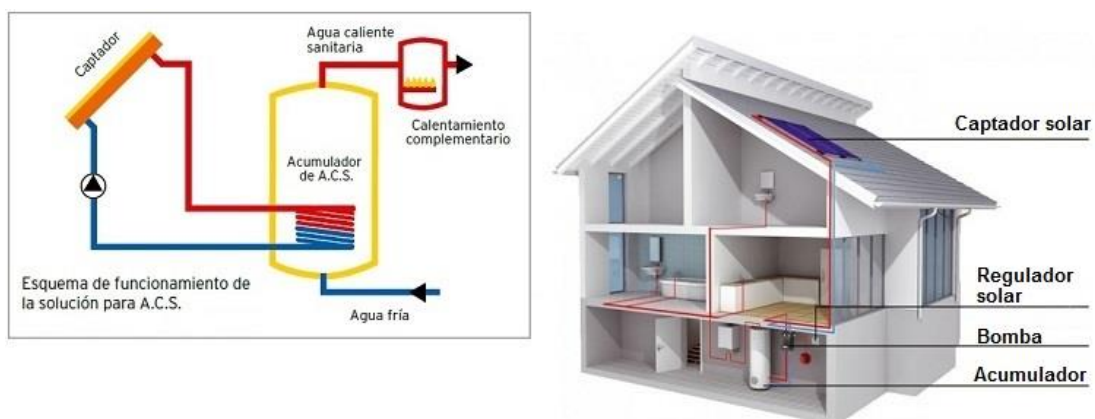


Figura 30. Calentador de agua solar. (Fuente: www.caloryfrio.com)

9.2. REGULACIÓN AUTOMÁTICA DE VÁLVULAS

En el sistema es necesaria la inclusión de algunas válvulas, como por ejemplo de BYPASS a la salida del pozo, para dirigir el agua hacia la potabilizadora o hacia los destinos de agua no potable. También podría darse la situación en la que algunos depósitos se encuentren llenos y no sea necesario el relleno de agua ese día. En esos lugares también se encuentran válvulas de compuerta de todo-nada, como puede verse en el plano de elementos de distribución.

Las válvulas que se integrarán en el sistema inicial serán de tipo manual, pues acorde con las especificaciones y presupuesto se ha considerado la mejor opción, además de la complejidad que pueda llevar en la zona tanto la puesta a punto como los posibles mantenimiento correctivo.

La bomba de aspiración de agua de pozo, tendrá un funcionamiento de 5 horas al día. En ese caso, 3,75 horas bombearán agua para un circuito, y 1,25 horas a otro circuito. Por tanto la carga de trabajo no será elevada considerando este caudal y capacidad. La bomba de distribución horizontal tendrá un funcionamiento de 5 horas también, y las válvulas que habrá que gobernar dependen de la capacidad de los depósitos.

En el momento en que se disponga de un caudal y capacidad mayor, además de un llenado variable y no tan uniforme, sería interesante la inclusión de válvulas con regulación automática, permitiendo un flujo variable, y de todo-nada mediante la programación temporal o el control remoto.

A la salida de la bomba del pozo sería conveniente la inclusión de la válvula de Bypass como la de la siguiente figura. Estas se pueden encontrar en una familia de diámetros bastante amplia, por lo que irían en línea con las tuberías de PVC de 1 y 1'5 pulgadas.



Figura 31. ElectroVálvula automática 3 vías. (Fuente: www.belgicast.eu)



Figura 32. ElectroVálvula automática todo-nada. (Fuente: www.belgicast.eu)

9.3. AUMENTO DE LA CAPACIDAD DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE

El cuello de botella del sistema se encuentra en la potabilizadora, por tanto, para atacar esta ampliación de capacidad habría que escoger una potabilizadora de un caudal mayor. Un caudal de un 100% o 150% mayor conlleva un sistema al doble de tamaño, no siendo tan importante las dimensiones como el consumo de energía eléctrica que supone.

Esta ampliación del sistema de potabilización tendría que ir en línea con el aumento del sistema de autoconsumo, principalmente en energía fotovoltaica para provocar un consumo de agua eficiente. Consecuentemente, la bomba de distribución horizontal tendría que adaptarse al nuevo caudal porque se ha dimensionado pensando en el cuello de botella.

En este punto cabe decir que la capacidad del sistema se podría aumentar con el sistema disponible, aunque no sería aconsejable ya que cualquier elemento, máquina o dispositivo tiene una vida limitada si su funcionamiento es a máximo rendimiento. Ante una demanda creciente, lo ideal sería el suministro de la empresa local de distribución cuando tenga un suministro estable, con el apoyo del sistema que se va a implementar.

9.4. SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

En la Isla de Lamu la época de precipitaciones viene dada en la época de primavera, y en menor proporción durante el verano y otoño. Se piensa que ese gran volumen de agua se podría aprovechar y almacenar mediante un filtro, además de provocar la canalización del agua sobre un terreno en el que puede provocar inundaciones ante grandes acumulaciones de agua.

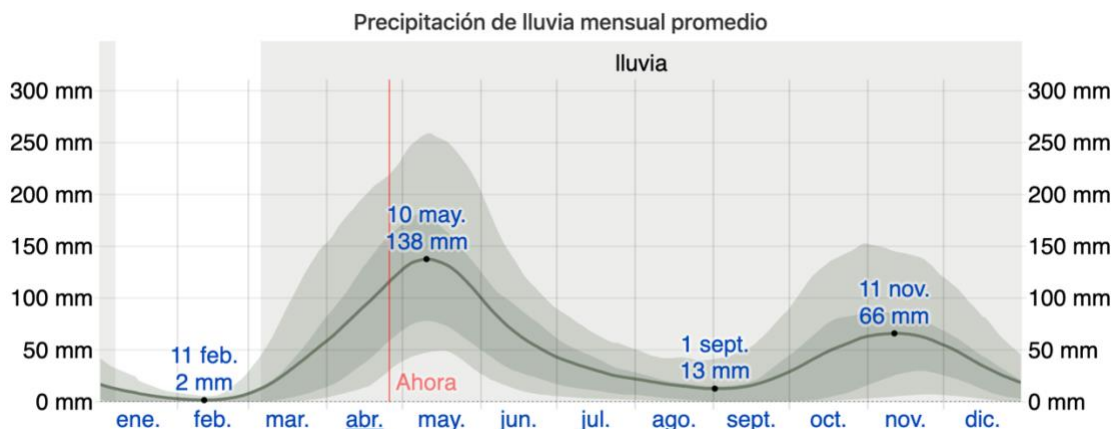


Figura 33. Precipitaciones Isla de Lamu. (Fuente: www.weather.org)

El principio del funcionamiento del sistema es muy sencillo, pues al final debe buscarse un área de captación (lo habitual es un tejado en inclinación), y unos conductos hasta un ser almacenada en un depósito, previo paso por un filtro.

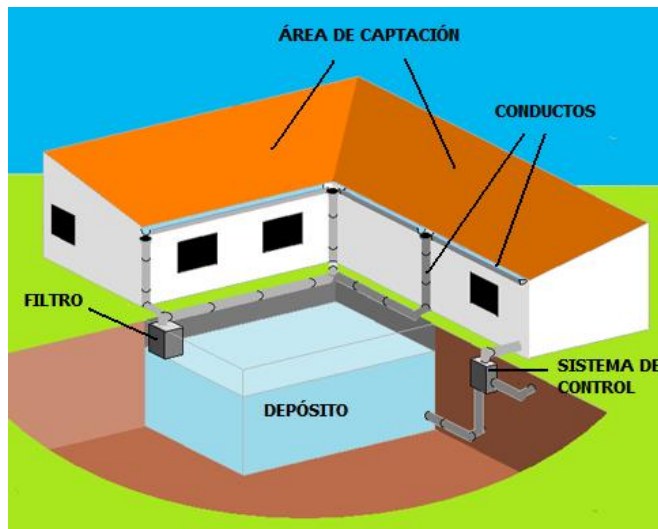


Figura 34. Sistema de captación de agua subterráneo. (Fuente: sitiosolar.com)

El segundo sistema sería más acorde para el destino de su uso, ya que requiere una inversión menor, es más accesible y rentable según las precipitaciones esperadas.



Figura 35. Precipitaciones Isla de Lamu. (Fuente: ecoinventos.com)

CAPÍTULO 10. ANÁLISIS ECONÓMICO

9.1. ANÁLISIS DE COSTES E INVERSIÓN

En el contexto económico, se van a analizar las distintas inversiones y costes asociados al funcionamiento anual suponiendo que se realizasen uno o dos circuitos.

El precio del agua de red se sitúa en torno a 75 chelines/m³, cuya conversión a euros se sitúa en un valor equivalente a 0,5925 €/m³. Suponiendo un consumo de 20m³ al día, se traduciría en 4.266,00 € al año.

OPCIÓN 1: 1 SÓLO CIRCUITO DE AGUA POTABLE (SE POTABILIZAN 15 M³/DÍA)

INVERSIÓN INICIAL 1 CIRCUITO (POTABLE)	18.748,35 €
MANO DE OBRA Y LOGÍSTICA MONTAJE INICIAL (35%)	6.561,92 €
	25.310,27 €

COSTE ENERGÍA ELÉCTRICA	0,177	€/kWh
--------------------------------	--------------	--------------



COSTES DE OPERACIÓN	DÍA	MES	AÑO
POTABILIZADORA (15 HORAS/DÍA)	7,97 €	238,95 €	2.097,23 €
BOMBA DE EXTRACCIÓN (5 HORAS/DÍA)	2,66 €	79,65 €	969,08 €
BOMBA HORIZONTAL (15 HORAS/DÍA)	7,97 €	238,95 €	2.097,23 €
	18,59 €	557,55 €	6.783,53 €

OPCIÓN 2: 2 CIRCUITOS (SE POTABILIZAN 5 M³/DÍA)

INVERSIÓN INICIAL 2 CIRCUITOS (POTABLE)	23.868,71 €
MANO DE OBRA Y LOGÍSTICA MONTAJE INICIAL (35%)	8.354,05 €
	32.222,77 €

COSTE ENERGÍA ELÉCTRICA	0,177	€/kWh
--------------------------------	--------------	--------------

COSTES DE OPERACIÓN	DÍA	MES	AÑO
POTABILIZADORA (5 HORAS/DÍA)	2,66 €	79,65 €	969,08 €
BOMBA DE EXTRACCIÓN (5 HORAS/DÍA)	1,33 €	39,83 €	484,54 €
BOMBA HORIZONTAL (5 HORAS/DÍA)	0,53 €	15,93 €	193,82 €
	4,51 €	135,41 €	1.647,43 €

9.2. ANÁLISIS VAN TIR

Se van a calcular los indicadores VAN (Valor actual neto) y TIR (Tasa interna de retorno) para analizar si realmente es importante el realizar la construcción del segundo circuito y asegurarnos de que será rentable a medio corto plazo.

Para ello se va a tener en cuenta un periodo de tiempo equivalente a 5 años, una tasa de descuento de $r=4\%$ en términos de dinero en España, siendo la de Kenia en torno al valor de $r=5,8\%$.

Lo más aconsejable para dicho cálculo es fijarse en la diferencia entre la diferencia económica entre las dos inversiones, pues se va a construir un sistema que no aporta ingresos económicos más lejos del servicio esencial que va a ofrecer y el ahorro en agua de red.

Se supone los costes de mantenimiento preventivo y correctivo como similares debido a que los elementos mecánicos y eléctricos son iguales para ambos casos.

AÑOS	FLUJO DE FONDOS
0	-6.912,49 €
1	$6.783,52 - 1.647,42 = 5136,09$ €
2	$6.783,52 - 1.647,42 = 5136,09$ €
3	$6.783,52 - 1.647,42 = 5136,09$ €

INVERSIÓN	
TIR	54%
VAN	6.877,55 €

Teniendo en cuenta que el valor del dinero, tanto en España como en Kenia, es del orden del 4-5% en el momento actual, y la Tasa Interna de Retorno es un valor bastante superior, es conveniente y rentable en el corto plazo realizar la inversión extra de un circuito adicional.

Además, el Valor Actual Neto es mayor que 0, lo que significa que la inversión generará beneficio y será rentable.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] LUSZCZEWSKI, Antoni. *Redes industriales de tubería, bombas para agua, ventiladores y compresores*. Reverté, 2004.
- [2] DÍEZ, Pedro Fernández. Bombas centrífugas y volumétricas. BOMBAS CENTRÍFUGAS Y VOLUMÉTRICAS, 2007, p. 100
- [3] RIVAS, Alejandro; SÁNCHEZ, Gorka. 4 PÉRDIDAS DE CARGA EN LOS COMPONENTES DE LAS INSTALACIONES HIDRÁULICAS. GUIONES DE LAS PRÁCTICAS DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS, 2007, p. 55.
- [4] ROMERO, Mynor. Tratamientos utilizados en potabilización de agua. Boletín Electrónico [Internet].[citado 2012 jun 16], 2008, vol. 8, p. 1-12.
- [5] LLOPIS, LL, N. Fundamentos de hidrogeología cárstica. 1970.
- [6] JOURAVLEV, Andrei. Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI. CEPAL, 2004.
- [7] ICAI UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS. Mecánica de fluidos. 2017.
- [8] ICAI UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS. Ingeniería Medioambiental. 2019.
- [9] ICAI UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS. Turbomáquinas. 2019.
- [10] BHATTACHARYA, Debapriya. Desafíos iniciales en la implementación de los ODS: tendencias regionales y experiencias de cada país. Estado global de los ODS, 2020.

[11] Enlace web: IMA WATER
<https://www.plantasdeosmosis.com/productos/5/filtros-de-agua-industriales/>

[12] Enlace web: Grundfos <https://www.grundfos.com/es>

[13] Enlace web: National Geographic (Kenya)
<https://www.nationalgeographic.es/viaje-y-aventuras/kenia-0#:~:text=Kenia%20es%20un%20pa%C3%ADs%20de,a%201.700%20metros%20de%20altitud>

[14] Enlace web: Weather <https://www.weather.org/>

[15] Enlace web: Calor y frío <https://www.caloryfrio.com/>

[16] Enlace web: Ingemecánica <https://ingemecanica.com/>

[17] Enlace web: África vive <https://www.africavive.es/>

[18] Enlace web: Naciones Unidas <https://www.un.org/es/>

[19] Enlace web: ONG Anidan <https://www.anidan.org/>

[20] Enlace web: Fundación de Ingenieros de ICAI
<https://fundacioningenierosicai.org/>



ANEXO A. PÉRDIDAS DE CARGA EN ELEMENTOS Y TUBERÍAS

Diámetro del tubo	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	500	600	700
Curva 90°	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1	1,2	1,8	2	3	5	5	6	7	8	14	16
Codo 90°	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,3	1,7	2,5	2,7	4	5,5	7	8,5	9,5	11	19	22
Cono difusor	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Válvula de pie	6	7	8	9	10	12	15	20	25	30	40	45	55	60	75	90	100
Válvula de retención	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	35	40	50	60	75	85
V. Compuerta Abierta	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1,5	2	2	2	2,5	3	3,5	4	5
V. Compuerta ³ / ₄ Abierta	2	2	2	2	2	2	4	4	6	8	8	8	10	12	14	16	20
V. Compuerta ¹ / ₂ Abierta	15	15	15	15	15	15	30	30	45	60	60	60	75	90	105	120	150

Tabla 9. Pérdidas de carga en elementos. (Fuente: ingemecánica.com)



INFORMACIÓN TÉCNICA

Tabla de pérdidas de carga (Tuberías de PVC / Polietileno)

Por rozamiento del agua en las tuberías, expresada en metros por cada 100 m de tubería recta.

Q(l/h)	Diámetro interior de la tubería en mm.											
	14	19	25	32	38	50	63	75	89	100	125	150
Metros de columna de agua por 100 m de recorrido recto												
500	8,9	2,1	0,6									
800	20,2	4,7	1,3	0,4								
1000	29,8	7	1,9	0,6								
1500		14,2	3,9	1,2	0,5							
2000		23,5	6,4	2	0,9							
2500			9,4	2,9	1,3	0,4						
3000			13	4	1,8	0,5	0,2					
3500			17	5,3	2,3	0,6	0,2					
4000			21,5	6,6	2,9	0,8	0,3	0,1				
4500				8,2	3,8	1	0,3	0,1				
5000				9,8	4,3	1,2	0,4	0,2				
5500				11,6	5,1	1,4	0,5	0,2				
6000				13,5	6	1,6	0,5	0,2				
6500				15,5	6,9	1,8	0,6	0,3				
7000				17,7	7,8	2,1	0,7	0,3				
8000				22,4	9,9	2,7	0,9	0,4	0,2			
9000					12,1	3,3	1,1	0,5	0,2			
10000					14,6	4	1,3	0,6	0,3	0,1		
12000					20,1	5,5	1,8	0,8	0,4	0,2		
15000					29,7	8,1	2,7	1,2	0,5	0,3		
18000						11,1	3,7	1,6	0,7	0,4	0,1	
20000						13,3	4,5	1,9	0,9	0,5	0,2	
25000						19,7	6,6	2,9	1,3	0,7	0,3	
30000							9	4	1,8	1	0,3	0,1
35000							11,8	5,2	2,3	1,3	0,5	0,2
40000							15	6,5	2,9	1,7	0,6	0,2
45000							18,4	8	3,6	2	0,7	0,3
50000								9,7	4,3	2,5	0,9	0,4
60000								13,3	5,9	3,4	1,2	0,5
70000									7,7	4,4	1,5	0,6
80000									10,4	5,8	1,9	0,8
90000									12,9	7,3	2,4	1
100000										8,9	2,9	1,2
125000											4,5	1,8
150000											6,3	2,6
175000											8,4	3,5
200000											10,7	4,4
250000												6,7
300000												8,3

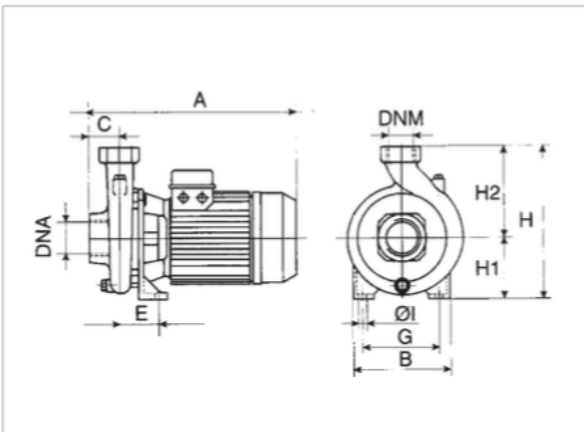
Para otras tuberías recomendamos multiplicar los valores obtenidos en la tabla por los siguientes coeficientes:
 Tuberías de fibrocemento: 1,2
 Tuberías de hierro galvanizado: 1,5

Tabla 10. Pérdidas de pérdidas de carga. (Fuente: ingemecánica.com)

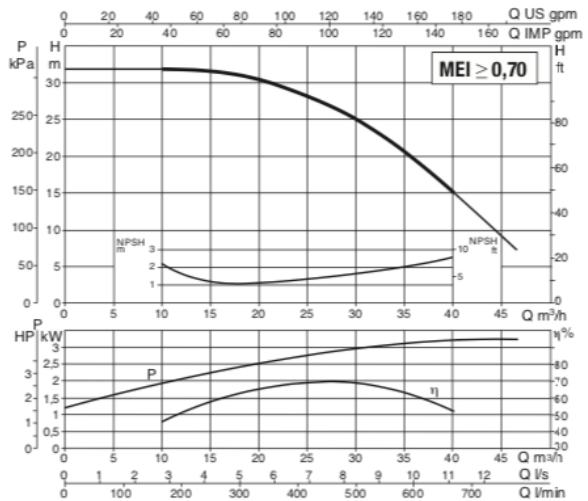
ANEXO B: BOMBA DE EXTRACCIÓN DE POZO

K 18/500 - SINGLE-IMPELLER CENTRIFUGAL ELECTRIC PUMPS FOR WATER SUPPLY IN DOMESTIC, CIVIL, AND INDUSTRIAL ENVIRONMENTS

Pumped liquid temperature range: from -10 °C to +50°C - Maximum ambient temperature: +40°C



See hydraulic efficiency details on page 291.
 The performance curves are based on kinematic viscosity values = 1 mm²/s and density equal to 1000 kg/m³. Curve tolerance according to ISO 9906.




MODEL	POWER INPUT 50 Hz	P1 MAX kW	P2 NOMINAL		In A	MOTOR TYPE	I st. A	rpm n. 1/min.
			kW	HP				
K 18/500 T	3x230-400 V -	3.8	3	4	13-7.5	IE2	67.5-39	2950

MODEL	A	B	C	E	G	ØI	H	H1	H2	DNA	DNM	PACKING DIMENSIONS			VOLUME (m ³)	WEIGHT kg
												L/A	L/B	H		
K 18/500	440	240	62	100	155	14	312	132	180	2 1/2" G	2" G	512	286	345	0.049	36.6

Figura 36. Datos técnicos bomba de extracción. (Fuente: TransAfricaWater)



ANEXO C. ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA


OFFICE OF THE PRESIDENT
MINISTRY OF INTERIOR AND CO-ORDINATION OF NATIONAL GOVERNMENT

GOVERNMENT CHEMIST'S DEPARTMENT
P.O. Box 81119-80100 GPO
MOMBASA

Telephone: 041-2242001/0707-818633
E-mail: gchemistmombasa@interior.go.ke

When replying please quote

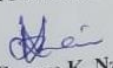
REPORT ON CHEMICAL ANALYSIS OF WATER
Report Reference: WQ.1/VOL.V11/2020/506
Sender: Abbas Salim- 0724381205
Source: Well

Lab Sample No: 250/2020
Date Received: 29/09/2020

RESULTS
Colour: 2.5 Hazen Unit
Deposit: Nil
Taste: Unobjectionable
Turbidity: 12 (5)
Odour: Odourless

TYPE OF CHEMICAL ANALYSIS	PARTS PER MILLION (mg/L)	MAXIMUM LIMIT (PPM)
Free Carbon Dioxide	Nil	-
Free Saline Ammonia Nitrogen (N)	0.014	0.5
Phosphate PO ⁻³	0.23	2.2
Fluorides	0.49	1.5
Oxygen Absorbed, Four hours 27°C(O)	0.8	1
Alkalinity as CaCO ₃ - Phenolphthalein (Carbonate)	68	-
Methyl Orange (Bicarbonate)	120	300
Carbonate hardness as calcium carbonate (CaCO ₃)	420	300
Nitrates (NO ₃ ⁻)	0.05	0.3
Chloride (Cl ⁻)	195.15	250
Sodium (Na)	156.12	200
Potassium (K)	35	100
Calcium (Ca)	200	150
Magnesium (Mg)	28	100
Total Dissolved solids, Residue dries at 180°C	426	1000
Electrical Conductivity at 25°C (Micro ohms/cm ³)	663	1500
pH	10.12	6.5-8.5

REMARKS
Based on the above test results, the water sample does not comply with KS 12:2014 specifications for potable water.


George K. Nzai
GOVERNMENT ANALYST

Date: 2nd October, 2020
Note: This report applies ONLY to the sample submitted to our laboratory

Figura 37. Análisis químico agua de pozo. (Fuente: Anidan)



ANEXO D. PLANTA DE ÓSMOSIS INVERSA

2 DESCRIPCION MÓDULO RO

El sistema trabaja en base a los datos que se detallan:

Tipo de sistema	1 ETAPA CON RECIRCULACIÓN (1 paso)
Capacidad de diseño	24 m3/día
Bomba de alimentación	POZO (NO INCLUIDA)
Bomba alta presión	1
Recobro de diseño	HASTA 75 %
Presión máxima de trabajo	300 psi
Calidad tubería alta presión (1ªet+2ªet)	PPR
Calidad tubería baja presión	PVC-PN-10
Número de membranas	4
Tipo de membranas	Poliamida Bajo ensuciamiento
Diámetro de las membranas	4 "
Número de vasijas de presión	4
Tipo de tubo	Fibra de vidrio reforzado 450 PSI
Filtro multimedia ,hierro y carbón activado	Si, 1 ud. (410mm)
Filtro de cartucho	Si, 1x 1 ud.
Chasis	Acero Anticorrosión
Cuadro de mando	Automático

3 PARÁMETROS DE DISEÑO:

Los cálculos del módulo de OI se han realizado para que éste trabaje en dos etapas, asegurando así un mayor rendimiento. El sistema trabaja en base a los datos que se detallan:

Flujo de producto	24 m3/día
Flujo de concentrado	4-6 m3 día
Composición del agua	Véase análisis.
Presión de trabajo	hasta 21 kg/cm ²
Temperatura de diseño	20 °C
Calidad de recobro sin mezcla	Menos 40-150 PPM de STD estimados

4 CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS

4.1 FILTRACIÓN

1 Ud. Filtro declorador

Se instalarán 1 filtro en el rack o junto a él, lo que sea más interesante desde el punto de vista de la distribución de equipos, que estará compuesto por carbon activado para agua potable. Mediante estos filtros son retenidas las partículas en suspensión del agua aportada, ya sean orgánicas o minerales junto con el cloro que pueda dañar las membranas.

El diámetro del filtro es de 410 mm, el material constructivo es PRFV o fibra.

El lavado se efectuara por agua contra corriente procedente directamente de la alimentación desde el pozo, con un juego de válvulas automáticas. Para ello el pozo nos deberá asegurar un caudal mínimo instantáneo puntual de $1.3 \text{ m}^3/\text{h}$.



4.2 MICROFILTRACION: CARTUCHOS

El filtro de cartuchos tiene como objetivo retener aquellas partículas (mayores de 5 micras) que hayan podido pasar la filtración de sílex, actuando como medio de seguridad para el módulo de Osmosis Inversa y la bomba de alta presión.

El filtro está fabricado en materiales resistentes al agua a tratar, y la estructura de los cartuchos filtrantes de polipropileno expandido. Sirve a su vez como mezclador de los productos químicos que se le adicionan al agua bruta, consiguiendo una mezcla más homogénea.

Nº de filtros	1
Material carcasa	PVC+Inox 316
Material del cartucho	Polipropileno
Cartucho	Desechable
Diámetro del poro	5 micras
Nº cartuchos	1

4.3 SISTEMA DE ADICIÓN DE ADITIVOS QUÍMICOS (HIPOCLORITO Y ANTICRUSTANTE)

Se incorporará un sistema de dosificación de aditivos químicos diseñado para controlar automáticamente el pre-tratamiento del agua de alimentación de la planta. Control de adición de anticrustante e hipoclorito, mediante bombas dosificadora con su correspondiente tanque dosificador.

Marca	Emec o similar
Nº de bombas	1 x Rack
Tipo	Desplazamiento positivo.
Material de construcción	Sellos y diafragma de vitón, Cabezal de PVC
Motor	220 V./50 Hz.
Nº de tanques	1 X Rack
Capacidad	120 litros.
Material tanques	Polietileno.
Accesorios	Válvulas check y antisifón y tubería.

4.4 BOMBA DE ALTA PRESIÓN

La bomba de alta presión está diseñada para suministrar al sistema la cantidad suficiente de agua y a la presión adecuada para que éste opere bajo las condiciones de diseño antes mencionadas. No obstante se ha seleccionado una bomba mayor de lo necesario, en previsión de variaciones en el agua a tratar.

Marca	Grundfos, P&D o similar
Nº de bombas	1x rack
Tipo	Centrifuga Multietapas
Flujo de alimentación máximo	1.5 m ³ /h
Presión de descarga máxima	15,0 kg/cm ²
Revoluciones	2900 r.p.m.
Materiales de construcción	Acero inox 316



4.5 MEMBRANAS

La función de las membranas es desalar el agua de aporte, en este caso de los 25 m³/día que alimenta el pozo, a su paso por las membranas el caudal se divide en dos: un 70% se obtendrá caudal de producto y el restante será la salmuera o concentrado, además y

con el objetivo de llegar a mejores rendimientos y recobros para limitar la cantidad de salmuera,.

Las membranas utilizadas en este sistema de ósmosis inversa son de poliamida aromática enrolladas en espiral. Han sido seleccionadas en función de parámetros químicos e hidráulicos para obtener una calidad de agua y rendimiento de operación óptimos.

Se ha seleccionado una membrana de alto rechazo, y fouling resistand, con ello se busca simplicidad, economía de uso y sobre todo, la máxima fiabilidad.

Se ha seleccionado una membrana de bajo ensuciamiento, evitando en lo posible los lavados químicos, aun así se instalará un dispositivo de limpieza consistente en una bomba de recirculación y un sistema de depósito a modo de circuito cerrado.

Marca:	LG
Número de membranas	4
Tipo de membranas	DOW FILMTECK o LG
Diámetro de las membranas	4 "



**PLANTA DESALADORAS A MEDIDA IMEDAGUA CON PRETRATAMIENTO DE
FILTRACION MULTITETAPA**

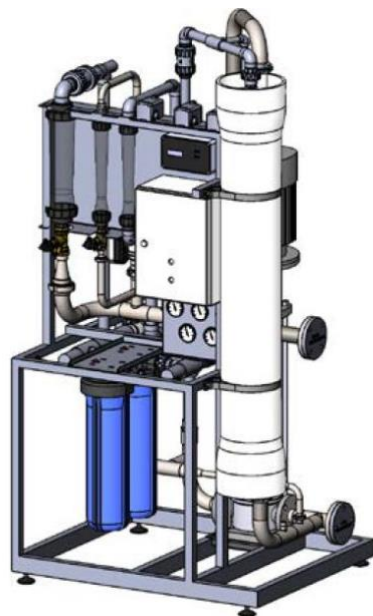
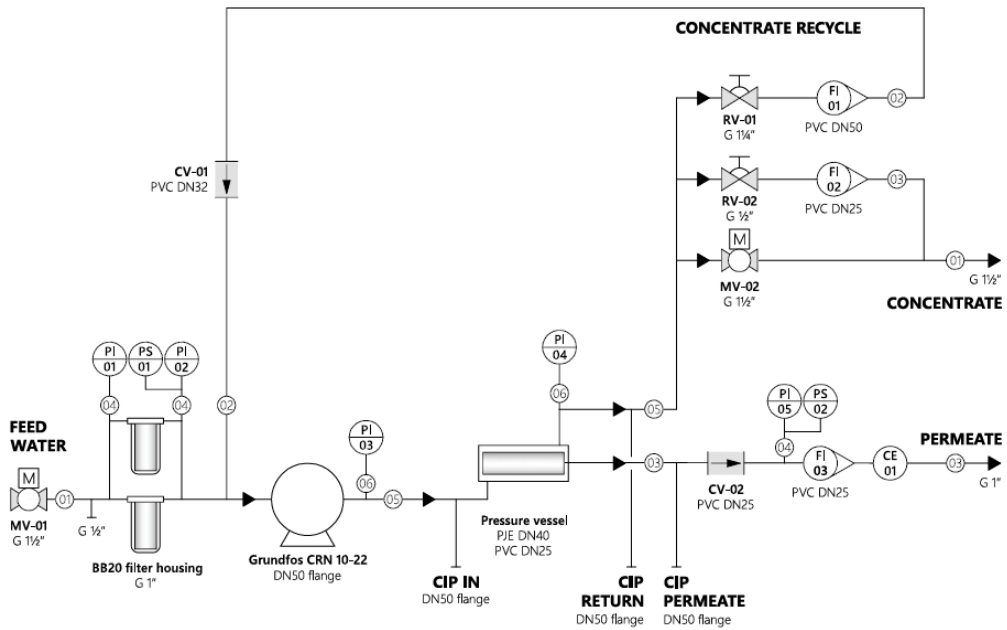




DIAGRAMA DE FLUJO PLANTA DE DESALADORA A MEDIDA





4.6 DATOS DE CONSUMO:

Datos de consumo suministro eléctrico

Voltaje	380 V
Frecuencia	50 Hz. trifásico
Rendimiento OI	2-3 kwh/m3

Coste explotación estimado

Coste energético total (0,12 €/kw)	0,15 €/m3
Coste productos químicos	0,02 €/m3
Costes mantenimiento variable	0,01 €/m3
Coste producción agua	0,16 €/m3

4.7 REGISTRO DE DATOS E INSTRUMENTACION:

Un PLC programable controlar las distintas válvulas y actuadores de la planta, bombas dosificadoras, bombas de alimentación y el variador de frecuencia de la bomba de alta presión. El autómata registrara las averías debidas a sondas de nivel o presión anejas a la planta, constando de un máximo de 2 entradas analógicas.

Se suministrará un sistema completo de medición de la conductividad y ciertas características de la planta cuya lectura aparecerá en la pantalla táctil del cuadro.



5 TERMINOS Y CONDICIONES COMERCIALES

5.1 OFERTA ECONOMICA.

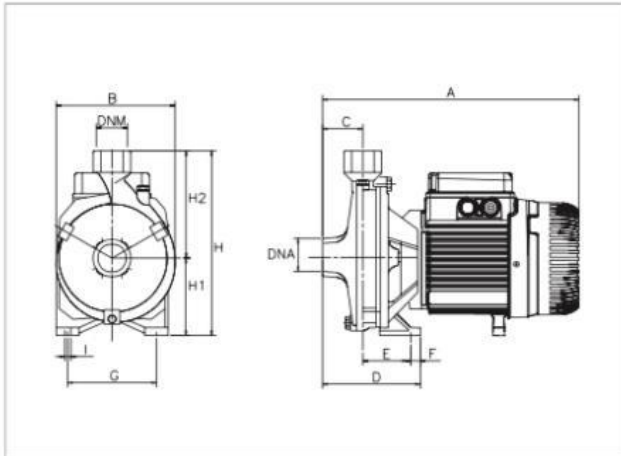
PLANTA DE TRATAMIENTO OSMOSIS INDUSTRIAL Q_{max}=1 m³/h (Q_{dia}=24m³/dia)		UNIDADES
Equipos	1 Ud. Filtro industrial eliminacion de turbidez y solidos manual • Q trabajo =24 m ³ /dia • Diametro 410mm/Altura 1900 mm • Medio filtrante multimedia	1
Equipos	Bomba de alta presion osmosis en acero inoxidable	1
Equipos	Microfiltracion multicartucho a 5 micras	1
Equipos	1 Ud. Sistema dosificacion anticrustante • Deposito quimico 100 l • 1 Ud. bomba dosificador automatica	1
Equipos	Planta de osmosis industrial IMEDAGUA • Q trabajo max=24 m ³ /dia • Planta completamente montada y lista para funcionar • N° membranas 4 Ud. 40x40 Dow o similar	1
Trabajo	Materiales de montaje y conexionado eléctrico e hidraulico de la planta en nuestras instalaciones a pie de instalacion	1
Presupuesto planta tratamiento de osmosis con equipos adicionales		13.987 €



ANEXO E: BOMBA DE DISTRIBUCIÓN HORIZONTAL

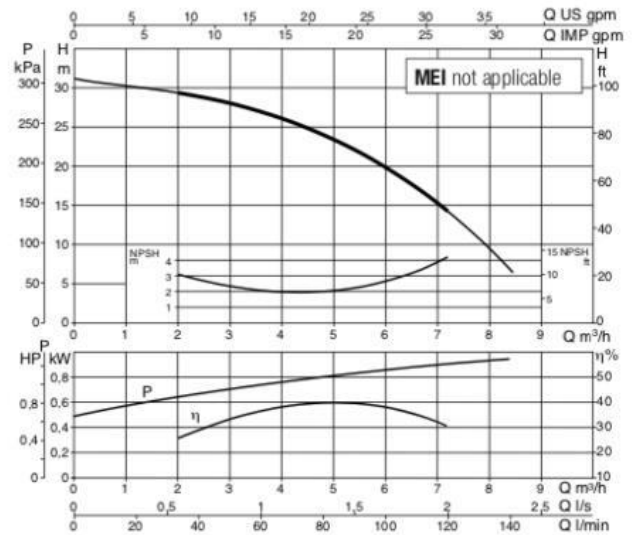
K 30/70 - SINGLE-IMPELLER CENTRIFUGAL ELECTRIC PUMPS FOR WATER SUPPLY IN DOMESTIC, CIVIL, AND INDUSTRIAL ENVIRONMENTS

Pumped liquid temperature range: from -10 °C to +50°C - Maximum ambient temperature: +40°C



See hydraulic efficiency details on page 291.

The performance curves are based on kinematic viscosity values = 1 mm²/s and density equal to 1000 kg/m³. Curve tolerance according to ISO 9906.



MODEL	POWER INPUT 50 Hz	P1 MAX kW	P2 NOMINAL		In A	MOTOR TYPE	I st. A	rpm n. 1/min.	CAPACITOR	
			kW	HP					μF	Vc
K 30/70 M	1x220-240 V -	1.3	0.75	1	6	-	15.8	2800	20	450
K 30/70 T	3x230-400 V -	1.2	0.75	1	4.3-2.5	IE2	22.1-12.8	2820	-	-

MODEL	A	B	C	D	E	F	G	ØI	H	H1	H2	DNA	DNM	PACKING DIMENSIONS			VOLUME (m ³)	WEIGHT kg
														L/A	L/B	H		
K 30/70	330	185	50	108	58	15	140	9	235	100	135	1" G	1" G	386	226	272	0.024	13.9

Figura 38. Datos técnicos bomba de distribución horizontal. (Fuente: TransAfricaWater)

ANEXO F: PRESUPUESTO

Etapa	Descripción de elemento	Cantidad	Unidades	Precio un.	
Extracción	Bomba centrífuga horizontal K18/500	1	-	662,00	
	Válvula de pie DN40	1	-	45,00	
	Cono de 90° DN 40	10	-	3,25	
	Tubería de aspiración DN 40	7	m	1,1	
	Cono difusor entrada bomba DN 40	1	-	18,00	
	Cono difusor a la salida de la bomba DN 40	1	-	18,00	
	Válvula de retención DN 40	1	-	13,39	
	Válvula de compuerta o no retorno DN 40	1	-	36,39	
	Depósito de almacenaje intermedio V=10m ³	1	-	2.750,00	
	Válvula de BY-PASS circuito potable/no potable	1	-	54,84	
	Válvula de conexión de diámetros DN 40/25	1	-	9,73	
	Potabilización	Planta de Ósmosis inversa Q=1m ³ /h	1	-	13.987,00
	Distribución	Bomba de distribución horizontal K30/70	1	-	237,00
Cono de 90° DN 25		50	-	3,11	
Cono de 90° DN 40		8	m	3,25	
Accesorios en forma de T DN 25		20	-	1,21	
Válvulas de no retorno DN 25		20	-	7,89	
Tubería de PVC diámetro DN 40		160	m	1,1	
Tubería de PVC diámetro DN 25		1050	m	0,90	
Almacenaje	Depósitos de Volumen 1,5m ³	7	-	499,00	
Consumo	Grifos para consumo en puntos intermedios	4	-	7,39	
Mano de Obra	Montaje inicial y logística	-	-	8.354,05	
				32.222,77€	

1 CIRCUITO ÚNICAMENTE (POTABLE)

Etapas	Descripción de elemento	Cantidad	Unidades	Precio un.	
Extracción	Bomba centrífuga horizontal K18/500	1	-	662,00	
	Válvula de pie DN40	1	-	45,00	
	Cono de 90° DN 40	10	-	3,25	
	Tubería de aspiración DN 40	7	m	1,1	
	Cono difusor entrada bomba DN 40	1	-	18,00	
	Cono difusor a la salida de la bomba DN 40	1	-	18,00	
	Válvula de retención DN 40	1	-	13,39	
	Válvula de compuerta o no retorno DN 40	1	-	36,39	
	Depósito de almacenaje intermedio V=10m ³	1	-	2.750,00	
	Válvula de BY-PASS circuito potable/no potable	1	-	54,84	
	Válvula de conexión de diámetros DN 40/25	1	-	9,73	
	Potabilización	Planta de Ósmosis inversa Q=1m ³ /h	1	-	13.987,00
	Distribución	Bomba de distribución horizontal K30/70	1	-	237,00
Cono de 90° DN 25		30	-	3,11	
Cono de 90° DN 40		8	m	3,25	
Accesorios en forma de T DN 25		10	-	1,21	
Válvulas de no retorno DN 25		10	-	7,89	
Tubería de PVC diámetro DN 40		160	m	1,1	
Tubería de PVC diámetro DN 25		545	m	0,90	
Mano de Obra	Montaje inicial y logística	-	-	6.561,92	
				25.310,27€	



ANEXO G: PLANO RED DE DISTRIBUCIÓN



ANEXO H: PLANO DE CONSUMO EN EDIFICIOS DE LABORATORIO Y BAÑOS PÚBLICOS



