COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA
ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

DISEÑO DE MODELOS TIPO DE SISTEMAS DE SUMINISTRO DE AGUA A CENTROS DE SERVICIOS (COLEGIOS, HOSPITALES, ETC.) O POBLACIONES (100 – 300 FAMILIAS)

Autor: Ainhoa Núñez Espejo

Director: Alberto Mascareñas Brito

Madrid

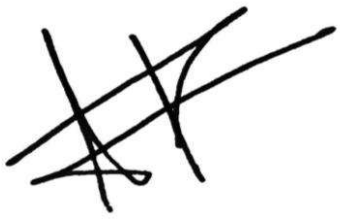
Mayo 2023

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

DISEÑO DE MODELOS TIPO DE **SISTEMAS DE SUMINISTRO DE AGUA** A CENTROS DE SERVICIOS (COLEGIOS, HOSPITALES, ETC.) O POBLACIONES (100 – 300 FAMILIAS)

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2022/2023 es de mi autoría, original e inédito y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

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



Fdo.: Ainhoa Núñez Espejo Fecha: 14/06/2023

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Alberto Mascareñas Brito Fecha: 14/ 06/ 2023

COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA
ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

DISEÑO DE MODELOS TIPO DE SISTEMAS DE SUMINISTRO DE AGUA A CENTROS DE SERVICIOS (COLEGIOS, HOSPITALES, ETC.) O POBLACIONES (100 – 300 FAMILIAS)

Autor: Ainhoa Núñez Espejo

Director: Alberto Mascareñas Brito

Madrid

Mayo 2023

AGRADECIMIENTOS

Quiero dar gracias a Manos Unidas, la Fundación Ingenieros ICAI y mis directores, por darme la gran oportunidad de trabajar juntos en nuestro compromiso con el desarrollo sostenible. Gracias a ellos he podido cumplir uno de mis sueños desde pequeña de ser ingeniera para hacer proyectos con impacto social de cara a cubrir las necesidades vitales de todas las personas.

Así mismo quería dar gracias a mi familia por apoyarme en este camino y ayudarme siempre. Sobre todo, a mis padres por enseñarme tanto y despertar en mí el interés de seguir este tipo de proyectos sociales.

DISEÑO DE MODELOS TIPO DE SISTEMAS DE SUMINISTRO DE AGUA A CENTROS DE SERVICIOS (COLEGIOS, HOSPITALES, ETC.) O POBLACIONES (100 – 300 FAMILIAS)

Autor: Núñez Espejo, Ainhoa.
Director: Mascareñas Brito, Alberto.
Entidad Colaboradora: Manos Unidas (MMUU) y Asociación Nacional de Ingenieros de ICAI

RESUMEN

El trabajo se enfoca en establecer las bases para sistemas de abastecimiento de agua limpia y potable, siguiendo los objetivos de desarrollo sostenible de la ONU. El suministro está destinado a zonas rurales o remotas con poca accesibilidad y escasos recursos, principalmente en países subdesarrollados o en vías de desarrollo. Estos proyectos están dirigidos a colaborar con organizaciones como Manos Unidas, pero también pueden ser de utilidad para otras ONG con necesidades similares.

Se destaca la importancia de la estandarización de los sistemas, lo cual permite adaptarlos a diferentes escenarios y tamaños de población. En él no solo se proponen distintas soluciones mediante módulos, también se ofrecen alternativas para los componentes, lo que facilita la adaptación y ajuste de los modelos a situaciones y escenarios específicos. Se analizan los distintos escenarios y se diseñan sistemas sostenibles y viables, descartando opciones inviables por motivos técnicos, económicos o ambientales.

Palabras clave: abastecimiento, sistemas de suministro, agua potable, desarrollo sostenible, estandarización, carácter modular, módulos, alternativas, zonas rurales, zonas remotas.

1. Introducción

El agua es un recurso vital que además de garantizar la vida en el planeta juega un papel fundamental en numerosos aspectos cotidianos y en el funcionamiento de los ecosistemas. El acceso adecuado a fuentes de agua potable, que garantice su pureza y seguridad, es un derecho esencial y fundamental de todos los individuos, y abarca no solo su consumo, sino también actividades indispensables como la preparación de alimentos, la agricultura, la higiene o el cuidado personal y el cuidado de la salud. Además, es importante destacar que los sistemas que proveen acceso a agua limpia y segura desempeñan un papel crucial en el desarrollo social y económico de las comunidades locales, ya que su disponibilidad incide significativamente en el progreso de diversos sectores.

Según el informe Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2020: Five years into the SDGs (1 de julio de 2021) de la OMS (Organización Mundial de la Salud) y UNICEF (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia), una cuarta parte de la población mundial, es decir, alrededor de 2 mil millones de personas, no tienen acceso a fuentes de agua que cumplan con los estándares de seguridad para el consumo humano. Además, estima que más de 1.4 mil millones de personas (de las cuales 765 millones son de Asia Central y Meridional) viven en áreas de alta o extremadamente alta

vulnerabilidad al agua y 771 millones de personas en todo el mundo (614 millones de África Subsahariana, 37% de su población) carecen de servicios básicos de agua potable.

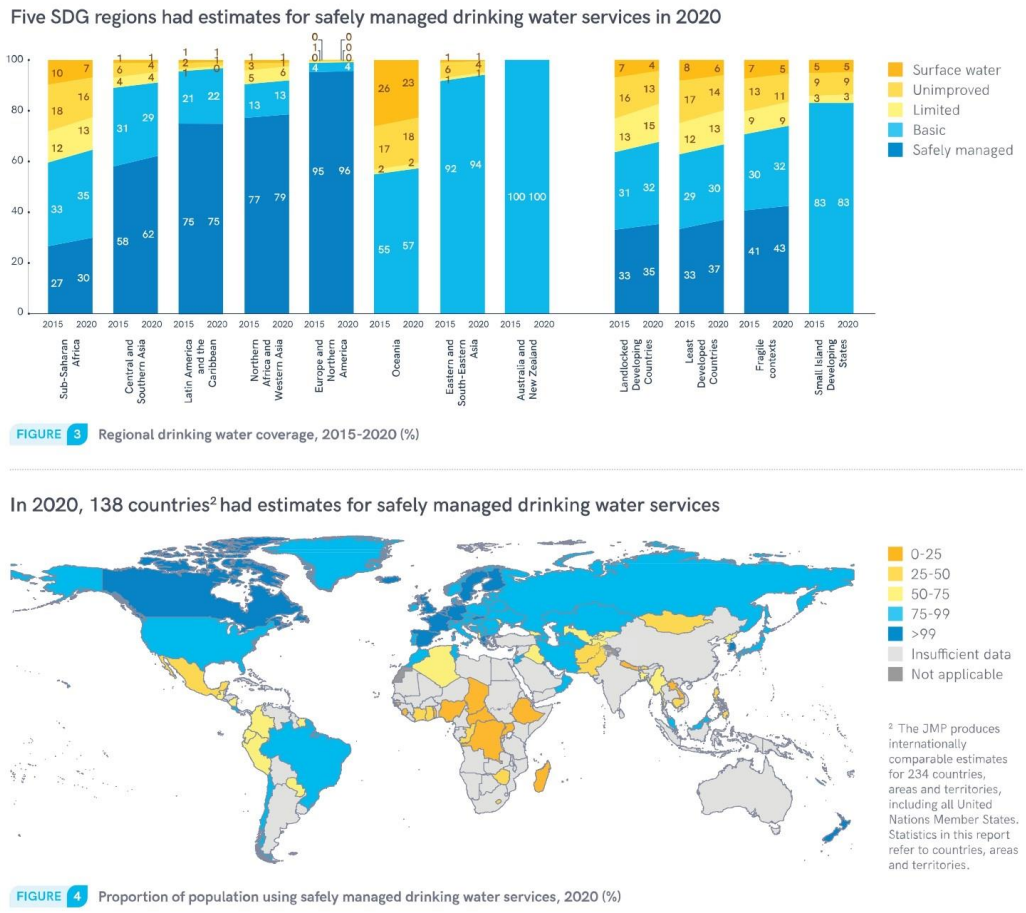


Imagen 1: Proporción de la población que utiliza servicios de agua potable gestionados de forma segura, 2020 (%)
Fuente: WHO/UNICEF JMP (2021) Progress on household drinking water, sanitation, and hygiene 2000-2020: Five years into the SDGs.

Pese a numerosos esfuerzos internacionales, como la campaña lanzada por UNICEF en 2021 para proporcionar soluciones de seguridad hídrica a 450 millones de niños y sus familias (más de 1.4 mil millones de personas) vulnerables al acceso de agua, todavía existe una falta de garantía del servicio de suministro concentrado áreas rurales y lugares remotos del mundo.

Aunque se han logrado avances, el ritmo no es el adecuado para alcanzar una cobertura universal de servicios de agua seguros como establece el sexto objetivo de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de cara al año 2030.

Esto conlleva a que tampoco se puedan alcanzar otros de los objetivos como erradicar la pobreza, el hambre y la desnutrición, las desigualdades o la falta de salud, higiene, educación, justicia, igualdad o el acceso a los recursos. Lo cual afecta principalmente a los más vulnerables como niños y ancianos, enfermos y en algunos casos mujeres.

Por poner un ejemplo relacionado al presente trabajo, la falta de agua potable en lugares remotos y despoblados hace que niños y mujeres tengan que enfrentarse a largos trayectos para obtener agua de pozos, exponiéndose a numerosos riesgos como condiciones climáticas adversas, accidentes o violencia física y sufran desigualdades como la falta de acceso a la educación o en cuestión de género.

2. Definición del Proyecto

El presente trabajo, aborda este desafío problemático en colaboración con Manos Unidas y la Fundación de Ingenieros de ICAI. Esta iniciativa conjunta consiste en presentar las principales ideas para sistemas de suministro de agua y estandarizar diferentes sistemas para ofrecer una respuesta rápida, eficiente y sostenible a lo largo del tiempo a nivel económico, técnico y medioambiental.

El método empleado para analizar las múltiples alternativas de los sistemas que existen y los proyectos ya implementados ha sido:

1. Analizando cuales de ellos mejor se adaptan a las necesidades de los más de 60 países y regiones alrededor del mundo donde trabaja Manos Unidas.
2. Justificando cuales se deben desechar al no ser viables técnica y económicamente
3. Evaluando los características, riesgos y limitaciones de estos lugares.

El fin último de Manos Unidas es el desarrollo de comunidades rurales pequeñas para fomentar su autosuficiencia y contribuir al desarrollo integral de las personas más desfavorecidas en las regiones más vulnerables. Trabajando principalmente en en cuatro sectores diferentes (agricultura, construcción e infraestructuras, energía y agua) impulsa y fomenta proyectos de educación, agricultura y ganadería, sanidad, igualdad de género y de tipo social. Pese a recibir anualmente en torno a 140 solicitudes para cubrir el aprovisionamiento de agua solo se acaban respaldando 40 aproximadamente.

En función de propuestas que recibe, los sistemas se diseñan de manera específica lo que requiere una inversión considerable de tiempo y esfuerzo por carecer de infraestructura adecuada, la falta de recursos, las dificultades para acceder a ellos. Para poder financiar y colaborar en más proyectos, llegando a más personas necesitadas, este proyecto ayuda a optimizar y acelerar el trabajo estandarizando el amplio abanico de sistemas existentes en diseños base con carácter modular que ofrecen ventajas económicas, así como garantías de confiabilidad y seguridad a largo plazo.

Al enfrentarse a obstáculos como la falta de financiación, información, la escasez de recursos, conocimientos técnicos, formación o capacidad poner en práctica el diseño, puede resultar poco relevante proponer los modelos en base a los sistemas de los países desarrollados. De cara a abordar y mejorar el acceso al agua, así como estos y muchos otros problemas que se destacan a lo largo del trabajo, se toman como referencia los proyectos más recientes llevados a cabo y revisados por la ONG que permiten obtener la información necesaria de forma más precisa y fiel a las realidades que se van a encontrar en estos lugares. Esta información junto con análisis de otras fuentes (sobre aspectos técnicos de ingeniería, legislativos o circunstanciasles de las condiciones y recursos de cada región) permite evaluar y proponer sistemas sencillos y soluciones eficaces para mejorar su tecnología y eficiencia.

3. Descripción y desarrollo del análisis

El trabajo ha consistido en analizar el mercado y los proyectos que se han llevado a cabo para buscar diseños óptimos que sean eficientes, baratos y adaptables a distintos escenarios. Se atenderá la necesidad de abastecer de agua a pequeñas poblaciones de entre

100 y 300 núcleos familiares asi como centros de servicios primarios como hospitales, colegios, centros públicos sociales, etc. Para ello, se han consultado informes técnicos, proyectos y las soluciones tomadas por entidades sociales como UNICEF, Pump Aid, Water Aid, Child Future África y otras, que tienen el objetivo común de proveer de agua limpia a poblaciones remotas de zonas rurales de manera autogestionada y sostenible.

El objetivo es **investigar**, **evaluar** y **proponer** algunas soluciones para abordar el desafío del acceso directo a agua en zonas remotas. Para ello, se muestra a continuación se prestará especial atención a que las tecnologías propuestas sean económicas y se pueda explotar a largo plazo con bajos requerimientos. (Capítulos 1 y 3)

INVESTIGACIÓN

Primeramente, en el proceso de investigación se estudian los sistemas de abastecimiento de agua que existen y aquellos que más se implementan, así como sus partes y características principales (Capítulos 2 y 5). Los sistemas de suministro de agua potable permiten llevar el agua desde las fuentes naturales hasta el punto de consumo a una presión determinada de manera continua (independiente de la época del año), cumpliendo la calidad y cantidad necesaria. Constan de:

- Fuente de abastecimiento
- Obra de captación
- Línea de conducción
- Planta potabilizadora o de tratamiento
- Almacenamiento de dos etapas (uno recoge y almacena el otro regula y distribuye)
- Línea de aducción y distribución

Además de dar unas consideraciones generales que se deben de tener presentes siempre a la hora de diseñar estos sistemas, se clasifican, explican y evalúan según los tipos más habituales. Se diferencian los sistemas convencionales como: los sistemas por gravedad y bombeo (ambos con la posibilidad o no de planta de tratamiento ETAP) y los no convencionales como la captación del agua de lluvia, los pozos protegidos con bombas manuales o los manantiales con protección de la vertiente. Se hace un análisis de las alternativas de los componentes y comparándolos según sus características, ventajas e inconvenientes.

En **segundo** lugar, se hace un estudio de viabilidad y los factores más relevantes a considerar al afrontar un nuevo proyecto de desarrollo hídrico en un poblado concreto (Capítulos 4, 5 y 7).

1. Ubicación geográfica y topografía
2. Condiciones climatológicas. Variaciones anuales.
3. Hidrología. Identificación de fuentes alternativas de agua.
4. Precipitaciones, acuíferos, niveles freáticos del agua y humedales.
5. Cálculos de los consumos y capacidades necesarias. Población y demanda.
6. Calidad del agua. Análisis fisicoquímicos y microbiológicos. Posibles enfermedades. Directrices de la OMS.
7. Fuentes de energía. Obtención y rendimientos mínimos.
8. Guías de identificación de los proyectos de Manos Unidas.
9. Planificación y estimación económica.

10. Situaciones políticas, económicas y sociales. Desarrollo tecnológico.
11. Análisis de mercado, accesibilidad y disponibilidad. Logística.
12. Explotación de recursos, aranceles, monopolios, cambios de moneda, etc. Legislación. Limitaciones de las autoridades.
13. Peligros, riesgos y limitaciones.
14. Otros otros análisis adicionales. Sostenibilidad medioambiental.

Por último, en **tercer** lugar, con todo el trabajo realizado se hace la propuesta de los casos concretos más aplicables estandarizándolos según los límites identificados y descartando según los riesgos y las soluciones que no son viables. También se proponen diseños óptimos facilitando información técnica de principios de ingeniería civil como resistencia de materiales o mecánica de fluidos, bases de datos para la obtención de información precisa a nivel local y de los catálogos de proveedores internacionales de diversos elementos del sistema.



Imagen 2: Enlace a los productos del distribuidor internacional de equipos de bombeo
Fuente: Elaboración propia

BOMBAS SUMERGIBLES PARA AGUAS SUBTERRÁNEAS											
		SQFlex	SP	SP, SP-G, SP-NE, SPE	SPE	SQ, modelo motor B & bomba B	SQE, modelo motor B & bomba B	SQ 1	SQ 2	SQ 3	SQ 5	SQ 7
Temperatura líquido	°C		-15 .. 90 °C	-15 .. 90 °C	0 .. 60 °C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C
Altura máx.	m		667	667	559	230	230	230	153	145	100	60
Caudal máx.	m³/h		283	290	290	9	9	2	3	4	8	9
p máx.	bar		60	60		15	15 bar	15 bar	15 bar	15 bar	15 bar	15 bar

BOMBAS SUMERGIBLES PARA AGUAS SUBTERRÁNEAS										
		SQE 1	SQE 2	SQE 3	SQE 5	SQE 7	SQ, modelo motor B & bomba B, America del Norte	30 SQ	SB	SBA	SQE constant pressure package (test)
Temperatura líquido	°C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C	0 .. 40 °C	0 .. 40 °C	0 .. 35 °C
Altura máx.	m	230	153	145	100	60	60	60	45	45	
Caudal máx.	m³/h	2	3	4	8	9	9	9	7	7	
p máx.	bar	15 bar	15 bar	15 bar	15 bar	15 bar	15 bar	15 bar			15 bar

Tabla 1: Tabla comparativa de bombas sumergibles del catálogo Grundfos
Fuente: Elaboración propia

4. Resultados

EVALUACIÓN

Aunque teóricamente existan infinidad de posibilidades a la hora de establecer un sistema de suministro de agua, en la realidad o de manera práctica estas no existen o no se pueden aplicar. Dentro de todos los supuestos gran cantidad de ellos son irreales o inviables por lo que se han ido descartando. En el proyecto, se justifica por qué y los mayores problemas técnicos, circunstanciales, económicos y ambientales a los que se suelen enfrentar las organizaciones en este tipo de proyectos.

Por no alargar mucho el resumen del proyecto a continuación solo se destacarán algunos de los puntos más importantes desarrollados en el proyecto de la lista mencionada anteriormente respecto a la viabilidad.

En primer lugar, en relación con aspectos sociales o políticos:

- La situación política del país (democracia, dictadura o incluso si está en guerra) puede alterar el desarrollo de un sistema al igual que su situación social (guerrillas, protestas, agresiones, robos, violaciones, traficaciones como de personas, droga o mercado negro, corrupción y/o presiones políticas). Aunque a primera vista no se vea, pueden alterar significativamente las consideraciones que hay que hacer en estos proyectos.
- En los países (o con países vecinos) en guerra o que tienen guerrillas o son vecinos a alguno en esta los precios se disparan.
- En países donde la depreciación de la moneda es muy alta, hay incluso inflación en euros.
- En muchos lugares el mercado está fuertemente controlado por el gobierno lo que puede afectar a la viabilidad del proyecto, por ejemplo, en América Latina por ejemplo hay grandes aranceles a la importación lo cual es un gran inconveniente para proyectos internacionales de este tipo que requieren el transporte de equipos o proveedores internacionales.
- La legislación puede limitar el proyecto y diseño del sistema. Por ejemplo:
  - → Las características de los pozos (separación, profundidad y seguridad)
  - → La limitación de extracción y explotación de acuíferos
  - → La legislación de construcción
  - → La limitación de uso de la red eléctrica
  - → Los límites contaminación en caso de utilizar carburantes.
  - → Las condiciones del mercado como importaciones y exportaciones
  - → Los parámetros de calidad del agua potable (físicos, biológicos y químicos)

En segundo lugar, en relación con aspectos económicos:

- La estimación coste de implementar el proyecto puede variar significativamente según el país y la localidad por la disparidad de niveles económicos e ingresos, y contraste de zonas ricas y pobres tanto entre países, como en regiones de un mismo país. (Esta disparidad económica conlleva a la brecha de oportunidades perpetuando la pobreza en generaciones futuras).
- La distancia a grandes ciudades, puertos o capitales, la infraestructura urbana y la accesibilidad al lugar pueden dar lugar a problemas logísticos o de disponibilidad de elementos, así como limitar el número de proveedores, productos y maquinaria.
- Altas fluctuaciones económicas, crisis financieras e inestabilidad económica no solo generan incertidumbre, sino que también impactan negativamente la viabilidad y continuidad de estos proyectos. Así mismo influyen en los precios, la inflación, los cambios de moneda y las políticas económicas.

- Los monopolios, la falta de mercado libre y la falta de competencia pueden limitar las opciones de los elementos del sistema y por lo general afectan mucho a estos proyectos. Por ejemplo, en muchos países, donde solo hay un proveedor (o hay pocos), las organizaciones están muy controladas y limitadas a los equipos que este facilite y precios que imponga. Es común que estos monopolios no ofrezcan un amplio catálogo de elementos actualizados con mejores propiedades sino solo alternativas anticuadas limitadas a altos precios.

En tercer lugar, en relación con aspectos ambientales:

- La exposición a condiciones de peligro alto o incluso extremo como las condiciones climatológicas adversas o los ataques de animales salvajes, tanto a los sistemas y edificios como a las propias personas a la hora de desplazarse por lugares desprotegidos y abiertos largas distancias o durante largos periodos de tiempo.

- El peligro que puede suponer el propio sistema, su deterioro o abandono tras avería puede afectar considerablemente al ecosistema del lugar, que con el tiempo puede afectar y poner en riesgo a la supervivencia del poblado o del propio suministro de agua. Por ejemplo, en aspectos relacionados con el peligro de las infraestructuras o la contaminación de las fuentes.

- Aprovechamiento de los recursos naturales y renovables. Evitando los que se agotan o contaminan

- La calidad del agua y sus fuentes y las posibles contaminaciones o proliferación de microorganismos patógenos son de alta prioridad a la hora de diseñar.

En cuarto lugar, en relación con aspectos técnicos y estructurales:

- Es muy importante proteger el propio sistema a la hora de diseñarlo sobre todo en relación con aspectos destacados anteriormente como, ataques animales, exposición a condiciones adversas, robos o posibles contaminaciones. Durante su diseño habrá que considerar protecciones o delimitaciones en recintos cerrados.

- Estas mismas circunstancias pueden impedir a la implementación de alternativas más actuales o innovadoras haciendo que solo resulte viable o sea más ventajoso tecnologías poco actualizadas o características eficientes. Por ejemplo, tener que instalar bombas manuales en lugar de eléctricas requiriendo esfuerzo y tiempo o instalar motores de combustión contaminantes en lugar de energías limpias y renovables como paneles fotovoltaicos o aerogeneradores. En muchos de los proyectos contemplados la innovación no es práctica ni rentable a largo plazo.

- Los principios físicos y estructurales son muy importantes en el diseño de los elementos del sistema. Pueden limitarlo y suponer grandes riesgos de seguridad. En el trabajo se explican:

  → Esfuerzos en los depósitos enterrados en las paredes y cubierta. Sobre todo, los esfuerzos del terreno sobre los depósitos enterrados vacíos y las presiones hidrostáticos. Por ejemplo, cuando el tanque está lleno, si está todo en superficie, el punto crítico es que todo el agua empuja a la pared y al otro lado

hay aire o cuando el tanque está vacío, al contrario, si está completamente enterrado, el empuje es de las tierras de todo el terreno hacia adentro mientras que al otro lado hay aire.

→ Las condiciones externas como temperatura, presión, sismos, etc.

→ El paso por encima de los depósitos enterrados de niños en los patios de colegios o cargas pesadas como camiones. Las condiciones de la cubierta, el uso de vigas, pilares y contrafuertes y los tabiques delimitadores de celdas.

→ La profundidad de excavación y altura máxima para garantizar el funcionamiento y seguridad.

→ La estructura de los depósitos elevados, su ubicación y su peso, así como, su elevación, transporte y movilidad.

→ Las dificultades de construcción y el difícil acceso de maquinaria al lugar o su falta de disponibilidad.

→ La falta de precisión y rigurosidad en comparación con los países desarrollados pudiendo provocar contrastes con lo diseñado y el no funcionamiento del sistema. Por ello se requiere grandes márgenes de tolerancia y coeficientes de seguridad.

- Uno de los riesgos más importantes en caso de avería (y reparación) o contaminación (y limpieza) es la pérdida de grandes volúmenes de agua (recurso esencial y escaso) y la falta de suministro continuo durante largos periodos de tiempo. El diseño por tanto está sujeto a evitar estos riesgos y limitar las pérdidas de recursos (por ejemplo, mediante los módulos, mediante la recogida de agua de lluvia, mediante el control de posibles contaminaciones o regulando los caudales y presiones en caso de que se dejen los grifos abiertos).
- Por último, los requerimientos posteriores de mantenimiento o sustituibilidad de los elementos de un sistema pueden suponer grandes desventajas, inconvenientes y limitaciones. No solo limitan la durabilidad y vida útil del sistema a largo plazo, sino que pueden evitar el desarrollo autónomo de la población y suponer constantes gastos económicos. Además, pueden requerir de personal especializado con formación que puede no encontrarse y suponer un incremento considerable de precio en el largo plazo.

PROPUESTA

La distinción de un modelo u otro se hará según el consumo y densidad poblacional en base al consumo semanal, habiendo sido sugerido así por los expertos de Manos Unidas. A priori y de manera general, solo se necesita una una semana de autonomía ya que los pozos permiten sacar agua a diario (aunque algún día pueda dar menos agua o haya menos horas de sol o potencia fotovoltaica). Para todos los modelos se ha establecido que las horas de bombeo diario serán ocho que de manera general son las horas de luz y radiación solar. En caso de que haya alguna avería en el sistema (se averíe la bomba, se dañen las tuberías, se rompa algún depósito, etc.), en una semana generalmente se puede arreglar o

solucionar temporalmente. También se ha tenido en cuenta que al aumentar el tiempo de almacenamiento también aumenta el riesgo de que el agua se contamine.

Consumo semanal [m³/semana]	50	100	200	300	500	1000	1500
5	1,75	3,5	7	10,5	17,5	**35**	**52,5**
10	3,5	7	14	21	**35**	70	**105**
15	5,25	10,5	21	**31,5**	**52,5**	**105**	157,5
20	7	14	28	42	70	140	**210**
25	8,75	17,5	**35**	**52,5**	87,5	175	262,5
30	10,5	21	42	63	**105**	**210**	315
35	12,25	24,5	**49**	73,5	122,5	245	367,5
40	14	28	56	84	140	280	420
45	15,75	31,5	63	94,5	157,5	315	472,5
50	17,5	**35**	70	**105**	175	350	**525**

Tabla 2. Consumo semanal en metros cúbicos para establecer las dimensiones de los sistemas. (Fuente: elaboración propia)

La propuesta de los cinco modelos considerados se ha hecho en base las fronteras que delimitan las diagonales principales de la tabla anterior redondeando también a valores cercanos. Queda por tanto de la siguiente manera:

- Dos modelos pequeños para menos de 500 habitantes, pueblos pequeños entre 50 y 300 personas aproximadamente. Compuestos principalmente por bombas manuales y un depósito elevado, sin tanque de almacenamiento.

  Como mucho tendrán el tanque elevado incluso, el más pequeño es sin tanque elevado, simplemente una bomba manual donde las familias lleven el agua a sus respectivas casas mediante garrafas.

  En el modelo más pequeño supondremos entre 50 y 300 personas con una dotación mínima entre 15 y 20 litros por día. Por ello, como se ha remarcado en la tabla anterior en color verde claro, el consumo semanal máximo serán 35 m^3 . El segundo tendrá un consumo semanal de 50 m^3, indicado en la tabla por las celdas recuadradas en amarillo y por tanto se ha considerado conveniente disponer un tanque elevado. Si se quiere se podrá disponer de una pequeña bomba eléctrica sumergible en el modelo 2.

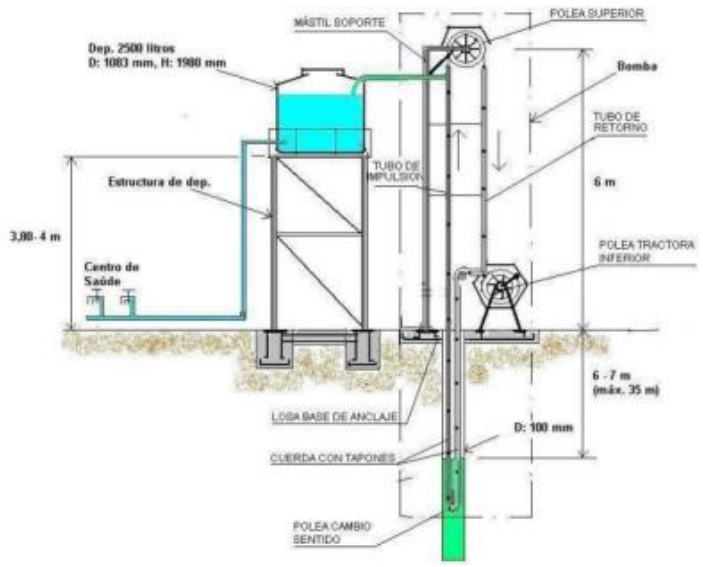


Imagen 3: Esquema de la propuesta del modelo 2 aplicado a un centro de salud en Mozambique Fuente: : Universidad Politécnica Madrid

- Modelo intermedio para los poblados que pasen de los 500 habitantes, entre 600 y 1.000, será un sistema de dos etapas (más complicados), con un tanque enterrado de almacenamiento y tanques elevados para dar presión. Aunque se contempla la posibilidad de disponer solamente de uno de ellos en algunos casos.

  Las celdas recuadradas en naranja indicando 105 m^3 separan el modelo intermedio para el que se considerara un depósito de almacenamiento de 100 m^3 para la primera etapa. Para la distribución, a éste se le añade el depósito elevado de 10 m^3 o más para cubrir los que faltarían y el exceso necesario en casos de emergencia o similar.

  En este modelo, se emplea una bomba electro sumergible, alimentada por medio de combustible (gasolina, gas o diésel) o mediante unos paneles fotovoltaicos.



Imagen 4. Esquema del sistema de depósito elevado y placa solar en Kavango, región este de Namibia (2022). (Fuente: New era live, Kavango governors thank Recon for boreholes)

  Además, se plantea a partir de este modelo la posibilidad de que el sistema incorpore la recogida de lluvia de agua con dos escenarios distintos. En los casos donde haya condiciones climatológicas buenas para aprovechar el agua de lluvia y además haya suficiente superficie de tejado o similar para su recogida, se incorporará un sistema paralelo al de bombeo, de captación de agua pluvial. Esta se realizará por medio de canalones que se situarán en los tejados de los centros (colegios y hospitales) e irán conduciendo al depósito enterrado donde se juntarán ambos sistemas. Con esto se pretende aprovechar al máximo el agua disponible durante los meses húmedos y , reducir el gasto energético del sistema de bombeo, así como cuidar la reserva de los acuíferos. El primer escenario será por lo tanto para colegios, hospitales y centros en los que el sistema se encuentre dentro de su recinto y haya grandes superficies de recogida de agua pluvial mientras que el segundo escenario se contemplará para aldeas alejadas de las fuentes de agua o los pozos o que puedan ser muy dispersas en las que haya que conducir el agua largas distancias o directamente no se disponga de superficie de tejado como para que la captación de lluvia resulte rentable.

- Dos modelos grandes tendrán un tanque voluminoso de almacenamiento (como mucho de 200 m^3 o 500 m^3 reflejado en la tabla aproximando los valores en naranja fuerte y rojo, en la esquina inferior derecha), para la recogida de agua de lluvia más el agua de pozo. Siendo esta capacidad de nuevo el agua necesaria para la semana.

Además, tendrán los tanques elevados de polietileno de 10 m^3 de capacidad (o más según se disponga en el mercado) sobre una estructura de menos de 15 metros. Teniendo así una capacidad de múltiplo de 10 para adoptar un carácter modular que sea adaptable en cada caso.

El modelo más grande se empleará de manera excepcional, en el peor de los casos por su dificultad técnica y su viabilidad en estos lugares. Casi nunca se va a requerir semanalmente un volumen así ya que podría suministrar a una ciudad entera y se sale del alcance de los proyectos de Manos Unidas.

Los colegios grandes de más de 1500 alumnos no suelen encontrarse en un lugar muy remoto, sin agua ni electricidad y generalmente estarán en zonas semiurbanas. Aunque, nos podemos encontrar casos donde un mismo centro sirva de suministro para varias aldeas y haya muchas personas que se abastecen de él transportando el agua largas distancias.

Por ello, para estos modelos se considera que la red es imprescindible y estará prácticamente siempre asegurada. Se podrán poner paneles para aprovechar los recursos y energías renovables complementando a la red (sobre todo en casos de que esta estuviera limitada). En casos muy raros y excepcionales donde no haya red eléctrica y se requieran estos modelos, se sugiere a Manos Unidas realizar un proyecto paralelo de abastecimiento energético del que se pueda aprovechar el sistema hidráulico. En estos casos esta necesidad eléctrica será evidente y, además, imprescindible para el desarrollo autónomo de lugar.

Para las propuestas, se asume que hay recurso suficiente para cubrir la demanda. Es decir, en caso de que (a) crezca la población, (b) se agote la fuente o, (c) se contamine la fuente. Pudiendo además combinar varias fuentes de agua según la disponibilidad del recurso como se detalla en el tercer modelo propuesto.

Por último, ante la posibilidad de que alguna propuesta no quede comprendida en los modelos anteriormente propuestos, el trabajo y cálculo consistirá en general en duplicar alguno de ellos o adaptarlo en cierta medida gracias al modularidad de la estandarización.

5. Conclusiones

Antes de empezar a implementar el proyecto en cualquier lugar se requiere realizar un estudio para conocer las condiciones del lugar y a continuación comprobar que para ellas es posible abastecer la demanda. Una vez conocidas las características de la región se utilizarán esos datos para el cálculo, dimensionamiento y selección del modelo.

SELECCIÓN

La herramienta de decisión elegida tomando como referencia el Algoritmo de selección de los sistemas típicos, es un diagrama de flujo o flujograma conduciendo a los modelos propuestos que ayudará a la organización a tomar las decisiones fundamentales de manera eficaz. Se dan además unos criterios adicionales para que se tomen decisiones apropiadas en caso de duda y ante posibles escenarios no contemplados. (Capítulo 7)

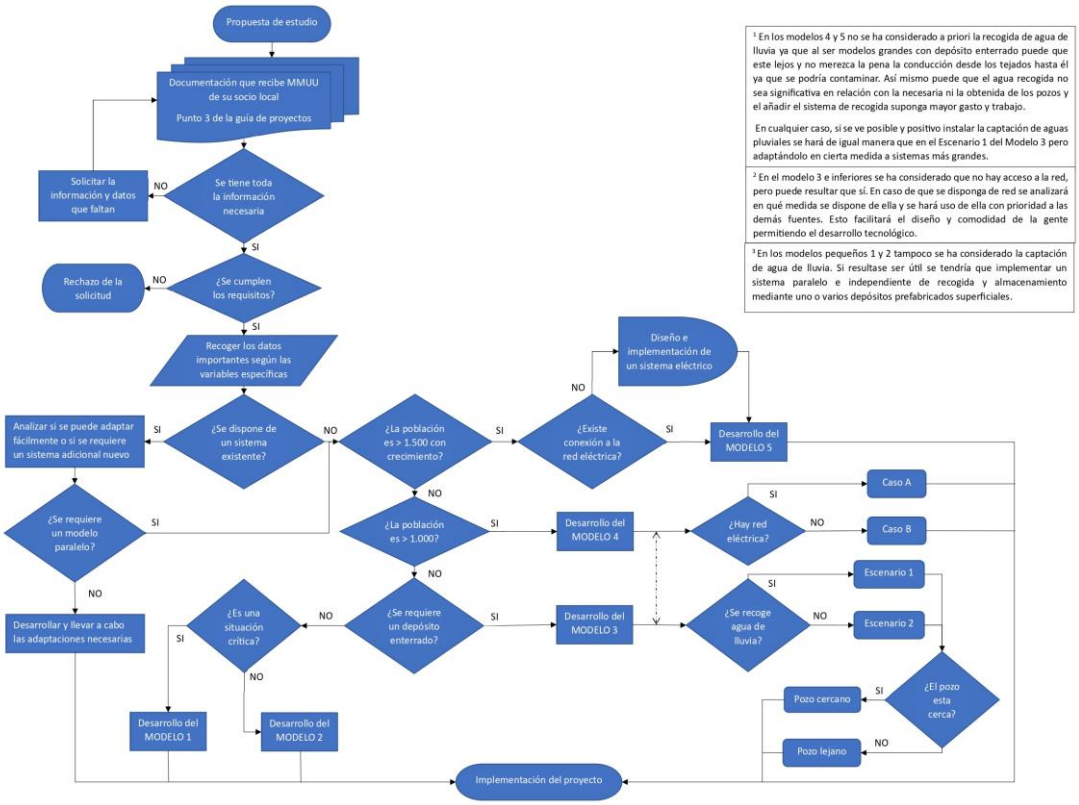


Diagrama 1. Diagrama de flujo para la selección adecuada de los modelos propuestos.
(Fuente: elaboración propia)

A modo de conclusión podemos decir que la calidad del servicio en los sistemas de abastecimiento de agua debe se tiene que ofrecer con las seis C's:

1. Calidad
2. Cantidad
3. Continuidad
4. Cobertura
5. Costes
6. Capacidad de gestión

Se ha obtenido por tanto un compendio de la amplia casuística que se puede encontrar en los sistemas de abastecimiento de agua y de ahí se han propuesto los límites y escenarios más comunes realizado una guía de cómo enfrentarse a cada situación.

TRABAJOS FUTUROS

Sería interesante realizar el mismo trabajo de estandarización y análisis de proyectos del resto de áreas de la organización destacados en la introducción con la misma base estandarizando proyectos agrarios, de edificaciones y de energía para favorecer el desarrollo autónomo.

Debido a la situación crítica en la que están las comunidades con las que trabaja Manos Unidas, en el presente trabajo a priori solo se ha considerado el abastecimiento para el consumo humano (higiene y beber). El resto de las necesidades y el consumo de los animales, que no requieren o implican menos tratamiento, se cubrirán con lagos, ríos, etc. Sin embargo, se han planteado los modelos con un margen considerable que permite que si sobra agua de destine a otros usos.

Adicionalmente, se han planteado también posibles modificaciones de los sistemas para adaptarlos al consumo de los animales y también a evitar los riesgos que pueden causar.

Algunos ejemplos son:

- La adaptación del abrevadero en la extracción del pozo o que de el directamente se conduzca a una pila para consumo animal. Las fotos siguientes muestran la imagen real del pozo de extracción representado en el plano del anexo II.



Imagen 5: Vista de registro de datos de pozo en cemento fresco y arreglo pozo, comedero, decantador, pozo negro y vista detallada de la botavara y el decantador.
Fuente: : Proyecto de Manos Unidas en Togo (Febrero 2023)

- La disposición de una pared en torno al depósito elevado para evitar que elefantes sedientos lo dañen y adición de un tanque colindante de hormigón para que puedan beber como se plantea en el proyecto de Namibia comentado en el trabajo.

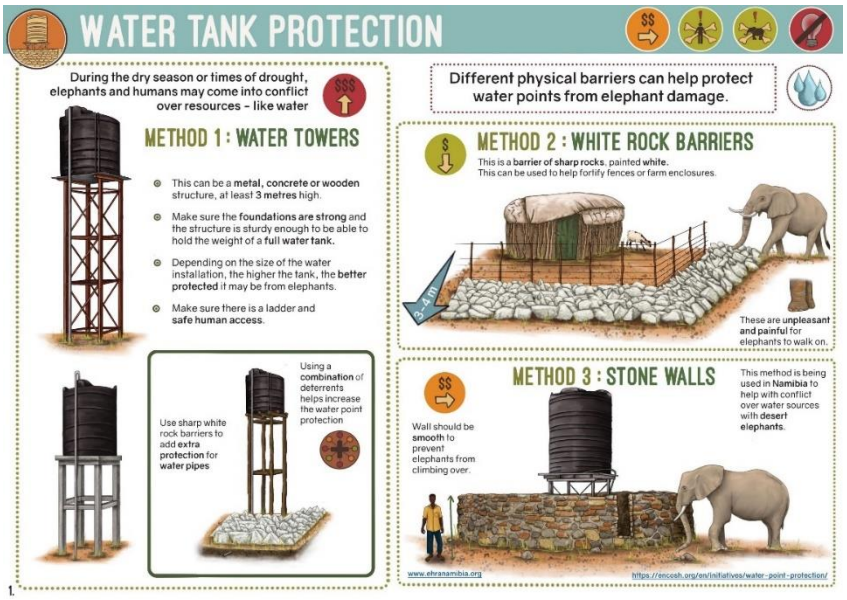


Imagen 6: Protección del tanque de agua contra elefantes salvajes
Fuente: Save the elephant. Water tank protection (7, April 2022)

Se han estudiado también sistemas de abastecimiento completos para ganadería y agricultura. A modo de análisis preliminar se han buscado las equivalencias según el consumo del tipo de ganado o el tipo de cultivo para luego poder escalar el proyecto a otros proyectos que requieran agua para otras actividades. Estas equivalencias están recogidas en tablas en el anexo II del trabajo para que Manos Unidas las pueda consultar si un proyecto lo requiere ya que ara un proyecto agrario o ganadero se pueden emplear los modelos expuestos en el proyecto cogiendo las equivalencias mostradas y adaptar la capacidad y distribución.

6. Referencias

[1] Barlow, R., McNelis, B., & Derrick, A. (1993). Solar pumping: an introduction and update on the technology, performance, costs, and economics. NASA STI/Recon Technical Report N, 93, 23444.

[2] Barrios Napurí, C., Torres Ruiz, R.,Lampoglia, T.C., &Agüero Pittman, R. (2009). SSWM. Recuperado de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/BARRIOS%20et%20al%202009%20Guia%20de%20orientacion%20alcaldes.pdf

[3] Carter, S. E., & Currie-Alder, B. (2006). Scaling-up natural resource management: insights from research in Latin America. Development in Practice, 16(02), 128-140.

[4] CNA. (2004). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Datos Básicos.

[5] Jaimes Carrillo, A. P., & Rallón Castellanos, A. (2019). Formulación de soluciones de abastecimiento para el suministro de agua potable en zona rural.

[6] Kim, J., Shah, P., Gaskell, J. C., & Prasann, A. (2020). Scaling up disruptive agricultural technologies in Africa. World Bank Publications.

[7] Objetivos y Metas de Desarrollo Sostenible - Desarrollo Sostenible (no date) United Nations. United Nations. Available at: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/

[8] Organización Panamericana de la Salud. (2020, 14 octubre). Saneamiento rural y salud, Guía para acciones a nivel local. https://iris.paho.org/handle/10665.2/52823

[9] Ríos Marcos, C. (2021). Sistema de bombeo de agua mediante energía eólica en países en vías de desarrollo. Proyecto fin de máster. Universidad Pontificia Comillas, Madrid.

[10] Vauchel, P., 2005. HYDRACCESS: Software de procesamiento de datos hidro-meteorologico. Disponible en: http://www.mpl.ird.fr/hybam/outils/logiciels.htm.

[11] Water Tank Protection. (2022, abril 7). Issuu. https://issuu.com/savetheelephants/docs/water_tank_protection_stecoexistencetoolbox

[12] World Health Organization. (2021). Progress on household drinking water, sanitation, and hygiene 2000-2020: five years into the SDGs.

[13] OMS. (2018). Guías para la calidad del agua de consumo humano.

MODEL DESIGN OF WATER SUPPLY SYSTEMS TO SERVICE CENTRES (SCHOOLS, HOSPITALS, ETC.) OR VILLAGES (100 – 300 FAMILIES)

Author: Núñez Espejo, Ainhoa.
Director: Mascareñas Brito, Alberto.
Collaborating Entity: Manos Unidas (MMUU) and National Association of Engineers of ICAI

ABSTRACT

This project focuses on establishing the foundations for clean and potable water supply systems, following the UN Sustainable Development Goals. The supply is intended for rural or remote areas with little accessibility and scarce resources, mainly in underdeveloped or developing countries. These projects are aimed at collaborating with organizations such as Manos Unidas but can also be useful to other NGOs with similar needs.

The importance of standardizing systems is highlighted, allowing them to be adapted to different scenarios and population sizes. It not only proposes different solutions through modules, but also offers alternatives for the components, which facilitates the adaptation and adjustment of the models to specific situations and scenarios. The different scenarios are analysed, and sustainable and viable systems are designed, discarding unviable options for technical, economic, or environmental reasons.

Keywords: supply, supply systems, drinking water, sustainable development, standardization, modularity, modules, alternatives, rural areas, remote areas.

1. Introduction

Water is a vital resource that, in addition to guaranteeing life on the planet, plays a fundamental role in numerous daily aspects and in the functioning of ecosystems. Adequate access to drinking water sources, which guarantees its purity and safety, is an essential and fundamental right of all individuals, and covers not only its consumption, but also indispensable activities such as food preparation, agriculture, hygiene or personal care and health care. In addition, it is important to highlight that systems that provide access to clean and safe water play a crucial role in the social and economic development of local communities, since their availability significantly affects the progress of various sectors.

According to the report Progress on household drinking water, sanitation, and hygiene 2000-2020: Five years into the SDGs (1 July 2021) by the WHO (World Health Organization) and UNICEF (United Nations Children's Fund), a quarter of the world's population, i.e., around 2 billion people, do not have access to water sources that meet safety standards for human consumption. In addition, it estimates that over 1.4 billion people (of which 765 million are from Central and South Asia) live in areas of high or

extremely high vulnerability to water and 771 million people worldwide (614 million from sub-Saharan Africa, 37% of its population) lack basic drinking water services.

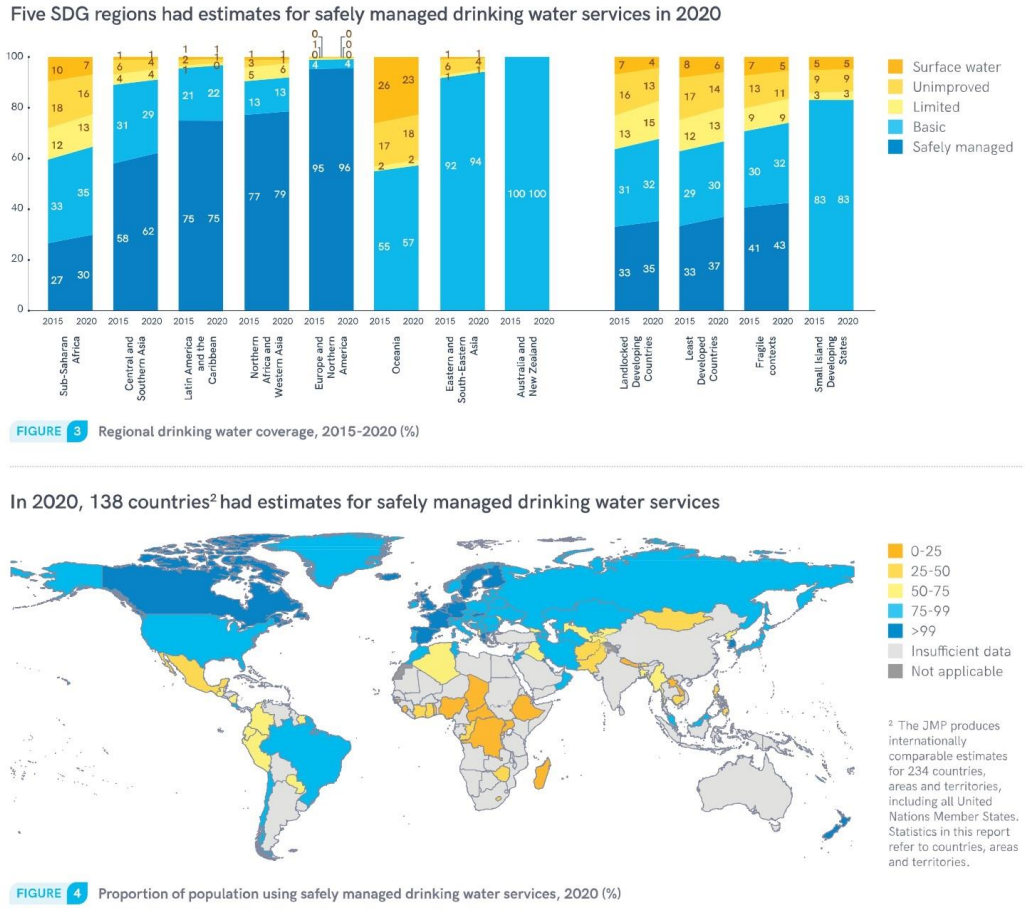


Image 1: Proportion of population using safely managed drinking water services, 2020 (%)
Source: WHO/UNICEF JMP (2021) Progress on household drinking water, sanitation, and hygiene 2000-2020: Five years into the SDGs.

Despite numerous international efforts, such as the campaign launched by UNICEF in 2021 to provide water security solutions to 450 million children and their families (more than 1.4 billion people) vulnerable to access to water, there is still a lack of guarantee of the service of concentrated supply in rural areas and remote parts of the world.

Although progress has been made, the pace is not adequate to achieve universal coverage of safe water services as set out in the sixth goal of the Sustainable Development Goals (SDGs) for 2030.

This means that other objectives such as eradicating poverty, hunger and malnutrition, inequalities or lack of health, hygiene, education, justice, equality, or access to resources cannot be achieved. This mainly affects the most vulnerable such as children and the elderly, the sick and in some cases women.

To give an example related to this work, the lack of drinking water in remote and unpopulated places means that children and women must face long journeys to obtain water from wells, exposing themselves to numerous risks such as adverse weather conditions, accidents or physical violence and suffer inequalities such as lack of access to education or gender.

2. Project Definition

This paper addresses this problematic challenge in collaboration with Manos Unidas and the ICAI Engineers Foundation. This joint initiative consists of presenting the main ideas for water supply systems and standardizing different systems to offer a rapid, efficient and sustainable response over time at an economic, technical and environmental level.

The method used to analyse the multiple alternatives of the systems that exist, and the projects already implemented has been:

1. Analysing which of them best adapt to the needs of the more than 60 countries and regions around the world where Manos Unidas works.
2. Justifying which ones should be discarded as they are not technically and economically viable.
3. Assessing the characteristics, risks, and limitations of these sites.

The goal of Manos Unidas is the development of small rural communities to promote their self-sufficiency and contribute to the integral development of the most disadvantaged people in the most vulnerable regions. Working mainly in four different sectors (agriculture, construction and infrastructure, energy, and water) it promotes and promotes projects in education, agriculture and livestock, health, gender equality and social projects. Despite receiving around 140 requests annually to cover the water supply, only approximately 40 ends up being supported.

Depending on the proposals it receives, the systems are designed in a specific way which requires a considerable investment of time and effort due to lack of adequate infrastructure, lack of resources, difficulties in accessing them. To finance and collaborate on more projects, reaching more people in need, this project helps to optimize and accelerate work by standardizing the wide range of existing systems in modular base designs that offer economic advantages, as well as guarantees of reliability and long-term security.

Faced with obstacles such as lack of funding, information, scarcity of resources, know-how, training, or capacity to implement design, it may be irrelevant to propose models based on developed country systems. To address and improve access to water, as well as these and many other problems that are highlighted throughout the work, the most recent projects carried out and reviewed by the NGO are taken as a reference that allow obtaining the necessary information in a more precise and faithful way to the realities that will be found in these places. This information, together with analyses from other sources (on technical, engineering, legislative or circumstantial aspects of the conditions and resources of each region) allows us to evaluate and propose simple systems and effective solutions to improve their technology and efficiency.

3. Description and development of the analysis

This project has consisted of analysing the market and the projects that have been carried out to find optimal designs that are efficient, cheap, and adaptable to different scenarios. The need to supply water to small populations of between 100 and 300 families will be

addressed, as well as primary service centres such as hospitals, schools, public social centres, etc. To this end, technical reports, projects, and solutions taken by social entities such as UNICEF, Pump Aid, Water Aid, Child Future Africa, and others, which have the common objective of providing clean water to remote populations in rural areas in a self-managed and sustainable manner, have been consulted.

The objective is **to investigate**, **evaluate** and **propose** some solutions to address the challenge of direct access to water in remote areas. To this end, special attention will be paid to ensuring that the proposed technologies are economical and can be exploited in the long term with low requirements. (Chapters 1 and 3)

RESEARCH

First, in the research process, the water supply systems that exist and those that are most implemented are studied, as well as their main parts and characteristics (Chapters 2 and 5). Drinking water supply systems allow water to be brought from natural sources to the point of consumption at a certain pressure continuously (regardless of the time of year), meeting the necessary quality and quantity. They consist of:

Source of supply
Catchment work
Driving line
Water treatment plant
Two-stage storage (one collects and stores, the other regulates and distributes)
Distribution line

In addition to giving some general considerations that must always be kept in mind when designing these systems, they are classified, explained, and evaluated according to the most common types. Conventional systems such as gravity and pumping systems (both with the possibility or not of an WTP water treatment plant) and non-conventional systems such as rainwater collection, wells protected with hand pumps or springs with protection of the slope are differentiated. An analysis of the alternatives of the components is made and comparing them according to their characteristics, advantages, and disadvantages.

Secondly, a feasibility study is made and the most relevant factors to consider when facing a new water development project in a specific town (Chapters 4, 5 and 7).

1. Geographical location and topography
2. Weather conditions. Annual variations.
3. Hydrology. Identification of alternative water sources.
4. Rainfall, aquifers, water tables and wetlands.
5. Calculations of the necessary consumption and capacities. Population and demand.
6. Water quality. Physicochemical and microbiological analysis. Possible diseases. WHO guidelines.
7. Energy sources. Obtaining and minimum yields.
8. Identification guides for Manos Unidas projects.
9. Economic planning and estimation.
10. Political, economic, and social situations. Technological development.

11. Market analysis, accessibility, and availability. Logistics.
12. Exploitation of resources, tariffs, monopolies, currency exchanges, etc. Legislation. Limitations of the authorities.
13. Hazards, risks, and limitations.
14. Other additional analyses. Environmental sustainability.

Finally, **in third place**, with all the work done, the proposal of the most applicable specific cases is made, standardizing them according to the identified limits and discarding them according to the risks and solutions that are not viable. Optimal designs are also proposed by providing technical information on civil engineering principles such as material strength or fluid mechanics, databases for obtaining accurate information at the local level and from the catalogues of international suppliers of various elements of the system.



Image 2: Link to the products of the international distributor of pumping equipment
Source: Author

BOMBAS SUMERGIBLES PARA AGUAS SUBTERRÁNEAS											
		SQFlex	SP	SP, SP-G, SP-NE, SPE	SPE	SQ, modelo motor B & bomba B	SQE, modelo motor B & bomba B	SQ 1	SQ 2	SQ 3	SQ 5	SQ 7
Temperatura líquido	°C		-15 .. 90 °C	-15 .. 90 °C	0 .. 60 °C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C
Altura máx.	m		667	667	559	230	230	230	153	145	100	60
Caudal máx.	m³/h		283	290	290	9	9	2	3	4	8	9
p máx.	bar		60	60		15	15 bar	15 bar	15 bar	15 bar	15 bar	15 bar

BOMBAS SUMERGIBLES PARA AGUAS SUBTERRÁNEAS										
		SQE 1	SQE 2	SQE 3	SQE 5	SQE 7	SQ, modelo motor B & bomba B, America del Norte	30 SQ	SB	SBA	SQE constant pressure package (test)
Temperatura líquido	°C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C	0 .. 40 °C	0 .. 40 °C	0 .. 35 °C
Altura máx.	m	230	153	145	100	60	60	60	45	45	
Caudal máx.	m³/h	2	3	4	8	9	9	9	7	7	
p máx.	bar	15 bar	15 bar	15 bar	15 bar	15 bar	15 bar	15 bar			15 bar

Table 1: Grundfos Catalogue Submersible Pump Comparison Table
Source: Author

4. Results

EVALUATION

Although theoretically there are infinite possibilities when establishing a water supply system, or practically these do not exist or cannot be applied. Within all the assumptions many of them are unreal or unfeasible so they have been discarded. In the project, the reason, and the major technical, circumstantial, economic, and environmental problems that organizations usually face in this type of projects are justified.

For not lengthening the summary of the project below only some of the most important points developed in the project of the list mentioned above regarding feasibility will be highlighted.

Firstly, in relation to social or political aspects:

- The political situation of the country (democracy, dictatorship or even if it is at war) can alter the development of a system as well as its social situation (guerrillas, protests, aggressions, robberies, rapes, trafficking such as human trafficking, drugs or black market, corruption and / or political pressures). Although at first glance it is not seen, they can significantly alter the considerations that must be made in these projects.
- In countries (or with neighbouring countries) at war or that have guerrillas or are neighbours to one in this the prices skyrocket.
- In countries where currency depreciation is very high, there is even inflation in euros.
- In many places the market is strongly controlled by the government which can affect the viability of the project, for example, in Latin America for example there are large import tariffs which is a great drawback for international projects of this type that require the transport of international equipment or suppliers.
- Legislation may limit the design and design of the system. For example:
  - → The characteristics of the wells (separation, depth, and safety)
  - → Limiting the extraction and exploitation of aquifers
  - → Construction legislation
  - → The limitation of use of the electricity grid
  - → Pollution limits in case of using fuels.
  - → Market conditions such as imports and exports.
  - → Drinking water quality parameters (physical, biological, and chemical)

Secondly, in relation to economic aspects:

- The estimated cost of implementing the project can vary significantly by country and locality due to the disparity of economic levels and income, and contrast of rich and poor areas both between countries and in regions of the same country. (This economic disparity leads to the opportunity gap, perpetuating poverty for generations to come.)
- The distance to large cities, ports or capitals, urban infrastructure and accessibility to the site can lead to logistical problems or availability of elements, as well as limit the number of suppliers, products, and machinery.
- High economic fluctuations, financial crises and economic instability not only generate uncertainty, but also negatively impact the viability and continuity of these projects. They also influence prices, inflation, currency changes and economic policies.

- Monopolies, lack of free market and lack of competition can limit the choices of elements of the system and usually greatly affect these projects. For example, in many countries, where there is only one supplier (or there are few), organizations are very controlled and limited to the equipment it provides and prices it imposes. It is common for these monopolies not to offer a wide catalogue of updated elements with better properties but only limited outdated alternatives at high prices.

Thirdly, in relation to environmental aspects:

- Exposure to conditions of high or even extreme danger such as adverse weather conditions or attacks by wild animals, both to systems and buildings and to people themselves when moving through unprotected and open places long distances or for long periods of time.
- The danger posed by the system itself, its deterioration or abandonment after breakdown can considerably affect the ecosystem of the place, which over time can affect and put at risk the survival of the village or the water supply itself. For example, in aspects related to the danger of infrastructures or the contamination of sources.
- Use of natural and renewable resources. Avoiding those that are depleted or polluted.
- The quality of water and its sources and possible contamination or proliferation of pathogenic microorganisms are of high priority when designing.

Fourthly, regarding technical and structural aspects:

- It is very important to protect the system itself when designing it especially in relation to aspects highlighted above such as animal attacks, exposure to adverse conditions, theft, or possible contamination. During its design, it will be necessary to consider protections or delimitations in closed areas.
- These same circumstances can prevent the implementation of more current or innovative alternatives, making it only viable or more advantageous that is not updated technologies or efficient features. For example, having to install manual pumps instead of electric ones requiring effort and time or installing polluting combustion engines instead of clean and renewable energies such as photovoltaic panels or wind turbines. In many of the projects covered, innovation is neither practical nor profitable in the long term.
- Physical and structural principles are very important in the design of system elements. They can limit it and pose great security risks. The work explains:

  → Efforts in the deposits buried in the walls and roof. Above all, the efforts of the ground on empty buried deposits and hydrostatic pressures. For example, when the tank is full, if it is all on the surface, the critical point is that all the water pushes to the wall and on the other side there is air or when the tank is empty, on the contrary, if it is completely buried, the thrust is from the lands of the whole ground inward while on the other side there is air.

→ External conditions such as temperature, pressure, earthquakes, etc.

→ Stepping over buried deposits of children in schoolyards or heavy loads such as trucks. The conditions of the roof, the use of beams, pillars and buttresses and the partitions delimiting cells.

→ The depth of excavation and maximum height to ensure operation and safety.

→ The structure of the elevated tanks, their location and weight, as well as their elevation, transport, and mobility.

→ Construction difficulties and difficult access of machinery to the site or its lack of availability.

→ The lack of precision and rigor compared to developed countries can cause contrasts with what was designed and the non-functioning of the system. This requires large tolerances and safety factors.

- One of the most important risks in case of breakdown (and repair) or contamination (and cleaning) is the loss of large volumes of water (essential and scarce resource) and the lack of continuous supply for long periods of time. The design is therefore subject to avoiding these risks and limiting resource losses (for example, through modules, by collecting rainwater, by controlling possible contamination or regulating flows and pressures in case the taps are left open).
- Finally, subsequent maintenance or substitutability requirements for elements of a system can have major disadvantages, drawbacks, and limitations. Not only do they limit the durability and useful life of the system in the long term, but they can also prevent the autonomous development of the population and involve constant economic expenses. In addition, they may require specialized personnel with training that may not be found and suppose a considerable increase in price in the long term.

PROPOSAL

The distinction of one model or another will be made according to consumption and population density based on weekly consumption, having been suggested by the experts of Manos Unidas. A priori and in general, only one week of autonomy is needed since the wells allow water to be drawn daily (although one day it may give less water or there are fewer hours of sunshine or photovoltaic power). For all models it has been established that the daily pumping hours will be eight that in general are the hours of light and solar radiation. In case there is a breakdown in the system (pump breakdown, pipes are damaged, a tank breaks, etc.), in a week it can usually be fixed or fixed temporarily. It has also been considered that increasing storage time also increases the risk of water contamination.

Consumo semanal [m³/semana]	50	100	200	300	500	1000	1500
5	1,75	3,5	7	10,5	17,5	**35**	**52,5**
10	3,5	7	14	21	**35**	70	**105**
15	5,25	10,5	21	**31,5**	**52,5**	**105**	157,5
20	7	14	28	42	70	140	**210**
25	8,75	17,5	**35**	**52,5**	87,5	175	262,5
30	10,5	21	42	63	**105**	**210**	315
35	12,25	24,5	**49**	73,5	122,5	245	367,5
40	14	28	56	84	140	280	420
45	15,75	31,5	63	94,5	157,5	315	472,5
50	17,5	**35**	70	**105**	175	350	**525**

Table 2. Weekly consumption in cubic meters to establish the dimensions of the systems.
Source: author

The proposal of the five models considered has been made based on the borders that delimit the main diagonals of the previous table also rounding to close values. It is therefore as follows:

Two small models for less than 500 inhabitants, small towns between 50 and 300 people approximately. Composed mainly of hand pumps and a raised tank, without storage tank.

At most they will have the tank elevated even, the smallest is without a raised tank, simply a manual pump where families take water to their respective homes by means of bottles.

In the smallest model we will suppose between 50 and 300 people with a minimum endowment between 15 and 20 litres per day. Therefore, as highlighted in the previous table in light green, the maximum weekly consumption will be 35 m^3. The second will have a weekly consumption of 50 m^3, indicated in the table by the cells squared in yellow and therefore it has been considered convenient to have an elevated tank. If you want, you can have a small electric submersible pump in model 2.

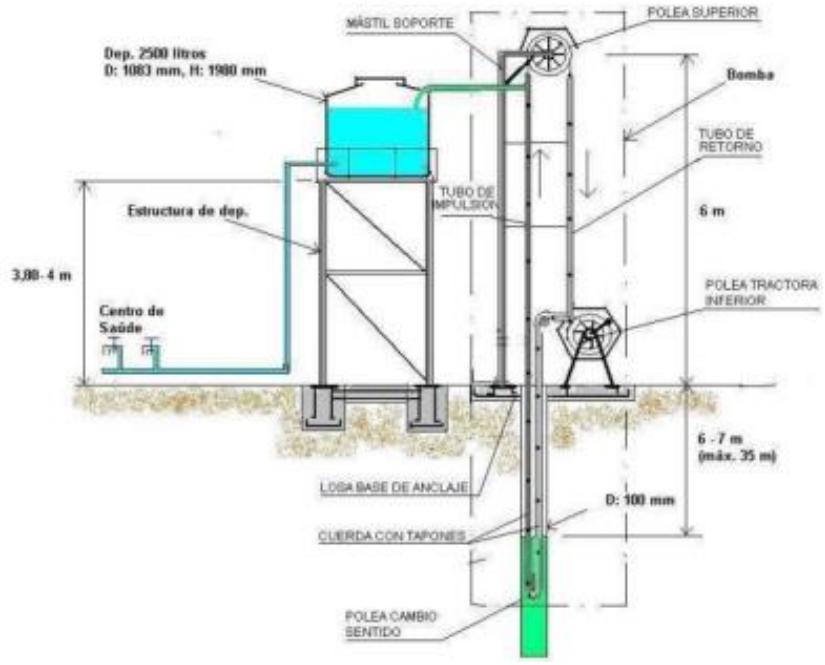


Image 3: Outline of the model 2 proposal applied to a health centre in Mozambique.
Source: Polytechnic University Madrid

Intermediate model for villages that exceed 500 inhabitants, between 600 and 1,000, will be a two-stage system (more complicated), with a buried storage tank and elevated tanks to give pressure. Although the possibility of having only one of them is contemplated in some cases.

The cells squared in orange indicating 105 m^3 separate the intermediate model for which a storage tank of 100 m^3 will be considered for the first stage. For distribution, to this is added the elevated tank of 10 m^3 or more to cover those that would be missing and the excess necessary in cases of emergency or similar.

In this model, an electro submersible pump is used, powered by fuel (gasoline, gas, or diesel) or by photovoltaic panels.



Image 4. Photograph of the elevated reservoir system and solar panel in Kavango, eastern region of Namibia (2022). Source: New era live, Kavango governors thank Recon for boreholes

In addition, from this model the possibility is raised that the system incorporates the collection of water rain with two different scenarios. In cases where there are good weather conditions to take advantage of rainwater and there is also enough roof surface or similar for its collection, a system parallel to the pumping, rainwater collection system will be incorporated. This will be done by means of gutters that will be placed on the roofs of the centres (schools and hospitals) and will lead to the buried deposit where both systems will be joined. This is intended to make the most of the water available during the wet months and reduce the energy expenditure of the pumping system, as well as take care of the aquifer reserve. The first scenario will therefore be for schools, hospitals, and centres in which the system is within its enclosure and there are large rainwater collection areas while the second scenario will be contemplated for villages far from water sources or wells or that may be very dispersed in which water has to be conducted long distances or roof surface is not available at all. so that rainfall harvesting is profitable.

Two large models will have a bulky storage tank (at most 200 m^3 or 500 m^3 reflected in the table approximating the values in strong orange and red, in the lower right corner), for the collection of rainwater plus well water. Being this capacity again the water needed for the week.

In addition, they will have elevated polyethylene tanks of 10 m^3 capacity (or more as available in the market) on a structure of less than 15 meters. Thus, having a multiple capacity of 10 to adopt a modular character that is adaptable in each case.

The largest model will be used exceptionally, in the worst case because of its technical difficulty and feasibility in these places. A weekly volume like this will almost never be required as it could supply an entire city and is beyond the scope of Manos Unidas projects.

Large schools with more than 1500 students are not usually in a very remote place, without water or electricity and will usually be in semi-urban areas. Although, we can find cases where the same centre serves as a supply for several villages and there are many people who supply themselves with it by transporting water long distances.

Therefore, for these models it is considered that the network is essential and will be practically always secured. Panels can be placed to take advantage of resources and renewable energies complementing the network (especially in cases where it is limited). In very rare and exceptional cases where there is no electricity grid and these models are required, it is suggested to Manos Unidas to carry out a parallel energy supply project from which the hydraulic system can be used. In these cases, this electrical need will be evident and, in addition, essential for the autonomous development of place.

For proposals, it is assumed that there is sufficient resource to cover the demand. That is, in case (a) the population grows, (b) the source is exhausted or, (c) the source is contaminated. It can also combine several water sources according to the availability of the resource as detailed in the third proposed model.

Finally, given the possibility that some proposal is not included in the previously proposed models, the work and calculation will generally consist of duplicating some of them or adapting it to some extent thanks to the modularity of standardization.

5. Conclusions

Before starting to implement the project anywhere, it is necessary to carry out a study to know the conditions of the place and then verify that it is possible to supply the demand for them. Once the characteristics of the region are known, these data will be used for the calculation, dimensioning and selection of the model.

SELECTION

The decision tool chosen taking as reference the Algorithm of selection of the typical systems, is a flow chart or flowchart leading to the proposed models that will help the organization to make the fundamental decisions effectively. Additional criteria are also given so that appropriate decisions are taken in case of doubt and in the face of possible scenarios not contemplated. (Chapter 7)

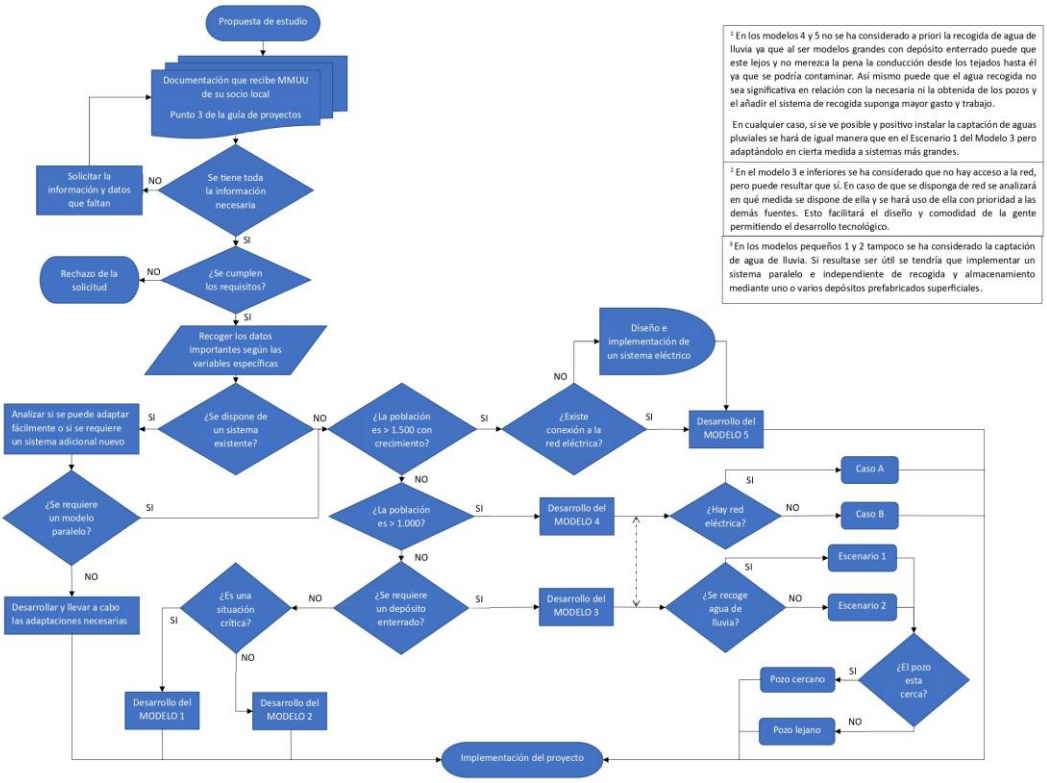


Diagram 1. Flowchart for the proper selection of the proposed models.
Source: author

By way of conclusion, we can say that the quality of service in water supply systems must be offered with the six C's (in Spanish):

1. Quality
2. Quantity
3. Continuity
4. Coverage
5. Costs
6. Manageability

It has therefore obtained a compendium of the wide casuistry that can be found.
in water supply systems and hence the limits and
Most common scenarios made a guide on how to deal with each situation.

FUTURE WORK

It would be interesting to carry out the same work of standardization and analysis of projects of the rest of the areas of the organization highlighted in the introduction with the same base standardizing agricultural, building and energy projects to favour autonomous development.

Due to the critical situation in which the communities with which Manos Unidas works are, in the present work a priori only the supply for human consumption (hygiene and drinking) has been considered. The rest of the needs and consumption of the animals, which do not require or involve less treatment, will be covered by lakes, rivers, etc. However, models have been proposed with a considerable margin that allows if there is excess water to be used for other uses.

Additionally, possible modifications of the systems have also been proposed to adapt them to the consumption of animals and to avoid the risks they can cause.

Some examples are:

The adaptation of the trough in the extraction of the well or that it is directly led to a pile for animal consumption. The following photos show the actual image of the extraction well represented in the plan of annex II.



Image 5: Well data logging view in fresh cement and well arrangement, feeder, decanter, cesspool and detailed view of the boom and decanter. Source: Manos Unidas project in Togo (February 2023)

The arrangement of a wall around the elevated reservoir to prevent thirsty elephants from damaging it and the addition of an adjoining concrete tank so that they can drink as proposed in the Namibian project discussed in the work.

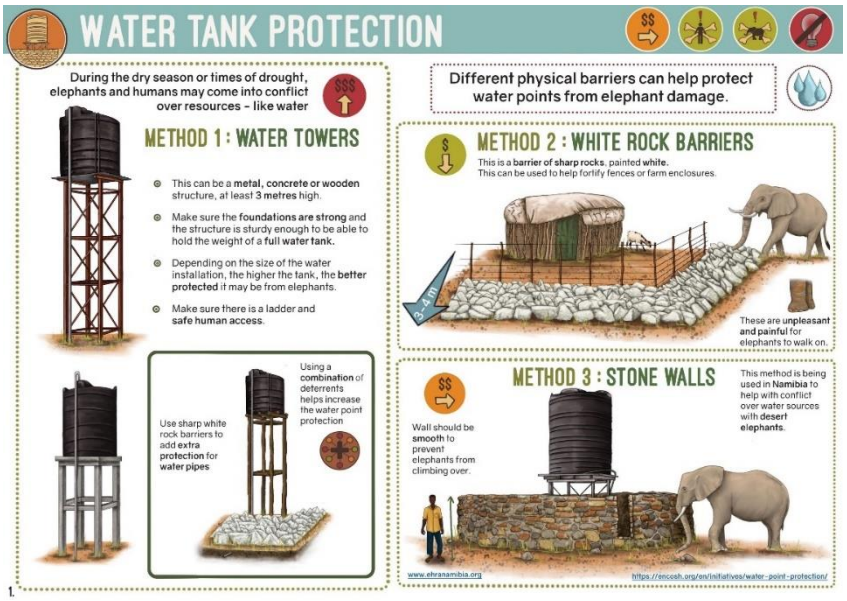


Image 6: Protection of the water tank against wild elephants
Source: Save the elephant. Water tank protection (7, April 2022)

Complete supply systems for livestock and agriculture have also been studied. As a preliminary analysis, equivalences have been sought according to the consumption of the type of livestock or the type of crop to then be able to scale the project to other projects that require water for other activities. These equivalences are included in tables in annex II of the work so that Manos Unidas can consult them if a project requires it since for an agricultural or livestock project the models exposed in the project can be used, taking the equivalences shown and adapting the capacity and distribution.

6. References

[1] Barlow, R., McNelis, B., & Derrick, A. (1993). Solar pumping: an introduction and update on the technology, performance, costs, and economics. NASA STI/Recon Technical Report N, 93, 23444.

[2] Barrios Napurí, C., Torres Ruiz, R., Lampoglia, T.C., & Agüero Pittman, R. (2009). SSWM. Retrieved from https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/BARRIOS%20et%20al%202009%20Guia%20de%20orientacion%20alcaldes.pdf.

[3] Carter, S. E., & Currie-Alder, B. (2006). Scaling-up natural resource management: insights from research in Latin America. Development in Practice, 16(02), 128-140.

[4] CNA. (2004). Manual on Drinking Water, Sewerage and Sanitation: Basic Data.

[5] Jaimes Carrillo, A. P., & Rallón Castellanos, A. (2019). Formulation of supply solutions for the supply of drinking water in rural areas.

[6] Kim, J., Shah, P., Gaskell, J. C., & Prasann, A. (2020). Scaling up disruptive agricultural technologies in Africa. World Bank Publications.

[7] Sustainable Development Goals and Targets - Sustainable Development United Nations. United Nations. Available at: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/

[8] Pan American Health Organization. (2020, 14 October). Rural sanitation and health, Guide for actions at the local level. https://iris.paho.org/handle/10665.2/52823

[9] Ríos Marcos, C. (2021). Water pumping system using wind energy in developing countries. Master's thesis. Comillas Pontifical University, Madrid.

[10] Vauchel, P., 2005. HYDRACCESS: Hydro-meteorological data processing software. Available in: http://www.mpl.ird.fr/hybam/outils/logiciels.htm.

[11] Water Tank Protection. (2022, April 7). Issuu. https://issuu.com/savetheelephants/docs/water_tank_protection_stecoexistencetoolbox

[12] World Health Organization. (2021). Progress on household drinking water, sanitation, and hygiene 2000-2020: five years into the SDGs.

[13] WHO. (2018). Guidelines for the quality of water for human consumption.

Índice de la memoria

1. Introducción 9

1.1 Motivación del proyecto 11

1.2 Necesidad del proyecto 12

1.3 Situación actual 13

2. Descripción de las Tecnologías 15

2.1 Marco teórico 15

2.1.1 Sistemas de suministro de agua 15

2.1.2 Sistemas convencionales de abastecimiento de agua 25

2.1.3 Sistemas no convencionales de abastecimiento de agua 29

3. Estado de la Cuestión 30

3.1 Formulación del problema 30

3.2 Justificación 30

3.3 Alcance 31

3.4 Objetivos 32

4. Definición del Proyecto 34

4.1 Definición del proceso 34

4.1.1 Factores clave 34

4.1.2 Identificación general 50

4.1.3 Identificación específica según el tipo de proyecto 50

4.2 Planificación y estimación económica 51

4.2.1 Situación política del país 53

4.2.2 Situación económica del país 54

4.2.3 Desarrollo tecnológico del país 56

4.3 Metodología y cronograma 57

5. Alternativas de diseño del sistema 58

5.1 Consideraciones generales 58

5.1.1 Conducciones por gravedad 60

5.1.2 Conducciones por bombeo 61

5.2 Propuestas y comparaciones 62
5.3 Cálculos 65
5.3.1 Consumo y capacidad 65
5.3.2 Captación del agua 68
5.3.3 Extracción en la estación de bombeo y fuentes de energía 70
5.4 Alternativas de los componentes 78
5.4.1 Líneas de conducción 78
5.4.2 Válvulas 80
5.4.3 Equipos de bombeo 81
5.4.4 Depósitos o tanques 86
5.4.5 Variador de frecuencia 104
5.4.6 Boya de nivel 105
5.5 Riesgos y limitaciones 105
5.5.1 Riesgos 106
5.5.2 Limitaciones 119
6. Modelos propuestos 123
6.1 Modelo 1: 50 a 200 habitantes con dotación baja 124
6.2 Modelo 2: 50 a 200 habitantes con dotación media 128
6.3 Modelo 3: 600 a 1.000 habitantes con dotación media 132
6.3.1 Escenario 1: Con recogida de agua de lluvia 133
6.3.2 Escenario 2: Sin recogida de agua de lluvia 134
6.4 Modelo 4: 1.000 a 1.500 habitantes con dotación media 138
6.4.1 Caso A: Con acceso a la red eléctrica 141
6.4.2 Caso B: Sin acceso a la red eléctrica 142
6.5 Modelo 5: >1.500 habitantes con dotación media 142
7. Análisis de Resultados 148
7.1 Criterio de selección 148
7.2 Estudio de viabilidad 149
7.3 Materiales, montaje, mantenimiento y presupuestos 151
7.4 Análisis de sostenibilidad 153
8. Conclusiones y Trabajos Futuros 156
8.1 Posibles futuros proyectos 156

8.2 Trabajo futuro principal 157

8.2.1 Proyectos de ganadería 158

8.2.2 Proyectos de agricultura 159

9. Bibliografía 161

ANEXO I: Reflexión sobre los ODS 166

ANEXO II: Mapas, planos, gráficas, tablas y guías 174

Índice de figuras

Figura 1. Esquema básico de las partes de un sistema 16
Figura 2: Fuentes naturales 18
Figura 3. Esquema general de una ETAP 21
Figura 4. Sistemas convencionales de abastecimiento de agua 25
Figura 5. Países en los que opera o con los que trabaja Manos Unidas 32
Figura 6. Diferenciación e información de climas fríos, templados y cálidos en el mundo 35
Figura 7. Mapa de clasificación climática de Köppen-Geiger para África 36
Figura 8. Esquema de distribución de climas por zonas latitudinales..... 37
Figura 9. Mapa de África con el promedio anual de precipitaciones..... 40
Figura 10. Mapa de África indicando la profundidad de las zonas freáticas..... 41
Figura 11. Ejemplo de un sistema vallado y protegido en uno de los municipios rurales de la región de Dosso todavía aislados en 2015. 54
Figura 12. Muro de piedra resistente como medida de protección frente a constantes ataques de elefantes en Namibia 54
Figura 13. Página de inicio de la herramienta de base de datos Global Solar Atlas. 73
Figura 14. Información del área de Ghana de la base de datos Global Solar Atlas como ejemplo. 75
Figura 15. Análisis estadístico del área de Ghana de la base de datos Global Solar Atlas como ejemplo. 76
Figura 16. Información adicional del área de Ghana de la base de datos Global Solar Atlas como ejemplo. 76
Figura 17. Gráfico comparativo de selección de las opciones de alimentación energética acuerdo con el volumen diario y profundidad de bombeo..... 77
Figura 18. Distintos tipos de válvulas 81
Figura 19. Diagrama del caudal frente a la altura dinámica de los distintos tipos de bomba. 83

Figura 20. Diagrama de la bomba para calcular la altura efectiva mediante la ec. de Bernoulli 84
Figura 21. Curva de caudal frente a altura en la instalación (izq.) y de la bomba (dcha.) .. 85
Figura 22. Depósito enterrado rectangular de hormigón armado (prefabricado) 93
Figura 23. Depósito enterrado cilíndrico de hormigón armado 95
Figura 24. Depósito superficial rectangular de hormigón armado con contrafuertes 97
Figura 25. Deformación de un depósito de hormigón armado debido a fuerzas hidrostáticas 98
Figura 26. Depósitos grandes prefabricados modulares de 5 m^3 a 15 m^3 101
Figura 27.Imagen de una cisterna flexible para el almacenamiento de agua sin contaminación externa y resistencia UV 102
Figura 28. Depósito elevado agua potable con capacidad para 40 m^3, elevado a 10 m de altura..... 103
Figura 29. Depósitos superficiales de tipo australiano 104
Figura 30. Cisterna de ferrocemento de 10.000 litros de capacidad 104
Figura 31. Variador de frecuencia rectificador - inversor 105
Figura 32. Ejemplo de sistema con un solo depósito prefabricado elevados 107
Figura 33. Ejemplo de sistema con varios depósitos prefabricados elevados 108
Figura 34. Ejemplo de vigueta 113
Figura 35. Modelo mecánico para la interacción entre fluido-estructura-suelo de un tanque elevado 114
Figura 36. Tanques elevados y el modelo de masa concentrada única 115
Figura 37. Ejemplo de sistema a poca altura en la región de Omusati 116
Figura 38. Perfil de tipo HEB 117
Figura 39. Estructura metálica simple de soporte para depósitos..... 117
Figura 40. Crecimiento de algas en cisternas de agua 118
Figura 41. Potabilización de escuela rural de Cerro Largo 120
Figura 42. Esquema de una bomba manual tradicional de pistón 124
Figura 43. Diagrama y foto del funcionamiento de una bomba de mecate 126

Figura 44. Bombas de mecate (soga) y de pistón (émbolo) 127
Figura 45. Esquema de funcionamiento de una bomba de mecate (BM-2) y depósito para un centro de salud en Linde, Mozambique (2009) 130
Figura 46. Syaolwe community fetching water from Syaolwe borehole 131
Figura 47. Mini patio de agua con energía solar actualizado a partir de una bomba manual por TGH con fondos SHF 132
Figura 48. Planta y alzado de la propuesta de depósito para el modelo 3 135
Figura 49. Opciones de propuesta de depósito para el modelo 3 136
Figura 50. Esquema del sistema de depósito elevado y placa solar en Kavango, región este de Namibia (2022) 137
Figura 51. Opciones de propuesta de depósito para el modelo 4 139
Figura 52. Enlace a los productos del distribuidor internacional de equipos de bombeo 140
Figura 53. Depósito enterrado de hormigón de 200 m^3 junto a la caseta de bombeo 143
Figura 54. Depósito elevado de hormigón de 50 m^3 144
Figura 55. Planta y alzado de la propuesta de depósito para el modelo 5 145
Figura 56. Porcentaje de energía renovable en el consumo total de energía final en 2019, por país 155
Figura 57. Los 17 objetivos de Desarrollo Sostenible 166
Figura 58. Clasificación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 167
Figura 59. Sexto objetivo de Desarrollo Sostenible 172
Figura 60. Situación actual de la falta de agua del informe de 2022 de la ONU 173

Índice de tablas

Tabla 1. Análisis territorial de suministro 10
Tabla 2. Propuesta de valor del trabajo 11
Tabla 3. Consideraciones de las fuentes de aguas naturales 18
Tabla 4. Sistema de abastecimiento por gravedad 27
Tabla 5. Sistema de abastecimiento por bombeo 28
Tabla 6. Humedales Ramsar en África 42
Tabla 7. Categorización de las fuentes de componentes químicos 47
Tabla 8. Valores de referencia de contaminantes de la OMS para la calidad del agua potable 48
Tabla 9. Cronograma del proyecto 57
Tabla 10. Caudal medio diario según la dotación de litros diarios por habitante y la población 66
Tabla 11. Caudal máximo diario para un coeficiente de variación diaria de 1.2 66
Tabla 12. Consumo semanal en metros cúbicos para establecer las dimensiones de los sistemas. 67
Tabla 13. Ventajas y desventajas de emplear paneles fotovoltaicos en la estación de bombeo 72
Tabla 14. Gráfico comparativo de selección de las opciones de alimentación energética acuerdo con el volumen diario y profundidad de bombeo 78
Tabla 15. Rugosidad absoluta, ε, de materiales empleados generalmente en tuberías. 78
Tabla 16. Ventajas y desventajas de tuberías de PVC. 79
Tabla 17. Clasificación de los tipos de bombas y propiedades 82
Tabla 18. Consideraciones generales estructurales de depósitos enterrados 91
Tabla 19. Valores óptimos de las dimensiones del diseño de depósitos de hormigón enterrados rectangulares según el volumen requerido 94

Tabla 20. Valores óptimos de las dimensiones del diseño de depósitos de hormigón enterrados cilíndricos según el volumen requerido..... 95
Tabla 21. Valores óptimos de las dimensiones del diseño de depósitos de hormigón pretensado enterrados cilíndricos según el volumen requerido 97
Tabla 22. comparativa entre los depósitos de cemento y los de plástico 99
Tabla 23. Número de bidones de agua que se podrían llenar desde un depósito general para transportar a los consumos domésticos familiares dentro del poblado 131
Tabla 24. Objetivos de Desarrollo Sostenible presentes en el trabajo y su implicación en él 171

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un bien necesario esencial para la supervivencia y el desarrollo de cualquier comunidad. Sin embargo, en algunos casos su obtención no es siempre tan sencilla y si lo es, el caso de que esta sea útil para el consumo humano no siempre es claro pues puede encontrarse con un grado considerable de contaminación. A continuación, se desarrollan diversas propuestas que se pueden llevar a cabo para poder solucionar este problema en diversos escenarios. Consiguiendo así lidiar con los problemas de abastecimiento en zonas remotas y sin accesibilidad a agua en buen estado de manera constante o suficiente.

Este proyecto consiste en un estudio de la situación descrita en el párrafo anteriores por una ingeniera del ICAI con la colaboración de Manos Unidas (a partir de ahora: MMUU), de cara a que se pueda llevar a la práctica junto con otras de sus organizaciones colaboradoras que tienen por todo el mundo.

El objetivo es investigar, evaluar y proponer algunas soluciones para abordar el desafío del acceso directo a agua en zonas remotas o con menos recursos sobre todo a centros de especial necesidad como pueden ser por ejemplo los hospitales. Asi mismo, el alcance propuesto por MMUU abarca diversas zonas geográficas muy diferentes por lo que se analizarán diversos escenarios a los que es posible enfrentarse, teniendo en cuenta que cada uno tiene unas características concretas que se deben considerar y analizar de manera específica. De esta manera, el presente proyecto será efectivo en su puesta en marcha y dará lugar a una mayor repercusión en sus áreas de acción.

El resultado del proyecto es el desarrollo de diversas propuestas de tecnologías que se pueden emplear en sistemas de suministro de agua aprovechando al máximo los recursos existentes en cada zona. Entre ellas están la fuerza de la gravedad o la energía fotovoltaica para accionar las bombas. Con el presente análisis, los modelos y

herramientas propuestas posteriormente pueden ampliarse a más ubicaciones: poblados, hospitales, colegios etc.

El diseño de estos modelos se parametrizará de tal forma que se podrá hacer un modelo de captación, distribución y suministro en cada zona demandada, haciendo hincapié en ésta última, en función de:

La zona **geográfica**	La zona **demográfica**
Terreno (altitud, distancia a fuentes de agua, etc.)	Número de habitantes de la población
Condiciones climatológicas (caudal de lluvia, zona de sequía)	Las expectativas del crecimiento demográfico
Distancia a grandes ciudades o a una red importante de suministro de agua	Capacidad de los centros o consumo de las familias en función del número de personas que vayan a hacer uso de este suministro

Tabla 1. Análisis territorial de suministro (Fuente: Elaboración propia)

Primeramente, se deberán analizar las zonas donde la necesidad es más notable o los focos más importantes donde existe el problema de desabastecimiento de agua. Conocidos estos lugares, inicialmente se realizará un estudio de viabilidad de la zona en la que se quiera desarrollar el proyecto, con el objetivo de llegar a todos las zonas y personas y cubrir completamente las necesidades mínimas vitales de agua en buen estado. En función de las condiciones y recursos de los que se disponga se determinará si es posible o no implantarlo y en caso de que lo sea, como proceder para hacerlo.

Al ser un proyecto con un propósito especial en cuanto a zonas más desfavorecidas, no solo se busca que sea posible su implantación, sino que se prestará especial atención a que las tecnologías propuestas sean económicas y se pueda explotar a largo plazo con bajos requerimientos, aportando un suministro de agua de calidad durante el mayor tiempo posible. Para que exista esta posibilidad, se analizará cuidadosamente: las

posibles alternativas, los recursos existentes, el presupuesto o inversión inicial, la viabilidad económica y rentabilidad y los costes de mantenimiento, consumos energéticos etc. Por tanto, el proyecto tiene la siguiente propuesta de valor:

1	**Estudio y guía del análisis de viabilidad ante diversos escenarios.** Datos del entorno y dimensionamiento de la resolución (pequeñas, medianas o grandes poblaciones, familias, centros)
2	**Diseños optimizados. Empleando recursos disponibles y existentes en cada situación.** El montaje, la operatividad, el mantenimiento y la sostenibilidad a lo largo del tiempo.
3	**Descripción y cálculos requeridos.** Consideración de las distintas variables e hipótesis de cada alternativa
4	**Presupuesto y análisis económico y sostenible.**
5	**Información adicional de interés y apoyo a la hora de poner en marcha un proyecto.** **Materiales de apoyo como manuales de operatividad, seguridad y mantenimiento para garantizar la perdurabilidad operativa y económica en el tiempo**

Tabla 2. Propuesta de valor del trabajo (Fuente: Elaboración propia)

1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto se ha realizado con el fin principal de impactar positivamente en las áreas donde hay más necesidad e incluso no se llegan a satisfacer las necesidades mínimas vitales. Se decidió hacer un proyecto con Manos Unidas y con la Fundación de Ingenieros de ICAI para realizar ingeniería con impacto que mejore las condiciones de vida en lugares críticos.

Primeramente, se trata de realizar un proyecto con repercusiones positivas en la sociedad y el bienestar de las personas, la cuestión es poner los conocimientos adquiridos al servicio de los demás y hacer ingeniería con propósito. Se intenta conseguir gran impacto social abarcando el mayor alcance posible. Para ello, se han planteado diversas casuísticas y se han proporcionado alternativas para que cuando alguna organización ponga en

marcha un proyecto, vea útil la información proporcionada y tenga la suficiente flexibilidad para adaptarlo a sus circunstancias concretas. Esto es, que dispongan de herramientas que faciliten su labor y conozca la viabilidad de su proyecto en una zona determinada según los recursos de lo que dispone en su entorno. Así, analizando un caso viable finalmente se pueda implementar el proyecto adecuadamente con un mantenimiento del sistema sostenible a lo largo del tiempo.

En segundo lugar, se ha querido realizar este trabajo con motivo de satisfacer la necesidad que hay de de abastecer de agua a zonas a las que no llega o que no tienen capacidad de disponer de este recurso de forma permanente o de manera útil para el uso de seres vivos, agua en buenas condiciones.

Finalmente, otro motivo de la realización de esta propuesta es la búsqueda de un proyecto relacionado con el aprovechamiento completo de los recursos naturales, en este caso el agua debido a su carácter esencial en el planeta y en el desarrollo de vida.

1.2 NECESIDAD DEL PROYECTO

El presente trabajo trata de solucionar la problemática de abastecimiento de agua potable en zonas rurales. Por medio del planteamiento de alternativas que se adaptan a las condiciones locales y las que presenta la fuente hidráulica. Proporcionando sistemas de abastecimiento viables y sostenibles para diversas comunidades.

Los retos que se plantean tienen que ver con qué tipo de tecnología y qué medios son los más apropiados dentro de los que se dispone en cada lugar, así como el coste de estos para que sean reutilizables y tengan una vida útil larga. Se pretende que las poblaciones beneficiarias puedan formarse y hacer uso de ello, para mejorar tanto su capacidad de respuesta a sus necesidades básicas como a sus condiciones de vida. Los contextos son, asimismo, muy variables y hay que valorar que en muchos lugares existe el “know how”, pero faltan los medios. Por ejemplo, en África hay un desfase enorme en cuanto a la aproximación a la tecnología.

1.3 SITUACIÓN ACTUAL

Como se destacaba al principio, el agua es la sustancia química vital más fundamental para toda forma de vida, pero además tiene un gran potencial debido a su interacción con otros elementos, su relevancia en la naturaleza y el sin fin de usos que le damos. Según **Campos**, es el recurso natural más importante para la vida en la tierra y el 70% del planeta está formado por este vital elemento. Sin embargo, para el consumo humano solo se tiene acceso a un 0,01% del agua.[1]

Según la Organización Mundial de la Salud y UNICEF, actualmente, 2.200 millones de personas no disponen de servicios seguros de agua potable.[2] Pero lo que es es aún peor es la creciente necesidad de agua de forma inminente. Por un lado, las Naciones Unidas prevén que la población mundial se duplique en los próximos 50 años.[3] Y por otro, hay que hacer frente a los problemas socioambientales acareados por: el cambio climático, las profundas sequías que se está produciendo en numerosos países y el agotamiento de reservas subterráneas, el aumento de los incendios y con ello el requerimiento de agua para poder frenarlos o la contaminación de las aguas prepotables entre otros muchos.

Se estima que dos de cada tres personas se vean afectadas por la escasez de agua para el año 2025 implicando a toda la población en la crisis mundial.[1] Tanto por frenar a países en vías de desarrollo en sus progresos económicos, como por, la posibilidad de que se produzcan conflictos por el abastecimiento de este recurso vital que supone la supervivencia de población vulnerable.[4]

Como actualmente más de la mitad de la población (4.200 millones de personas) no tiene un servicio de saneamiento seguro y 2.000 millones son dependientes de centros

[1] *Field, J.A., High Rate Anaerobic Wastewater Treatment. University of Arizona. 2002.*
[2] *(OMS/UNICEF 2019).*
[3] *Metcalf, E., Wastewater Engineering Treatment and Reuse. 2003, New York: Mc Graw-Hill.*
[4] *Valsaraj, K.T., Elements of environmental engineering: thermodynamics and kinetics. 2000, Boca Raton: CRC Press.*

sanitarios sin servicio básico de agua[5], se requiere establecer una serie de estándares vitales para garantizar las condiciones básicas y la dignidad de las personas. Pero, para ello, todavía falta mucho camino por recorrer. Estos estándares se tienen que respetar tanto en el punto de consumo como en el de abastecimiento, sin embargo, se considera actualmente superado en el abastecimiento y más crítico en los puntos de consumo.

Aunque desde el punto de vista de los países desarrollados, las dificultades técnicas (el diseño, la viabilidad a medio y largo plazo, el coste y los precios o el uso de químicos, etc.) de los sistemas de suministro parezcan completamente superadas, la realidad no es así. Todavía está pendiente resolver desafíos tanto de investigación como de innovación de sistemas asequibles a las poblaciones en riesgo a pesar de que existan cantidad de sistemas y soluciones diferentes y precisamente debido a esta gran variedad.

Adicionalmente, las dificultades no son sólo técnicas, sino también de formación de personas que van a manejar dichos sistemas. La sofisticación de los sistemas existentes, y que en muchas ocasiones se plantean implican que pocas personas los puedan gestionar al requerir formación constante.

Vista esta situación actual, y la cantidad abrumadora de posibilidades que se podrían proponer en cada situación concreta, a lo largo del proyecto de manera cualitativa, estableceremos los puntos más fundamentales y descartaremos las opciones que no son viables de manera que haya una respuesta eficaz al problema presentado. En el siguiente capítulo se desarrolla más exhaustivamente, la ingeniería la que nos enfrentamos.

[5] *(WHO/UNICEF 2019) (OMS/UNICEF 2020)*

2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

En este proyecto se desarrollará una tecnología que podría ser una gran ventaja para países con acceso limitado a agua potable y/o agua corriente. Para conseguir estos sistemas, se diseñarán los distintos elementos de una planta, acorde con las condiciones del lugar en cuestión. Las alternativas se establecerán en función con el caudal necesario demandado, el sistema de captación, el sistema de bombeo y la alimentación eléctrica de este, etc.

Con esto, la finalidad es que los sistemas propuestos proporcionarán a niños, enfermos y otros habitantes una fuente barata o asequible de agua potable de forma directa y continua.

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 SISTEMAS DE SUMINISTRO DE AGUA

Los sistemas de abastecimiento de agua potable permiten llevar el agua desde las fuentes naturales hasta el punto de consumo cumpliendo la calidad y cantidad necesaria. Permiten proveer agua a una determinada población ya sea para su uso doméstico, industrial o agrario. En el trabajo en cuestión se focalizará la atención en el uso en el hogar y en centros de ámbito social.

Se trata de un conjunto de elementos que tienen como fin formar un sistema para suministrar agua de calidad adecuada con la cantidad y presión necesaria de manera continua (independiente de la época del año). Las secciones del sistema de abastecimiento son:

- Fuente de abastecimiento
- Obra de captación

- Línea de conducción
- Planta potabilizadora (Tratamiento)
- Almacenamiento
- Línea de aducción y distribución

En la siguiente figura, se ilustra las partes de un sistema de abastecimiento de agua potable que se explicarán seguidamente.



Figura 1. Esquema básico de las partes de un sistema (Fuente: Elaboración propia)

1. Fuente de abastecimiento

Para determinar el sistema que se va a implementar y asi seleccionar adecuadamente la fuente de abastecimiento, primeramente, se deberá considerar la disponibilidad de estas fuentes (puede ser que en muchos casos convenga combinar varias para tener agua en diferentes épocas del año). Asi mismo, se deben tener en cuenta los requerimientos de la calidad del agua, la disponibilidad que ofrece la fuente durante todo el año, la densidad de población y la estimación de crecimiento futuro. Estos requerimientos se explicarán más detenidamente en el siguiente capítulo. Por último, es importante también analizar los costes del sistema (inversión inicial, operación y mantenimiento) para elegir el más conveniente y no diseñar sistemas fuera de los presupuestos de la población y su perfil socio económico.

Se deben realizar una serie de estudios para asegurar que la fuente proporciona la cantidad (garantizar el caudal máximo diario, para el periodo en el que está diseñado) y calidad (agua para consumo humano establecido por la legislación del país) que requiere el sistema de suministro. Si la fuente no satisface la calidad mínima, se deberá realizar necesariamente un proceso de potabilización en el sistema.

- Identificación de fuentes alternativas
- Ubicación geográfica y topografía
- Rendimientos mínimos
- Variaciones anuales
- Análisis de vulnerabilidad y análisis fisicoquímicos y microbiológicos.
- Otros análisis que se consideren necesarios

Todo esto es debido a que las alternativas tecnológicas que pueden ser viables dependen principalmente del tipo de fuente que se emplee. Los sistemas de abastecimiento de agua potable se suelen clasificar según la fuente del agua y esta puede condicionar el rendimiento del servicio de suministro. Los distintos tipos de fuentes son:

- **Aguas superficiales**: lagos, ríos, canales, arroyos o embalses (generalmente lleva un tratamiento previo).
- **Aguas subterráneas**: manantiales naturales, pozos o galerías filtrantes bajo tierra.
- **Aguas meteóricas y/o pluviales**: aguas de lluvia (almacenada en cisternas de alta especialidad).
- **Aguas de mar**: que deben desalinizarse.

Según la cantidad de agua que proporciona la fuente y la captación disponible se debe considerar lo siguiente:

Fuente de aguas	Considerar	Cercanía a
Pluviales, más o menos constante		una montaña o desnivel considerable
Pluviales, irregulares	Se requiere combinación con otro tipo de fuente Conducción por gravedad o en el punto de captación directamente	una montaña o desnivel considerable
Superficiales de río cercano en lo alto	Conducción por gravedad	un río o lago (o embalse ya construido)
Subterráneas	Bombeo obligatorio - Gasto de la bomba y su sustitución - Gasto de excavadora y personal - Energía	acuíferos o reservas

Tabla 3. Consideraciones de las fuentes de aguas naturales (Fuente: Elaboración propia)

Nos centraremos en dos principales y las demás se considerarán adicionales a ellas. Siempre que se pueda recoger agua de lluvia en cualquier proyecto, se hará uso de ella (punto clave), pero debido a la irregularidad no se considera como principal. El agua salina se considera solo en casos muy concretos donde no haya otras alternativas y se pueda disponer de la tecnología requerida.

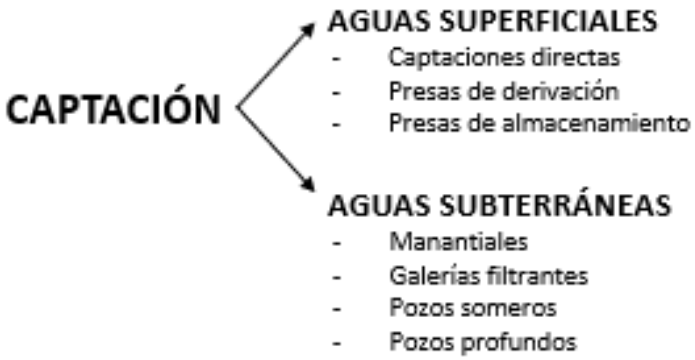


Figura 2: Fuentes naturales (Fuente: Elaboración propia)

- **Fuentes subterráneas**

Las fuentes subterráneas tienen la gran ventaja de estar protegidas y normalmente libres de microorganismos patógenos. Por ello, la calidad que ofrecen es adecuada para el uso humano y en general no hace falta filtrar, el agua obtenida va directamente al depósito de regularización.

La captación de aguas subterráneas se hace por medio de manantiales, pozos excavados y tubulares o galerías filtrantes. A pesar de ser compatible con el consumo directo, es importante hacer un análisis bacteriológico y fisicoquímico previo para conocer las características del agua ya que puede estar contaminada por circunstancias no aparentes.

Por esto mismo, en la captación de agua desde un manantial, hay que proteger la zona y delimitar el área con protección cerrada para evitar que afloren contaminantes en el futuro.

- **Fuentes superficiales**

A diferencia de las anteriores, las aguas superficiales suelen estas contaminadas por la descarga de desagües, presencia de animales y microorganismos, residuos sólidos, por actividades industriales o mineras etc. Para emplear estas fuentes, además de los análisis bacteriológicos y fisicoquímicos de las características del agua mencionadas anteriormente, se requiere definir un tratamiento del agua para asegurar la calidad del agua para el consumo humano.

Puesto que tratar y potabilizar el agua es más caro solo se propondrá si es estrictamente necesario. En los proyectos atendidos con el presente trabajo se plantea generalmente solo filtrar. Desde el río u similar se hace un desbaste con rejas y se lleva el agua al estanque de decantación para ese el primer filtrado de gravas y arenas. Elimina los materiales pesados y los sólidos grandes que arrastran los arroyos o que están presentes en los ríos que suelen estar contaminados por la minería o los residuos y vertidos, y elimina la turbiedad del agua, pero no potabiliza el agua. La filtración consiste en pasar el agua a través de un medio poroso (arena o antracita) que retiene partículas en suspensión, principalmente coloides remanentes y microorganismos patógenos asociados a esas partículas (retiran el 65% de patógenos). Los filtros rápidos pueden ser por: gravedad, presión, flujo ascendente o medios múltiples.

El filtrado es muy interesante porque tiene la ventaja de ser barato y requerir bajo mantenimiento. Su limpieza se hace simplemente invirtiendo el sentido del flujo de agua.

2. Obra de captación

Las obras de captación dependen fundamentalmente de la fuente de abastecimiento, su localización, la cantidad de agua que se va a obtener de esta o la topografía del terreno. Todas estas características se analizarán en el capítulo siguiente. Para diseñar las obras civiles y electromecánicas con las que se va a extraer o captar agua, es necesario hacerlo de tal manera que se evite la contaminación de aguas. Algunas obras comunes son:

- Para aguas **meteóricas o agua de lluvia**: obras que capten y conduzcan el agua hacia los puntos de almacenamiento.

- Para aguas **subterráneas**: la perforación de pozos hasta llegar al nivel del acuífero.
- Para aguas **superficiales**: tomas sumergidas o semisumergidas. También se suele captar mediante bocatomas (estructura hidráulica que deriva parte del agua disponible desde un curso de agua (río, arroyo, canal o desde un lago) pero requiere una inversión muy elevada. Se suelen emplear también galerías filtrantes, que además de captar confieren un filtrado inicial.

3. Línea de conducción

Para transportar el agua desde la captación hasta el depósito de regulación o planta de tratamiento en caso de que ésta fuera necesaria, se necesita una tubería que permita un caudal determinado.

4. Planta potabilizadora (Tratamiento de agua potable)

Si el agua proveniente de la fuente no es apta para el consumo humano, será necesario someterla a procesos para purificarla. Esto es, eliminar o reducir las sustancias peligrosas, las bacterias, etc. mediante estructuras diseñadas con esta finalidad para obtener agua potable y de calidad.

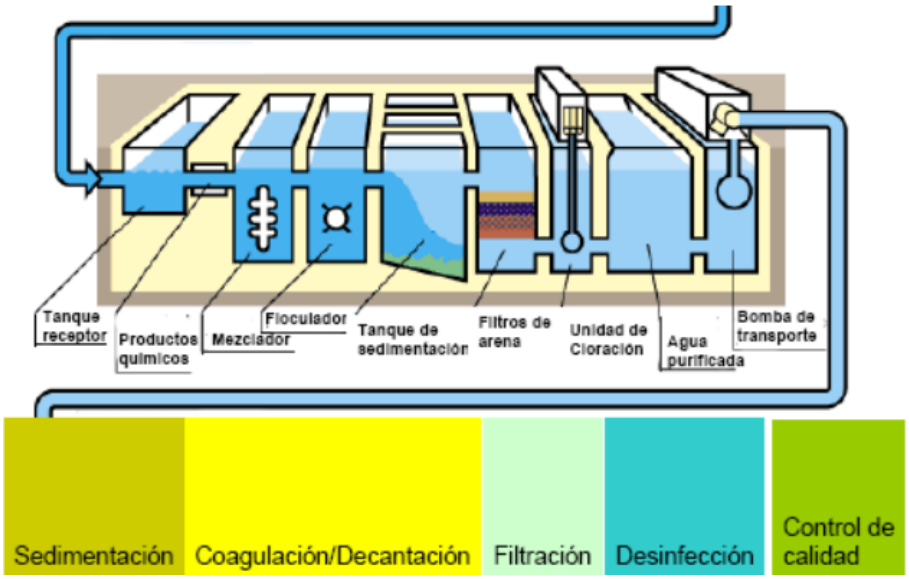


Figura 3. Esquema general de una ETAP (Fuente: apuntes de ingeniería medioambiental, ICAI)

En este trabajo no se profundizará mucho en los diseños de las plantas potabilizadoras puesto que requieren un estudio exhaustivo y se sale del alcance del proyecto en cuestión. Pero, de cualquier manera, es un importante factor para tener en cuenta. Para los modelos planteados se supondrá que la desinfección, por ejemplo, por cloración, se hará directamente en los puntos de consumo o que se adoptarán ETAPs (Estación de Tratamiento de Agua Potable) de otros proyectos similares. Algunas etapas ya estarán implementadas en la captación (desbaste) o en los tanques de almacenamiento (sedimentación) o pueden ser sencillas de añadir a los modelos propuestos como la aireación, sin necesidad de una planta completa.

Es conveniente mantener constante, de forma aproximada, el caudal de las plantas de tratamiento ya que mejoran su funcionamiento cuando hay poca variación del caudal que está siendo tratado. Por ello, son dimensionadas para que produzcan la cantidad total consumida por la población a lo largo de un día. Son los tanques que se verán a continuación los encargados de absorber las variaciones. Idealmente se llenan en horas de poco consumo (noche) y se vacían en las de máximo consumo (hora de cocinar) pero puede ser diferente si por ejemplo el bombeo depende de energía solar.

5. Almacenamiento - Reservorios

Puesto que las fuentes no son constantes ni continuas es importante tener reservas para épocas de sequía o escasez del recurso. Las unidades de almacenamiento y regulación de agua potable tienen como fin garantizar un continuo suministro en las horas de máximo consumo, manteniendo el servicio con la presión requerida.

Estas estructuras están destinadas a mantener el abastecimiento normal en aquellos periodos donde hay un mayor consumo (durante el día respecto de la noche o durante el verano a diferencia del invierno o de meses lluviosos). Es decir, la finalidad de los reservorios es suministrar en un tiempo determinado, en caso de interrupciones de abastecimiento, diferencias en la producción del sistema (no es posible que llegue tan

rápido desde la fuente) o cambios cíclicos en la demanda. Dependiendo de su localización, los tanques son:

- Enterrados (subterráneos)
- Apoyados sobre el suelo (de superficie)
- Elevados (por encima del nivel de los techos)

Se profundizará bastante en los reservorios ya que son depósitos destinados a almacenar agua, siendo así elementos fundamentales en la red de suministro para absorber las variaciones horarias en la demanda y compensar las desigualdades estacionales. Resumiendo, su doble finalidad es:

1. **Volumen de almacenamiento y regulación**: permite almacenar el agua para poder atender a las variaciones de consumo. Durante el transcurso del día, el consumo va teniendo variaciones siguiendo patrones según distintos tipos de uso de las personas (uso doméstico, uso agrícola, uso industrial etc.). El almacenamiento también sufraga las interrupciones en caso de las situaciones de emergencia que puedan surgir en la población en cuanto a su abastecimiento. Por ello, se coloca entre la producción y la distribución un reservorio para garantizar un suministro continuo.

2. **Mejora y control de las condiciones de presión**: el lugar donde se coloca el reservorio permite influir directamente para mejorar la distribución de presión aguas abajo en la red y sobre todo en horas en las que el consumo es mayor. Es decir, permite ajustar las condiciones de presión en la red reduciendo en algunas áreas la variación de la red.

Una práctica común es colocar varios depósitos a lo largo del sistema tanto para mejorar la distribución y tener presión suficiente como para regular la topografía del terreno. Pero fundamentalmente, en todo sistema se identifican dos principales.

- Un depósito que **recoge** y **almacena** situado cerca de la fuente. Llamado tanque de almacenamiento.
- Un depósito que **regula** y **distribuye** situado cerca de la población o de los puntos de suministro. Llamado tanque de regulación.

En cada caso concreto, se deberá valorar cada cuanto tiempo es conveniente rellenar los depósitos intermedios y cuantos serán necesarios. Por ejemplo, se puede tener un depósito principal que se rellene cada semana o mes según el consumo y de ese se alimenten depósitos intermedios más pequeños para el suministro diario.

Una práctica muy común en países poco desarrollados es que diariamente los niños rellenan garrafas en el colegio durante sus horas de clase y las llevan a casa para el uso doméstico de la familia. Por tanto, el depósito situado en el colegio deberá tener una capacidad suficiente para satisfacer las necesidades del número de familias que haya en la escuela. Por ejemplo, como normalmente se vaciará cada día será necesario llenarlo a diario por la noche.

6. Línea de aducción y distribución

Se denomina línea de abducción al conjunto de tuberías que se encargan de transportar o conducir el agua desde la planta de tratamiento o desde el depósito regulador (reservorio) hasta las cámaras cámaras reductoras de presión y de estas a la red o directamente a alimentar la red de distribución.

De cara a los cálculos del diámetro, el caudal o la velocidad a través de la tubería o línea de aducción y distribución, es importante tener muy en cuenta las pérdidas por fricción que afectarán al comportamiento del fluido en el transcurso del recorrido por la tubería.

El material que se emplea para la tubería de abducción suele ser hierro dúctil (HD) puesto que éste permite soportar las altas presiones. En las zonas de alta presión en la red se suele incorporar cámaras reductoras de presión en los diseños convencionales por lo que es importante poder saber la presión en todos los puntos de la tubería.

En el caso al que nos enfrentamos va a ser preferible, mantener presiones bajas en los puntos de distribución (por ejemplo, en colegios, kioscos etc.), para evitar posibles pérdidas a lo largo de todo el sistema, en caso de averías o descuidos como dejarse un grifo abierto (niños que rellenan las garrafas cada día al ir al colegio). Por la envergadura de estos proyectos las tuberías serán de manera general de PVC como se explicará más adelante.

7. Red de distribución

En las poblaciones grandes, la red se compone de redes principales (primarias), que distribuyen el agua por las distintas áreas más grandes por medio de circuitos principales y redes secundarias de relleno que se bifurcan en las áreas más pequeñas.

La red de distribución de agua potable puede ser de dos tipos:

- Abierta o ramificada: a partir de una tubería principal de mayor diámetro parten diversos ramales que, al no poder formar circuitos por la topografía acaban en puntos ciegos, sin interconexiones con otras tuberías de la red.
- Cerrada o mallada: debido a la interconexión de los ramales, la red se compone de mallas o circuitos.

La configuración más económica es la red abierta, sin embargo, tiene la desventaja de que, en caso de rotura o fallo, el servicio aguas abajo del punto afectado quedará cortado hasta su reparación. Además, las redes cerradas son las más convenientes por la garantía que dan ante estas interrupciones por avería y también al ser más efectivas puesto que ofrecen rutas alternativas al flujo por las mallas.

Calcular el balance de los caudales que atraviesan cada circuito es complejo. Por el contrario, en las abiertas las pérdidas de cada tubería son sencillas de calcular. El desarrollo tecnológico actual permite que estos cálculos se hagan mediante programas especializados como EPANET (programa empleado en ingeniería para el cálculo de cualquier tipo de red).

2.1.2 SISTEMAS CONVENCIONALES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

Los sistemas convencionales son los ideados y desarrollados con criterios de ingeniería empleados y aceptados de manera generalizada, tras muchos años de experimentación e implementación. Por ello, el resultado esperado se ajusta a las especificaciones del proyecto para el servicio requerido tanto a nivel poblacional como familiar. Se distinguen dos sistemas principales, por gravedad o por bombeo. Estos a su vez pueden tener o no planta de tratamiento. Implementar uno u otro depende de la altitud de la fuente de abastecimiento.

En estos sistemas convencionales, el tratamiento de agua se realiza en la misma localidad y puede ser por filtro lento de arena, por filtro rápido o por tratamiento químico. Se escogerá uno u otro según el nivel de calidad del agua recolectada y el tipo de impureza que tenga. El diseño de la instalación debe ser simple de manera que se evite el control especializado o algún equipamiento mecanizado.

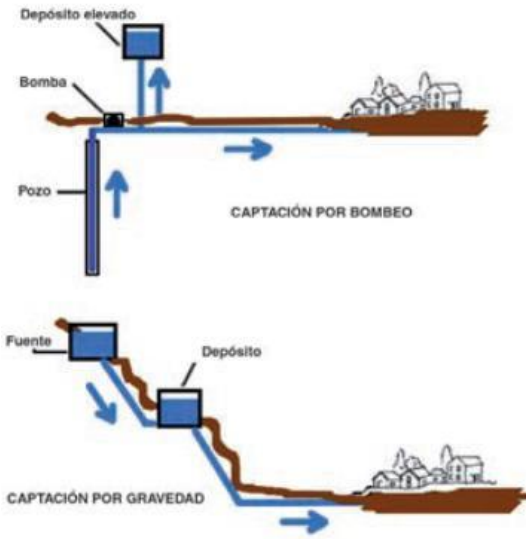


Figura 4. Sistemas convencionales de abastecimiento de agua
(Fuente: Estanques de almacenamiento y obras de captación. Parte II)

De estos sistemas, reflejados en la Figura 4 , el más favorable es el sistema por gravedad ya que aprovecha la energía potencial que tiene la masa de agua y evita aportar energía externa como en el sistema por bombeo. Es siempre preferible emplear sistemas que

aprovechen la fuerza de la gravedad para mover el agua e incluso permitan regular con grifos la velocidad, presión, caudal etc. El ejemplo por excelencia de la antigüedad son los acueductos, considerados una de las obras maestras de la ingeniería y arquitectura romana.

Por el contrario, los sistemas por bombeo son más caros y complejos, sin embargo, son los que más se desarrollan. Requieren una bomba hidráulica que extrae el agua desde cierta profundidad mediante energía externa que se debe suministrar. Más adelante se estudiarán las alternativas para la alimentación eléctrica (fotovoltaica, grupo electrógeno, red, aerogenerador etc.) concluyendo que la más empleada suele ser obteniendo energía fotovoltaica mediante paneles solares. Además, cabe destacar que la bomba no solo tiene que elevar el agua a la superficie sino hasta el tanque que siempre se sitúa a una altura determinada (montaña, torre…) para evitar el bombeo posterior en la distribución (controlando la presión y el caudal solo mediante una válvula de descarga) y aprovechando la inercia que tiene en el bombeo de extracción y energía potencial alcanzada.

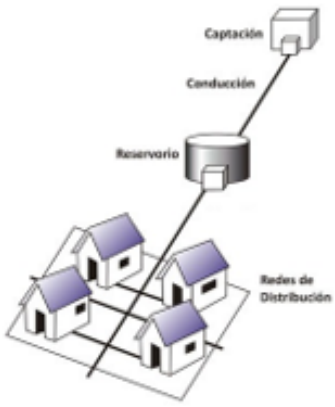
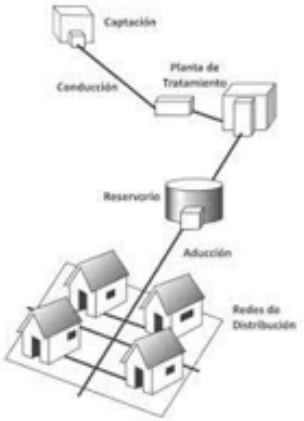
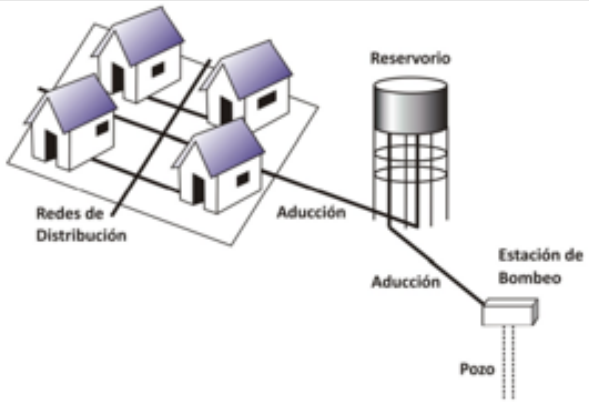
<table>
<tr><th colspan="3">Sistema de abastecimiento por gravedad sin tratamiento (GST)</th></tr>
<tr><td>
</td><td colspan="2">• Las fuentes de abastecimiento de agua generalmente son subterráneas (agua aflora a la superficie, manantiales) o subálveas (el agua por debajo del cauce de un río o arroyo es captada por medio de galerías filtrantes).
• El agua recogida es de calidad buena por lo que no requiere tratamiento antes de ser distribuida a excepción de la cloración.
• La desinfección no es muy exigente por haber un filtrado previo en los estratos porosos del subsuelo.
• Agua con buena calidad bacteriológica.
• No requieren bombeo para llevar el agua hasta los usuarios.
• Operación simple
• Requieren mantenimiento mínimo para garantizar buen funcionamiento.</td></tr>
<tr><th>Componentes</th><th>Ventajas</th><th>Desventajas</th></tr>
<tr><td>- Captación.
- Línea de conducción.
- Reservorio.
- Línea de aducción.
- Red de distribución.
- Conexiones domiciliarias.</td><td>- Nula o baja contaminación
- No requiere operador especializado.
- Costes de inversión bajos.
- Bajos costes y requerimientos de operación y mantenimiento.</td><td>- El contenido de sales disueltas en el agua puede ser alta debido a su origen.</td></tr>
<tr><th colspan="3">Sistema de abastecimiento por gravedad con tratamiento (GCT)</th></tr>
<tr><td>
</td><td colspan="2">• Las fuentes de abastecimiento de agua son aguas superficiales captadas en canales, acequias, ríos, etc.
• El agua captada tiene que ser desinfectada y clarificada. La calidad bacteriológica, química y física determinan el diseño de la planta de tratamiento.
• Para garantizar la buena calidad se requiere un mantenimiento periódico.
• Operación más compleja que el sistema anterior.</td></tr>
<tr><th>Componentes</th><th>Ventajas</th><th>Desventajas</th></tr>
<tr><td>- Captación.
- Línea de conducción o impulsión.
- Planta de tratamiento de agua.
- Reservorio.
- Línea de aducción.
- Red de distribución.
- Conexiones domiciliarias.</td><td>- Quita la turbiedad del agua sin tratar.</td><td>- Requiere desinfección obligatoria.
- Para la clarificación del agua se necesitan productos químicos.
- La operación y mantenimiento de la planta requiere personal capacitado.
- El coste de operación y mantenimiento es mayor que en los sistemas anteriores.
- Las tarifas son elevadas.</td></tr>
</table>

Tabla 4. Sistema de abastecimiento por gravedad (Fuente: elaboración propia)

<table>
<tr><th colspan="3">Sistema de abastecimiento por bombeo sin tratamiento (BST)</th></tr>
<tr><td colspan="2">• Son sistemas abastecidos con agua de calidad buena, por lo que no es necesario el tratamiento antes de ser consumida.
• Generalmente es agua extraída de pozos.
• En la extracción el agua debe ser bombeada para llegar al consumidor.</td><td>
</td></tr>
<tr><th>Componentes</th><th>Ventajas</th><th>Desventajas</th></tr>
<tr><td>- Captación.
- Estación de bombeo de agua.
- Línea de conducción o
- impulsión.
- Reservorio.
- Línea de aducción.
- Red de distribución.
- Conexiones domiciliarias.</td><td>- Por la calidad el riesgo de contraer enfermedades relacionadas es menor.

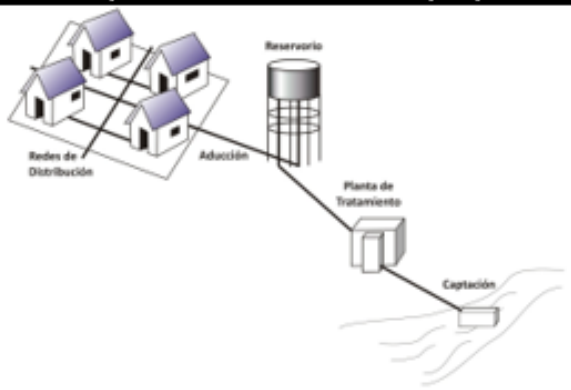
- Baja exigencia de desinfección.</td><td>- Para poder ser implementado la inversión es alta.
- El personal que opera y mantiene el sistema de bombeo debe ser especializado.
- Es un sistema caro, el servicio puede restringirse en las horas donde la tarifa es alta.</td></tr>
<tr><th colspan="3">Sistema de abastecimiento por bombeo con tratamiento (BCT)</th></tr>
<tr><td colspan="2">• Estos sistemas precisan tanto del sistema de bombeo que realiza la impulsión del agua desde la fuente hasta el consumidor final como de la planta potabilizadora.
• Sistema no recomendable para dar servicio a depósitos públicos.</td><td>
</td></tr>
<tr><th>Componentes</th><th>Ventajas</th><th>Desventajas</th></tr>
<tr><td>- Captación.
- Línea de conducción o impulsión.
- Planta de tratamiento de agua.
- Estación de bombeo de agua.
- Reservorio.
- Línea de aducción.
- Red de distribución.
- Conexiones domiciliarias.</td><td>- No tiene ventajas, es el sistema más desfavorable, pero en determinadas situaciones es el único viable.</td><td>- Para operar y mantener tanto la planta de tratamiento como el sistema de bombeo el personal debe ser altamente cualificado.
- El coste de inversión, operación y mantenimiento es superior al de los sistemas anteriores. Pero al igual que estos el servicio puede estar restringido.
- Las tarifas son las más elevadas.
- El complejo sistema no es confiable.</td></tr>
</table>

Tabla 5. Sistema de abastecimiento por bombeo (Fuente: elaboración propia)

2.1.3 SISTEMAS NO CONVENCIONALES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

Los sistemas no convencionales son los ideados como propuesta a soluciones individuales o de un reducido grupo de familias para el aprovechamiento de fuentes de agua de pequeña embergadura.

1. Captación de agua de lluvia

Fuera de los sistemas convencionales explicados anteriormente, una opción para las familias es captar agua de la lluvia directamente de los tejados de sus casas y almacenarlo en tanques. Este sistema tiene la ventaja de que es muy simple y barato. Los inconvenientes que tiene es que antes de consumir el agua captada debe ser desinfectada y, además, el suministro es discontinuo debido a las irregularidades y la variabilidad de las precipitaciones. La disponibilidad de agua queda limitada por la lluvia y por la capacidad del tanque y tuberías.

2. Pozos protegidos con bombas manuales

Otra solución posible para familias o pequeños núcleos de familias son pozos excavados y protegidos. Según esta protección y los puntos de contaminación, el agua se tendrá o no que desinfectar previo a poder ser consumida directamente por las personas.

3. Manantiales con protección de vertiente

Por último, existe la posibilidad de captar de manera segura agua de fuentes subterráneas pequeñas localizadas muy cerca del poblado o vivienda. Dependiendo de la capacidad de la fuente y el número de personas que la utilizan, el servicio de suministro proporcionado puede ser para una o varias familias a las que se puede conducir el agua en algunas ocasiones mediante tuberías con diámetro pequeño. Este sistema está compuesto por la captación, la pileta o pila y un pozo de drenaje, encontrándose siempre al lado de la fuente.

3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

3.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Como se ha descrito anteriormente en el apartado 1.3, hay muchos sistemas diferentes, con diseños muy diversos y en todas las partes del mundo, unos más complejos y detallados y otros más sencillos como por ejemplo en las zonas rurales donde queremos operar. Por tanto, no se trata tanto de innovar, sino de observar los distintos modelos de esta tecnología que se encuentran en el mercado y los proyectos que se han llevado a cabo. Sobre todo, en centros de servicios y en poblados de pequeño tamaño o pocas familias. Así, la idea es buscar diseños óptimos que sean eficientes, baratos y adaptables a distintos escenarios.

En este proyecto, no se descarta la investigación e innovación de diseños nuevos, pero se ha enfocado más a las alternativas existentes como las estudiadas en el 2. Se pretende dar un paso más, llegando más lejos en cuanto a colegios, hospitales y otros centros ya que son puntos de especial atención en las poblaciones desfavorecidas.

3.2 JUSTIFICACIÓN

Siguiendo en la línea de lo establecido en el 1. el objetivo de este proyecto es hacer una propuesta de varios sistemas de suministro de agua para poder instalar uno en cualquier región que lo necesite donde opera Manos Unidas. Sin embargo, este tipo de tecnología de diseño civil ya ha sido utilizada en otras ocasiones y por otras empresas y organizaciones en situaciones y necesidades muy variadas.

UNICEF, Pump Aid, Water Aid, Child Future África y muchas otras entidades sociales, tienen el objetivo común de proveer de agua limpia a poblaciones remotas de zonas rurales de manera autogestionada y sostenible. Un ejemplo es el estudio de UNICEF de la implementación de las bombas de agua solares en países en vías de desarrollo reflejado

en el informe: Scaling Up Social Powered Water Supply Systems: a review of experiences. En él se concluye que son sistemas efectivos para facilitar agua limpia en lugares con energía limitada ya que presentan ventajas como una larga vida útil con bajo mantenimiento, transporte y puesta en marcha sencillos y muy bajas emisiones. Para la realización de este trabajo, se han estudiado informes técnicos y soluciones tomadas por otras organizaciones como las destacadas anteriormente en situaciones parecidas prestando especial atención a las condiciones de cada caso y las limitaciones de cada proyecto ya que se pretende tener un punto de vista más global identificando las diferencias más notables.

3.3 ALCANCE

En este caso se busca desarrollar un sistema que cumpliendo con unos requisitos mínimos pueda llegar a utilizarse en condiciones con pocos recursos. Por ello, nos centraremos en los puntos más críticos y necesitados de este servicio como son los colegios y los hospitales, en general entre 300 y 500 niños o habitantes, así como pequeños poblados en zonas rurales con una población entre 50 y 1500 personas.

Como países que más sufren la falta de acceso al agua potable ya sea por el desarrollo técnico, tecnológico o económico como por la falta de recursos hidráulicos, energéticos, de material, etc. son los países subdesarrollados en el proyecto se tratará con especial atención zonas en Asia, Latino América y África.

Puesto que este trabajo se ha hecho en colaboración con la ONG MMUU, se centra la atención a los países en los cuales trabaja esta organización. A continuación, se muestran los 66 países Países en los que trabaja MMUU.

Como se muestra en el mapa también presentado en el ANEXO II: Mapas, planos, gráficas, tablas y guías con más claridad, 15 de los países están en centro y sur américa, 37 en África, 6 en Asia, otros 6 en Arabia y 2 en Oceanía.



Figura 5. Países en los que opera o con los que trabaja Manos Unidas

(Fuente: Manos Unidas en el mundo)

Por tanto, para el presente trabajo, se tendrán especialmente en cuenta las zonas de África y también en menor medida Sudamérica. En cualquier caso, el sentido del trabajo es hacer una generalización de manera que se pueda seguidamente adaptar a nuevas situaciones futuras tanto en en los países a los que actualmente se ayuda como a otros con los que todavía no se trabajan y quizá también requieran ayuda de la organización.

3.4 OBJETIVOS

Los objetivos del proyecto están relacionados en parte con la motivación descrita en el 1. Es decir, la meta es conseguir alcanzar el sexto objetivo de las Naciones Unidas, garantizar el acceso a agua potable a todas las personas del mundo y erradicar la falta de acceso a recursos hídricos limpios. Sin embargo, es un objetivo ambicioso que no se logra únicamente con una persona y un trabajo puntual, sino con la suma de los esfuerzos de todos.

Por ello, en este apartado, se deja a un lado los objetivos ideales finales. Se explican objetivos o propósitos concretos y específicos para poder alcanzar el desarrollo exitoso del proyecto de forma que se propongan las soluciones más apropiadas ante las propuestas recibidas de MMUU.

Cuando se planteó el marco del problema se resumió en tres puntos clave:

- **Ver** las delimitaciones de las propuestas que recibe la ONG en número de personas, lugares desde los que proceden, disponibilidad de recursos, accesibilidad, etc. Así como ver los proyectos que que más se repiten para ver los sistemas que existen y se pueden implementar de manera fiel a la realidad y no teóricamente.
- **Analizar** la viabilidad de los sistemas en relación con su sostenibilidad, su vida útil, etc.; el mantenimiento que requieren, así como, hacerse una idea del presupuesto general de este tipo de proyectos según los distintos lugares. Para ello se tienen en cuenta:
    - el acceso a recursos y la disponibilidad de materiales,
    - la logística y transporte,
    - la mano de obra y formación técnica de los trabajadores o
    - los cambios de moneda y fluctuaciones de precios entre países
- **Proponer** los casos concretos más aplicables, esto es, estandarizar según los límites que existen. Las limitaciones y los riesgos existentes es lo que lleva no solo a elegir entre opciones sino, con más importancia a descartar las soluciones que no son viables en cada situación.

Estos puntos están enfocados a la cuestión técnica, ya que, se trata de conseguir una forma de saber en qué hay que focalizar la atención al estudiar las posibles soluciones y los proyectos anteriores y de ahí sacar la información necesaria para trabajar. Son una guía de los pasos a seguir, así como de lo más fundamental que el cualquier interesado debe aprender del trabajo: los posibles casos, los límites existentes y la propuesta de valor o solución.

4. DEFINICIÓN DEL PROYECTO

4.1 DEFINICIÓN DEL PROCESO

Para poder proponer unos modelos estándar adecuados, que generalicen la gran variedad de casos que se pueden dar o propuestas que puede recibir MMUU, primeramente, se analizarán las variables más importantes para tener en cuenta, a la hora de diseñar los modelos y proponer soluciones.

4.1.1 FACTORES CLAVE

A continuación, se muestran los factores que hay que considerar para la selección de opciones tecnológicas de manera general. En el trabajo nos centramos sobre todo aquellas que son más determinantes tras la investigación.

4.1.1.1 Clima

Al implementar un nuevo proyecto es importante previamente estudiar, primeramente, el clima de la región donde se encuentra el poblado ya que de ello dependerá la accesibilidad a los recursos naturales de agua. Para determinar el clima de una zona, los parámetros requeridos son las temperaturas medias tanto anuales como mensuales, las precipitaciones medias de igual modo y la estacionalidad de la precipitación.

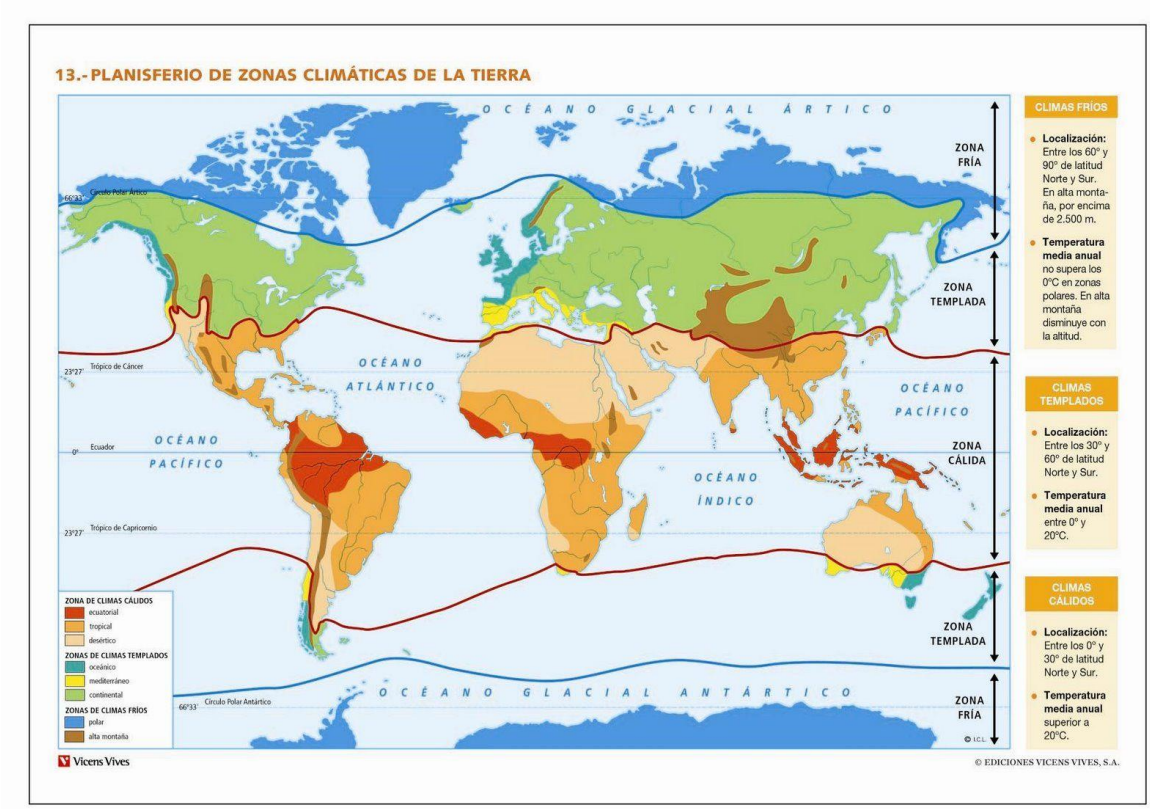


Figura 6. Diferenciación e información de climas fríos, templados y cálidos en el mundo (Fuente: Ediciones Vinces Vives S.A.)

Dado la extensión de la información y ante la posibilidad de variaciones en el medio plazo debido al cambio climático se ha optado por no incluir el estudio llevado a cabo respecto al clima de cada uno de los países y zonas del proyecto recogidas en el apartado de alcance del capítulo 4. Sin embargo, se ha analizado detenidamente y se ha tenido en cuenta para el desarrollo del proyecto.

Además, esta decisión se ha tomado ya que la información sobre el clima de cada uno de los lugares donde se van a implementar proyectos de este tipo se puede encontrar fácilmente y de forma actualizada en la base de datos de la NASA o en páginas web confiables como “climate data” que es la que suele consultar la ONG. Así mismo en la mayoría de los casos, es el socio local el que mejor conoce las características del lugar y tiene información específica y actualizada por lo que se consultará a éste.

De manera genérica se expone a continuación un mapa de África con la clasificación climática según el sistema de Köppen, ya que, como se estableció en el apartado 3.3 Alcance nos centraremos en este continente.

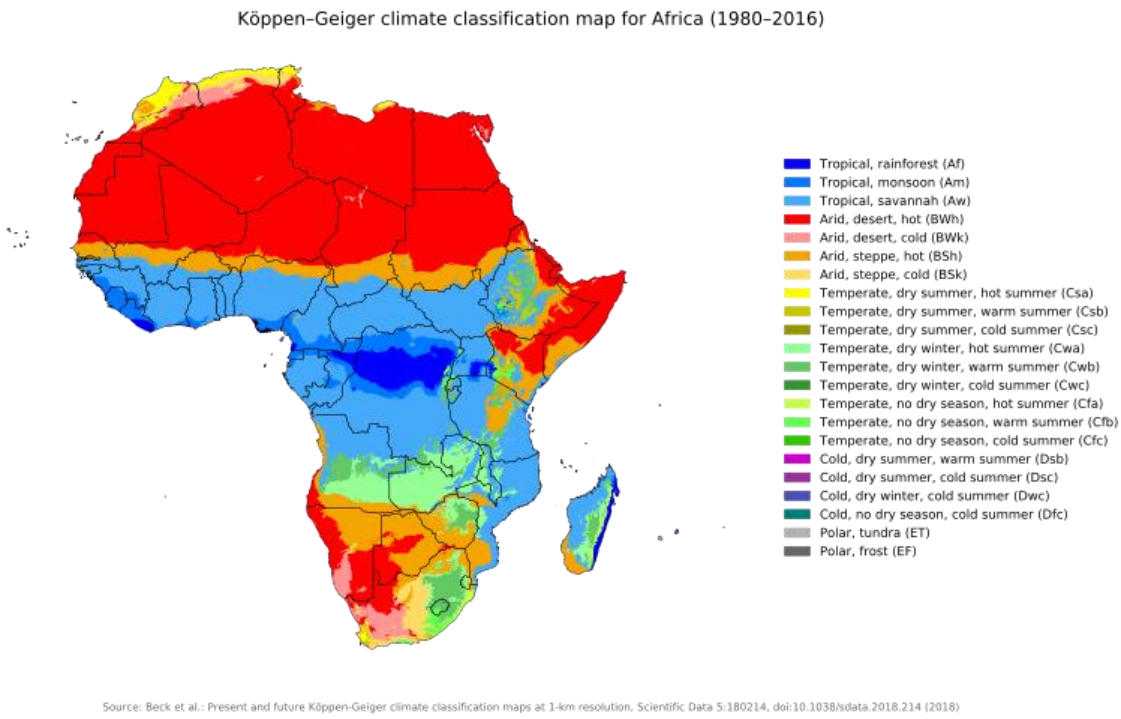


Figura 7. Mapa de clasificación climática de Köppen-Geiger para África

(Fuente: Beck, H.E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. - "Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution")

En el mapa se puede ver las distintas zonas climáticas en África, donde se destaca el fuerte contraste que supone la ruptura ecológica entre el desierto del Sahara en color rojo con el clima tropical de África Central y Occidental en color azul delimitados por la franja naranja del clima cálido y semiárido.

En oposición, en el sur de África, se puede ver que hay más variedad de climas distintos. Esta gama se compone de climas subtropicales y templados presentados en color verde y amarillo y de nuevo regiones semiáridas o desérticas en torno a Botsuana, Namibia y Sudáfrica.

Esta clasificación general climática propuesta por el climatólogo alemán Wladimir Köppen en 1884 y es la más empleada por su simplicidad y generalidad. Establece los límites entre

climas en base a la vegetación natural ya que existe una relación evidente de su distribución con el clima. Cada clima se determina según los parámetros de cada zona: temperatura, precipitaciones medias y estacionalidad de dichas precipitaciones clasificándolos con 3 letras que determinan el grupo, subgrupo y tipo de clima. Los 5 grupos principales en los que divide los climas de acuerdo con la latitud de la tierra son: tropical, seco, templado, continental y polar.

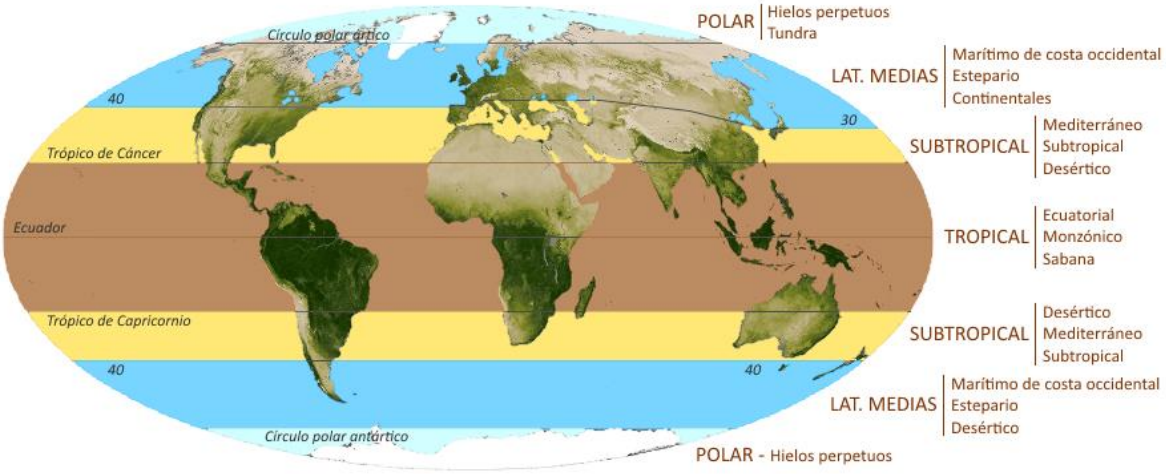


Figura 8. Esquema de distribución de climas por zonas latitudinales

(Fuente: Meteo Navarra)

4.1.1.2 Hidrología

Es importante ver por qué clima está dominada toda la región de estudio y observar el registro de precipitaciones en periodicidad y caudal. Las temperaturas en este caso pueden considerarse menos relevantes, pero si el grado de humedad o sequía.

Para estudiar la hidrología analizaremos principalmente 3 aspectos: las precipitaciones en relación con las aguas pluviales, el nivel freático en relación con las aguas subterráneas y los humedales en relación con las aguas superficiales.

1. **Precipitaciones**

   Los **climas tropicales (A)** son húmedos y no tienen ningún mes con temperaturas medias inferiores a 18 ºC. Según el régimen de precipitaciones se distinguen:

- Clima tropical **ecuatorial** (Af). Este clima tiene lluvia abundante y ningún mes con precipitación inferior a 60 mm. Las aguas en este clima son tanto meteóricas y/o pluviales como aguas superficiales que se pueden emplear en caso de emergencia o insuficiencia.

- Clima tropical **monzónico** (Am). A lo largo del año este clima tiene meses de lluvia intensa, así como meses sin lluvia. Se clasifica una región con este clima cuando hay por lo menos algún mes con precipitaciones inferiores a 60 mm o si el mes más seco tiene precipitación superior a la fórmula [100-(Precipitación anual/25)]). Las aguas en este clima son tanto meteóricas y/o pluviales como aguas superficiales.

- Clima tropical de **sabana** (Aw y As). Al igual que para el subgrupo anterior, se clasifica cuando hay por lo menos algún mes con precipitaciones inferiores a 60 mm, pero por el contrario del anterior se clasifica de sabana si el mes más seco tiene precipitación inferior a la fórmula [100-(Precipitación anual/25)]). Además, las aguas en este clima son aguas meteóricas y/o pluviales como anteriormente pero también aguas subterráneas.

Los **climas secos (B)** tienen precipitaciones anuales por debajo de la evapotranspiración potencial anual. Las aguas en regiones con este clima son subterráneas y/o superficiales. Se clasifican los subgrupos entre desértico (BW) o estepario (BS) según la aridez y entre frío (BWk, BSk) y cálido (BWh, BSh) según el régimen de temperaturas.

Los **climas templados (C)** son húmedos con temperaturas del mes más cálido por encima de los 10 ºC y del mes más frío entre -3 ºC o 0 ºC y 18 ºC. El régimen de lluvias diferencia el grupo en 3 subgrupos.

- Clima templado de **verano seco** (Cs). Este clima tiene marcado un mínimo de precipitaciones donde la del mes más seco del verano está una tercera

parte por debajo de la del mes más húmedo. Adicionalmente, algún mes se encuentra con precipitación menor a 30 mm.

- Clima templado de **invierno seco** (Cw). En este subgrupo la precipitación del mes de invierno más seco es la décima parte inferior a la del mes más húmedo.

- Clima templado **húmedo** (Cf). Por último, este subgrupo no tiene estación seca, no estepario o desértico y tiene suficientes precipitaciones durante todo el año.

Como se ha establecido la atención en el continente africano, se muestra a continuación un mapa con el promedio de precipitaciones anuales en dicho continente. Pero de nuevo en cualquier proyecto es imprescindible obtener información más concreta de la localidad.

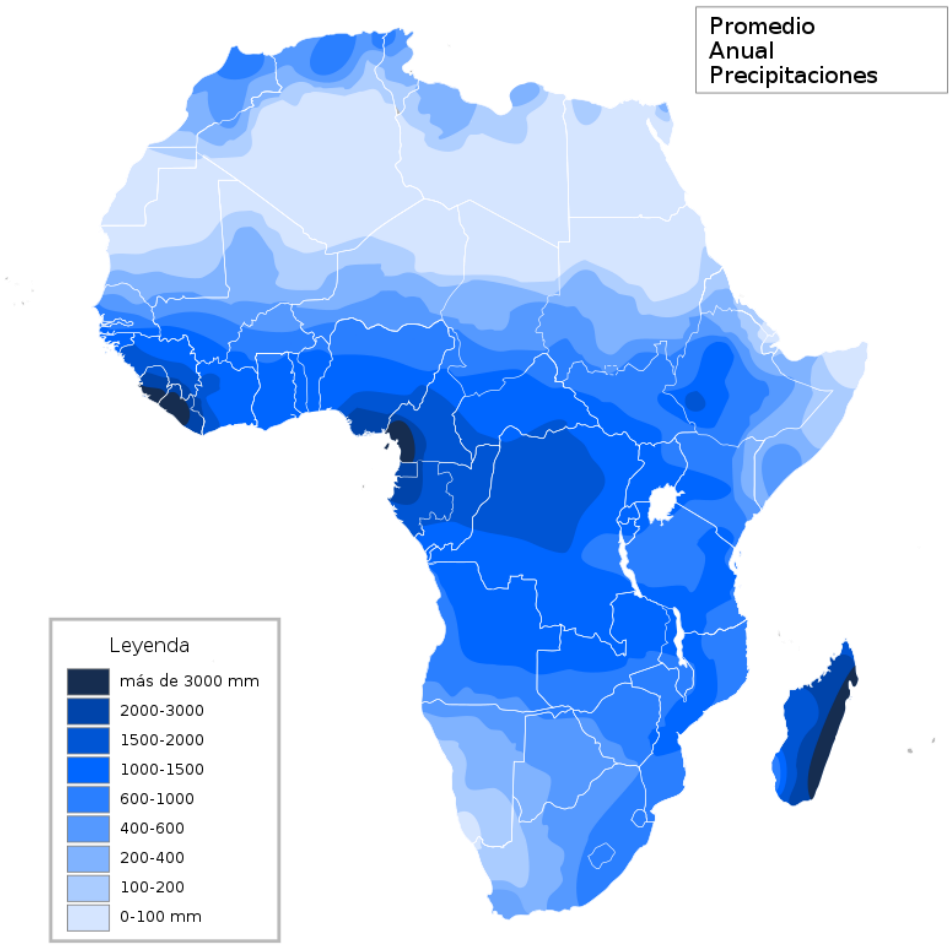


Figura 9. Mapa de África con el promedio anual de precipitaciones

(Fuente: Wikipedia África Precipitation Map)

2. Acuíferos y nivel freático

Para abordar los conceptos de aplicación esencial para el proyecto se estudia en este apartado el acceso a la profundidad donde se localiza el agua subterránea o nivel freático del suelo. Resulta indispensable ubicar el lugar óptimo para realizar la perforación en caso de que no se haya construido un pozo previamente de manera que el agua se encuentre lo más cercana posible a la superficie para que la instalación sea lo más eficiente posible.

A continuación, se expone la representación gráfica de los niveles freáticos de África con el propósito de obtener una visión preliminar de la profundidad a la que se puede hallar el agua.

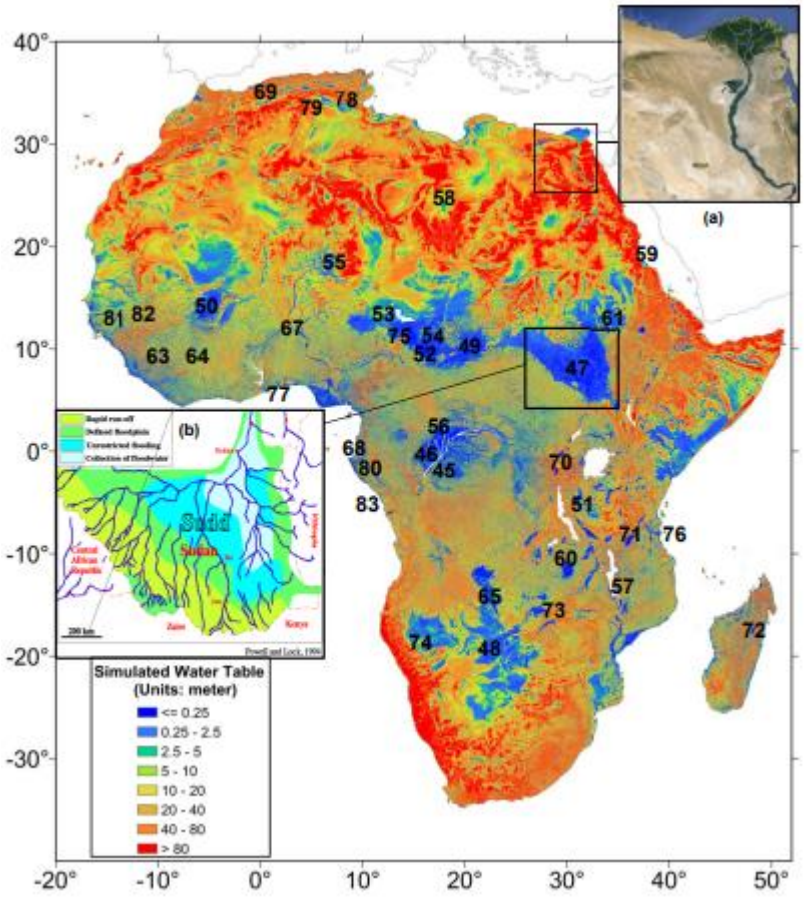


Figura 10. Mapa de África indicando la profundidad de las zonas freáticas

(Fuente: Global Patterns of Groundwater Table Depth" por Y. Fan, H. Li y G. Míguez-Macho)

La figura ilustra el mapa de las áreas freáticas en África, junto con imágenes detalladas del oasis en el bajo Nilo donde desemboca (a) y las características de inundación en la región del Sudd en Sudán (b) también descrito como el Gran Pantano del Nilo Blanco. En el ANEXO II: Mapas, planos, gráficas, tablas y guías se recogen los mapas de otros continentes relevantes como América del sur y Asia y Europa en caso de que también se deseen consultar. Las cifras indican un número asignado a los 39 humedales Ramsar más grandes del mundo que se encuentran en este continente empezando por el 45 y acabando en el 83 para su identificación en relación con la tabla mostrada más adelante en el siguiente apartado.

Como se puede apreciar, la profundidad de los niveles freáticos oscila mayormente alrededor de los 20 metros en las zonas cercanas al Ecuador. Sin embargo, las áreas más

alejadas del Ecuador presentan los niveles freáticos más profundos, en su mayoría superiores a los 20 metros. Llegan a valores por encima de los 80 metros (representado en rojo) en la parte norte del desierto del Sahara, en el Atlas marroquí, a lo largo de la costa del mar Rojo y por el norte de la península de Somalia, así como en el suroeste de Namibia y Sudáfrica.

3. **Humedales**

Los humedales desempeñan un papel muy relevante, ya que son áreas en las cuales el agua se encuentra más cercana a la superficie. En relación con el mapa presentado anteriormente, se destacaban los humedales Ramsar más grandes del mundo situados en áfrica. En el ANEXO II: Mapas, planos, gráficas, tablas y guías se proporciona una lista de estos humedales Ramsar de África, que han sido los destacados internacionalmente como más importantes según la Convención Ramsar. Los humedales extendidos a lo largo de varios países están sombreados y se muestra la suma de la superficie total.

Al igual que los mapas de nivel freático recogidos en el ANEXO II: Mapas, planos, gráficas, tablas y guías de otros continentes, también son acompañados en dicho anexo con su tabla de humedales correspondiente.

Volvemos ahora al principio del apartado para destacar unos últimos puntos importantes respecto al factor de la hidrología.

Según establece Béjar en su libro titulado "Hidrología estadística" publicado por el Instituto Tecnológico de Costa Rica en 2006, las aplicaciones prácticas de la hidrología se pueden encontrar en diversos campos, como el diseño y operación de obras de abastecimiento de agua, estructuras hidráulicas, el tratamiento y posterior disposición de aguas residuales, el drenaje, la generación hidroeléctrica, el riego, el control de inundaciones, la navegación, el control de sedimentos y la erosión, entre otros.

Por tanto y como se ha visto, es conveniente para la propuesta de sistemas tener, a través de su estudio, información acerca de las fuentes de abastecimiento de agua disponibles

(subterránea y superficial), la proximidad a estas, datos sobre precipitaciones (fuentes pluviales) o volumen de reservorios de agua entre otros. Antes de empezar un proyecto conviene que MMUU conozca concretamente los siguientes puntos.

1. Precipitaciones, esto es, las formas de precipitación, su clasificación y medición, el cálculo la intensidad máxima con su estimación y el de la precipitación de diseño.

2. Escurrimiento respecto a los factores que afectan a la Infiltración superficial, su medición, el análisis de los datos de caudales y sus curvas representativas.

3. Caudales máximos y los diferentes métodos que existen para su cálculo.

Este último punto es el que más nos interesa de cara a saber el caudal disponible en la zona de estudio para poder aprovechar al máximo los recursos, y diseñar los sistemas acordes con los datos recogidos. Acerca del caudal disponible es importante:

- La cantidad: los niveles de ingreso (bajo, medio o alto).
- La temporalidad: estacional, recurso que se agota, fijo, etc.
- La calidad: composición química, necesidad y posibilidad de tratamiento, etc.

4.1.1.3 Topografía

En tercer lugar, la topografía de la zona: la altitud, propiedades del terreno etc. Se debe realizar un estudio previo de las características locales como la accesibilidad. La topografía del centro o poblado indica si la zona es accidentada con pendientes pronunciadas o es lisa y llana también debe indicar las cotas absolutas en las que está comprendida la zona de captación y la localidad.

Según el relieve puede que sea favorable un sistema y otro para la captación y distribución. La elevación de las zonas de captación respecto al poblado permitirá utilizar sistemas por gravedad o aprovechar la energía potencial. También es interesante tener zonas con pendientes moderadas para la conducción entre depósitos.

4.1.1.4 Población y demanda

Para tomar decisiones relacionadas con la instalación de un pozo, el dimensionamiento de la bomba, los sistemas energéticos y el tanque de agua se debe conocer el caudal de agua requerido por el sistema. Este dato se recoge en el apartado 5.3 Cálculos. Conviene destacar que el suministro de agua se limitará exclusivamente al uso doméstico. La finalidad de esta instalación es proporcionar este servicio a comunidades con dificultades de acceso al agua, sin abastecer instalaciones de gran escala como industrias, grandes colegios, hospitales, extensas áreas agrícolas u otros que demanden altos consumos de agua. Así mismo no se ha tenido en cuenta el crecimiento poblacional ya que es posible que sea notablemente diferente en cada lugar.

En caso de considerar la posibilidad de ampliar el alcance del proyecto para abarcar aplicaciones más extensas, se deberá realizar un cálculo del caudal acorde a las nuevas necesidades de agua extraída. Se deberá ajustar el cálculo del caudal en función de las nuevas finalidades y usos del agua. En cualquier caso, esto no supondría una complicación ya que los modelos propuestos no solo trabajan con un margen considerable, sino que su carácter modular permite duplicar alguno de los modelos de manera sencilla en caso de que resulte necesario más adelante por el crecimiento o el uso para otras actividades.

Al empezar un proyecto nuevo se analizará:

- El tipo de población, si es concentrada o dispersa
- Las capacidades locales, por ejemplo, muy baja, regular o buena
- A quien se va a suministrar ya sea a familias independientes, a coles, a un hospital, etc.

Estos aspectos son importantes ya que determinan puntos de decisión entre distintos sistemas como se ve claramente en el Algoritmo de selección recogido en el ANEXO II: Mapas, planos, gráficas, tablas y guías. Un ejemplo combinando el tipo de población con la topografía es saber que en la zona concentrada de viviendas el relieve es ondulado y en el resto de las viviendas dispersas, se presenta un relieve con pendientes moderadas. Esto

ayudará en gran medida a la determinación del sistema más apropiado y su implementación.

4.1.1.5 Diseño hidráulico y componentes del sistema

Para conocer el sistema más apropiado y especialmente más eficiente conviene saber principalmente el diseño hidráulico que se va a plantear diferenciando los dos métodos de conducción del agua principales que se desarrollaron en el punto 2.1.2. Sistemas convencionales

Además de los componentes principales del sistema detallados en 2.1 Marco teórico, conviene saber el tratamiento requerido (desinfección, tratamiento simplificado + desinfección o tratamiento químico + desinfección) y el mantenimiento requerido (simple, intermedio o complejo).

4.1.1.6 Diagnóstico del servicio de agua potable existente

Es importante valorar también si existe ya un servicio de agua, ya que si es fácil de adaptar podría evitarse hacer un sistema completamente nuevo ahorrando recursos y tiempo.

Puesto que los proyectos se ponen en marcha cuando llega una solicitud a MMUU, lo normal es que, en caso de existir un sistema, éste tenga fallos o esté dando problemas. Por ello, primeramente, habrá que identificarlos y hacer un análisis de las posibles soluciones. Valorando en este proceso como se decía anteriormente si es más conveniente arreglarlo o adaptarlo u hacer un sistema nuevo.

Es importante examinar las fortalezas y debilidades del sistema, ya que de ellas se puede aprender mucho y evitar futuros problemas. Esto servirá tanto para las mejoras del propio sistema en el proyecto como para otros proyectos que pueden aprovechar esas mismas fortalezas o ventajas, así como prevenir y evitar esas debilidades o fallos.

4.1.1.7 Calidad agua existente

En cuando al diagnóstico del agua un punto clave es saber su calidad y sus posibles formas de contaminación, tanto de la propia fuente como a lo largo del sistema.

La transmisión de gran parte de enfermedades como el cólera, la disentería, la hepatitis A, la poliomielitis, la fiebre tifoidea y enfermedades diarreicas se deben a la insalubridad del agua y un saneamiento deficiente. Así mismo, las conducciones de distribución por soldaduras o accesorios en base de plomo o latón provocan intoxicación por plomo.

En el apartado 5.5.1 Riesgos de detallarán más concretamente los principales focos de atención como la contaminación del agua del acuífero, la proliferación de bacterias e insectos vectores de enfermedades debido al agua estancada en el punto de extracción y el crecimiento de algas en los depósitos elevados o superficiales debido a la exposición solar y las altas temperaturas.

Sin embargo, en este apartado, se hace un breve análisis de los límites de calidad del agua potable establecidos por la OMS en el marco para la seguridad del agua de consumo humano. Este marco establece los aspectos microbiológicos, químicos, radiológicos y relativos a la aceptabilidad de sabor, color y apariencia que es conveniente consultar y conocer en cualquier proyecto de abastecimiento y tratamiento de agua.

La manera más adecuada de clasificar los contaminantes químicos en el agua es según la fuente del contaminante ya que este es el factor que se puede controlar de manera más fácil y efectiva. Así se minimiza la concentración de contaminantes en el agua suministrada. Por lo general para el análisis del agua, se clasifican las sustancias químicas según su origen, somo se muestra en el siguiente cuadro.

Fuente de componentes químicos	Ejemplos de fuentes
Origen natural	Rocas, suelos y los efectos del marco geológico y el clima; masas de agua eutróficas (también influenciados por el vertido de aguas residuales y la escorrentía agrícola)
Fuentes industriales y núcleos habitados	Minería (industrias extractivas) e industrias de fabricación y procesamiento, aguas residuales (incluidos una serie de contaminantes que son motivo de preocupación), residuos sólidos, escorrentía urbana, fugas de combustibles
Actividades agropecuarias	Estiércoles, fertilizantes, prácticas de ganadería intensiva y plaguicidas
Tratamiento del agua o materiales en contacto con el agua de consumo humano	Coagulantes, SPD, materiales de tuberías
Plaguicidas añadidos al agua por motivos de salud	Larvicidas utilizados en el control de insectos vectores de enfermedades

Tabla 6. Categorización de las fuentes de componentes químicos

(Fuente: Organización Mundial de la Salud. (2018))

Las Directrices de la OMS en lo referente a la calidad del agua potable, establecen los valores mínimos o de referencia de los contaminantes en el agua potable. Estos datos, recogidos en las Guías de la OMS para la calidad del agua de consumo humano (cuarta edición, publicada en el 2011, que incorpora la primera adenda en el 2017) establecen directrices en relación con los aspectos relativos al agua como los elementos químicos de su composición como a aspectos relacionados a su distribución y gestión. En el ANEXO II: Mapas, planos, gráficas, tablas y guías se muestra la información más destacada en tres tablas que a continuación se muestra resumida.

	Compuesto	Valor de referencia	
Cuadro 1	**Antimonio**	0,02 mg/l	20 µg/l
	Benzopireno	0,0007 mg/l	0,7 µg/l
	Cobre	2 mg/l	2000 µg/l
	Plomo	0,01 mg/l (10 µg/l)	10 µg/l
	Níquel	0,07 mg/l (70 µg/l)	70 µg/l
	Cloruro de vinilo	0,0003 mg/l (0,3 µg/l)	0,3 µg/l
Cuadro 2	**Arsénico**	0,01 mg/l (10 µg/l)	10 µg/l
	Fluoruro	1,5 mg/l (1500 µg/l)	1500 µg/l
	Nitrato	50 mg/l (50 000 µg/l)	15000 µg/l

	Agente patógeno	Valor de referencia	
Cuadro 3	***Legionella spp***	No existe ningún valor de referencia para la *Legionella*.	
	Escherichia coli	*Escherichia coli (E. coli)* o las bacterias coliformes termo tolerantes no deben poderse detectar en ninguna muestra de 100 ml.	

Tabla 7. Valores de referencia de contaminantes de la OMS para la calidad del agua potable

(Fuente: Elaboración propia)

El primer cuadro de contaminantes que presenta la OMS está relacionado a la construcción por la posible contaminación por componentes de fontanería y tuberías. Estos contaminantes son el antimonio, el benzopireno, el cobre, el níquel, el plomo y el cloruro de vinilo.

El segundo cuadro de contaminantes es más importante ya que recoge los elementos químicos principales en aguas naturales que plantean riesgos importantes para la salud de las personas. Aunque son muchos los elementos que se se deben controlar en los análisis de agua, muchos presentan un margen de tolerancia mayor. Aquí se recogen los que son motivo de mayor preocupación para la salud y que tienen límites más críticos que no deben sobrepasarse en ninguna circunstancia, estos son, el arsénico, el fluoruro y el nitrato.

Finalmente, el tercer cuadro presentado por la OMS recoge las bacterias que se deben controlar, seleccionando dos como las más principales.

- La bacteria ***Legionella spp*** se encuentra de manera natural en ambientes de agua dulce, como lagos y arroyos y causa la enfermedad del legionario, enfermedad respiratoria muy grave que afecta principalmente a los pulmones y está caracterizada por síntomas como fiebre alta, tos, dificultad para respirar, dolores musculares y dolor de cabeza. La Legionella también puede causar una enfermedad similar a la gripe de menor gravedad llamada fiebre de Pontiac, pero también neumonía grave. Estas bacterias prosperan en ambientes de agua caliente, entre temperaturas de 25 °C y 42 °C y pueden multiplicarse y propagarse

en sistemas de agua si no se implementan medidas adecuadas de mantenimiento y desinfección.

- La bacteria ***Escherichia coli*** se encuentra en los intestinos de los seres humanos y animales de sangre caliente. Existen varios tipos que incluyen cepas patógenas y no patógenas y aunque en su mayoría son inofensivas y ayudan a la salud intestinal otras pueden causar graves enfermedades. Entre ellas, diarrea (que puede ser sanguinolenta), cólicos abdominales, fiebre y malestar general. También puede llegar a provocar complicaciones graves (especialmente en personas con sistemas inmunológicos debilitados o en niños pequeños) como el síndrome hemolítico urémico (SHU) que afecta a la sangre y los riñones. El E. coli se transmite por el consumo de agua o alimentos contaminados, así como por el contacto directo con animales infectados o heces contaminadas.

La calidad del agua es fundamental en cualquier sistema de abastecimiento ya que de nada sirve proporcionar agua para el consumo en mal estado. Como dice la expresión "a ver si va a ser peor el remedio que la enfermedad", no se sabe que es peor, si morir de sed o de una enfermedad por beber agua mala. Además, cobra especial relevancia al tratarse de proyectos que son ideados fundamentalmente para colegios y hospitales, afectando de manera más directa a la población más vulnerable, niños y enfermos. Por ello es crucial tanto hacer un análisis previo de las fuentes como hacerlos de manera periódica para controlar las posibles contaminaciones y establecer el mantenimiento requerido.

4.1.1.8 Obtención energética

Finalmente, un punto determinante en los sistemas y sobre todo en los lugares donde los recursos son escasos es la obtención y aprovechamiento completo de la energía. Se deberá valorar y conocer antes de empezar:

- Datos de radiación solar y datos eólicos (u otras posibles fuentes de renovables)
- Cercanía a la red eléctrica y la forma en la que se puede aprovechar

- Necesidad del sistema de energía en función de las características territoriales

4.1.2 IDENTIFICACIÓN GENERAL

Con relación a todos los factores destacados anteriormente, MMUU debido a la enorme solicitud de implementación de proyectos de este tipo facilita a los poblados interesados, una ficha que deben rellenar con las características relevantes.

Se muestra en el ANEXO II: Mapas, planos, gráficas, tablas y guías un ejemplo de la ficha denominada "Guide for the Presentation of Water Projects (V3 - 24/05/2022)" rellena con los datos de uno de los proyectos más recientes que se han llevado a cabo en Kenia.

Esta ficha muestra las características conocidas para el desarrollo técnico de los proyectos solicitados. Consta de dos partes diferenciadas la identificación general y la específica. La primera recoge la información de:

A.- **Infraestructura** existente: Análisis técnico preliminar para comprobar si existen infraestructuras que puedan repararse en lugar de construir otras nuevas.

B.- **Demanda** de agua: Adaptar los sistemas (consumo humano y animal, sistemas de riego) a las necesidades y calcular el volumen de demanda.

C.- **Cantidad** de agua: Adaptar los sistemas (consumo humano y animal, sistemas de riego) a los recursos disponibles y calcular el volumen disponible.

D.- **Calidad** del agua: Adaptar los sistemas (consumo humano y animal, sistemas de riego) a la calidad del agua.

E.- Resumen de **diseño y alternativas**: Diseño técnico, calidad de infraestructura, diseños alternativos.

4.1.3 IDENTIFICACIÓN ESPECÍFICA SEGÚN EL TIPO DE PROYECTO

Por otra parte, la segunda recoge información de:

J.- **Captación** de agua **superficial**: ríos y manantiales.

K.- Captación **subterránea**: Pozos perforados.

L.- Captación de aguas **pluviales**.

M.- **Bombas** de agua (indicar la información requerida para cada una instalada).

N.- **Almacenamiento** y depósitos.

O.- **Red** de tuberías y puntos de captación de agua.

P.- **Tratamiento** de aguas.

P.- Saneamiento, en general.

R.- Letrinas

S.- **Mantenimiento** y formación.

Con la información recopilada es posible comenzar a poner en marcha el desarrollo del sistema más oportuno.

4.2 PLANIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN ECONÓMICA

En este apartado se hará una presentación temporal de las actividades a realizar y estimación del coste de desarrollo. Para la planificación de un nuevo proyecto tras recibir una nueva solicitud, MMUU deberá comenzar por pedir la información necesaria del lugar y recoger los documentos expuestos en el ANEXO II: Mapas, planos, gráficas, tablas y guías destacados anteriormente con los detalles de la propuesta. A continuación de verá si se acepta o rechaza la solicitud, siguiendo el flujo de decisión propuesto en este proyecto también recogido en el ANEXO II: Mapas, planos, gráficas, tablas y guías.

Según lo desarrollado en los capítulos previos se busca facilitar las decisiones a la hora de seleccionar un sistema u otro para implementar destacando en este proyecto las vías que hay que elegir en cada caso. Pposteriormente se verá cómo se ha ido adaptando cada modelo según se estudian las alternativas viables.

Según los modelos propuestos y los cálculos llevados a cabo, se estima que el presupuesto para implementar un sistema sencillo de abastecimiento de agua sea altamente variable dependiendo no solo del país sino de la localidad concreta donde se lleve a cabo. Hay que tener en cuenta que el tamaño y dispersión de la población afecta considerablemente los costos de inversión de los sistemas, en particular de comunidades rurales, siendo notoria la economía de escala en sistemas que atienden comunidades de mayor tamaño.

Tomando como referencia los proyectos llevados a cabo y revisados por la ONG en África, la estimación económica que supone ronda entre los 50 y 120 mil dólares, siendo lo más común en torno a 60 o 70 mil.

En muchos lugares de este continente, un pozo completo y equipado, es decir, perforado, completado y con una bomba manual, cuesta entre 7 y 15 mil dólares. Sin embargo, en otros, como por ejemplo en el Congo, que es uno de los países más desarrollados de África, eso mismo cuesta entre 15 y 20 mil dólares. Aunque a priori parece extraño, esto se debe a que la mano de obra generalmente es bastante más barata en zonas menos desarrolladas que en los núcleos urbanos mientras que las bombas o elementos prefabricados son más baratos en los puertos o ciudades debido a la accesibilidad y logística que en las zonas rurales.

Luego además en países que, por ejemplo, están en guerra o tener guerrillas los precios se disparan. También hay países en los que se despilfarra tanto que la depreciación de la moneda es muy alta, aunque los precios en euros no deberían cambiar, hay incluso inflación en euros.

Hay muchísimos factores que entran en juego que hacen que los precios de estos proyectos sean altamente variables: los aranceles, los monopolios, el mantenimiento y requerimientos posteriores o sustituibilidad, la cercanía a grandes ciudades… Varía tanto entre países como dentro de cada uno. En América Latina por ejemplo hay grandes aranceles a la importación. Algunos de estos aspectos se verán también más adelante en el apartado de 4.2.24.2.2 Situación económica del país. Aunque podría incorporarse al apartado 5.5.2 Limitaciones se ha separado puesto que, en estos casos, es imposible abarcar y profundizar en los muchos riesgos y limitaciones.

En esta parte se explican los puntos clave en el estudio económico de estos presupuestos de cara no solo a estimar el presupuesto sino para tener en cuenta el sin fin de factores que entran en juego y afectan a la mayoría de ONGs. A continuación, se destacan algunos.

4.2.1 SITUACIÓN POLÍTICA DEL PAÍS

No solo es importante la situación del país a nivel político, esto es, si hay democracia, dictadura o incluso si está en guerra sino también el nivel social, por ejemplo, si hay guerrillas u otras circunstancias como robos o violaciones (incluso animales salvajes) que pongan en peligro la seguridad. Esto, aunque a primera vista no parece muy importante en estos países puede llegar a ser lo más relevante. Para llenar las garrafas o ir al colegio es posible que niños tengan que recorrer kilómetros desprotegidos con el peso del agua (y la posibilidad de perderla que conlleva) y poner tanto si vida como su integridad física en peligro. Así mismo, por ejemplo, el tiempo que se tarde en llenar las garrafas en el colegio o el hecho de contratar o no un encargado de llenarlas durante las horas de clase podría hacer que los niños volvieran a casa en horas con luz de día y no tengan que esperar después de clase y volver en el peligro de la noche.

La seguridad que haya en un país también afectará a las posibilidades tecnológicas que se puedan implementar. Si hay robos frecuentes puede resultar ventajoso por ejemplo elegir una bomba manual frente a una electro sumergible al ser menos susceptible a robos y más barata. Además, para evitarlos, se pueden colocar arquetas. Si hay guerrillas, no se podrá poner el sistema de abastecimiento en un lugar desprotegido y alejado sino dentro de los propios centros vallados o en recintos altamente protegidos donde haya vigilancia.



Figura 11. Ejemplo de un sistema vallado y protegido en uno de los municipios rurales de la región de Dosso todavía aislados en 2015.

(Fuente: LuxDev, 15 years in Niger, A retrospective of cooperation in the Dosso region)

Lo mismo ocurre en caso de que haya animales salvajes que puedan dañar los equipos o contaminar el agua.

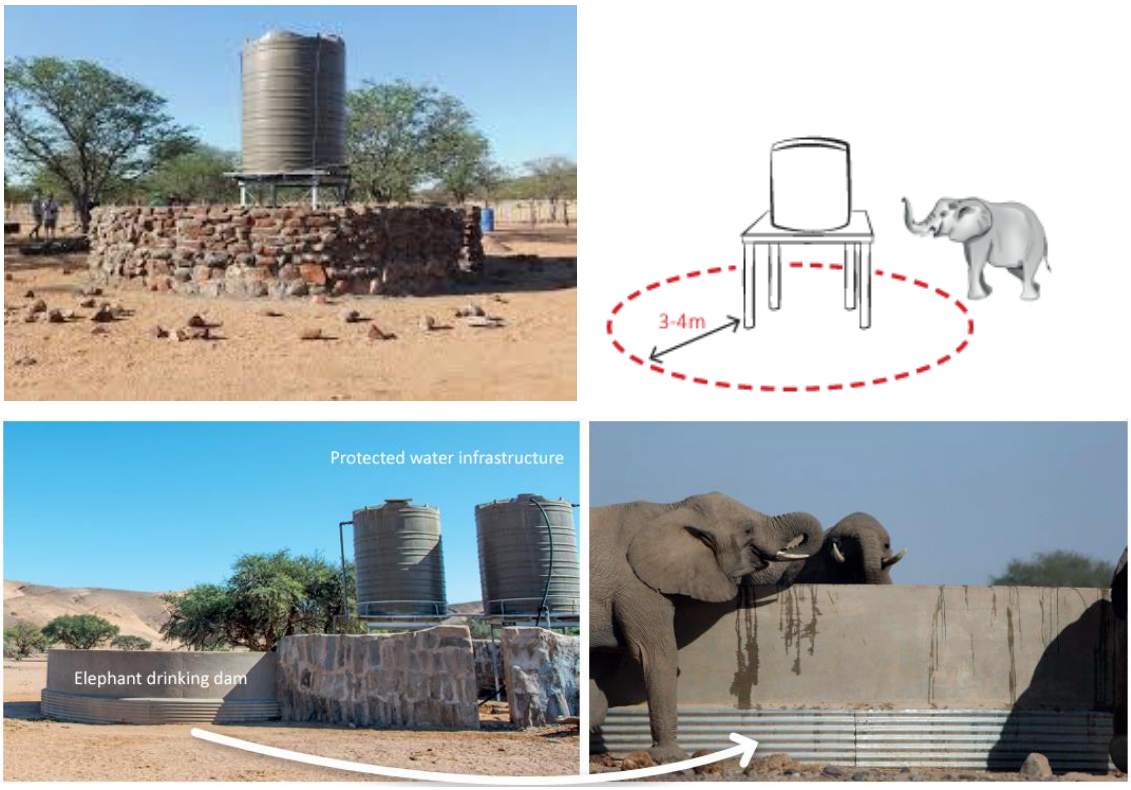


Figura 12. Muro de piedra resistente como medida de protección frente a constantes ataques de elefantes en Namibia. (Fuente: Water point-homestead protection construction methods tools budget. Encosh)

Estos son ejemplos entre muchos otros escenarios que se dan en la realidad y que no se suelen tener en cuenta al trabajar desde países desarrollados con gobiernos estables y seguridad social.

4.2.2 SITUACIÓN ECONÓMICA DEL PAÍS

La situación económica del país es crucial en este aspecto al tratarse no solo de países en vías de desarrollo sino por tratarse de proyectos internacionales desde organizaciones en países desarrollados. Entre los aspectos más destacables están:

- Altas fluctuaciones económicas, crisis financieras e inestabilidad económica no solo generan incertidumbre, sino que también impactan negativamente la viabilidad y continuidad de estos proyectos.
- Los aranceles a la importación.
- El cambio de moneda
- La inflación
- Los monopolios
- Los precios

Para zonas con accesibilidad muy reducida MMUU se apoya en el socio local. Él tiene la infraestructura para saber qué es lo que se puede transportar, que es lo que cuesta más o menos y que hay disponible en el mercado y que no.

Por ejemplo, las bombas manuales en la India valen 100 €, para exportar, en un puerto valen el doble (dentro de la India se duplica el precio), y al llegar a África valen 1.000 € (se vuelve a duplicar o triplicar). Cuando no hay fabricantes de bombas manuales en la cercanía el arancel a la importación está basado en el transporte. Puede que el tipo de solución que se esté proponiendo no exista en ese mercado y se requiera otra solución que será la que va a dar el socio local que ya tiene experiencia y conocimientos.

Al final, se va a encontrar todo lo que se necesita para solucionar el abastecimiento, aunque no sea de la última tecnología. Esta es la causa principal por la que en este tipo de proyectos se opta por tecnologías más sencillas, por los riesgos que se desconocen y por estar generalmente sometidos al al vendedor exclusivo de la zona. En los países menos desarrollados no hay apenas competencia y menos aún en zonas rurales despobladas.

Por ejemplo, en ciudades o capitales como Nairobi (Kenia) si hay algo más de competencia y se puede buscar la mejor oferta. Pero, por el contrario, en un poblado situado en medio de una selva se tendrá que pagar lo que pida el único vendedor y se estará sometido a sus condiciones. Por ello nos encontramos casos tan extremos, dentro

del mismo país, en función de la zona los precios cambian mucho y por ello es difícil hacer estimaciones generales sin hablar de un lugar concreto.

En general se trata de monopolios por lo que la mayoría de las ONGs están controlados por ello. En lugares remotos donde varias organizaciones intentan ayudar al final prácticamente todas dependen del mismo vendedor que suele aprovechar esta ventaja.

Por lo comentado anteriormente, sobre el transporte, la disponibilidad, etc. o directamente la logística, no hay una manera simple de estandarizarlo. El mercado solo funciona competitivamente en lugares donde está muy desarrollado, en el resto de los sitios, hay que asumir lo que hay. Esto nos lleva al siguiente punto.

4.2.3 DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL PAÍS

Muchas veces en estos países la innovación no es práctica por muchas razones que no son técnicas sino circunstanciales. Estas son, como se mencionaba anteriormente, robos, guerrillas, animales salvajes, contaminación, la falta de competencia, etc. Es posible que los cálculos de los elementos óptimos resulten ser muy teóricos y poco prácticos. Estos se desarrollan más adelante en la sección de 5.5.2 Limitaciones.

Según un proyecto ejemplo de MMUU se invirtió 250.000 € en 18 pozos. Los pozos de bomba manual destinados a las aldeas costaban 7.500 € y los que bomba eléctrica 9.000 € y estaban destinados a los colegios. Esto se hizo así porque el colegio estaba vallado, y no podía entrar cualquiera, en los colegios hay más seguridad.

Si se trata de centros sociales, hospitales, colegios, etc. Donde hay una vaya o control mínimo se puede dejar las manuales y poner electro sumergible con placas. MMUU lo desaconseja en otros casos no por estar en contra de la innovación sino porque no es práctico.

4.3 METODOLOGÍA Y CRONOGRAMA

La metodología que se ha seguido para desarrollar el proyecto con éxito ha sido primeramente un trabajo exhaustivo de investigación y análisis de la situación actual en los países mencionados en el apartado 3.3 Alcance, los proyectos pasados llevados a cabo por MMUU y otras organizaciones, las tecnologías disponibles y los avances más actuales asi como la comparativa y puntos críticos o de inflexión de los datos estudiados.

En primer lugar, para conseguir los objetivos mencionados en el punto 3.4 Objetivos se establece a continuación un cronograma dividiendo las tareas en cuatro áreas, abordándolas por separado. Se presenta también con más claridad en el ANEXO II: Mapas, planos, gráficas, tablas y guías.

AREA	ACTIVIDAD	2022				2023					
		sep-09	oct-10	nov-11	dic-12	ene-01	feb-02	mar-03	abr-04	may-05	jun-06
INICIACIÓN PROYECTO	Anexo A	X									
	Definición del alcance	X									
	Calendario y plan de organización	X									
	Definir periodicidad de reuniones	X									
	Anexo B					X					
INVESTIGACIÓN, ANÁLISIS y ESTUDIO	Definición del genérica del proyecto		X	X							
	Investigación general	X	X	X	X	X					
	Análisis del impacto (inputs, entorno y dimensión)		X	X							
	Análisis de sostenibilidad operativa y económica a LP						X	X			
	Definición de alternativas viables						X	X			
	Comparaciones					X	X	X			
DISEÑO Y CÁLCULOS	Descripción de elementos viables					X	X	X			
	Definición de variables e hipótesis					X	X	X			
	Cálculos de alternativas viables						X	X			
	Presupuestos y análisis económico							X			
DOCUMENTACIÓN	Guías de usuarios (mantenimiento, montaje y formación)										
	Beneficio e impacto social (ODS)		X	X							
	Redación y revisión del proyecto							X		X	
HITOS	Preparación de la presentación								X		
	Reuniones MMUU y Fund. Ing.	X		X		X	X	X	X		
	Presentación intermedia							X	X		
	Entrega y defensa TFG									X	X
	Presentación final MMUU y Fund. Ing										X

	Periodo de exámentes finales
ENERO	Anexo B
FEBRERO	Hipotesis, variables, modelos y comparativa
MARZO	Revisión final y estudio económico
ABRIL	Detalles y preparación de la presentación
MAYO	Entrega y presentación

Tabla 8. Cronograma del proyecto (Fuente: Elaboración propia)

5. ALTERNATIVAS DE DISEÑO DEL SISTEMA

Visto el caso general del sistema de suministro de agua y de las partes que éste debe tener, se pasará a estudiar los casos concretos propuestos pasando por todas las variables y parámetros anteriormente mencionados en los capítulos previos.

Los casos estudio que se van a abordar son enfocados a abastecer colegios y hospitales, así como poblados o familias que se pueden incluso abastecer desde estos puntos de distribución debido a la frecuencia con la que se visitan estos centros.

5.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Antes de profundizar en cada sistema particular, este apartado pretende dar diez puntos clave en el diseño de cualquier sistema de suministro. Se detallarán las consideraciones más importantes relativas a las tuberías, válvulas y la topografía. De ahí sus variables más importantes como son la presión, la velocidad o el gradiente hidráulico.

1. En la medida de lo posible, la tubería tiene que seguir el perfil del terreno. La localización de esta se escoge de manera que sea más favorable respecto al coste de construcción y las presiones que resulten. Las tuberías del sistema NUNCA deben quedar completamente horizontales.

2. Prestar atención a la línea de gradiente hidráulico, la cercanía de la conducción a esta línea supone un ahorro en el precio de la tubería ya que la presión en ella será menor.

3. Las cajas rompedoras de presión o los embalses son almacenamientos auxiliares que permiten aliviar las altas presiones internas rompiendo la línea de gradiente hidráulico. En nuestros modelos se considerarán únicamente para las poblaciones más grandes.

4. La velocidad en la tubería debe ser suficientemente grande para prevenir que se depositen sedimentos en ella, la velocidad mínima se considera 0,60 m/s. Se debe considerar las recomendaciones para diámetros económicos, en base a velocidades económicas.

   Para este proyecto se considera ventajoso una baja velocidad para evitar pérdidas en caso de despiste o rotura.

5. Se debe procurar disminuir al máximo posible o evitar, la excavación en roca. Concretamente, en los lugares que se están considerando para el proyecto, donde opera la ONG, se descartará completamente cualquier alternativa que implique la necesidad de excavación en roca.

   Se debe, excepto en casos concretos, a:

   a. Seguramente no se disponga de los recursos o maquinaria necesaria
   b. Supondrá un coste elevado
   c. Será necesario hacer un estudio topográfico detallado previamente
   d. El diseño será notablemente más complejo

6. Las tuberías superficiales (si se requieren), deben de ser de acero (o superior) y estar protegidas por obras de sujeción. Sin embargo, es probable por las dimensiones que estamos valorando que en los modelos propuestos esta especificación no sea siquiera aplicable.
7. Ante una topografía accidentada, se deben situar válvulas de admisión y expulsión de aire en los puntos de mayor altura. Se debe analizar la conveniencia de instalar válvulas de admisión, expulsión y eliminación de aire en puntos intermedios de tramos con pendiente fuerte, tanto ascendente como descendente.

   Ante una topografía plana o poco accidentada, las válvulas se ubican aproximadamente cada 500 m y también en los puntos con más altura del perfil de la línea.

8. Para vaciar la línea en caso de roturas durante su operación o para el lavado de la línea durante su construcción, se emplean desagües en los puntos más bajos del perfil.

9. Para líneas de alta presión, se deberá valorar el uso de válvulas reductoras de presión.

10. Debido a las pérdidas de carga por fricción totales de las líneas de impulsión, se requiere una potencia añadida para poder vencerlas. Por ello, estas pérdidas totales de la conducción no deberán de ser superiores al 1% de la longitud de la línea ya que de hacerlo se aumentarían sin necesidad los gastos de operación (más potencia).

En el ANEXO II: Mapas, planos, gráficas, tablas y guías se presenta un algoritmo de selección del sistema de abastecimiento de agua más adecuado según las características de población y fuente destacadas en el 4. Con ello, es posible determinar que la opción tecnológica a emplear en cada caso distinguiendo en sistemas convencionales y no convencionales.

Sin embargo, no determina el modelo óptimo de los propuestos en el presente trabajo. En éste, se distingue según las necesidades de la población, las condiciones geográficas y la viabilidad técnica para poder simplificar a sistemas prediseñados. Esto es, los diseños de los modelos que proponemos son además los sistemas establecidos en el algoritmo. A continuación, se presentan los aspectos generales de los convencionales.

5.1.1 CONDUCCIONES POR GRAVEDAD

Las tuberías se emplean para la conducción de agua en casi todas las obras de abastecimiento de agua. En las conducciones por gravedad es posible trabajar tanto a presión como a superficie libre, siendo más común el primero. Se dimensionan las tuberías mediante las fórmulas de DARCY-WEISBACH y/o HAZEN-WILLIAMS, con los diámetros internos de los tubos.

- La ecuación de **Darcy-Weisbach** se utiliza para el cálculo de la pérdida de carga (energía) en una tubería, según el coeficiente de fricción. Es decir, la pérdida de presión por la fricción de un fluido, en este caso agua, a lo largo de una longitud concreta de tubería con velocidad promedio. Tanto si la tubería es horizontal o esta inclinada cierto ángulo, la pérdida de carga es proporcional al esfuerzo de cortadura en la pared en el tubo. La ecuación es válida para flujo totalmente desarrollado, constante e incompresible tanto si es laminar como turbulento . La fórmula depende de un parámetro adimensional f denominado coeficiente de fricción de Darcy.

$$h = f \cdot \frac{L}{\mathrm{d}} \cdot \frac{V^2}{2g} \qquad (ec.1)$$

- La ecuación de **Hazen-Williams** es una fórmula empírica sencilla. Su cálculo es simple ya que el C (coeficiente de rugosidad) es independiente tanto del diámetro de tubería como de la velocidad. Es adecuada para tuberías en régimen laminar o en transición. Solo se puede usar en tuberías de acero o fundición con agua en flujo turbulento entre los 5 y 25 C. Es recomendable para una circulación en la que la velocidad es menor a 3 m/s y está limitada a conductos con más de 51 mm y menos de 1830 mm de diámetro.

$$h = 10{,}674 \cdot \frac{Q^{1{,}852}}{Q^{1{,}852} \cdot D^{1{,}852}} \cdot L \qquad (ec.2)$$

Para el cálculo hidráulico en estos casos de conducción por gravedad, se debe determinar el diámetro y el tipo de tubería según: el gasto debido a la conducción, la longitud de la línea total o la carga disponible (diferencia de nivel de agua en la superficie de la toma y la del tanque de regularización, si lo hay).

5.1.2 CONDUCCIONES POR BOMBEO

El agua generalmente se bombea desde un pozo o un cárcamo y para ello, el equipo de bombeo debe vencer las pérdidas de energía a través de la conducción de la tubería ya que se produce un brusco aumento del gradiente hidráulico.

Se pueden requerir estructuras de protección tras analizar los fenómenos transitorios en las líneas de conducción según las tuberías seleccionadas. Estas pueden ser: válvulas aliviadoras de presión, tanques unidireccionales o cámaras de aire, o torres de oscilación.

Puesto que las condiciones de operación pueden variar según el suministro, aunque analíticamente no sea necesario, se debe considerar una válvula en las líneas de bombeo para evitar el golpe de ariete.

5.2 PROPUESTAS Y COMPARACIONES

A continuación, se presenta la propuesta inicial de los cinco modelos considerados. Recogen los casos más recurrentes y esenciales según la información proporcionada por los expertos de MMUU en base a su experiencia y proyectos previos. Se ha decidido hacer una distinción simulando la normalización de las tallas en el sector textil. Estos serán los casos que posteriormente vamos a explorar basándonos en estudios previos y en el sentido común. Por ejemplo, en estos lugares, no hay familias de menos de 5 personas ni colegios de más de 1500 personas.

Modelos XS y S: dos modelos pequeños para menos de 500 habitantes, pueblos pequeños entre 50 y 300 personas aproximadamente.

Compuestos principalmente por bombas manuales y un depósito elevado, sin tanque de almacenamiento. Estos dos modelos por tanto no tienen tanque de almacenamiento, como mucho tendrán el tanque elevado incluso, el más pequeño puede ser sin tanque elevado, simplemente una bomba manual y que las familias lleven el agua a sus respectivas casas mediante garrafas.

Modelo M: para los poblados que pasen de los 500 habitantes, entre 600 y 1.000, es conveniente establecer un sistema de dos etapas, con un tanque enterrado de almacenamiento (siendo ya más complicados) y tanques elevados para dar

presión. Estos deberán tener la capacidad para ser llenados entre 2 y 3 veces por semana para regular el abastecimiento. Esto es, rellenándose cada 2 o 3 días.

Según la información facilitada por MMUU, en muchos casos, los colegios sirven como centro de cuidado a las familias, y los fines de semana éstas van a abastecerse de agua. Por ello, en muchos casos es posible que la demanda sea mayor los fines de semana, pero para cálculos técnicos podemos llegar a establecer que el suministro será la mitad o que el domingo no hay suministro porque las familias han recogido el agua necesaria el sábado. De cualquier manera, se presupondrá siempre un exceso de capacidad ya que si sobra agua las familias podrán consumir lo mismo que los días entre semana.

Este caso podría emplear una bomba manual o una bomba electro sumergible con paneles solares y un tanque elevado pequeño.

Modelos L y XL: los sistemas más grandes tendrán un tanque voluminoso de almacenamiento (como mucho de 200 m^3 o 500 m^3), para la recogida de agua de lluvia más el agua de pozo. Además, tendrán los tanques elevados que serían 2, 3 o 4 tanques de 10 m^3 de capacidad (múltiplos de 10 o adoptar un carácter modular para que sea adaptable en cada caso). Siendo esta capacidad de nuevo el agua necesaria para la semana.

Puesto que este trabajo nunca se ha afrontado directamente, estos serían los modelos predominantes, pero es posible que se vea durante el proceso, que conviene proponer uno o dos más para adaptarse mejor a las necesidades y posible casuística. Hasta ahora no se ha realizado el ejercicio de mirar todos los proyectos de la ONG simultáneamente y en detalle, del tema en cuestión. Por tanto, ahora al hacerlo, se analizará si verdaderamente se pueden abarcar en estos casos principales o hace falta alguno más o alguno menos.

Para las propuestas, se asume que hay recurso suficiente para la demanda. Es decir, en caso de que (a) crezca la población, (b) se agote o contamine la fuente o (c) simplemente

no sea suficiente la fuente inicial, se buscarán alternativas externas al sistema. Por ejemplo, otra fuente cercana u otro tipo de fuente. Pudiendo además combinar varias fuentes de agua según la disponibilidad del recurso.

Pongamos el supuesto de estar en un lugar donde las precipitaciones son intensas y están concentradas en unos meses específicos del año y sin embargo el resto del año no llueve. Se puede optar por un sistema de bombeo de aguas subterráneas para las estaciones sin lluvia y adicionalmente un sistema de captación de aguas pluviales. Así, conduciendo ambos sistemas al mismo depósito se aprovechan al máximo los recursos disponibles. Se conducirá el agua de una u otra fuente al almacenamiento prediseñado del modelo escogido para la población. Por tanto, al decidir inicialmente el modelo ideal en cada escenario se centrará la atención en la demanda de la población. De esta manera se recoge el máximo agua de lluvia y se evita el consumo energético de tener que bombear agua durante la temporada húmeda. Consiguiendo además un ciclo circular del recurso permitiendo que se restituyan los niveles de capacidad de las fuentes naturales (nivel freático, caudal de los ríos etc.). Dando paso así a la sostenibilidad técnica y medioambiental del proyecto.

En otro caso, existen alternativas suponiendo que la única fuente disponible fuesen los acuíferos. Si no fuera suficiente con el pozo inicial propuesto, por ejemplo, por su agotamiento, existe la posibilidad de excavar otro pozo a una distancia determinada (según la legislación de las autoridades locales). Así al extraer agua de otro acuífero se podrá satisfacer las necesidades del centro o del poblado. Por ello, se elegirá uno u otro modelo de los propuestos basándose principalmente en la densidad poblacional y su consumo necesario.

5.3 CÁLCULOS

5.3.1 CONSUMO Y CAPACIDAD

Como hemos establecido, esta distinción de un modelo u otro se hará según el consumo y densidad poblacional. Las líneas de conducción se encargan del transporte de agua a lo largo del sistema, desde la fuente hasta el consumo pasando por los depósitos y/o plantas de tratamiento del sistema. Las tuberías se dimensionan según el tipo de fluido (agua, newtoniano e incomprensible), el flujo la presión, la velocidad y la temperatura. Su capacidad se calculará con el gasto máximo diario (Q_{med}).

- El gasto medio diario indica la cantidad de agua de consumo promedio de una población en un día. Se calcula según la población de diseño (P) y la dotación de litros por habitante al día:

$$\text{Qmed} = \frac{P \cdot D}{24 \cdot 60 \cdot 60} = \frac{P \cdot D}{86.400} \quad [\text{L/s}] \qquad (ec.3)$$

- El gasto máximo diario se necesita para calcular el volumen de extracción diaria de la fuente de abastecimiento, la bomba o equipo de bombeo, los tanques y la conducción. Se calcula calcula por medio del coeficiente de variación diaria (CV_D = 1,2 a 1,5) o el coeficiente de variación horaria (CV_H = 1,5 a 2) según:

$$\text{Qmáx}_D = CV_D \cdot \text{Qmed} \quad [\text{L/s}] \qquad (ec.3)$$

$$\text{Qmáx}_H = CV_H \cdot \text{Qmed} \quad [\text{L/s}] \qquad (ec.4)$$

Suponiendo una población de 100-1500 habitantes con una dotación de entre 2-50 L por habitante al día, los caudales serían:

Q med [L/s] (D↓/P→)	100	500	1500
2	0,0023	0,0116	0,0347
5	0,0058	0,0289	0,0868
10	0,0116	0,0579	0,1736
20	0,0231	0,1157	0,3472
30	0,0347	0,1736	0,5208
40	0,0463	0,2315	0,6944
50	0,0579	0,2894	0,8681

Tabla 9. Caudal medio diario según la dotación de litros diarios por habitante y la población.

(Fuente: elaboración propia)

Q máx [L/s] (D↓/P→)	100	500	1500
2	0,0028	0,0139	0,0417
5	0,0069	0,0347	0,1042
10	0,0139	0,0694	0,2083
20	0,0278	0,1389	0,4167
30	0,0417	0,2083	0,6250
40	0,0556	0,2778	0,8333
50	0,0694	0,3472	1,0417

Tabla 10. Caudal máximo diario para un coeficiente de variación diaria de 1.2. (Fuente: elaboración propia)

Los consumos más bajos que hemos considerado inicialmente, 2 y 5 litros, sólo se contemplan en proyectos de zonas muy desérticas o áridas, por ejemplo, en la Guajira de Colombia entre otros. En estas zonas, el agua disponible solo cubre la necesaria para beber por ello se considera solo los 2 L diarios mínimos. Las otras necesidades que no requieren específicamente agua potable, pero si limpia, como agua para la higiene pueden ser cubiertas por los ríos cercanos.

La frontera entre modelos se hará basándose en el consumo semanal (será cuando se rellenen los depósitos enterrados) por lo que nos fijamos en la siguiente tabla a la hora de delimitar uno de otro. Una autonomía de más de una semana tampoco sería buena, cuanto más tiempo se almacene, más riesgo hay de que esa agua se contamine. Solo se necesita una autonomía de una semana.

Si se tiene un pozo todos los días puedes sacar agua. Puede haber unos días que igual porque el pozo da menos, otros días porque hay menos sol puede sacar menos. También

puede ser que se saque menos porque se averíe la bomba, pero si se avería la bomba en una semana lo han arreglado.

Consumo semanal [m^3/semana]	50	100	200	300	500	1000	1500
5	1,75	3,5	7	10,5	17,5	**35**	**52,5**
10	3,5	7	14	21	**35**	70	**105**
15	5,25	10,5	21	**31,5**	**52,5**	**105**	157,5
20	7	14	28	42	70	140	**210**
25	8,75	17,5	**35**	**52,5**	87,5	175	262,5
30	10,5	21	42	63	**105**	**210**	315
35	12,25	24,5	**49**	73,5	122,5	245	367,5
40	14	28	56	84	140	280	420
45	15,75	31,5	63	94,5	157,5	315	472,5
50	17,5	**35**	70	**105**	175	350	**525**

Tabla 11. Consumo semanal en metros cúbicos para establecer las dimensiones de los sistemas.

(Fuente: elaboración propia)

En ella se han marcado unas diagonales principales que marcan las fronteras aproximando y redondeando a valores cercanos (35, 50, 100, 200 y 400).

En el modelo más pequeño supondremos entre 50 y 300 personas con una dotación mínima entre 15 y 20 litros por día. Por ello, como se ha remarcado en la tabla anterior en color verde claro, el consumo semanal máximo serán 35 m^3.

El siguiente tendrá un consumo semanal de 50 m^3, indicado en la tabla por las celdas recuadradas en amarillo.

Las celdas recuadradas en naranja indicando 105 m^3 separan el modelo intermedio para el que se consideraran 100 m^3 para el depósito de almacenamiento. A éste se le añade el depósito elevado y el agua en el sistema para cubrir esos 5 que faltarían y el exceso necesario en casos de emergencia o similar.

Siguiendo el mismo razonamiento se propone que el siguiente modelo (grande) tenga una capacidad de 200 m^3 reflejado arriba con un naranja más fuerte.

Por último, el modelo más grande se empleará de manera excepcional, en el peor de los casos por su dificultad técnica y su viabilidad en estos lugares. Tendrá como mucho un tanque de 500 m^3, aproximando el valor máximo de la tabla en la esquina inferior derecha (525 m^3). Este volumen va a ser mucho, nunca se va a requerir tanto ya que 500 m^3 suministra a una ciudad entera. Eso ya no es lo que se pretende en los proyectos de Manos Unidas y se sale del alcance del trabajo. Una alternativa, si hubiera que hacerlo, teniendo el de 200 m^3 sería copiar y pegar tener uno de 400 m^3. Sin embargo, este modelo se tendrá en cuenta que ya se ha visto en algunos proyectos (para satisfacer a más de 1500 personas) y por ser una medida común que avanzando por buen camino seguramente se requiera en el futuro.

Mediante estos modelos, si llega a Manos Unidas una propuesta que se sale de su media y en la que se necesite una capacidad tan grande el cálculo consistirá solo duplicar uno de ellos.

5.3.2 CAPTACIÓN DEL AGUA

Sabiendo la cantidad de agua que se requiere y la capacidad que será necesario almacenar, ahora el problema recae en la cantidad de agua que proporciona la fuente. Por ello, quizá el problema vuelve a los pozos, si tenemos pozos que puedan dar toda esa cantidad de agua.

En estos casos lo que se plantea es hacer tres o cuatro pozos, teniendo en cuenta siempre que no pueden estar uno al lado del otro. Deben estar suficientemente separados para que no se quiten agua el uno al otro al pertenecer al mismo acuífero. Si se hacen muy juntos al final es el mismo agua que se saca por diferentes sitios, con lo cual no hay suficiente agua o el agua que se puede extraer sigue estando limitada. Hay que espaciarlos.

Esto no es problema en las aldeas porque con un pozo es suficiente, pero si en un colegio u hospital donde haya que abastecer a más cantidad de gente. El problema recae en que los pozos a lo mejor no pueden estar a más de 500 m o 1 km uno del otro. Habría que poner uno en el colegio y otro más lejos para que no se quiten el agua. Habría que irse al doble del radio de drenaje del pozo y así ya se estaría extrayendo otra agua diferente, pero con el inconveniente de que esa agua hay que transportarlo hasta el colegio u hospital.

En un proyecto reciente de la organización en Kenia, se tenía un pozo a 250 metros de profundidad que ofrecía un caudal de 20 m^3 a la hora. En cambio, las autoridades de la zona solo dejan sacar un máximo de 23 m^3 al día. El pozo da un caudal suficiente pero no se puede sacar más por motivos de tipo legal, para repartir el acuífero entre todos los que puedan sacar agua en la zona.

Este es un claro ejemplo de otra limitación que a la que nos podemos enfrentar, que los gobiernos limiten la explotación de los recursos. Mas adelante veremos que también ocurre en el abastecimiento energético. Por ello, hay que pensar que cantidad se necesita y la cantidad que va a salir del pozo va a ser suficiente. Luego, si las autoridades dejan menos, se tendrá que buscar alternativas de captación o coger, en lugar del módulo del modelo que se esté calculando, uno menor o intermedio. De tal manera que, igual si la dotación que estábamos cogiendo era de 30 litros por persona al día, por ejemplo, pues quizá bajarla a 15 o 10 según el agua disponible.

Volviendo a la idea anterior, si el pozo existente o considerado es muy bueno y son las autoridades las que no dejan sacar tanta agua, al final lo que ocurre es que se requieren menos horas de bombeo. Como hay capacidad para sacar cuatro veces el agua permitida, en vez de 8 horas de bombeo en 2 horas ha extraído la cantidad diaria. Hay muchas maneras de que estos detalles varíen, no hay tanta rigidez.

Debido a la gran cantidad de variables con las que estamos trabajando, a esta variable no se le va a dar una importancia excesiva. Simplemente, si el caudal no es suficiente, habrá

que perforar más pozos y será trabajo posterior el buscar el agua disponible. Si el cuello de botella es la cantidad de agua que hay que sacar, entonces lo que habría que plantear es hacer dos, tres o incluso cuatro pozos. Se deberá conocer que cantidad de agua se requiere para satisfacer al centro y asumir que hay capacidad de sacarla para poder diseñar el sistema. Posteriormente se buscarán las fuentes ya que es posible combinar los sistemas de captación.

5.3.3 EXTRACCIÓN EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO Y FUENTES DE ENERGÍA

La estación de bombeo será diferente en cada uno de los modelos propuestos, ya que, al igual que en el abastecimiento de agua, depende mucho del tamaño del poblado o centro y su accesibilidad a los recursos. En este caso se trata de la disponibilidad energética.

Para adaptar cada modelo se consideran 3 posibles fuentes de energía: la red, si la hay, un grupo electrógeno o unos paneles solares.

I. En lugares donde hay acceso a la **red eléctrica**, se hará uso de ella para el bombeo ya que esto permitirá dar al sistema más fiabilidad a largo plazo. Por lo general se tratará de poblados más urbanizados con mayor densidad de población y más necesidad de abastecimiento de agua donde se requieran los modelos grandes.

II. La siguiente alternativa es mediante un **generador o grupo electrógeno** de gasolina o diésel por lo general en lugares donde no haya acceso a la red o este muy limitado hacer uso de ella. Se considerará esta fuente principalmente para los modelos medianos y pequeños en los que no sea viable el uso de energía solar.

   Los grupos electrógenos de motor diésel además de estar estandarizados en el mercado, permiten alta flexibilidad de aplicación. Son equipos portátiles, robustos y fiables que aseguran muchas horas de funcionamiento anualmente y están alimentados por combustible fácil de obtener y más barato que la gasolina. Emplear el gasoil como combustible permite alto rendimiento al equipo por quemar a una temperatura más elevada que la gasolina y a su vez, es más seguro

por ser menos inflamable que otros combustibles. Su principal desventaja es la gran emisión de gases contaminantes que requiere un sistema de filtrado antipartículas.

Otra alternativa serían los grupos electrógenos de gas natural que pese a presentar ventajas frente a los anteriores como ser más respetuosos con el medio ambiente, ser más silenciosos y tener la posibilidad de ser instalados en sitios remotos mediante depósitos de alta capacidad presentan varias desventajas como: mayor exigencia del motor y sistema de control que encarece el sistema, requieren mantenimiento más puntual y complejo y el combustible gas al ser muy inflamable presenta alto riesgo de incendios.

Por ello, el elegir uno u otro implica considerar múltiples variables, a las que se añaden las ya destacadas en el trabajo como la accesibilidad por cuestiones de aranceles o monopolios. Por lo cual se debe analizar la disponibilidad que se tiene a cada uno de ellos y las ventajas y desventajas que presentan.

III. Por último, se plantea también la alimentación de las bombas mediante **energía fotovoltaica** al ser una práctica común, cada vez más empleada. Permite además tener más autonomía, y disponer de energía renovable más limpia y sostenible. Sin embargo, esta alternativa, idílica, que por lo general se plantea a menudo desde los países desarrollados, muchas veces no es posible ponerla en práctica por las dificultades técnicas y sobre todo económicas que supone. El precio de las placas fotovoltaicas, su transporte y los requerimientos técnicos de mantenimiento y puesta en marcha, hacen que en muchos casos sea una opción inviable por lo que estos factores se deberán tener en cuenta. Como se mencionaba anteriormente (en el punto 4.2.3 Desarrollo tecnológico del país), también corren el riesgo de ser fácilmente robadas, pero puede ser una buena opción en colegios y hospitales con recintos cerrados y/o vigilados. Así mismo, como se destacará en el apartado 7.2 Estudio de viabilidad, actualmente la energía solar está bajando mucho de precio.

En el caso de emplear energía solar, la estación de bombeo será principalmente una bomba solar, esto es, el sistema de paneles fotovoltaicos suministrará la energía requerida por el motor eléctrico. La estación más simple de bombeo mediante energía solar se compone de: una unidad de control, la alimentación eléctrica mediante paneles solares, la bomba de agua y si se requiere un inversor o regulador.

Ventajas	Desventajas
✔ Energía 100% **inagotable**, **renovable** y **gratuita**; ✔ No emite **sustancias tóxicas** ni **contaminantes del aire**; ✔ Reduce el **uso de combustibles fósiles**; ✔ Energía crecientemente **competitiva**; ✔ Reduce la **dependencia del consumo** de la red eléctrica y el gas natural; ✔ Subvenciones para **autoconsumo**; ✔ Medida contra el **cambio climático**; ✔ Genera **riqueza** y **empleo local**.	✘ Energía **intermitente**; ✘ **Inversión inicial elevada**; ✘ **Localización** de la vivienda.

Tabla 12. Ventajas y desventajas de emplear paneles fotovoltaicos en la estación de bombeo.

(Fuente: elaboración propia)

De manera similar a esta última alternativa, no se plantea en este trabajo el uso de la energía eólica que idealmente podría ser una buena fuente de energía. Esta supone un desarrollo tecnológico avanzado y personal formado para la puesta en marcha, mantenimiento y vigilancia. Todavía es una práctica muy poco común en estos lugares tan poco desarrollados donde además hay poca infraestructura eléctrica y muchas zonas con animales salvajes.

Sin embargo, si en un caso concreto fuera viable y recomendable o incluso existieran ya aerogeneradores estos se podrían aprovechar empleando así esta fuente de energía renovable.

En ambos casos será imprescindible conocer los datos de radiación solar o viento para analizar si es posible el uso de placas fotovoltaicas, bombas sumergibles solares, aerobombas o aerogeneradores para el bombeo de agua. El CIEMAT, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas Español, recomienda medir diariamente el viento o radiación durante un año en el lugar ya que, aunque la

radiación solar no varía mucho, tanto la velocidad como dirección del viento suele cambiar severamente en cortas distancias por las diferencias en la forma del terreno o los posibles obstáculos.

Por la escasez de recursos y la urgencia de estos proyectos no se recurrirá a este método, sino que se consultaran bases de datos internacionales. Un ejemplo es energydata.info que es una base de datos que permite mediante aplicaciones Web como Global Solar Atlas y Global Wind Atlas descargar datos de la radiación solar y viento en numerosos países. Se accede a esta herramienta gratuita y pública desde internet en las siguientes páginas a través de los enlaces: https://globalsolaratlas.info y https://globalwindatlas.info.

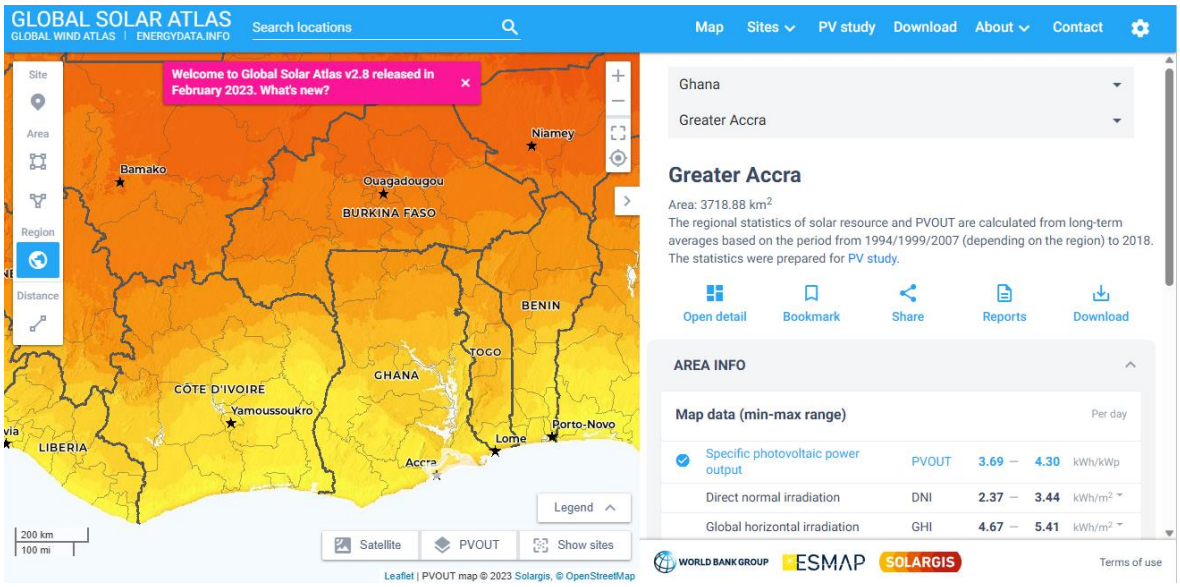


Figura 13. Página de inicio de la herramienta de base de datos Global Solar Atlas.

(Fuente: Global Solar Atlas)

La figura anterior muestra un ejemplo de la obtención de datos de radiación solar en Ghana y en concreto en la región de Greater Accra (provincia de la capital).

- Primeramente, se elige el país, región o zona, lo cual se puede hacer en el buscador indicado por la lupa (permite meter coordenadas concretas), en la lista desplegable de la derecha, seleccionando en la superior el país y en la inferior la región de ese país o directamente en el mapa indicando anteriormente el tipo de selección en la tira opciones del lado izquierdo de la pantalla. Esta tira permite,

seleccionar un punto concreto del mapa según las coordenadas, seleccionar una zona mediante un rectángulo pinchando y arrastrando, seleccionar una zona mediante un polígono pinchando distintos puntos del mapa o, por último, pinchando directamente en el país o región en el mapa.

- Seguidamente, en la parte inferior se puede elegir el tipo de vista del mapa (satélite) según la información presentada (en este caso PVOUT indicado también en azul en la parte de información de la derecha), más información en "Show sites" (como las presas de agua o las estaciones de medición), la leyenda (por escala de colores según la variable seleccionada) y finalmente la estala en la parte inferior izquierda.
- Por último, en la parte derecha, se presenta la información donde se puede seleccionar distintas maneras de ver los datos y bajando hasta el final entrar en más en detalle. La herramienta da información de la región, permite guardar en marcador, compartir, ver los informes y descargar los datos. Presenta tres secciones de información:
    1. La información del área donde se presenta los máximos y mínimos de distintas variables como por ejemplo la elevación del terreno, la temperatura del aire o más interesante la inclinación óptima de los módulos solares y la radiación.

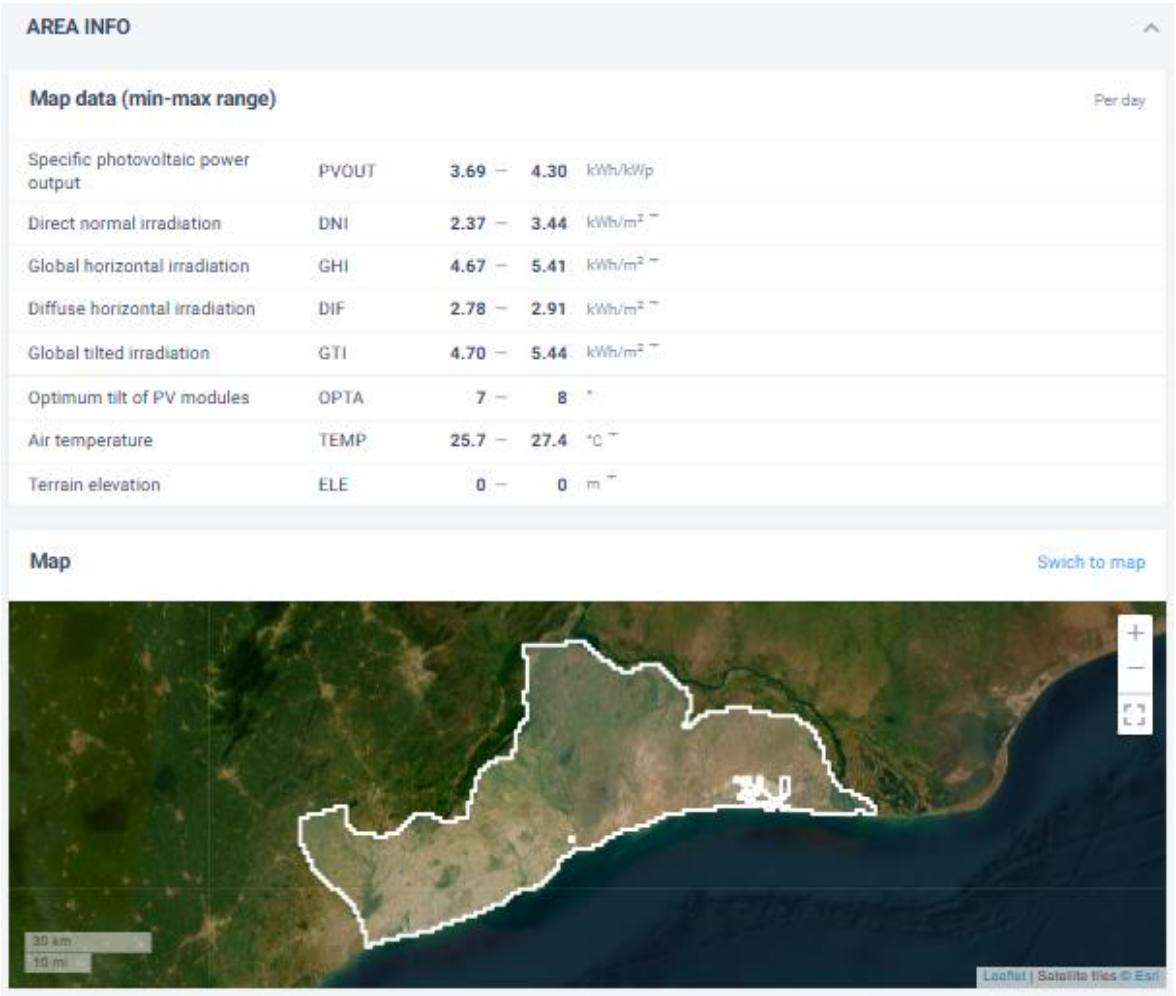


Figura 14. Información del área de Ghana de la base de datos Global Solar Atlas como ejemplo.

(Fuente: Global Solar Atlas)

2. El análisis del área donde se presenta la distribución los cálculos estadísticos y una gráfica de la función de distribución acumulativa de cada una de las variables de la radiación solar destacadas en la sección anterior.

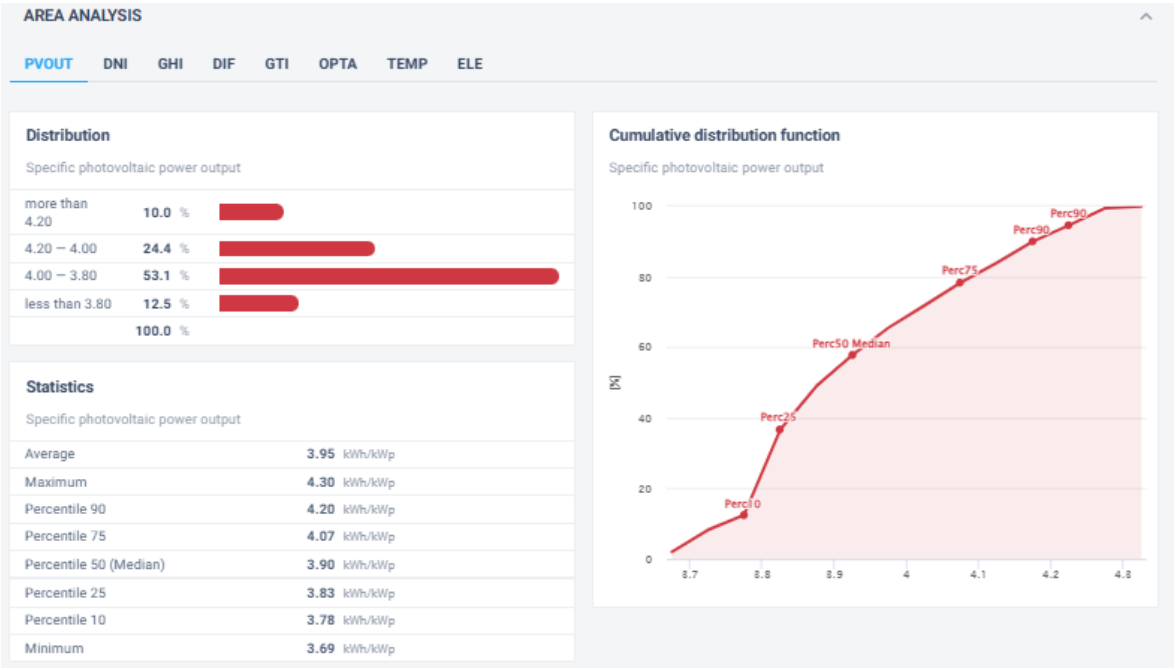


Figura 15. Análisis estadístico del área de Ghana de la base de datos Global Solar Atlas como ejemplo. (Fuente: Global Solar Atlas)

3. Por último, se da más información que se puede consultar para tener estimaciones más detalladas que permitan la configuración de un proyecto de energía fotovoltaica, así como datos solares y meteorológicos más específicos para hacer simulaciones.

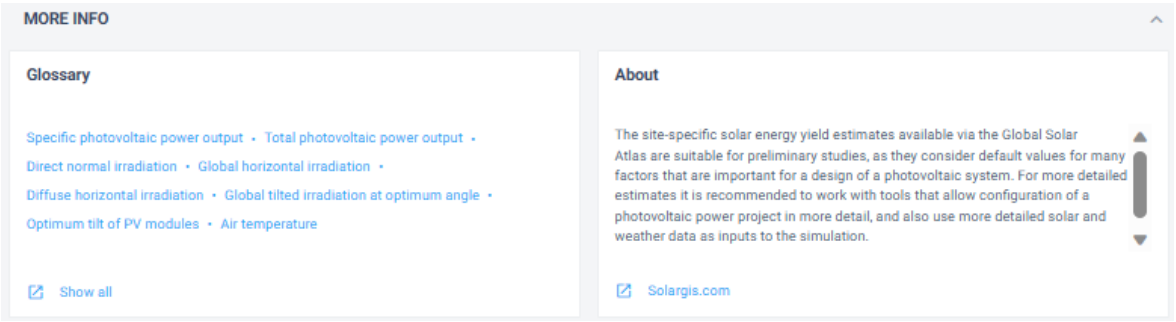


Figura 16. Información adicional del área de Ghana de la base de datos Global Solar Atlas como ejemplo. (Fuente: Global Solar Atlas)

Para facilitar el trabajo se han recogido en el ANEXO II: Mapas, planos, gráficas, tablas y guías los datos de radiación de manera general en los países donde opera MMUU. Tratando los datos en Excel, se han coloreado basándose en los valores de las casillas, donde los valores más bajos están en rojo y los más altos están indicados en verde. Por

ello, en los países con más casillas verdes será más viable a priori obtener energía solar y utilizar placas solares para el bombeo.

La siguiente gráfica muestra una comparativa entre las alternativas propuestas considerando que los equipos de diésel tienen una eficacia del 7%, la insolación al día es de 3 kWh/m^2 y una velocidad del viento promedio para el recurso eólico de 4,5 m/s.

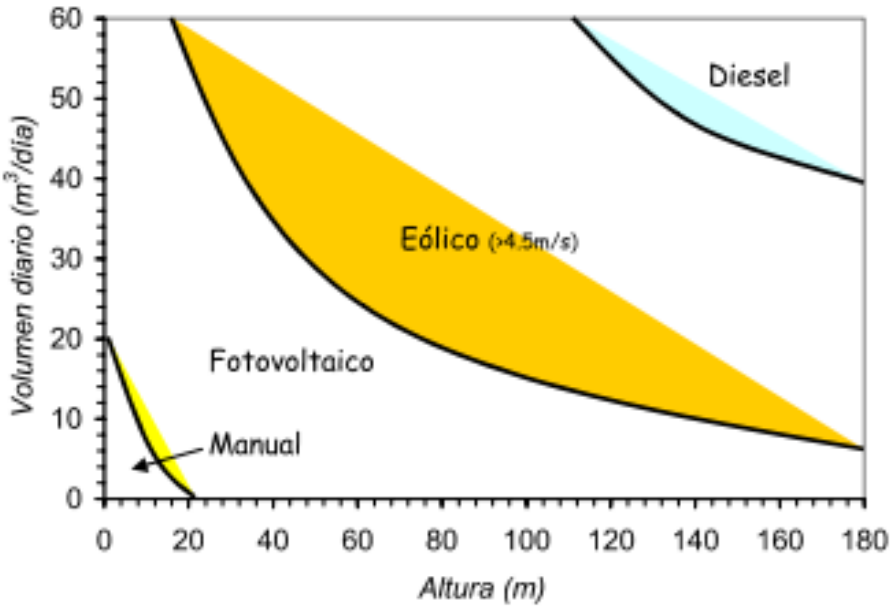


Figura 17. Gráfico comparativo de selección de las opciones de alimentación energética acuerdo con el volumen diario y profundidad de bombeo (Fuente: Sistemas de bombeo fotovoltaico CIEMAT)

Tipo de sistema	***Ventajas***	***Inconvenientes***
MANUAL	*Precio bajo* *Tecnología sencilla* *Mantenimiento y limpieza fácil* *No requiere alimentación*	*Necesita mantenimiento regular* *Caudal proporcionado bajo* *Consume energía y tiempo de personas quitando productividad a otras tareas*
SOLAR	*Mantenimiento y limpieza requerido bajo* *Instalación fácil* *Vida útil larga* *Fiable* *No emplea combustibles contaminantes* *Permite un sistema modular que se adapta a las necesidades*	*Inversión inicial elevada* *Abastecimiento dependiente de la radiación solar*
DIESEL	*Baja inversión de capital* *Móvil y transportable* *Experimentadas en proyectos anteriores*	*Disminución de durabilidad por mantenimiento inadecuado* *Combustible caro* *Ruido, humos y contaminación*

	Instalación fácil	*Combustible con suministro intermitente*

Tabla 13. Gráfico comparativo de selección de las opciones de alimentación energética acuerdo con el volumen diario y profundidad de bombeo (Fuente: Elaboración propia)

5.4 ALTERNATIVAS DE LOS COMPONENTES

5.4.1 LÍNEAS DE CONDUCCIÓN

Para diseñar las tuberías del sistema se evaluarán las cargas externas y presión interna, así como analizar que se cumple cualquier especificación concreta correspondiente. Los tipos de tuberías que se suelen emplear son:

a) Tuberías de plástico: polietileno de alta densidad (PEAD) y polivinilo de cloruro (PVC)

b) Tuberías de hierro dúctil

c) Tuberías de acero.

El diámetro interior de la tubería o diámetro hidráulico está caracterizado por la rugosidad absoluta, ε, del material (valor tabulado). Como algunas fuentes varían, se ha indicado una estimación de la rugosidad absoluta a partir del valor más alto del rango.

Material	Rugosidad absoluta	Valor estimado de ε
Plástico (PE, PVC)	0,0015 mm	0,0015 mm
Tubos de latón o cobre	0,0015 mm	0,0015 mm
Polietileno reticulado (PEX)	0,007 mm	0,007 mm
Acero comercial y soldado	0,03-0,09 mm	0,09 mm
Hierro galvanizado	0,06-0,24 mm	0,24 mm

Tabla 14. Rugosidad absoluta, ε, de materiales empleados generalmente en tuberías.

(Fuente: elaboración propia)

Entre los materiales destacados con anterioridad, se escogerá el más adaptado a las especificaciones y el más económico. En este proyecto se van a considerar únicamente las tuberías de PVC.

Ventajas	Desventajas
Son capaces de soportar presiones y cargas considerables por su alta resistencia mecánica lo que garantiza su durabilidad y su capacidad para resistir condiciones adversas, como terremotos o movimientos del terreno.	Son sensibles a la exposición solar prolongada. Las propiedades mecánicas del PVC pueden deteriorarse si las tuberías quedan expuestas a la radiación solar durante mucho tiempo. Lo que puede reducir su vida útil o requerir protecciones como enterrarlas bajo tierra o cubrirlas.
Son fáciles de instalar debido a su peso ligero y su capacidad para conectarse mediante uniones simples. Por ello, es más rápida y eficiente y resulta más económica.	
Son resistentes a la corrosión y a ataques químicos de sustancias químicas o corrosivas.	El precio aumenta a medida que lo hace el diámetro. En proyectos donde se necesiten grandes diámetros puede incrementar notablemente el coste.
Al ser más ligeros y menos pesados que otros materiales, su almacenamiento y transporte es más fácil, reduciendo el gasto logístico y aumentando la disponibilidad en lugares remotos.	
El PVC es un material relativamente económico en comparación con otros materiales de tubería, como el hierro fundido o el acero por lo que son más asequibles en países en vías de desarrollo.	Las tuberías de PVC lisas (sin campanas), requieren mano de obra altamente especializada para realizar las uniones que puede aumentar el coste de instalación donde el personal capacitado es limitado.

Tabla 15. Ventajas y desventajas de tuberías de PVC.

(Fuente: elaboración propia)

A la hora de la selección de tuberías, se valoran los siguientes factores principales:

a) Calidad y cantidad de agua por conducir.

b) Tipo de terreno por excavar.

c) Características topográficas de la conducción.

d) Tuberías disponibles en el mercado nacional.

e) Costos de suministro e instalación.

f) Aspectos de operación y mantenimiento.

Para calcular los diámetros efectivos, las presiones y demás variables de la distribución y las conducciones, se aplicarán los conocimientos adquiridos en el tema 6 de flujo viscoso en conductos de la asignatura de mecánica de Fluidos.

Los cálculos más importantes son:

- La ecuación de continuidad de a partir del principio de Bernoulli entre dos puntos que describe la relación entre la velocidad y la presión en un flujo de fluido incompresible y sin fricción, asegurando que la masa se conserve a lo largo de la corriente. Se emplea para evaluar la pérdida de carga (Hpérdidas).
- Pérdidas de carga primaria, hf: en tramos rectos.
- Pérdidas de carga secundaria, hm: en elementos concretos como codos, válvulas, uniones y otros elementos en las conducciones.

Sin embargo, los es mejor hacer los cálculos una vez conocidos las tuberías disponibles en cada lugar ya que generalmente en estos lugares las opciones son muy escasas.

5.4.2 VÁLVULAS

Al diseñar e instalar sistemas de conducción de fluidos, se tienen que considerar también las válvulas de seccionamiento, expulsoras de aire, combinadas, de flotador, altitud y alivio de presión (en caso de sistemas de bombeo). Además, también se deben considerar otros accesorios como desfogues y juntas de dilatación. La ubicación en las vías de conducción y su cantidad variará según el proyecto.

Existen muchos tipos diferentes de válvulas y cada una tiene una característica o función concreta. Sin entrar en mucho detalle son:

- Válvulas de control de aire. Válvulas eliminadoras de aire.
- Válvulas de admisión y expulsión de aire y válvulas de control de aire combinadas.
    a) Expulsar grandes cantidades de aire cuando se va a llenar la tubería y admitir suficiente aire cuando se va a vaciar, para evitar un vacío que colapse la tubería.
    b) Eliminar constantemente las pequeñas cantidades de aire que se acumulen en los puntos altos de la tubería cuando este en operación.
- Válvula check o de retención (tradicional)
- Válvulas de Compuerta vástago fijo de fierro fundido.
- Válvula de mariposa con operador de engrane.
- Válvulas de alivio o anticipadoras contra golpe de ariete

- Desagües o desfogues.
- Válvulas reductoras de presión
- Válvulas reductoras de presión de ½" a 2" de diámetro.
- Válvulas reductoras de presión mayores a 2" de diámetro.



Figura 18. Distintos tipos de válvulas.(Fuente: SIAPA. Capítulo 2. Sistemas de agua potable - 1a)

5.4.3 EQUIPOS DE BOMBEO

Para encontrar la mejor alternativa para cada instalación y que mejor se adapte a las características, se realizará a continuación un estudio de las bombas de las que se dispone.

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

Tabla 16. Clasificación de los tipos de bombas y propiedades (Fuente: elaboración propia)

También se requiere realizar los cálculos para saber las características de la bomba eléctrica o estación de bombeo como la altura o el caudal y el punto de trabajo con aproximaciones numéricas. Las curvas siguientes muestran la pérdida de altura dinámica de la bomba en metros a medida que aumenta su caudal dependiendo del tipo de bomba que se trate.

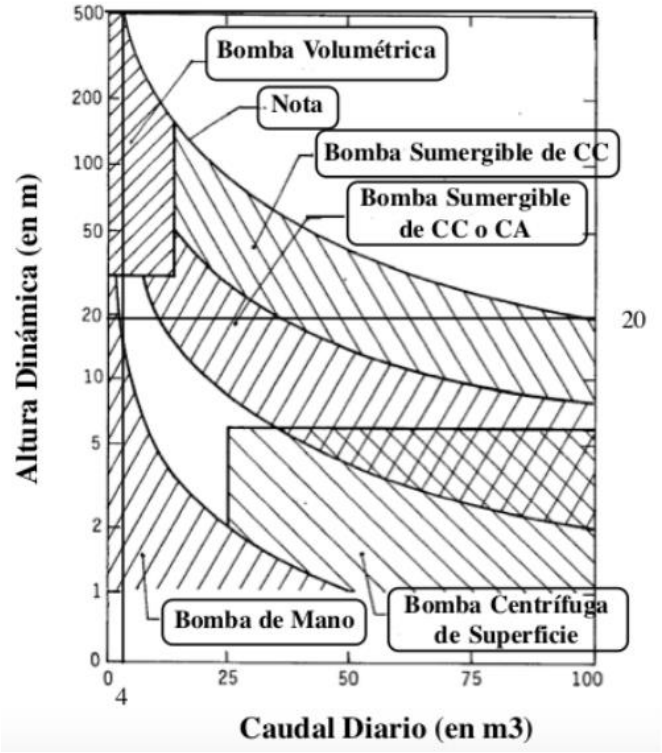


Figura 19. Diagrama del caudal frente a la altura dinámica de los distintos tipos de bomba.

(Fuente: Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos)

En primer lugar, para calcular la altura efectiva H se empleará la ecuación de Bernoulli.

$$H = \frac{p_Z - p_A}{\rho \cdot g} + \frac{v_Z^2 - v_A^2}{2 \cdot g} + z_Z - z_A + H_{r-ext} \qquad (ec. 5)$$

Donde: los subíndices indican la superficie del agua del pozo (A) y la salida del agua o superficie de agua del tanque (Z).

- G: presión [Pa]
- ρ: densidad [kg/m^3]
- g: aceleración de la gravedad [m/s^2]
- v: velocidad media del fluido [m/s]
- z: altura [m]
- H_{r-ext}: pérdidas en la instalación [m]

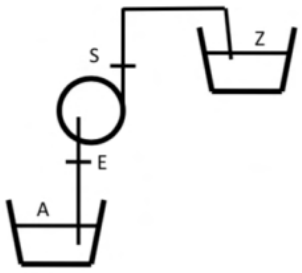


Figura 20. Diagrama de la bomba para calcular la altura efectiva mediante la ec. de Bernoulli .

(Fuente: Fluido viscoso en conductos de Mecánica de Fluidos, ICAI)

- El término de la diferencia de velocidades generalmente se despreciará cuando los diámetros de entrada salida sean parecidos.
- El término de la diferencia de alturas es la altura del tanque o grifo en la superficie y el nivel freático del agua en el acuífero o pozo.
- El término de la diferencia de presiones suele ser nulo al estar tanto el depósito como el pozo abierto al aire sin presión. Sin embargo, para que no hay problemas de cavitación en las conducciones, el Código Técnico de la Edificación indica que se tebe considerar una diferencia de un bar. Este dato está recogido en el apartado de condiciones mínimas de suministro (2.1.3) del Documento Básico HS Salubridad en la sección 4 de suministro de agua. Por tanto, pasaremos a llamar a la diferencia de presiones $p_{GRIFO} = p_Z - p_A$.
- El último término de pérdidas en la instalación es variable según los elementos comunicantes entre el pozo – la bomba – y el depósito.

El resultado de esta ecuación entre aspiración e impulsión es la curva característica de la instalación que tendrá forma parabólica. Ésta se obtiene igual que la altura efectiva ya que el punto teórico de operación está comprendido en la curva. La curva de la bomba estará invertida.

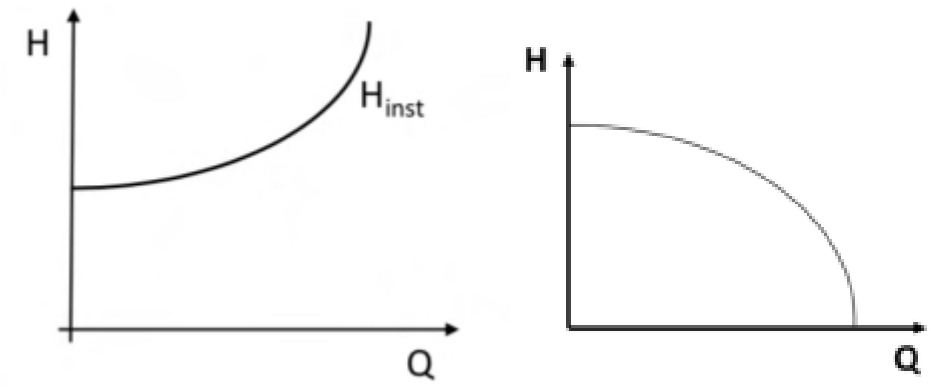


Figura 21. Curva de caudal frente a altura en la instalación (izq.) y de la bomba (dcha.)

(Fuente: Fluido viscoso en conductos de Mecánica de Fluidos, ICAI)

El diámetro que se ha visto en anteriores proyectos de MMUU está entre 40 o 50 mm. En cada proyecto esto dependerá de la disponibilidad del lugar, pero seguramente no sean valores muy alejados alcanzando los 150 mm.

La longitud de la tubería será la menor posible desde el pozo hasta la salida para no tener pérdidas elevadas. Sin embargo, resultará ventajoso, alargar la tubería a la salida del depósito para no incrementar la potencia de bombeo y aprovechar el empuje natural de la gravedad.

La velocidad del agua en la tubería se recoge en los cálculos de caudal y además se puede calcular fácilmente a partir del volumen necesario entre las ocho horas de bombeo diario establecidas.

- → Algunos modelos típicos de bombas manuales son: la Emas (2,5 m^3/h), la Canzee (1,5 m^3/h), Afridev (1,4 m^3/h),la Bluepump (1,3 m^3/h) o la India Mark II (1 m^3/h).
- → Los modelos de las bombas eléctricas se analizarán a partir de las hojas características de cada electrobomba de los fabricantes disponibles en el lugar, por ejemplo, las de Oxfam (junto con otros elementos necesarios en el sistema), Bomba De Agua o las de Grundfos (más común). Generalmente se va a encontrar la bomba que se necesita ya que hay muchas disponibles con características muy variadas.

Para el caudal de la bomba, Grundfos recomienda que además de ser superior al necesario en la instalación esté por encima del punto teórico en un 20%. La altura simplemente tendrá que ser superior pero la potencia deberá tener un margen entre la potencia de la bomba real y la potencia teórica efectiva ya que el rendimiento puede llegar a ser de menos del 50%. Esto es, la potencia reflejada en las hojas característica no indica la ejercida por el eje sino la absorbida.

La potencia (kW) de la bomba requerida para impulsar un caudal determinado Q (m^3/s) hasta una altura H viene determinada por la siguiente ecuación:

$$\mathrm{P\ [kw]} = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q}{1000 \cdot \eta} \qquad (ec.6)$$

5.4.4 DEPÓSITOS O TANQUES

En cuanto a las obras de almacenamiento y regulación del sistema tenemos los depósitos de agua. Dentro del sistema de abastecimiento, esta regulación tiene por objeto la transformación de la conducción de agua, de las diversas fuentes a las que se tiene acceso, en el consumo demandado (variable), a la red. Generalmente, esta regulación se hace por periodos de 24 horas, aunque en el proyecto lo consideraremos aquel que garantice dos o tres días de autonomía.

Si tuviera capacidad de poder almacenar agua para satisfacer suficientemente dos días de gasto medio diario (Q_{med}), se pasa a denominar depósito de almacenamiento. En nuestro caso será el consumo semanal. En ambos casos, deberá proporcionar eficientemente el servicio continuo para cumplir condiciones de higiene, pero más importante de seguridad. Su localización es foco de atención por el posible peligro que supone sobre todo en aquellos en altura. Este peligro se explicará más detenidamente en el siguiente apartado de 5.5.1 Riesgos.

A ser posible, el diseño de los tanques debe suponer capacidad adicional de reserva (generalmente se toma el 20% del total), tanto en los superficiales como en los elevados para actuar y atender al consumo ante imprevistos como: la subida de la demanda debido

a la falta de energía eléctrica si el sistema consta de bombas hidráulicas, fallos en la línea de conducción o incendios.

El sobredimensionamiento de la capacidad para almacenar carecerá de sentido en aquellas zonas rurales donde no se satisfaga plenamente la demanda de la población, no presentará un beneficio al sistema puesto que no permite el uso del volumen de reserva.

Según la capacidad del proyecto y las distancias entre las fuentes y el poblado o lugar de distribución habrá más o menos depósitos de transporte siendo a su vez de almacenamiento. Por otra parte, los depósitos de entrega a las poblaciones determinarán el volumen de regulación entre la aportación y consumo, disponiendo además de una reserva ante averías o posibles incendios.

Dentro de los tipos de tanques se diferencian:

1. Superficiales (enterrados, semienterrados o sobre el terreno)
2. Elevados
3. Una combinación de ambos

Para la elección de los depósitos requeridos en el sistema, así como de su ubicación, se destacan los siguientes factores:

a) El terreno que hay disponible

b) La topografía y sus condiciones

c) La localización del punto de alimentación y la fuente de abastecimiento

d) El poblado que se pretende abastecer y su estructura urbana actual y

e) La geotecnia o materiales disponibles para el diseño, construcción y explotación del proyecto de ingeniería civil.

Así mismo, se deberá hacer un adecuado análisis técnico y económico de estas estructuras hidráulicas detallando además los aspectos de operación y su mantenimiento.

En cuanto al diseño hidráulico deben conocerse los siguientes puntos importantes.

I. Para determinar la entrada y salida del depósito se emplea el gasto máximo diario y horario.

II. Si el tanque lo requiere para su operación y mantenimiento, se diseñará con tuberías de drenado y estará dividido en cámaras, dos como mucho para los volúmenes con los que estamos trabajando (100 – 500 m3). El número de cámaras utilizadas en el sistema estará determinado por las necesidades de limpieza y mantenimiento periódico, con el objetivo de garantizar la continuidad del servicio durante dichas operaciones.

   Para depósitos grandes se deberá incorporar una escalera marina de acero inoxidable que permita acceder al interior. Estará empotrada al muro del tanque fijo. Unas dimensiones adecuadas son un diámetro de 32 mm, escalones de 40 cm de ancho, una separación entre estos de 30 cm y una profundidad de 20 cm entre escalón y muro.

III. Existe la posibilidad de automatizar los depósitos, pero generalmente en este tipo de proyectos de hará el control manualmente. Medición del nivel de agua, el caudal de la entrada y la salida, el efluente, etc. A pesar de ello, los equipos de bombeo de agua tienen la parada automatizada mediante al nivel máximo de agua.

El cálculo del volumen de regulación se obtiene según el coeficiente de regulación (R), que está en función del tiempo en número de horas por día de alimentación de las fuentes:

$$\mathrm{C} = 3{,}6 \cdot \mathrm{R} \cdot \mathrm{Qmáx}_{D} \qquad (ec.7)$$

$$\mathrm{R} = \frac{|Máx.\ exceso| + |Máx.\ déficit|}{100} \qquad (ec.8)$$

Ante diferentes situaciones, hay una gama muy amplia de depósitos en el mercado. Desde los más estables, depósitos fijos, con estructura rígida que dan lugar a sistemas con una duración larga a los más flexibles, de instalación rápida empleados ante grandes consumos.

1) Los tanques enterrados son preferibles cuando el terreno tiene fácil excavación y una cota adecuada para el funcionamiento de la red de distribución ya que se construyen bajo el nivel del suelo. Protegen de la variación de temperatura y se adaptan bien al entorno. Sin embargo, requieren excavaciones para el tanque y las conexiones a la red y líneas de conducción y es difícil controlar las posibles filtraciones.
2) Los tanques semienterrados se emplean cuando hay cierta dificultad de excavación y la altura topográfica es suficiente con relación al punto de alimentación. Permiten la accesibilidad a las instalaciones del tanque.
3) Los tanques superficiales están situados a elevación natural, se construyen cuando no es conveniente perder altura, se tiene una topografía adecuada o el terreno es duro y difícil de excavar. Generalmente se encuentra cercanos a la zona de distribución, con un nivel de diferencia de 15 m entre el nivel del tanque y el punto por abastecer más alto y una diferencia de 50 m entre el máximo nivel de operación y el punto de abastecimiento más bajo.

   Como decíamos, los depósitos pueden estar proyectados en superficie o semienterrados. Sin embargo, para poder detectar las fugas fácilmente, siempre que se pueda se deberá por proyectarlos en la superficie. Así, se reduce el coste elevado que puede tener el vertido de tierras durante la excavación de vaciado, sobre todo si se trabaja en una zona protegida ambientalmente.

   Justificando que no se puede disponer el depósito en la superficie, se podrá situar depósitos circulares de manera semienterrada asegurando que tiene capacidad de soportar los esfuerzos sísmicos.
4. Los tanques elevados tienen su base por a una altura (generalmente 10, 15, 20 m) por encima del nivel del suelo que permite almacenar el agua y a su vez energía potencial dando lugar a la presión suficiente para el abastecimiento. Se sustenta por medio de una estructura que forma parte de la estructura integral que incluye el tanque, la torre, la tubería de alimentación y descarga. Se suelen colocar cerca del centro de uso ya que la situación central hace que las pérdidas por fricción

sean menores y equilibra las presiones al máximo posible. Ubicando el depósito en un lugar céntrico del área a suministrar, las presiones serán más uniformes tanto para máxima como para mínima demanda. Sin embargo, si se situase en zonas periféricas, o lejos de la población, sería elevada la perdida de carga al llegar al extremo opuesto del poblado. Cerca del tanque habrá presiones excesivas y lejos, en los extremos, las presiones serán mínimas.

5.4.4.1 Depósitos fijos enterrados de hormigón

Se muestran a continuación los tipos generales con y sin cubierta. Se ha realizado el estudio de la tipología constructiva más adecuada, el coste y también la superficie que ocupa el mismo. Es posible que la tipología varíe dependiendo de los criterios de diseño en cada proyecto concreto según el diseño y criterios económicos (€/m³).

Por cuestiones relacionadas a la construcción, el espesor mínimo del muro o pared debe ser 30 cm ya que si fuera menor no sería posible el acceso de la bomba de hormigonar. El depósito debe estar enterrado como mínimo hasta la mitad de la pared y vamos a considerar un resguardo de 50 cm (medio metro).

Estos depósitos presentan peligros ante sismos y otras fuerzas como la que ejerce la tierra sobre el depósito o la hidrostática, que dan lugar a la fisuración. El agua que va a contener el depósito no es agresiva químicamente, por tanto, la abertura máxima que consideraremos a fisura en ambas caras (interior y exterior) es $w_{máx}$ = 0,2 mm.

Para el diseño, fabricación e instalación se deberán considerar los siguientes puntos:

1. Movimiento de tierras, drenaje y preparación del terreno.
2. Pilares y zapatas interiores.
3. Zapatas de los muros perimetrales.
4. Solera interior del depósito.
5. Alzados de los muros perimetrales.
6. Vigas principales de cubierta.

7. Cubierta del depósito.

Los cálculos de los momentos flectores en los ejes horizontal y vertical y el esfuerzo máximo cortante se calculan con las siguientes consideraciones generales:

Peso específico del agua	$\gamma_\omega = 10\ KN/m^3$
Peso específico de las tierras del relleno	$\gamma_t = 19\ KN/m^3$
Peso específico del hormigón	$\gamma_{hormigón} = 25\ KN/m^3$
Ángulo de rozamiento interno de las tierras del relleno	$\varphi = 27{,}5^0$
Sobrecarga sobre el relleno	$q = 4\ KN/m^2$
Tensión admisible sobre el terreno de cimentación	$\sigma_{adm} = 1{,}962 \cdot 10^5$
Coeficiente de rozamiento hormigón-suelo	$\mu = 0{,}577$
La reacción de la cubierta al muro se transmite por el axil.	

Tabla 17. Consideraciones generales estructurales de depósitos enterrados (Fuente elaboración propia)

Con ello, se calcula la tracción del empuje del agua y la fuerza que hace el terreno sobre el depósito vacío. Todo ello, junto con los coeficientes de seguridad, dará lugar a las dimensiones de las paredes del depósito y sus armaduras.

Para el cálculo de las paredes se tienen las siguientes consideraciones:

Primeramente, el empuje hidrostático que va a actuar en las paredes interiores, y sobre la solera base donde estará el máximo de la presión triangular que ejerce el agua se calcula según la ecuación:

$$q_{h\,(x=0)} = \gamma_\omega \cdot H_\omega \qquad (ec.9)$$

En segundo lugar, el empuje de las tierras que actúa en las paredes exteriores siguiendo una ley de carga triangular con su valor máximo en la base del depósito sobre la cual también actuará.

$$q_{t\,(x=0)} = \gamma_t \cdot tg^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) \cdot H_t \qquad (ec.10)$$

Para que haya una compensación total o parcial de las tracciones que origina el agua y los demás factores como la retracción o el gradiente térmico, se pone el pretensado horizontal para que comprima la pared mediante armaduras postesas que se anclan en los contrafuertes. Los esfuerzos cortantes y momentos verticales flectores se suman debido al pretensado puntual.

Para el cálculo de la solera o base se tienen las siguientes consideraciones:

1. El propio peso de la solera
2. La carga debida al agua, y su empuje sobre las paredes
3. La presión de la tierra sobre la pared
4. El pretensado del hormigón
5. Los movimientos sísmicos, cambios térmicos y otros efectos como la retracción o la fluencia.
6. La supresión en el depósito debido a su posible rápida descarga de agua.

El suelo del depósito y la interacción entre el terreno y su cimentación lo vamos a basar en el coeficiente de balasto para hacer una simplificación de esa interacción y modelar la estructura de cimentación calculando el módulo de Winkler (1867) según el suelo. Así, se supone que el terreno tiene un comportamiento elástico lineal que reacciona únicamente a esfuerzos a lo largo del eje directos. Con ello, la carga que se ejerce sobre el terreno da lugar a una flecha proporcional, según el módulo de balasto k del terreno, en un punto, independiente de cargas sobre otros puntos.

Tanto el peso propio como la carga hidrostática con uniformes y sus valores son:

$$q_s = \gamma_{hormigón} \cdot h_s \qquad (ec. 11)$$

$$q_{h\,(x=0)} = q_\omega = \gamma_\omega \cdot H_\omega \qquad (ec. 12)$$

Siendo h_s el espesor de la solera y H_ω la altura de agua.

Distinguimos tres tipos principales de depósitos de hormigón y se establecen a continuación consideraciones optimas de diseño:

1. Depósito rectangular de hormigón armado

Este tipo de depósito enterrado, es muy recomendable diseñarlo con 2 celdas ya que permite no parar el servicio cuando hay que hacer reparaciones o se requiere limpiar. Lo mejor es que sea rectangular con cubículos cuadrados.

Estos son de especial importancia en estos depósitos ya que es fácil que el hormigón presente fisuras, haya filtraciones y además en caso de avería el acceso y reparación es difícil.

Se pretende buscar una geometría lo más similar al cuadrado ya que así se consigue el mínimo perímetro para una misma superficie. Como las celdas serán cuadradas, al final lo que se hace es un depósito rectangular partido por la mitad. Debido al carácter modular, el siguiente modelo de depósito será copiar y pegar, hasta que se llegue a un punto que no se puede seguir.

El modelo de depósito más pequeño no será muy grande, será similar a cada celda de los depósitos grandes puesto que irá destinados a pequeñas poblaciones de entre 100 a 300 habitantes. Por ello, consideraremos solo una solera para que el diseño sea funcional y económico no se requerirán por tanto pilares y zapatas interiores para soportar la cubierta.



Figura 22. Depósito enterrado rectangular de hormigón armado (prefabricado)

(Fuente: Habitissimo - reyser JL)

Seguidamente se muestra una tabla con los valores óptimos de la altura de agua y las dimensiones del depósito y sus celdas. Solo se han tenido en cuenta volúmenes entre 100 y 500 m^3 acorde con cálculos anteriores de alcance del suministro.

Depósito de volumen [m^3]:	Cubierta:	Hormigón armado		
		Rectangular		
		Altura de agua	Celdas	Observaciones de aplicación
100	con	3,0 m	2 celdas de 5,50 x3,0 m	En menor medida que cilíndricos.
	sin	2,0 y 3,0 m	2 celdas de 7,50 x3,50 y 5,50 x3,0 m	
200	con	2,0 y 3,0 m	2 celdas de 10,0 x5,0 y 8,50 x4,0 m	
	sin	2,0 m	2 celdas de 10,0 x5,0 m	
300	con	3,0 m	2 celdas de 10,0 x5,0 m	
	sin	2,0 y 3,0 m	2 celdas de 15,0 x5,0 y 10,0 x5,0 m	También son competitivos, aunque un poco menos
400	con	La tipología rectangular es más cara que la cilíndrica		
	Sin			
500	con	La tipología rectangular es bastante más cara que la cilíndrica		
	sin			

Tabla 18. Valores óptimos de las dimensiones del diseño de depósitos de hormigón enterrados rectangulares según el volumen requerido. (Fuente: elaboración propia)

2. Depósito cilíndrico de hormigón armado

En este caso, los depósitos solo tienen una celda y solo se consideran los esfuerzos de carga hidrostática puesto que los empujes de tierras obtenidos son reducidos, quedando generalmente bajo la mínima armadura.

Para conocer el momento flector, el esfuerzo cortante y el esfuerzo axil a tracción, hace falta resolver un sistema lineal de 4 ecuaciones con 4 incógnitas que determina el campo de desplazamientos y esfuerzos de una lámina cilíndrica. Sin embargo, esta parte queda fuera del alcance del proyecto.

En el muro perimetral de los depósitos cilíndricos, se dispone de una zapata que asegurara la estabilidad frente al vuelco y al deslizamiento. En el centro se dispondrá una solera con un espesor de 20 cm.



Figura 23. Depósito enterrado cilíndrico de hormigón armado (Fuente: Proyecto agua para Gode de MMUU)

En este depósito se muestra de nuevo una tabla con los valores óptimos de la altura de agua y las dimensiones del depósito (su radio, aunque en la práctica se mide el diámetro) considerando de nuevo, únicamente volúmenes entre 100 y 500 m³.

Depósito de volumen [m³]:	Cubierta:	Hormigón armado		
		Cilíndrico		
		Altura de agua	Radio respectivamente	Observaciones de aplicación
100	Con	2,0 y 3,0 m	R=4,0 y 3,30 m	En menor medida que rectangulares
	Sin	2,0 m	R=4,0 m	
200	Con	3,0 y 4,0 m	R=4,70 y 4,0 m	
	Sin	2,0 y 3,0 m	R=5,70 y 4,70 m	
300	Con	3,0 y 4,0 m	R=5,70 y 5,0 m	
	Sin	2,0 y 3,0 m	R=7,0 y 5,70 m	
400	Con	4,0 m	R=5,70 m	También, aunque menos, el de 5,0 m. de altura de agua (R=5,10 m)
	Sin	2,0 m	R=8,0 m	Cualquier otra solución queda económicamente más alejada
500	Con	5,0 m	R=5,70 m	También, aunque menos, el de 6,0 m. de altura de agua (R=5,20 m)
	Sin	2,0 y 3,0 m	R=9,0 y 7,50 m	Cualquier otra solución queda económicamente más alejada

Tabla 19. Valores óptimos de las dimensiones del diseño de depósitos de hormigón enterrados cilíndricos según el volumen requerido. (Fuente: elaboración propia)

3. Depósito cilíndrico pretensado de hormigón moldeado

En cuanto a este tipo de hormigón, es necesaria las funciones FHP (Función Hidrostática de Pretensado) y FUP (Función Uniforme de Pretensado) para calcular la pared suponiendo adicionalmente una compresión mínima circunferencial $\sigma_{adm} = 1N/mm^2$. Además, puede haber pérdidas en el pretensado debió a los cordones lubricados.

Estos depósitos requieren entre 1 y 4 contrafuertes y según los requeridos y establecidos económicamente, se valora la armadura activa. Dependiendo de ello, la cantidad de cabezas de anclaje y el tesado de los cables.

La unión entre la pared y la solera es articulada flexible por lo que se puede colocar una solera con espesor de 20 cm. Sin embargo, debido al punzonamiento, las zapatas sobre los que están colocados los pilares interiores para soportar la cubierta tienen un canto mayor. En cualquier caso, estos depósitos no se emplearán en el sistema al no ser aplicable en ninguno de los casos, como se refleja en la tabla siguiente. Adicionalmente, por los volúmenes requeridos en este trabajo no se ha considerado el uso de pilares interiores.

Depósito de volumen [m^3]:	Cubierta:	Hormigón pretensado
		Cilíndrico
		Altura de agua
100	Con	No tipologías de hormigón pretensado.
	Sin	No tipologías de hormigón pretensado.
200	Con	No es aplicable
	Sin	No es aplicable
300	Con	No es aplicable
	Sin	No es aplicable
400	Con	Mucho más caro
	Sin	
500	Con	Mucho más caro
	Sin	

Tabla 20. Valores óptimos de las dimensiones del diseño de depósitos de hormigón pretensado enterrados cilíndricos según el volumen requerido. (Fuente: elaboración propia)

No se considerarán los depósitos pretensados con hormigón proyectado ya que son empresas específicas las que lo emplean y fijan su precio en el mercado. Asimismo, no hay mucha diferencia de precio entre un depósito pretensado de hormigón moldeado con unión articulada flexible frente a uno de hormigón proyectado y unión monolítica, siendo ambos de igual capacidad.

5.4.4.2 Depósitos fijos semienterrados o superficiales de hormigón

Estos depósitos se han descartado para estos proyectos principalmente, sin embargo, se propone que la estandarización de los modelos enterrados sirva también para estos depósitos. Es decir, que en el caso de querer hacer un depósito superficial de hormigón lo que se hará será coger los diseños considerados para los enterados y adaptarlos ligeramente para que se puedan colocar superficialmente sin necesidad de cavar en el suelo. Lo único que se deberá tener en cuenta y a lo que habrá que prestar atención es que los empujes no serán de afuera hacia adentro cuando el depósito está vacío sino al contrario, el empuje será hacia fuera cuando el depósito esté lleno. Para ello, se disponen generalmente como se ve en la imagen contrafuertes para contrarrestar la presión hidrostática.



Figura 24. Depósito superficial rectangular de hormigón armado con contrafuertes (Fuente: desconocida)

Además, en esta imagen se ve las viguetas que soportan la cubierta. Aunque los rayos UV del sol realizan la función de desinfección del agua, conviene que estos depósitos estén

cubiertos ya que se evitan numerosas fuentes de contaminación como por ejemplo los animales.

El último empuje que se va a considerar es el del peso del agua sobre el terreno que esta el depósito. En la imagen se muestra la simulación de la posible deformación en función de los esfuerzos sobre las paredes que va a sufrir el depósito lleno en el software de análisis estructural Robot Structural Analysis desarrollado por Audodesk. Los puntos más críticos de la estructura son los más rojos y oscuros.

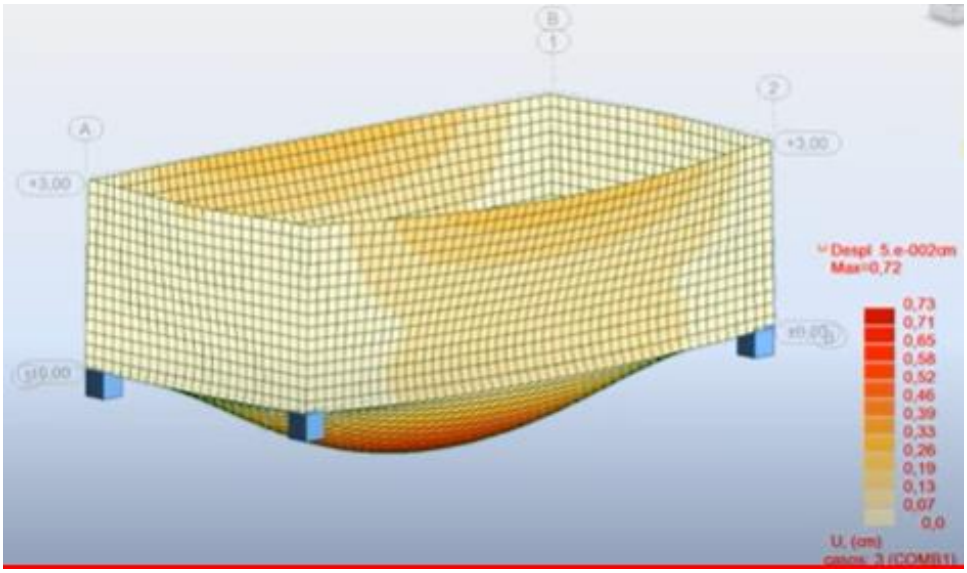


Figura 25. Deformación de un depósito de hormigón armado debido a fuerzas hidrostáticas

(Fuente: Vídeo de YouTube, diseño de un depósito de agua en Robot Structural)

Esta herramienta se utiliza por diseñadores e ingenieros para simular el comportamiento de estructuras ante cargas, fuerzas, presiones, desplazamientos y deformaciones. Es decir, realizar análisis estáticos y dinámicos de estructuras en 3D en el ámbito de la ingeniería civil. Otro programa similar que también se puede emplear (y que se estudia en ICAI) es ANSYS. Este ofrece un gran abanico de herramientas que incluyen además del análisis estructural, fenómenos físicos, dinámica de fluidos, campos electromagnéticos y simulaciones multifísicas.

5.4.4.3 Depósitos móviles en altura de plástico

Los depósitos elevados que vamos a considerar van a ser prefabricados y de plástico, aunque como se verá a continuación en el capítulo existen muchas otras alternativas.

Estos depósitos son los más empleados en este tipo de proyectos por su rentabilidad y ventajas técnicas y económicas respecto a otras opciones. Es fácil disponer de ellos, permiten una sustitución rápida en caso de rotura. Además, son muy versátiles y se adaptan bien a distintas circunstancias.

A continuación, se muestra una tabla comparativa entre los depósitos de hormigón y los de plástico o polietileno prefabricados ya que estos dos son los más comunes.

COMPARACIÓN	**Hormigón / cemento**	**Plástico**
Composición	Hormigón de cemento armado	Polietileno de alta densidad
Durabilidad	Más duración	Menos duración
Fuerza y resistencia	Alta resistencia a rotura	Baja resistencia, se rompe facilmente
Peso	Pesado y fuerte	Poco peso
Mantenimiento y limpieza	El coste de mantenimiento es más alto ya que es difícil de limpiar	Requiere mantenimiento mínimo y es fácil de limpiar
Instalación	Se necesitan personas cualificadas para la construcción	Más fácil ya que pesa menos
Tiempo de construcción	Consume tiempo	Requiere menos tiempo de contrucción
Fabricantes	Puede ser construido por un contratista local y fabricado en el sitio	Sintex, Purvi, Finolex, National Plastics, etc.
Fugas	Puede llegar a ser un problema grave si no se construye con cuidado	Menos propenso a fugas
Resistencia a la luz ultravioleta	Alta resistencia a la luz UV	Baja resistencia a la luz ultravioleta ya que puede desvanecerse el color. Se vuelve frágil y se agrieta.
Oxidación	No resistentes ya que cualquier fuga del tanque estará sujeta a oxidación.	Resistentes a la oxidación
Resistecia térmica (verano)	Mantiene la temeratura del agua fresca.	Calienta el agua al estar expuesto a elevadas temperaturas.
Generación de algas	La presencia de luz o su exposición puede causar el crecimiento de algas y contaminar el agua	No crecen algas
Movilidad	No se puede mover	Puede ser transportado a cualquier lugar y elevado a cualquier altura.
Factores ambientales	Ante terremotos, pueden aparecer grietas en la superficie o puede colapsarse si no se diseñan adecuadamente para soportar sismos. Sin embargo, ante fuertes rachas de permanecen igual.	Ante terremotos permanece estable y no se ropme solo pero ante fuertes vientos se puede desplazar de su sitio
Flexibilidad	Conexión es rígida	Conexión es flexible
Tamaño	Se pueden costruir de cualquier tamaño	Disponibles solo hasta 50.000L (50m3)
Precio	Son mas caros, depende de su tamaño, su localización, y el precio de la mano de obra.	Más baratos

Tabla 21. comparativa entre los depósitos de cemento y los de plástico (Fuente: Elaboración propia)

Las principales razones por las que se ha tomado la decisión de emplear depósitos de plástico prefabricado son:

La facilidad que ofrece de establecer un sistema modular en función de tallas. Así, si hay más niños o enfermos o crece la población y por ello, se requieren más tanques y más pozos de podrá poner un depósito en altura grande, varios pequeños o ir añadiendo a medida que crece el tamaño del colegio en el futuro. Estos tanques son útiles porque se pueden colocar varios más pequeños o grandes, por ejemplo, de 5, 8 o 15 m^3, si fuese más conveniente y económico. En caso de que el terreno sea montañoso y se quiera aprovechar la energía potencial mediante in sistema de gravedad, estos depósitos se emplean para formar cadenas de depósitos que posibilitan circular el agua a través de terrenos accidentados.

a) Al ser un depósito de agua elevado supone un riesgo debido al peso y la estabilidad. Estos van a elevarse a una altura de 15 metros aproximadamente. Por ello, serán preferibles los tanques que menos pesen ya que a su peso se le añadirá el peso del agua que almacenan.
b) Facilidad de adquirir o comprar y trasportar. La ventaja que tienen estos recipientes frente a los descritos anteriormente es que son fáciles de trasladar y sustituir en caso de averías urgentes. No soportan esfuerzos tan grandes como los de hormigón. Sin embargo, permiten más soluciones para el sistema si algo falla o se rompe.
c) Larga vida útil que suele estar entre los 10 y 20 años.

Estos depósitos de polietileno, a pesar de tener generalmente protección UV (contra los rayos de sol), requieren prestar especial atención al mantenimiento por la proliferación de algas o microorganismos. Pero, al estar hechos de materia prima no reciclada, resisten bien a los cambios de clima.



Figura 26. Depósitos grandes prefabricados modulares de 5 m^3 a 15 m^3 (Fuente: Poliester porcuna,S.L.)

Como refleja la imagen anterior, los tanques pueden ser colocados directamente sobre la superficie del terreno por ejemplo para la captación de aguas de lluvia mediante canalones. Este tipo de depósitos pueden instalarse en superficies planas que se encuentren al nivel del suelo sobre una solera siempre que su base tenga un espesor mínimo de 16 mm.

Aunque es menos conveniente, también se podrían enterrar en alguna situación concreta, pero sería necesario dejar un margen de 20 cm a los costados y rellenarse para evitar y prever las deformaciones.

5.4.4.4 Otros tipos de depósitos

1. **Cisterna flexible**

Ante lugares alejados donde es necesaria la movilidad de estanques de grandes volúmenes, estos sistemas transportables además dan la ventaja de flexibilidad. Se evita la construcción de estructuras de soporte siendo estas cisternas ligeras y plegables con una instalación rápida y sencilla.

Estos sistemas soportan temperaturas en un rango de [-30 C, +70 C], así como condiciones extremas de rayos UV y además no generan algas, al no tener aire en el

interior. La ausencia de aire evita que crezcan microrganismos. Así mismo, su estructura cerrada no permite contaminación externa. Soportan bien movimientos sísmicos y en caso de que haya una fuga, tienen rápida reparación mediante el kit de emergencia sin necesidad de su vaciado.



Figura 27. Imagen de una cisterna flexible para el almacenamiento de agua sin contaminación externa y resistencia UV. (Fuente: Citerneo)

2. <u>Metálicos elevados</u>

Los depósitos elevados metálicos son tanques de distribución cerca del poblado con una capacidad menor a los 100 m3. Aunque se utilizan en algunos casos, para los modelos propuestos no se han considerado ya que:

- Requieren un recubrimiento especial para evitar la oxidación y contaminar el agua.

- En ambientes húmedos se corre el riesgo de pérdida de protección y corrosión y en ambientes cálidos y áridos, las elevadas temperaturas pueden dar lugar a problemas ya que el depósito metálico será conductor del calor.

- No solo son más difíciles de diseñar, construir y transportar, sino que también suponen mayor peligro que otras alternativas al pesar más y tener una estructura que soporta peor las presiones interiores.

- La estructura del depósito es menos fiable y es más posible que se pierda agua en las uniones de la chapa.

- Por último, la dificultad de diseño, transporte, elevación y material, hacen que sean considerablemente más caros que otras alternativas como los de plástico de una capacidad similar.

Pueden ser una alternativa viable en proyectos donde la haya más disponibilidad que los depósitos de polietileno.

Las dos últimas alternativas son menos comunes todavía pero también se pueden emplear en proyectos concretos donde puedan resultar ventajosos. Por ejemplo, los de ferrocemento son comúnmente empleados en la India. Pero en ese país hay muchísima variedad de sistemas, proyectos y métodos de hacer las cosas.



Figura 28. Depósito elevado agua potable con capacidad para 40 m^3, elevado a 10 m de altura (Fuente: GEDAR - Gestión de aguas y residuos)

3. Estanque australiano



Figura 29. Depósitos superficiales de tipo australiano (Fuente: PureWater)

4. <u>Cisterna de ferrocemento</u>



Figura 30. Cisterna de ferrocemento de 10.000 litros de capacidad. (Fuente: Captación de aguas lluvias mediante uso de tecnología de "atrapanieblas", Research Gate)

5.4.5 VARIADOR DE FRECUENCIA

Puesto que en los sistemas de bombeo el gasto no se considera constante siempre, normalmente se regula el flujo mediante la apertura de válvulas a la salida de la bomba. Este control de gasto se puede hacer también mediante variadores de frecuencia, consiguiendo así menor consumo de energía eléctrica. Al disminuir la velocidad del motor, se ahorra energía. Sin embargo, suelen requerir una alta inversión por lo que conviene un análisis coste-beneficio.

Las siguientes expresiones matemáticas expresan la ley de afinidad para una bomba centrífuga, relacionando el gasto (Q [m^3/s]), la velocidad (n [rpm]), la altura (H) y el consumo energético (kW).

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \qquad (\frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1}{n_2})^2 \qquad (\frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1}{n_2})^2 \qquad (ec.\,13)$$

En su primera etapa, rectificación, el variador, con toda la potencia convierte corriente alterna en corriente continua. En la segunda, inversión, se pasa de nuevo a alterna tensión y frecuencia dependientes de la consigna y regulables.

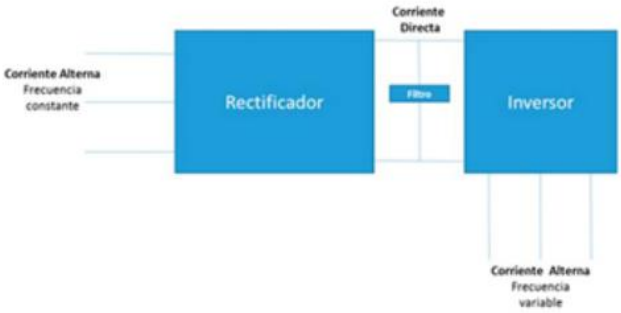


Figura 31. Variador de frecuencia rectificador - inversor. (Fuente Desconocida)

5.4.6 BOYA DE NIVEL

Para el arranque y parada de las bombas del sistema es conveniente instalar boyas/interruptor de nivel de agua. Se trata de un interruptor eléctrico encerrado que flota en el agua de un tanque. En nivel mínimo de agua, tanque vacío, estará en circuito abierto (sin corriente eléctrica) y, por el contrario, en nivel máximo está en circuito cerrado (circula corriente) denominándose este punto: posición de vaciado, al estar el depósito completamente lleno.

La importancia de su función de protección de bombas con motor eléctrico se debe a que se tienen que parar cuando el nivel del agua del depósito o pozo donde se encuentran baja. Así no llega a aspirar aire y trabajando en vacío, lo cual quemaría la bomba. La boya se coloca en los pozos o depósitos de donde se suministra las electrobombas a proteger. Debe indicar el voltaje (normalmente 220 V) y el amperaje y antes de su conexión a la bomba se debe conocer la potencia de esta y si es monofásica o trifásica. Las bombas monofásicas de menos de 2000 W suelen llevar boya incorporada o se instalan juntas.

5.5 RIESGOS Y LIMITACIONES

Aunque teóricamente existan infinidad de posibilidades a la hora de establecer un sistema de suministro de agua, en la realidad o de manera práctica estas no existen o no

se pueden aplicar. Tras analizar y todos los posibles escenarios y casos a los que hay que enfrentarse inicialmente, muchos de los puntos siguientes justifican porque razones hay muchos que se han descartado. Dentro de todos los supuestos gran cantidad de ellos son irreales o inviables.

En este apartado trataremos de justificar por qué los casos que, aunque en teoría se podrían diseñar realmente no existen en estos lugares. Así como los mayores problemas técnicos a los que se suelen enfrentar las organizaciones.

Para ello, se han resumido en 10 puntos críticos, 6 riesgos técnicos y 4 limitaciones tecnológicas principales, adicionales a las ya consideradas en los capítulos anteriores.

5.5.1 RIESGOS

1. Perdida de agua en caso de reparación.

En estos lugares, el agua es oro, por tanto, un riesgo extremadamente importante es el hecho de perderla. Para ello, el diseño no solo tiene que ser lo suficientemente robusto como para que solo se averíe muy ocasionalmente, sino que, en caso de avería o rotura, el abastecimiento no quede comprometido o por lo menos el mínimo tiempo posible.
Habrá que valorar para ello el sacrificio del recurso que supone el tener que:

- reparar el tanque enterrado si se contamina o daña y por tanto se tiene que vaciar y limpiar. Una fuente de contaminación importante es la boca de hombre (abertura que se encuentra en el depósito y que permite el acceso para la inspección y mantenimiento). Por ella pueden llegar a entrar animales, pero la situación más común es la entrada de contaminantes arrastrados por la lluvia. Para evitar esta situación se propone elevar la boca de hombre o incluso el propio depósito para que sobresalga un poco por encima del nivel del suelo.
- sustituir la bomba en caso de robo, avería, daño o final de vida útil. Ya que puede dejar sin suministro el tiempo que tarde en llegar. Conviene analizar no solo la vida útil sino el uso que se hará de la bomba como el número de encendidos y apagados y el mantenimiento que requiere.

- perder el agua al romperse uno de los depósitos elevados. En este caso, el carácter modular que se ha considerado para los depósitos elevados permite que se pierda menos cantidad de agua. Al ser más conveniente varios depósitos de menor capacidad por el transporte que uno solo más grande, si se estropea uno de los depósitos elevados el sistema seguirá funcionando sin interrumpir el suministro. Sin embargo, si solo se dispone de uno, no solo se pierde toda su agua almacenada (y energía potencial) sino también la falta de suministro. Por ello, disponiendo varios depósitos en altura, simplemente se deberá aumentar la frecuencia con la que el agua de eleva bombeándola, mientras se sustituye el depósito averiado.



Figura 32. Ejemplo de sistema con un solo depósito prefabricado elevados

(Fuente: Borehole Equipment Centre)



Figura 33. Ejemplo de sistema con varios depósitos prefabricados elevados

(Fuente: Afrik21, SENEGAL: "One million water tanks for the Sahel" programme launched)

2. Esfuerzos en los depósitos enterrados. Paredes y cubierta

En el caso de los depósitos de hormigón enterrados, comprarlos prefabricados es complicado en estos lugares. Si se compra directamente uno de hormigón además de que se necesita un transporte especial por el peso y dimensiones, luego moverlo también es un problema y posiblemente se requerirán varias grúas.

Por el contrario, la mano de obra y materiales de construcción son relativamente baratos en comparación. Los socios y constructores locales tendrán allí sus encofrados. Por ello, es preferible diseñarlos y construirlos in situ.

En estos lugares es muy importante tener en cuenta que la rigurosidad técnica y de precisión en la medición y construcción no es la misma que en los países desarrollados. Puede ocurrir que lo que se construya no coincida o no sea lo que inicialmente se ha calculado y por tanto no tenga tanta resistencia como la prevista. Hay que adaptar el diseño a estos lugares (que su construcción realmente sea posible) y siempre utilizar coeficientes de seguridad superiores a los que se emplean normalmente.

Para facilitar el diseño, se han propuesto unos modelos de depósitos con medidas parecidas separando el depósito en celdas de 50 o 100 m^3 con tabiques. Se ha decidido hacer un diseño fractal para facilitar el diseño y evitar que haya tanta libertad.

Los peligros de los depósitos enterrados son las presiones y fuerzas que sufren del empuje de la tierra hacia adentro cuando están vacíos y la compensación entre este empuje y el hidrostático cuando están llenas. Además de los encofrados, al dividir el cajón de hormigón en varios compartimentos, cada pared intermedia que se ponga estará haciendo de contrafuerte. Estará poniendo las dos partes enfrentadas mediante una pared.

Como se decía anteriormente, de debe hacer un diseño posible de construir en estos lugares menos precisos y seguramente con menos disponibilidad de maquinaria. La excavación para el depósito generalmente se realiza a mano debido a la disponibilidad de maquinaria, la dificultad de acceso de ésta al lugar o la falta de personas cualificadas para manejarla por lo que cuanta menor profundidad mejor.

Cuanta menos profundidad más sencilla será la estructura de hormigón porque habrá menor empuje del terreno hacia adentro con el depósito vacío. Además, las paredes intermedias de división también serán más sencillas a la hora de construir cuanto menos altura o profundidad tenga el depósito. Al ser trabajo manual, la profundidad a excavar debe ser razonable, por ejemplo, que no sea de 1,5-2 m porque si no hay que excavar mucho. Esta profundidad será fácil de conseguir a mano porque, a esa profundidad el terreno no va a ser roca, sino que lo más normal es que sea material suelto o sedimentos. Por ejemplo, 4 metros es mucho para una excavación manual ya que se puede llegar a la capa rocosa.

A esto hay que añadir la posibilidad de que los esfuerzos del terreno sobre las paredes hagan que éstas venzan durante las revisiones de mantenimiento cuando el depósito está vacío o incluso durante la construcción. Al hacer una excavación de 2 metros es difícil que esta se caiga. Pero para una persona que está debajo a más de 2 metros (aunque la gente mida más de 1,5 metros), la pared le puede pillar al derrumbarse.

En España la normativa de las franjas establece que siempre que una excavación sea de 1 m o más hay que entibarla, porque, aunque una persona mida 1,70 de altura, puede estar agachada. Por ejemplo, si se cae le tapa al colocar tuberías.

Por otra parte, los estos sitios donde se hace a mano generalmente serán zonas muy rurales por lo que no habrá problemas de espacio y se podrá disponer de menor profundidad, pero mayor extensión para alcanzar la capacidad requerida.

Si hiciera falta más para llegar al volumen requerido, se pasaría a un depósito semienterrado por encima del nivel del suelo. El coste de hormigón sería exactamente el

mismo, al tener la misma resistencia, armadura y dimensiones. Para simplificar, no es necesario un diseño distinto ya que la estructura de hormigón puede ser la misma (simplemente no habrá empuje de la tierra) pero sí que se deberá especificar a la altura a la que va a estar. El coste simplemente variará en la excavación. Esto es posible porque debe aguantar 2 empujes.

- Si está enterrado el empuje de afuera hacia dentro y de dentro hacia fuera.
- Si está aéreo por completo solo el empuje de dentro hacia afuera por el agua.

Los puntos críticos opuestos de esta normalización serán:

- Cuando el tanque está lleno, si está todo en superficie, el punto crítico es que todo el agua empuja a la pared y al otro lado hay aire.
- Cuando el tanque está vacío, al contrario, si está completamente enterrado, el empuje es de las tierras de todo el terreno hacia adentro mientras que al otro lado hay aire (tanque vacío).

Para solucionarlo, en muchos casos se usan contrafuertes, pero según los análisis realizados, se emplean solo en depósitos que rondan o superan los 20 o 30 metros de altura encima de la superficie. Para depósitos de 2 m de altura no van a hacer falta contrafuertes. Con espesores de 20 cm en las paredes y si las armaduras están bien colocadas, el depósito va a aguantar perfectamente sin necesidad de contrafuertes. En el presente trabajo se pueden considerar paredes de 10 cm o más si se quiere tener mayor margen de seguridad. Los tabiques exteriores conviene que sean más ancho ya que soportan mayores esfuerzos mientras que los interiores (que refuerzan) pueden ser más estrechos.

Con 2 m de altura la presión en el punto más bajo de mayor presión en el depósito va a ser 0,2 kg/cm^2 (19613.3 Pa) entonces no va a haber problema.

- Presión hidrostática: $P = \rho\, g\, h = (1000\ kg/m^3) \times (9{,}81\ m/s^2) \times (2\ m) = 19620\ Pa$

En el modelo 3 en el que se plantea que la captación de aguas pluviales conduzca al depósito enterrado, para que el agua fluya por gravedad debe haber una inclinación

determinada y diferencia de cota que limita la altura del depósito si sobresale o es superficial. Pueden surgir complicaciones para meter el agua recogida de los tejados si estos son bajos y el tanque sale más de 1 o 1,5 metros del suelo.

Durante el proceso de investigación, se han visto depósitos en México que tienen 2,5 m de altura y sin embargo recogen agua de los tejados donde la altura del canalón está solo a medio metro más. Pero en estos casos, los depósitos no están enterrados y la boca de alimentación a ellos es aérea, es decir, el tubo horizontal entre el tejado y el tanque no está enterrado. Los canalones y el depósito no se comunican mediante otro canalón sino por medio de un tubo con una pendiente de 5% (suficiente para que circule el agua). Evidentemente, cuanta más pendiente mejor. Además, con un tubo cerrado se evita contaminación al descender.

Si toda la alimentación es de recogida de agua de lluvias, el problema es que lo que sobresale del suelo es como un escalón que luego hay que subir. Pero el tejado siempre va a estar a 2 m, 2,5 m y 3 m de altura mínimo, los canalones.

Siempre es bueno subirlo 0,5 m para evitar que le entre agua lluvia que puede traer aguas sucias y meterse el agua sucia por la boca de hombre. Estamos hablando de depósitos que en general se van a usar no como agua potable pero sí para uso humano. Mejor siempre que sea posible que sobresalga medio metro del suelo. Entre 0,25-0,5 m (25 cm).

En el ejemplo estudiado de agua para Gode, sobresale el tanque. Esto es para evitar que el agua de escorrentía se meta en el depósito. Ha pasado que en épocas de lluvias cuando llueve mucho más de lo esperado se inundan lo tanques. Por la boca de hombre o trampilla por la que se entra a limpiar se inunda tanto que entra fango y sedimentos y casi medio tanque se ensucia. El tanque tiene la mitad de capacidad y hay que entrar y sacar todo (trabajo costoso).

Otra opción es que, aunque el tanque esté a la altura del suelo, la boca de hombre suba medio metro hacia arriba y así evitar que entre el agua.

Un proyecto de Kenia que recogía agua de lluvia en un colegio tenía 1400 m^2 o 1700 m^2 de cubierta. Por los cálculos de lluvia que había y por la pluviometría mensual, para el máx. aprovechamiento, con 1500 m de tejado y lo que llovía correspondía 200 m^3 para no perder ni una gota de agua de lluvia. Era excesivo, con 100 m^3 estaba el óptimo desde el punto de vista económico. Poner el de 200 era para aprovechar el exceso de lluvia de otras semanas. El resto del año no llueve tanto como para llenarlo.

Concluyendo, 1,5 m de profundidad y 0,5 o 1 m de altura es lo ideal y funciona perfectamente según se ha visto en proyectos anteriores. Teniendo la altura o profundidad o altura y la capacidad de cada celdilla, la única variable que queda por definir será la superficie.

3. Paso por encima de los depósitos enterrados

Para el diseño propuesto se han hecho unos módulos relativamente parecidos con medidas que quepan dentro del patio de un colegio u hospital. Según los esquemas de opciones presentados en el siguiente capítulo la superficie abarcada será:

- para un depósito de 100 m^3 del modelo 3 aproximadamente 50 m^2
- para un depósito de 200 m^3 del modelo 4 entre 98 y 100 m^2
- para un depósito de 500 m^3 del modelo 5 entre 245 y 256 m^2

La dificultad de los grandes depósitos enterrados y sobre todo lo más importante será la cubierta. No solo por el propio peso que supone y que debe aguantar sino por el probable paso de camiones o vehículos, animales (como elefantes o rinocerontes) o personas por encima.

→ Si el tanque es de 500 m^3 tienes que hacer una cubierta más costosa y acaso incluso prohibir el paso por encima.

→ Si el tanque es más pequeñito pones un forjado de hormigón hechas un poquito de tierra y los niños pueden seguir jugando, puede formar parte del campo de fútbol.

Como se separarán en celdillas, mediante tabiques o paredes es posible incorporar pilares o apoyos para sujetar la cubierta. Al fabricarse in situ, el techo del depósito es fácil de hacer. Una forma de hacerlo si se fracciona el depósito es poniendo unas viguetas de tipo castilla, unas bovedillas y luego echar directamente hormigón por encima.



Figura 34. Ejemplo de vigueta (Fuente: Apuntes Resistencia de materiales, ICAI)

Según lo visto en proyectos anteriores, si en el lugar no tienen viguetas ni bovedillas ponen un encofrado de madera plano, unas armaduras por encima y una losa. Es posible también al estar separado en celdillas con paredes de más de 10 cm, poner cubiertas o losas prefabricadas en cada celdilla (de un poco más de su medida) apoyadas en las paredes divisorias y recubrir todas las losas con cemento u hormigón.

Si es un recinto protegido donde se sabe que no van a pasar o subir vehículos por encima, en todo caso se puede subir algún niño correteando por encima (como un patio) se puede hacer esta última cubierta más sencilla donde no se necesita una estructura tan compleja.

En cualquier caso, para evitar que haya problemas, aunque no vayan a pasar camiones por encima, el depósito puede sobresalir del suelo medio metro. Así, además de este y los puntos destacados en el riesgo anterior, se sabe en todo caso que hay un depósito enterrado para que se tome precaución y eviten peligros.

4. Condiciones externas como temperatura, presión, sismos, etc.

En los depósitos enterrados además del empuje existen otros riesgos como las contracciones y dilataciones por cambios bruscos de temperaturas, los movimientos sísmicos o los cambios de presión si la tierra se humedece mucho en época de lluvias. Estos pueden alterar la resistencia de los depósitos, contaminar o causar roturas o fisuras

que pueden dar lugar a la pérdida de gran volumen de agua e incluso pasar desapercibidos al estar enterrado. Por ello no solo es importante un diseño robusto con coeficientes de seguridad elevado sino revisiones de mantenimiento periódicas por personal especializado o con algo de conocimiento en la materia.

Como se verá más adelante en el riesgo 6, las condiciones externas como la luz y las temperaturas pueden dar lugar a la proliferación de algas o microrganismos que contaminan el agua. Por ello, los depósitos deben llevar siempre cubierta y tienen que ser capaces de soportar y proteger de las altas temperaturas de estos lugares.

5. Estructura de los depósitos elevados y peso. Elevación de depósitos elevados

Otro peligro importante donde hay que tomar precauciones sobre todo dependiendo del sitio, es la altura y peso de los depósitos elevados, así como los posibles movimientos sísmicos destacados anteriormente. Un conjunto de depósitos de 50 m^3 (como en el proyecto reciente de MMUU en Kenia y como se ha propuesto en el modelo 3 y mayores) a 15 o más metros de altura, por ejemplo, puede resultar altamente peligroso según el sitio donde se encuentre (sobre todo incorporados en hospitales, colegios o dentro de aldeas). A continuación, se muestran los principios físicos analizados de la interacción mecánica y dinámica del depósito con líquido elevado y la estructura que lo soporta.

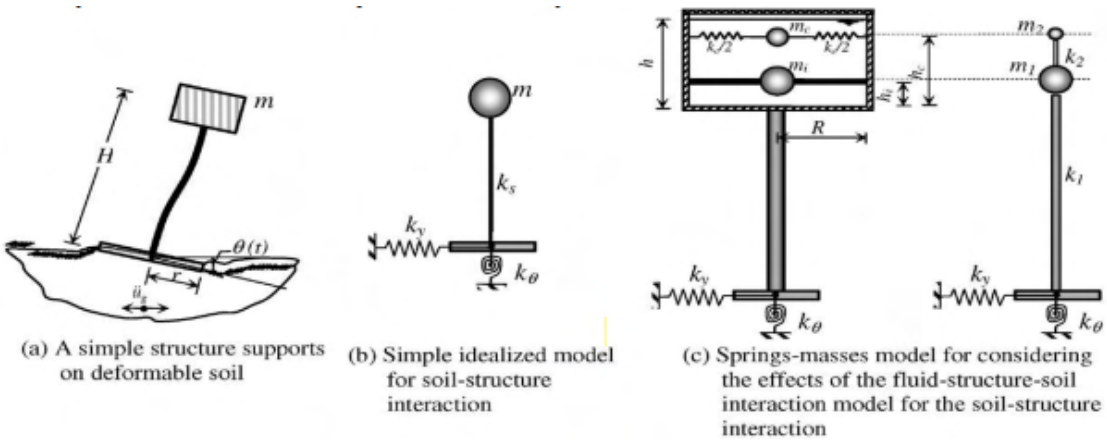


Figura 35. Modelo mecánico para la interacción entre fluido-estructura-suelo de un tanque elevado.

(Fuente: International Journal of Computer Science and Mobile Computing)

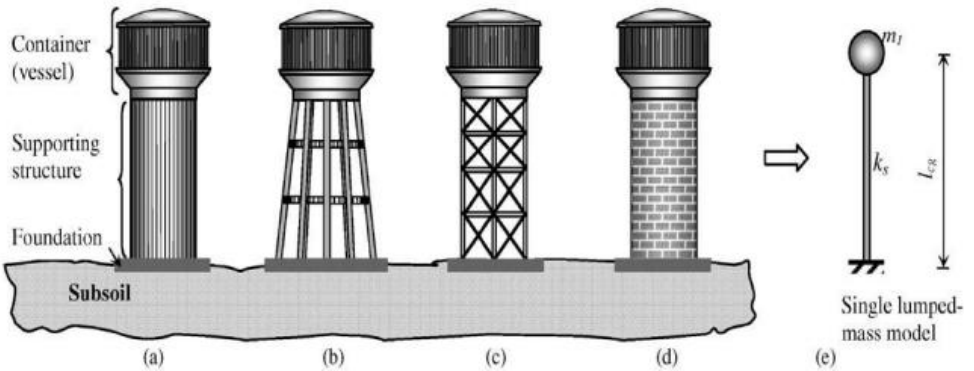


Figura 36. Tanques elevados y el modelo de masa concentrada única: (a) el tanque con eje de hormigón armado que soporta, (b) el tanque con estructura de marco de soporte de hormigón armado, (c) el tanque con estructura de soporte de marco de hormigón armado con tirantes diagonales o estructura de soporte de marco de acero, (d) el tanque con estructura de soporte de pedestal de mampostería, (e) modelo de masa concentrada única. (Fuente: International Journal of Computer Science and Mobile Computing)

Con frecuencia, se colocan sobre estructuras metálicas o de madera en torres en un punto alto para que el agua almacenada tenga presión suficiente y el sistema funcione adecuadamente. Al igual que se estableció en el capítulo anterior que el máximo tiempo de extracción de agua serían ocho horas diarias vamos a hacer algo parecido aquí para la altura de los depósitos elevados.

Para normalizar, se establece que los depósitos estén colocados sobre una estructura metálica a 10 o 15 metros de altura que es lo más común. Aunque puede variar en algún proyecto, es importante recordar que no es necesaria una presión excesiva ya que se corre el riesgo de que los niños dejen el grifo abierto y se pierda agua. Además, generalmente los depósitos elevados estarán muy cerca de los puntos de distribución o incluso dentro del recinto del centro al que abastecen por tanto no se requiere presión elevada para transportar grandes distancias.



Figura 37. Ejemplo de sistema a poca altura en la región de Omusati

(Fuente: The Namibian, Govt takes over Akutsima, Amarika desalination plants)

Como se había mencionado en el apartado 5.2 Propuestas y comparaciones los los tanques elevados que serán 2, 3 o 4 tanques de 10 m^3 de capacidad, esto es en casi todos los caos múltiplos de 10 si es posible.

Por tanto, para un depósito elevado de 10 m^3 se estima 135 kN entre 4 pilares a 33,75 kN de esfuerzo axil. Se considerará una estructura metálica simple con cordones de seguridad y con perfiles de tipo HEB, mucho más robustos que los perfiles de tipo IPN o IPE y también más resistentes al pandeo.

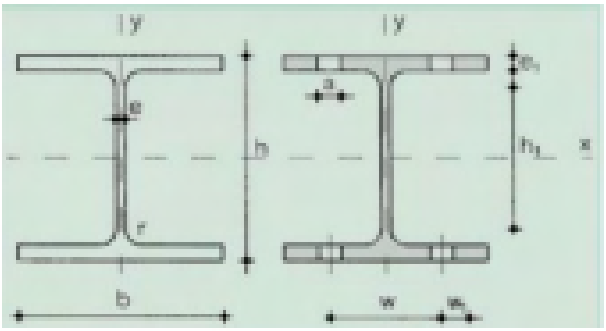


Figura 38. Perfil de tipo HEB (Fuente: Apuntes de Resistencia de materiales, ICAI)

A continuación, se muestra un esquema de la estructura considerada, donde los pilares pueden soportar cargas muy superiores a las consideradas aquí, casi 10 veces el peso multiplicado por el coeficiente de seguridad.

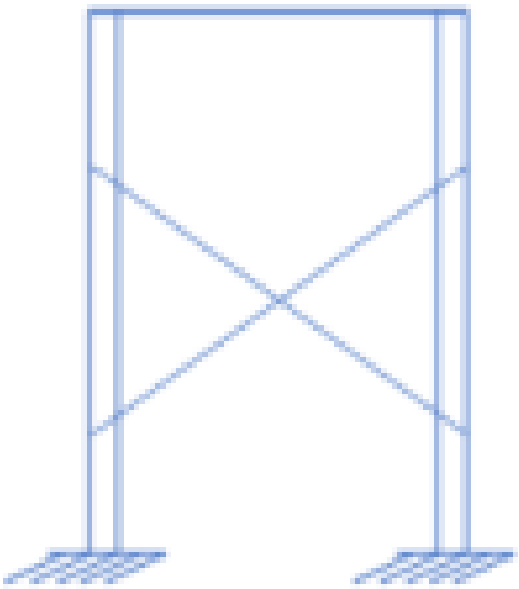


Figura 39. Estructura metálica simple de soporte para depósitos (Fuente: Elaboración propia)

Para evitar los peligros destacados anteriormente (movimientos sísmicos, caídas, fracturas, empuje por parte de animales como elefantes, etc.), se tiene que abrir una cavidad en el suelo para aumentar la sujeción. de la mitad de la altura final de la estructura y cementarlo con el pilar dentro.

6. Crecimiento y flora de bacterias. Mantenimiento

Uno de los riesgos importantes de los sistemas de agua es que el agua potable o limpia se contamine. Este problema puede traer consigo grandes problemas como ya se vio en el apartado 4.1.1.7 Calidad agua existente, las más graves las enfermedades.

Las condiciones de temperaturas altas e incluso extremas que se dan en muchos de los lugares de estudio pueden hacer que en el agua proliferen microorganismos perjudiciales. Por ejemplo, son preferibles los depósitos enterrados ya que pueden mantener

temperaturas estables, que evitan la floración de plantas, algas o bacterias entre otros que son considerados organismos contaminantes.



Figura 40. Crecimiento de algas en cisternas de agua (Fuente: Rags Corp)

Para evitar la exposición solar, así como la posible contaminación, se debe evitar la exposición solar que se puede hacer poniendo una cúpula sobre los depósitos semienterrados o en altura. Así se prevendrá el crecimiento de algas que necesitan de la luz solar para crecer.

Una buena alternativa es también tapar los depósitos con un pequeño tejado a dos aguas que capte además agua de lluvia. Así no solo se protege del sol (que además de las algas se estropea con el sol por ser plástico o polietileno) durante los meses cálidos o secos) sino que también se aprovecha parte del agua de captación de lluvia durante los meses húmedos. La captación de agua de lluvia no será mucha, pero si es un lugar con lluvias abundantes puede llegar a ser una cantidad suficientemente considerable como para no despreciarla. Además, el agua de lluvia tiene la ventaja de generalmente limpia, apta para el consumo. Habrá que tener en estos casos especial atención a que no contamine el agua que ya se extrae a través de los conductos o por el tejado. Otra opción es colocar los paneles solares como o en el tejado tapando los depósitos para aprovechar el espacio y la luz a la altura, sin sombras.

5.5.2 LIMITACIONES

Además de las limitaciones económicas, sociales y políticas destacadas con anterior existen ciertas limitaciones técnicas que determinan las elecciones entre los modelos y sobre todo la viabilidad de un sistema ante diferentes situaciones. Las limitaciones tecnológicas más importantes se recogen a continuación, así como consideraciones importantes que se suelen dar con frecuencia en estos tipos de proyectos.

1. **Intención de que el depósito forme parte del centro social, colegio u hospital.**

El hecho de que los depósitos, tanto los enterrados como los elevados, pertenezcan al centro resulta muy ventajoso por los casos descritos en el apartado 4.2.1 Situación política del país. Además, permiten tener un acceso más rápido al sistema para su mantenimiento y en caso de avería. Si estuviera lejos no solo puede ocurrir que haya fallos que acaban siendo irreversibles, sino que también requiere tener accesibilidad periódicamente para realizar controles de mantenimiento. Aunque se puede tener ambos depósitos dentro del recinto de colegio u hospital, si hay que elegir es preferible tener cerca el elevado ya que se trata de un lugar que seguro al 100% va a estar más cercano a los puntos de distribución y además requiere menos obra.

Al tratarse de colegios u hospitales protegidos por un recinto cerrado hay que intentar aprovechar el espacio al máximo, por eso el depósito enterrado se puede poner en el patio central y utilizar todos los edificios que hay alrededor para recolectar el agua de lluvia. El problema será que el depósito elevado tiene que estar más alto que los tejados (no como en el proyecto de Kenia) y tener menos capacidad (por el peligro y riesgo de peso y altura para los niños), aunque sea a base de bombear agua todos los días.

En la imagen se muestra un colegio de 15 alumnos en el que se ha incorporado un tanque de 1100 L de polietileno.



Figura 41. Potabilización de escuela rural de Cerro Largo (Fuente: Gestión de aguas)

2. Transporte y accesibilidad. La complicación del transporte (Camiones y logística)

Volviendo al apartado 4.2.3 Desarrollo tecnológico del país pongamos dos ejemplos, al calcular la capacidad de los depósitos puede que sea conveniente X capacidad, pero no sea posible transportar en camión normal o no exista vendedor- En depósitos se puede mantener la capacidad y fraccionarlos para que sean más fáciles de transportar y así, si hay alguno que fuga no se para todo el sistema.

En el tercer mundo generalmente solo hay 3 tipos de tuberías la de 10, 20 y 30 mm. Además, por cada kilómetro de tubería debo tener un metro más de altura porque si no el agua no circula.

3. La complicación de la construcción y el acceso de la maquinaria.

La construcción en estos lugares puede suponer cierto grado de dificultad, aunque se ha estudiado en numerosos casos resulta más favorable que comprar directamente. Muchos de los detalles de diseño y construcción se han mencionado en los riesgos anteriores. Pero a ello hay que añadir la falta de información y conocimiento del terreno, la falta de maquinaria y herramientas y la falta de infraestructura general (civil, energética, etc.). El conocimiento técnico y la precisión con la que se trabaja no es comparable con la de los países más desarrollados. Hay que valorar las dos cosas.

Primeramente, los tanques de polietileno (ya fabricados), no se pueden enterrar, por lo que van siempre en la superficie o elevados sobre una estructura. Salvo, que se entierren

y se deje un contorno a lo largo de todo el perímetro relleno de hormigón en el trasdós de ese tanque. Si el trasdós del tanque se rellena de tierra otra vez entonces surge un problema porque es posible que se vaya a deformar al haber un un empuje mayor de un lado que otro.

En segundo lugar, el empuje más fuerte en un depósito enterrado de polietileno va a ser el del nivel freático del agua, esto es, el empuje hidrostático. Si ha llovido y está sumergido, podría llegar a salir flotando el tanque ya que además de que el plástico flote, la tierra se reblandece.

Así, se van eliminando un montón de casos porque al principio todo vale ya que los números soportan todo, pero al calcular los tanques por ejemplo al final los vamos a descartar alternativas porque no son estandarizables o no son realistas. Por ello, limitaremos el estudio solo a depósitos enterrados de hormigón armado y elevados solo de plástico.

Un ejemplo es la falta de maquinaria o la posibilidad de su acceso al lugar de trabajo. En este caso se recurre a trabajo manual, pero en muchos casos ni siquiera es posible. Para que se vea claro, a lo mejor en el mercado se encuentran depósitos prefabricados que se pretenden elevar, pero para poder elevarlos se requiere una grúa de la que o no se dispone o que simplemente no pueda llegar hasta la aldea porque no hay carretera. En estos casos habrá que buscar alternativas con otra forma de construcción.

4. Límites de extracción de agua y de energía de red de los gobiernos.

La última limitación que se va a destacar es las limitaciones establecidas por los gobiernos y la legislación de cada país en cuanto a el aprovechamiento de los recursos, las importaciones, el mercado o las construcciones. Es importante tener una idea general para no tener problemas legales que seguramente se tenga que investigar o sea conocida por el socio local o por proyectos anteriores.

Algunos de estos límites limitan mucho las alternativas propuestas y el uso que se puede hacer de los recursos. Entre ellas destacan:

- Las características de los pozos
- La limitación de extracción de acuíferos
- La legislación de construcción
- La limitación de uso de la red eléctrica
- Los límites de combustión en caso de utilizar carburantes.

En el caso de alimentación energética, como se está suponiendo 3 posibles medios diferentes, y no se conoce a priori a dónde va a ir el proyecto, cuando se ponga en práctica en un lugar concreto, nos podemos encontrar con que hay red pero que las autoridades lo limitan. Por tanto, habrá que recurrir a alguna de las otras opciones. Es por ello por lo que los modelos propuestos se han hecho con bastante flexibilidad.

En algunos países, la conexión máxima a la red eléctrica para usuarios residenciales puede estar en el rango de 1 a 10 kW. Para usuarios comerciales e industriales, las conexiones eléctricas pueden ser mucho más grandes, alcanzando varios megavatios (MW) o incluso más, dependiendo del tipo de industria y las necesidades energéticas. Por ello, si ponemos una bomba de una determinada potencia y la conexión máxima a la red que las autoridades permiten son por ejemplo 3 KW habrá que poner un grupo electrógeno o paneles que complementen a esos 3 KW que puedes contratar de la red.

6. MODELOS PROPUESTOS

En este capítulo se presentan los diseños propuestos a modo de generalización de todos los proyectos previos estudiados. Puesto que se trata de zonas rurales y por lo general remotas, un factor clave será la posibilidad de construcción de las estructuras y transporte de los materiales y elementos prefabricados. Estos diseños están basados en casos verídicos a los que se ha tenido acceso, proporcionados por Manos Unidas que se han considerado realistas y relevantes. Así mismo, se han analizado también proyectos de otras ONG que también se han llevado a la práctica.

Estos sistemas están especialmente enfocados a abastecer a colegios y hospitales (centros de servicio) pero también a pequeños poblados. Por ello, se ha determinado que las poblaciones y centros a las que nos enfrentamos tendrán entre 100 y 1.500 habitantes. En los extremos, se ha propuesto un modelo muy simple para cubrir las necesidades básicas que visto desde un país desarrollado se podría llegar a considerar rudimentario y otro, para más de 1500 personas. Ambos en caso de que surgiera la necesidad en algún proyecto concreto.

El interés está en que el más pequeño es para situaciones muy críticas y desesperadas donde la necesidad es máxima y los recursos muy escasos, y siempre tiene la posibilidad de modificarse, para aumentar su capacidad debido al carácter modular del estudio.

Por el contrario, el más grande plantea la interrogación de si verdaderamente es un proyecto que tenga que estar financiando MMUU. Para centros y poblados grandes es posible que la necesidad la pueda cubrir otras entidades y ONG pues de ocuparse MMUU estaría quitando ayuda a otros poblados en vías de desarrollo verdaderamente necesitados. Sin embargo, de nuevo se propone una alternativa pues puede ser que sí sea de especial atención para la organización si por ejemplo se prevé un rápido crecimiento de la población y se requiere que el sistema no esté limitado.

6.1 MODELO 1: 50 A 200 HABITANTES CON DOTACIÓN BAJA

Según se ha presentado en el capítulo anterior, este modelo consiste únicamente en una bomba manual, si se necesitase puntualmente almacenar agua se buscaría un pequeño depósito prefabricado. Será un sistema muy simple con coste y mantenimiento mínimo para situaciones críticas. Las bombas manuales solo se han propuesto para casos de muy pocas familias. La figura siguiente muestra una bomba de mano hidráulica, mostrando su simplicidad en comparación con las demás bombas de extracción.

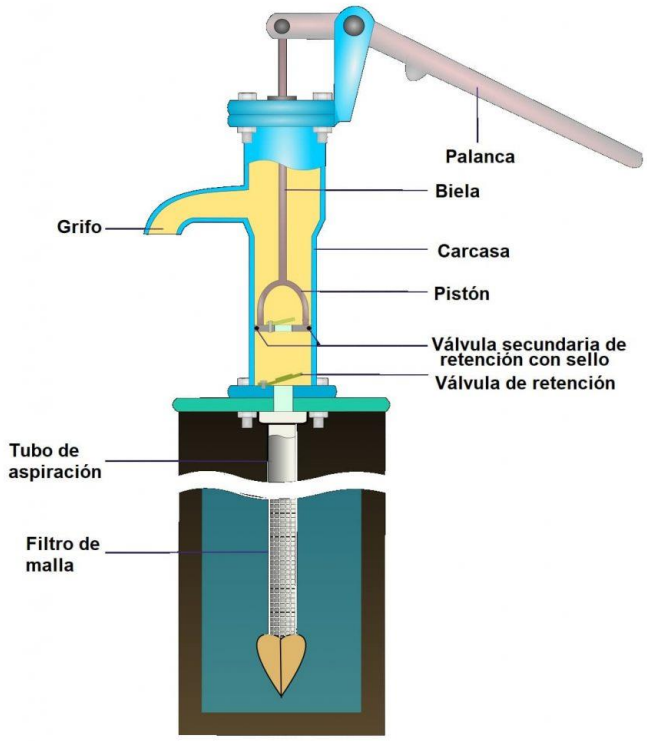


Figura 42. Esquema de una bomba manual tradicional de pistón (Fuente: Solarpedia)

Con este modelo se pretende satisfacer las necesidades de poblados o centros muy pequeños de entre 50 a 200 habitantes con la dotación mínima para beber y cocinar para lo que se requiere agua potable. Esta dotación estará entre los 15 y 20 L diarios para menos de 200 personas según se mostraba en la Tabla 11. Consumo semanal en metros cúbicos para establecer las dimensiones de los sistemas.

Con ello, el consumo semanal será menos de 35 m^3 (5 m^3/día) por lo que con una bomba manual es suficiente. La ratio de dar a la manivela una hora supone una cantidad de

kilovatios considerable. Por ejemplo, un colegio de 300 con 15 L/día supone una necesidad de 4,5 m^3/día que añadiendo un margen se redondea a 35 L/semana.

Una bomba manual puede llegar a dar hasta 900 L/h (0,9 m^3/h) lo que permitiría sacar al día 7,2 m^3 estableciendo 8 horas de extracción. Si consideramos las diez familias, cada familia tendría que bombear menos de una hora.

De ahí pueden surgir distintas alternativas:

- establecer turnos donde puede haber dos familias que no bombean cada día, bombeando cada una de las ocho restantes una hora
- todas ellas bombeando menos horas diarias
- o que los fines de semana, que puede ser que los niños no vayan al colegio no se extraiga agua estrictamente por ser suficiente con la extraída los días de la semana.

Esto dependerá del caso concreto y del número de personas que se esté tratando en cada caso ya que estamos suponiendo que se requiere extraer menos de esos 7 m^3 al día. Este razonamiento se justifica de la siguiente manera. Si la bomba tiene una capacidad de extracción de 700 L/h o 0,7 m^3/h suponiendo un bombeo de 8 horas diarias, se obtendrían 5,6 m^3 diarios, más de los 5 m^3 supuestos. Si cada familia bombease diez minutos, obtendría ligeramente menos de 120 L que dotaría a cada uno de sus 5 miembros con 24 L diarios y podría abastecer a 48 familias (240 personas). Estos cálculos son aproximados pues los tiempos de extracción dependerían de la bomba manual en concreto y si hay menos personas en vez de bombear las ocho horas establecidas se bombea menos.

De aquí se tiene en cuenta que esta cantidad de agua es dificil de transportar para niños y mujeres y supondría muchos viajes si como mucho se lleva 10 L (2 garrafas de 5 L). En los centros (colegios, hospitales, residencias etc..) lo que ocurre es que muchas veces el gasto se hace directamente ahí por ejemplo el aseo, por lo que la cantidad que se lleva a cada hogar es menor. Los niños cuando llegan al colegio dejan las garrafas que suelen ser todas

iguales colocadas al lado del pozo y hay alguien que se encarga de irlas rellenando para que cuando salgan del cole no pierdan tiempo haciendo cola y además tener que bombear ellos. Así cuando salen a la hora de comer todas las garrafas están llenas.

La bomba estará colocada justo encima del pozo o fuente de extracción como se ve en la siguiente imagen.

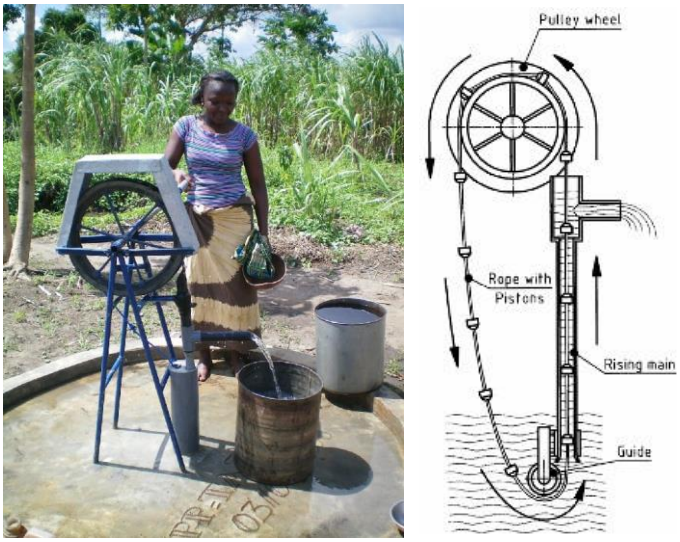


Figura 43. Diagrama y foto del funcionamiento de una bomba de mecate (Fuente: Ecoinventos y Wikiwater)

En ella se muestra una bomba de soga una buena opción para que la extracción sea barata, ecológica y eficiente, aunque hay muchos tipos diferentes de bombas manuales. Las más comunes son:

1. Bombas de émbolo
    - Aspirantes o de succión
    - Impelentes o de émbolo sumergido
2. Bombas de cuerda (soga) o mecate
3. Bombas rotativas

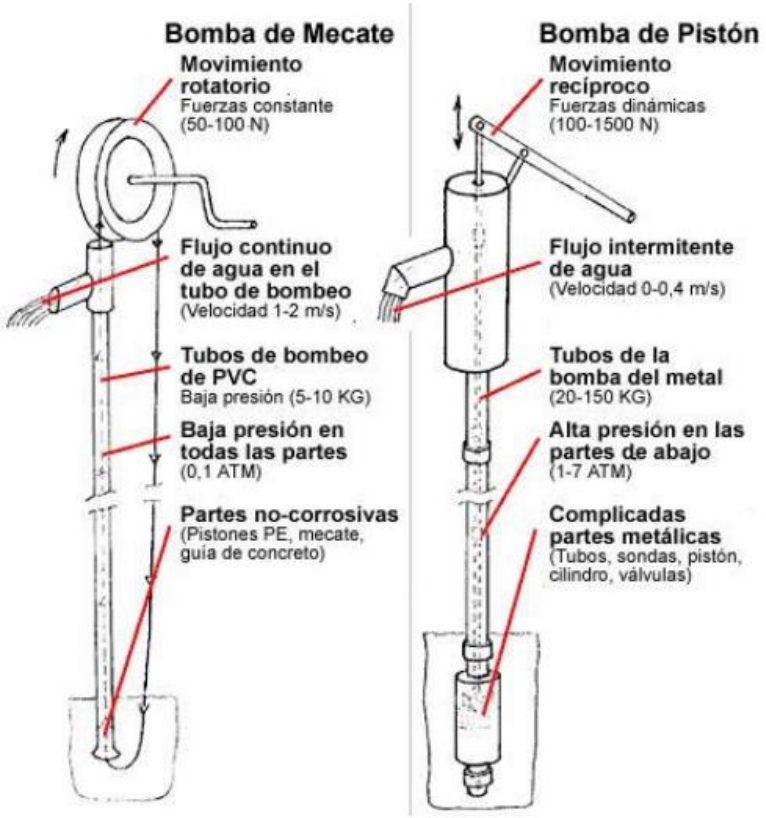


Figura 44. Bombas de mecate (soga) y de pistón (émbolo) (Fuente: Universidad Politécnica de Madrid. Tecnologías apropiadas para cumplir el Derecho Humano al Agua)

El caso concreto de la bomba de soga es apropiado ya que su diseño simple no solo hace fácil la construcción local, sino que permite emplear materiales resistentes a la corrosión y de bajo coste que además puede operarse con poco esfuerzo. Las coberturas del pozo y de la bomba protegen el agua frente a cualquier contaminación exterior (residuos, polvo o cualquier objeto que pueda caer al agua).

Su funcionamiento consiste en una soga con pistones o arandelas equidistantes que impulsada por una polea permite bombear agua de un pozo o perforación pasando por un tubo inmerso en el agua. El agua sube por el tubo hacia arriba al introducirse entre los pistones de la soga llegando al caño en derivación para ser descargada.

Su diseño más sencillo puede subir agua a 40 metros de profundidad hasta un metro por encima de la altura de derivación y del nivel de la bomba. La capacidad de extracción de este tipo de bombas suele superar los 20 litros por minuto (1.2 m^3/h) lo que según los

cálculos del capítulo anterior sería más que suficiente para las ocho horas de extracción establecidas.

Adicionalmente, siempre existe la posibilidad de que, mediante adaptaciones a la bomba o bombas determinadas, el trabajo manual sea realizado por animales o se realice por motorización. Con ello, se podría incluso llegar a un centenar de litros por minuto.

Para proponer este modelo, se han tomado como referencia dos proyectos de la organización en Nicaragua y Zimbabue principalmente, pero se han analizado varios similares adicionalmente. En uno de ellos, concretamente, la bomba manual con un diámetro de 75 mm teóricamente era capaz de bombear 2,1 m^3/h que permitía llenar 2 tanques elevados de 5 m^3 en 5 horas.

6.2 MODELO 2: 50 A 200 HABITANTES CON DOTACIÓN MEDIA

Este siguiente modelo pretende suministrar a poblados o centros desde 200 personas hasta 500, con una dotación de 15 y 30 litros de agua diarios por lo que a la semana se requerirán en torno a 50 m^3 como se estableció en la Tabla 11 (500 personas x 15 L/día = 7,5 m^3 /día = 225 m^3 /mes = 50 m^3 / semana aprox.). Este modelo abarca un rango amplio de casos desde los 7 hasta los 50 metros cúbicos semanales por lo que más adelante se expondrá como se puede adaptar en acorde al proyecto planteado.

En una línea similar al caso anterior, se propone un modelo sencillo, formado por una bomba y un depósito elevado que debería tener una autonomía de 2 o 3 días, es decir, llenado 2-3 veces por semana. Eso permite que, si la bomba se daña, haya como mínimo 2 días de margen para poder buscar una solución. Al final entre que se ponen en contacto con la empresa y se arregla se suele necesitar como poco dos días.

Si es para familias o aldea, puede no hacer falta depósito, si es un colegio, si hace falta depósito porque los niños tienen que estar en clase y se requiere un depósito para

regular el consumo, pero sería uno elevado de 5 m^3 para un día. Para dar presión y regular el día.

A continuación, se muestra un esquema del sistema propuesto. Se trata de un caso concreto de abastecimiento para un centro de salud en Cabo Delgado, Mozambique. Consta principalmente de una bomba manual de extracción BM-II que lleva a un depósito elevado de 2500 L, sin embargo, es capaz de sacar un caudal de 1100 L/h. En dos horas de funcionamiento el depósito está lleno por lo que nuestra propuesta de un depósito más grande parece razonable para un caudal similar. Este caudal concreto, requiere una potencia de accionamiento que ronda los 50 W tras considerar las posibles disipaciones mecánicas de la energía lo que tanto para una mujer como para un niño no supone un esfuerzo excesivo. Además, como se destacó en el modelo anterior existe la posibilidad de motorización.

La profundidad del nivel de agua máxima es de 10 metros y se eleva a 5 metros sobre terreno para elevarlo a la parte superior del depósito elevado a 4 metros. A este ejemplo, se puede añadir una extracción a pie de pozo de modo que, si el sistema se encuentra en un hospital o centro de salud, como es el caso principal, las familias que acuden pueden recoger el agua y llevarla mediante garrafas a sus casas, pero también puede haber un sistema de distribución a los distintos grifos del centro u otros centros o zonas de la aldea mediante la presión del depósito elevado.

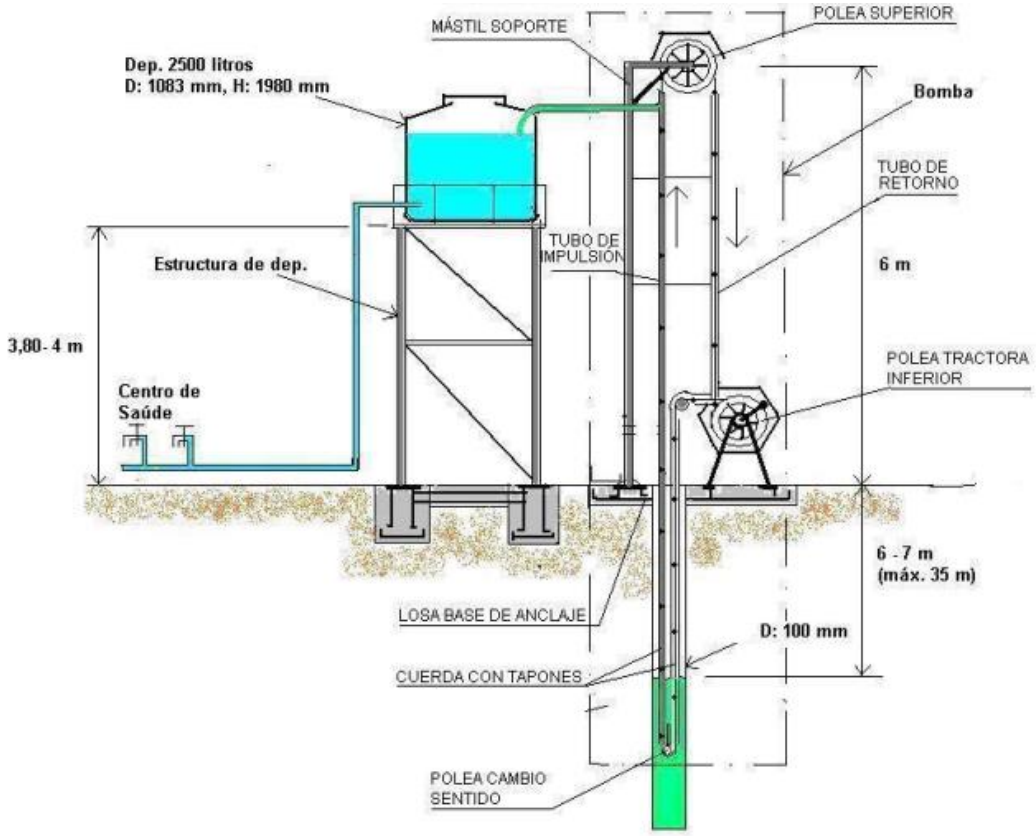


Figura 45. Esquema de funcionamiento de una bomba de mecate (BM-2) y depósito para un centro de salud en Linde, Mozambique (2009) (Fuente: Universidad Politécnica Madrid agosto 2009)

Ya sean los niños los encargados de transportar el agua desde el colegio a sus casas o bien las familias que acuden a él (con la posibilidad de animales de carga como burros) se debe tener en cuenta el peso que puede llevar una persona y por tanto los paseos que se deben realizar desde los domicilios hasta el centro por persona si no se dispone de sistema de distribución. Es común también que el sistema esté suministrando a lavamanos o grifos en el colegio o que existan quioscos donde se venden las garrafas de entre 20 y 50 litros para centralizar el sistema y el gasto de agua.



Figura 46. Syaolwe community fetching water from Syaolwe borehole

(Fuente: Syaolwe community water project, Vision self-help programme (NGO))

En España, la legislación actual dicta que una persona puede levantar un máximo de 25 kilos para evitar lesiones y riesgos laborales. Esto se aplica a todos los trabajos que exijan el levantamiento de peso por parte del trabajador, como en los almacenes y centros de distribución. Esta cantidad se reduce a 18 si el trabajador del debe levantar el peso durante un periodo de tiempo prolongados.

Tanque o depósito central [L] →	500	1.000	5.000	10.000	25.000
Garrafas/Bidones de plástico [L] ↓	0,5 m³	1 m³	5 m³	10 m³	25 m³
5	100	200	1.000	2.000	5.000
10	50	100	500	1.000	2.500
15	33	67	333	667	1.667
20	25	50	250	500	1.250
25	20	40	200	400	1.000

Tabla 22. Número de bidones de agua que se podrían llenar desde un depósito general para transportar a los consumos domésticos familiares dentro del poblado. (Fuente: elaboración propia)

Volviendo al modelo general, si suponemos que se rellenará el depósito tres veces a la semana (50 m3/3= 16,67 m3), se escogerá un depósito prefabricado de 15 m3, tres de 5 m3 o dos de 8 m3 según sea más conveniente y barato tras hacer un estudio de mercado o según la disponibilidad en el lugar. Así es, como se había dicho anteriormente, que se puede adaptar también en función del consumo semanal ya que no son necesarios 50 m3 en todos los casos.

En este modelo si es posible y se considera conveniente se podría sustituir la bomba manual por una pequeña motobomba que eleve el agua hasta el depósito elevado requiriendo un bajo consumo eléctrico. A continuación, se muestra una imagen que representa un sistema con bomba manual actualizado a una bomba de agua con energía solar en el patio de un colegio de Sudán.



Figura 47. Mini patio de agua con energía solar actualizado a partir de una bomba manual por TGH con fondos SHF. (Fuente: OCHA, UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, January 2020)

6.3 MODELO 3: 600 A 1.000 HABITANTES CON DOTACIÓN MEDIA

El tercer modelo, o modelo mediano, es el primer sistema considerado que se divide en dos etapas. La primera será la captación o extracción en la estación de bombeo junto con un depósito enterrado de 100 m^3 y la segunda será los depósitos elevados con una capacidad de 20 a 50 m^3 en total y la distribución a los grifos. Así, los depósitos elevados permitirán una autonomía de 3 o 4 días puesto que el consumo semanal será menos de 100 m^3. En el caso de elevar 20 m^3 se puede instalar 2 depósitos elevados de 10 m^3 o 4 de 5 m^3, por ejemplo.

Según lo determinado en los capítulos anteriores, este modelo irá destinado a pequeños poblados de 100 a 200 familias asumiendo cada una de 5 miembros aproximadamente , con una dotación igual al modelo anterior de 15 y 30 L/día.

En este modelo es importante tener en cuenta la distancia a la fuente de agua o pozo. En los dos modelos anteriores, se asumió que el poblado se encontraba relativamente cerca, había desplazamiento o el depósito elevado permitía cierto transporte del agua ya que, al ser pequeñas aldeas, lo normal es que estén asentadas en torno a una fuente hídrica.
En este caso, como ya el poblado es más grande puede que no se encuentre tan cerca por tanto hay que analizar la distancia y varios factores, como: el propósito del depósito, la ubicación, el coste y los recursos disponibles.

6.3.1 ESCENARIO 1: CON RECOGIDA DE AGUA DE LLUVIA

En los casos donde haya condiciones climatológicas buenas para aprovechar el agua de lluvia y además haya suficiente superficie de tejado o similar para su recogida se incorporará un sistema paralelo al de bombeo de captación de agua pluvial por medio de canalones. Estos se situarán en los tejados de los centros e irán conduciendo al depósito enterrado donde se juntarán ambos sistemas. Con esto se pretende aprovechar al máximo el agua disponible durante los meses húmedos y reducir el gasto energético del sistema de bombeo, así como la reserva de los acuíferos. Sin embargo, el mayor riesgo que se corre al combinar ambos sistemas en el mismo almacén enterrado es que incremente la posibilidad de contaminación.

El ejemplo analizado en este caso es el proyecto llevado a cabo por MMUU en el Centro de Orione en Nairobi (Orione community training centre) en el cual, se recogía el agua de lluvia de los tejados. En el ANEXO II: Mapas, planos, gráficas, tablas y guías se muestra un esquema del proyecto propuesto y la situación anterior para la mejora del acceso al agua.

En algunas ocasiones, es posible que el depósito enterrado solo tenga sentido cuando se trate de un edificio grande con superficie suficiente de tejado para que el agua pueda ser

recogida y aprovechada. Por tanto, este sistema dual se empleará sobre todo en hospitales, colegios o residencias como en el caso anterior.

En el caso de aldeas puede ser menos conveniente ya que tener que recoger el agua de los pequeños tejados de las casas y conducir el agua desde cada una de ellas hasta el depósito común enterrado, no solo complica muchísimo el sistema, sino que no compensa. En el caso de tratarse de una aldea, lo que se pude hacer es incorporarlo a un edificio grande principal cerca del depósito como el ayuntamiento o que se incorporen pequeños sistemas de captación de agua de lluvia individuales a nivel familiar en cada casa con un pequeño depósito de superficie para el consumo propio de cada casa.

Según se ha analizado, estas alternativas serán solo para lugares con lluvias considerables donde suponga una ventaja y no un gasto adicional.

En el diagrama de flujo mostrado en el ANEXO II: Mapas, planos, gráficas, tablas y guías se indica detalladamente porque no se ha considerado este escenario en el resto de los modelos. Sin embargo, conviene valorar siempre en cada caso concreto si resulta o no ventajoso.

6.3.2 ESCENARIO 2: SIN RECOGIDA DE AGUA DE LLUVIA

En los lugares donde no se pueda recoger agua de lluvia por las condiciones climáticas (no llueva lo suficiente como para hacerlo rentable) o, porque no se disponga de una infraestructura con superficie suficiente como para recogerla como en aldeas dispersas, se recogerá únicamente agua subterránea que se extraerá semanalmente para llenar el depósito enterrado.

Este segundo escenario, opuesto al anterior, se ve limitado por que no se dispone de superficie de recolección de agua de lluvia entonces es posible que no se requiera o no exista tanque intermedio. Al sacar agua del acuífero todos los días incluso en la época de lluvias estamos desperdiciando un agua, el proyecto es menos sostenible que uno que bombea solo cuando se necesita. Por tanto, en estos modelos de abastecimiento a la

población dese un depósito elevado que se está en el sitio óptimo topográficamente (aprovechando la cota del terreno) y no se considera depósito de almacenamiento subterráneo generalmente se requiere menos trabajo.

El agua se extraerá de un pozo mediante una pequeña bomba sumergible. Después desde el depósito se elevará mediante otra pequeña bomba para el consumo de varios días. El funcionamiento de los siguientes modelos también será así.

Además, habrá que considerar el volumen adicional que suponen los depósitos elevados a la capacidad requerida por el consumo. Al estar considerando un consumo semanal menor de 100 m^3 si solo hay depósito enterrado, este puede ser de dimensiones 5 x 5 x 2 m de alto. Sin embargo, si consideramos el sistema de dos etapas para un colegio de 500 niños con consumo de 20 L/día esto da lugar a 10 m^3 diarios. Por tanto, para tener 2 días de autonomía 20 m^3 serán elevados y para el almacenamiento de una semana habrá 70 m^3 enterrados aproximadamente. Por tanto, en el total del sistema habrá 90 m^3 de agua en reserva, casi los 100 m^3 propuestos. En este caso, el depósito puede ser de la siguiente manera con tabiques de 10 cm de espesor, que separen en rectángulos para poner placas de hormigón de cubierta de la longitud del lado de largo. En este caso, 3 placas de 6 m x 2 m. Limitando el ancho a 2 m para poder transportarse en camiones estándar.

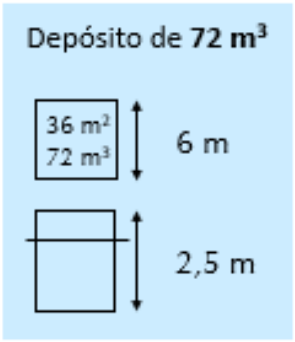


Figura 48. Planta y alzado de la propuesta de depósito para el modelo 3 (Fuente: Elaboración propia)

Otras opciones adicionales para este modelo son:

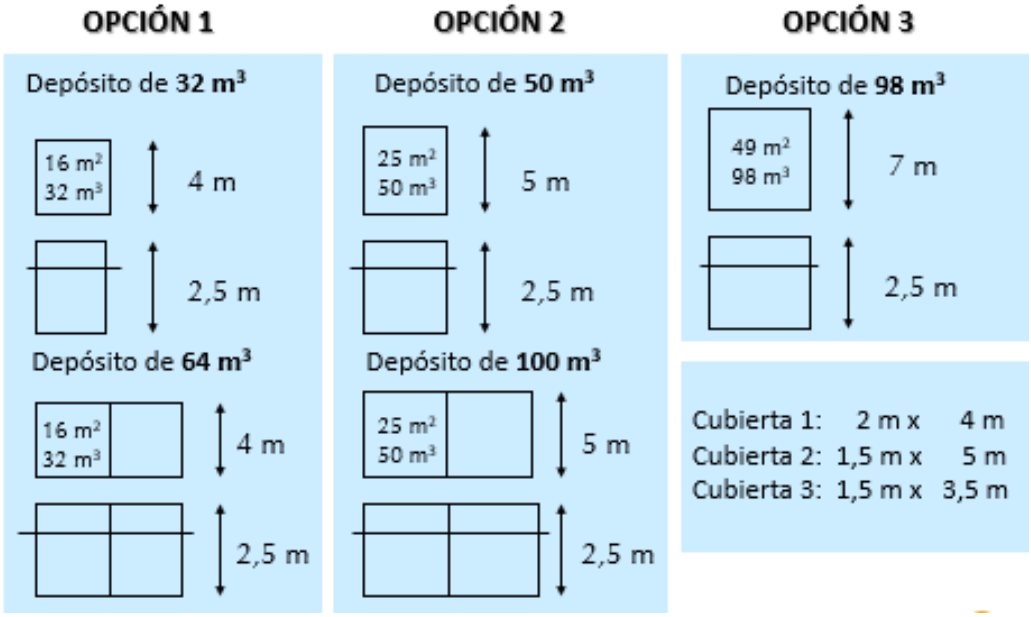


Figura 49. Opciones de propuesta de depósito para el modelo 3 (Fuente: Elaboración propia)

Este modelo depende mucho del tipo de proyecto. Puede ocurrir que no hagan falta dos etapas y que con una de las dos se asegure el suministro continuo.

Si el propósito del depósito es almacenar agua o líquidos similares, puede ser más eficiente enterrarlo en lugar de construir un depósito prefabricado elevado. Un depósito enterrado puede proteger el líquido del sol y del calor, lo que puede ser importante en climas cálidos. Además, puede resultar más barato que un depósito prefabricado elevado, ya que adicionalmente a que la mano de obra es barata en estos lugares, y lo fabricado es más caro, no se requiere tanta estructura de soporte y puede requerir menos material para construir.

Si la ubicación del depósito está en una zona propensa a inundaciones o donde el agua subterránea es alta, puede ser mejor optar por un depósito elevado prefabricado. Este suele ser más fácil de mantener y reparar, ya que es más accesible que un depósito enterrado.

Según un proyecto realizado en Kenia, el abastecimiento de los pozos se elevaba directamente a 2 depósitos elevados de 24 m^3, sin necesidad de un tanque enterrado.

Desde arriba se distribuía el agua por gravedad a los quioscos, a los puntos de consumo o a los puntos de venta.

En este proyecto, se prestó atención al riesgo del peso de los depósitos elevados, ya que, con esa capacidad la estructura debe soportar 24 toneladas. Podemos considerar esta capacidad como máxima para garantizar los 100 m^3 ya que se corre un gran peligro si los depósitos están en zona de tránsito o en un colegio donde puede estar debajo los niños. Por ello, en este caso, se construye como un edificio o estructura separada donde están los tanques evitando poner los depósitos encima de edificios o en el patio de algún colegio donde se puede caer encima de los niños. Se hará un edificio separado en hospitales y colegios donde la superficie no permite poner los tanques lo lo suficientemente separados como para garantizar que nadie se meta debajo del tanque.



Figura 50. Esquema del sistema de depósito elevado y placa solar en Kavango, región este de Namibia (2022). (Fuente: New era live, Kavango governors thank Recon for boreholes)

Los colegios u hospitales que nos podemos encontrar en esta situación de menos de mil habitantes generalmente se han hecho en lugares donde no hay red y ni siquiera se tiene luz para alumbrar el aula. Serán colegios que igual como mucho tienen 4 aulas, hechas de

adobe, en las que estudian 30 niños en cada una (máximo 120 niños) y que incluso muchas veces no tienen ni ventana. Por ello, el agua que necesitan en principio se ha considerado únicamente para beber ya que los baños no dispondrán de agua al estar directamente en el campo.

Al igual que en los casos anteriores no habrá acceso a la red o por lo menos no se considerará que lo hay a priori. El consumo de la bomba, tanto para la extracción como la elevación (que puede estar comprendido en la misma etapa), será bastante bajo. Con 4 paneles solares se considera suficiente ya que la bomba también va a ser más pequeña que en los dos modelos siguientes.

Las bombas se elegirán en función de distintas variables de proveedores con los que ya trabaja la organización en estos lugares, entre ellos, destaca Grundfos que se detallará más adelante en los siguientes modelos. Muchas de sus bombas ya vienen adaptadas de un sistema de alimentación solar.

Según va incrementándose el consumo hay que pensar que hay otros servicios como de la electricidad. Pero en este modelo, se considera principalmente generadores alimentados con combustible o placas fotovoltaicas y otras energías renovables como un pequeño aerogenerador. La ventaja adicional que tienen las placas solares es su larga vida útil que se estima entre 25 y 30 años, pero siempre que están protegidas ante robos u otros peligros.

6.4 MODELO 4: 1.000 A 1.500 HABITANTES CON DOTACIÓN MEDIA

Para el cuarto modelo, se plantea una alternativa parecida a la del modelo anterior, pero con ciertas modificaciones. Ahora, el consumo diario total será de 30 m^3 por lo que el semanal será de menos de 210 m3. Por ello, el depósito enterrado de hormigón armado tendrá una capacidad inferior (ya que se tiene también el volumen de agua elevado) de 200 m^3 o menos.

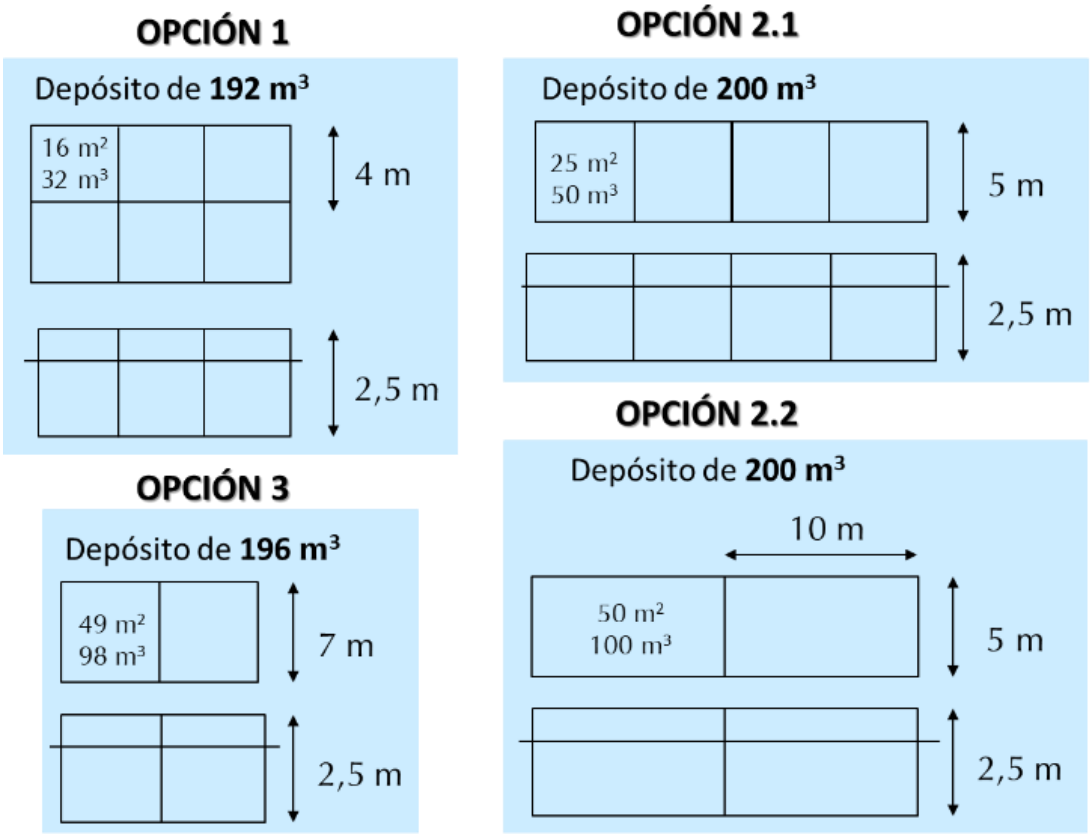


Figura 51. Opciones de propuesta de depósito para el modelo 4 (Fuente: Elaboración propia)

Como se ha destacado a lo largo del proyecto, si la capacidad requerida es cercana al modelo anterior, siempre se puede simplificar el trabajo duplicando el anterior como se ha planteado en las opciones 2.1 y 2.2 anteriores.

Tres o cuatro veces por semana se elevará agua a depósitos elevados de 10 m^3 con una capacidad total que ronde los 50 o 60 m^3 para tener 2 días de autonomía.

Para el sistema dual se requerirán dos bombas, una de extracción sumergible en el pozo y otra rotatoria para elevar. La entidad suele trabajar con proveedores internacionales, para todos los elementos y equipos, para los de bombeo, suele recurrir a la empresa Grundfos.

Grundfos es una empresa danesa que se especializa en la fabricación de bombas y sistemas de agua. Se fundó en 1945 y ha crecido hasta convertirse en un actor importante

en la industria de las bombas. Sus productos incluyen bombas circuladoras, bombas sumergibles, bombas centrífugas y otros equipos relacionados.

La empresa tiene operaciones en más de 56 países y emplea a más de 19.000 personas en todo el mundo. Grundfos es reconocido por su tecnología innovadora y su enfoque en la eficiencia energética, es la empresa líder en su campo como mayor fabricante de bombas del mundo.

Pinchando sobre el logotipo siguiente de la empresa se accede a la página web de las soluciones que ofrece la empresa por medio de sus productos separándolos por categorías.

Figura 52. Enlace a los productos del distribuidor internacional de equipos de bombeo

(Fuente: Elaboración propia)

En esta página habrá que seleccionar el equipo o bomba que más convenga en relación con las características del lugar y sistema.

Para las bombas sumergibles requeridas en los modelos 3, 4 y 5 (podría usarse también en el modelo 2) se ha realizado un estudio según las características de cada una de las que ofrece este proveedor que se puede encontrar en el ANEXO II: Mapas, planos, gráficas, tablas y guías. Se ha analizado para ello, el rango de temperaturas y la presión de operación, la altura de elevación y/o profundidad y el caudal que permiten. Las curvas de las bombas se pueden encontrar en los enlaces (palabras y nombres subrayados) de la tabla de bombas del ANEXO II: Mapas, planos, gráficas, tablas y guías, así como características e información adicional de cada grupo de bombas.

Además, la empresa ofrece muchas alternativas dentro de cada grupo de bombas para poder adaptarse mejor a las medidas requeridas en distintos proyectos y permite dimensionar bombas para ajustarse a las circunstancias.

El caudal requerido en este tipo de proyectos no es muy elevado, no se requiere gran presión. Se han establecido 8 horas de bombeo diario que además de permitir que el caudal sea más lento, evitan el deterioro de las bombas debido al encendido y apagado. Como se ira consumiendo el agua a lo largo del día, el depósito será continuamente llenado por la bomba de manera que se tenga almacenada el agua al inicio del día y se conserve la energía potencial. No hace falta que se llene el depósito de forma rápida por lo que no se requiere un caudal elevado.

Para establecer el límite superior, si miramos el último modelo, donde el consumo diario total será menor de 70 m^3 . Dividiendo dicha capacidad en las horas de bombeo diarias establecidas: 70 m^3/ 8 h = 8,75 m^3/h < 9 m^3/h. Con este sencillo cálculo, podemos ver que, para todos los modelos propuestos, el caudal máximo que se requiere será de 9 m^3/h. Mirando la tabla del ANEXO II: Mapas, planos, gráficas, tablas y guías se puede observar que la mayoría de los grupos de bombas ofrecen este caudal. En los modelos más pequeños será menor y podrán utilizarse las bombas que ofrecen menor caudal y para los más grandes se pueden emplear estas bombas con caudal máximo de 9 m^3/h ya que no hará falta más. Las otras alternativas se valorarán ante condiciones excepcionales o atípicas de condiciones críticas como las temperaturas o la presión o debido a la profundidad del acuífero hasta el nivel freático.

En el modelo 4 planteado para un rango de 1.000 y 1.500 habitantes. Por tanto, es posible que se den dos casos diferenciados.

6.4.1 CASO A: CON ACCESO A LA RED ELÉCTRICA

En la mayoría de los casos donde la población y la capacidad que requiere para su abastecimiento empiece a ser considerable se tendrá que hacer uso de la red eléctrica que seguramente esté disponible al ser lugares con cierto grado de desarrollo. Es posible que los gobiernos lo limiten por lo que se podrá poner adicionalmente placas solares para aumentar la sostenibilidad del proyecto, pero lo más común es complementar el defecto con un generador de gasolina, gas o diésel.

6.4.2 CASO B: SIN ACCESO A LA RED ELÉCTRICA

Como se verá más adelante en el modelo 5 lo normal es que para colegios grandes con más 500 alumnos o más haya red disponible. A diferencia del modelo 5 donde se recomienda con énfasis realizar un proyecto paralelo de instalación eléctrica si no lo hay. En este cuarto modelo, se deja más libertad, según la valoración de los expertos que estén trabajando en la implementación del sistema.

Por tanto, si no hay red, debido a las grandes dimensiones de este modelo, y la necesidad de alimentación energética considerable, se deberá instalar un generador muy potente. Si es un lugar de alta radiación solar o fuertes rachas de viento se recomienda y anima a emplear estas fuentes limpias de energía, aunque conviene siempre tener una fuente fiable y segura que no dependa en tan gran medida de las condiciones climáticas.

6.5 MODELO 5: >1.500 HABITANTES CON DOTACIÓN MEDIA

El último modelo propuesto es para poblaciones grandes. Generalmente, lo que nos encontraremos serán sistemas que requieren ser actualizados o arreglados o que se tengan que adaptar a un crecimiento de población.

Nos basaremos en el proyecto previo de Manos Unidas Agua para Gode, Etiopía de 2020. Éste consistía en extraer, purificar y almacenar agua extraída del río Wabi Shebelle para satisfacer las necesidades de 20.000 personas con una dotación de 20 L/día. En él se diseñó un tanque semienterrado de 200 m^3 y otro elevado de 50 m^3 sobre una torre de 12 m de altura para que el agua del sistema tenga presión.



Figura 53. Depósito enterrado de hormigón de 200 m³ junto a la caseta de bombeo

(Fuente: Proyecto Manos Unidas, Agua para Gode)

Aunque el depósito enterrado de 200 m^3 se ha considerado en el modelo anterior, nos hemos fijado principalmente en este proyecto por el elevado. Por el consumo de la población grande, se necesitarían no solo muchos depósitos de polietileno distribuidos en distintos sitios del poblado con sus respectivas torres de elevación, sino también bombas para el transporte y elevación de agua en cada una de ellas desde el depósito enterrado central. Por tanto, lo más seguro es que a partir de este modelo, como es el caso del ejemplo, sea preferible construir un depósito elevado de hormigón.



Figura 54. Depósito elevado de hormigón de 50 m³ (Fuente: Proyecto Manos Unidas, Agua para Gode)

Considerando menos de 500 m^3 a la semana, seguiremos con el carácter modular del proyecto empleando depósitos prefabricados, aunque se buscará que sean más grandes. Habrá que elevar en torno a 60 m^3 (en el ejemplo eran 50 m^3), por lo que se pueden elevar, 6 de 10 m^3, 4 de 15 m^3 o si existieran 2 de 25 m^3 (con uno de 10 m^3 si hiciera falta).

En este modelo además empiezan a surgir nuevas consideraciones que no se habían tenido en cuenta hasta ahora.

- La primera es que es posible que este modelo sea alcanzable duplicando directamente alguno de los anteriores y así evitar hacer un depósito enterrado tan grande. Por ejemplo, haciendo 2 depósitos enterrados de 200 m^3, del modelo 4. El propuesto en este modelo es de 490 m^3 ya que al considerar adicionalmente la capacidad de los elevados se supera el máximo de los 500 m^3 considerados en este modelo. En casos en los que se requiera mucha más capacidad siempre se puede duplicar.

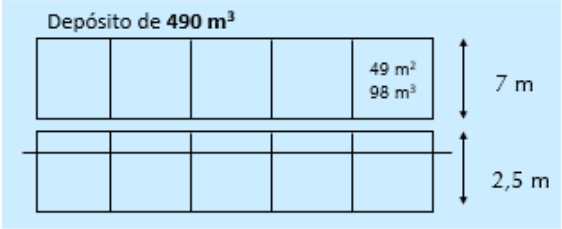


Figura 55. Planta y alzado de la propuesta de depósito para el modelo 5 (Fuente: Elaboración propia)

- En segundo lugar, puede que el colegio o aldea sea grande al tratarse de un suministro a más de 1.500 habitantes por lo que cabe la duda de que sea un proyecto donde verdaderamente se requiera la ayuda de MMUU. Es raro y prácticamente imposible que haya un colegio en una zona remota con tantos alumnos por lo que quizá la organización valore invertir en otro proyecto más necesitado. Sin embargo, puede ocurrir que se trate de un hospital o centro sanitario común que atiende a varios poblados por lo que, aunque el número de personas sea elevado, los recursos sean muy escasos y la necesidad crítica. Por tanto, no se descarta este modelo. Serán casos muy concretos donde quepa plantearse si realmente existe necesidad como para pedir aguda a MMUU.

- Por esta misma razón se debe tener en cuenta que cuanto más grande es el colegio el consumo medio por alumno será mayor. Seguramente sea un poblado un poco más desarrollado en una zona más semiurbana o urbana y no solo se requiera agua para beber. En el caso del hospital, por ejemplo, además de beber necesitará agua para el baño, ducha y otros usos etc.

- Siguiendo la en la línea de si una institución debiera o no solicitar ayuda a MMUU, también hay que valorar que para colegios de 300 – 500 niños es posible que el agua requerida no sea solo para el propio centro sino para abastecer a las familias que acuden los fines de semana al colegio a recoger agua y otros servicios. Se puede considerar por tanto que el colegio abastece a 1.000, 1.500 incluso más personas si da servicios complementarios a las familias, aunque solo sean dos días a la semana.

- Finalmente, por lo que se decía con anterioridad, al ser zonas semi urbanizadas, el acceso a la red eléctrica prácticamente asegurado. En el caso en que no haya red (caso B del diagrama de flujo en el modelo 4), se deberá implementar un sistema de suministro eléctrico con especialistas del sector energético de la organización y luego ya diseñar el sistema de abastecimiento eléctrico para el bombeo. Si el problema estuviera en la limitación energética de las autoridades entonces el defecto se podría suplir con otras fuentes de las propuestas como con paneles solares.

Puesto que lo más normal es que al asentarse el poblado se busquen los recursos naturales (ver dónde están las fuentes de agua, pozos, ríos, etc.) y luego ya se construya, el cole u hospital tendrá una fuente cerca y además habrá infraestructura urbanística.

No suele ocurrir al revés en el que se haga un colegio grande de 1500 alumnos en un lugar muy remoto sin agua ni electricidad. Suponiendo que cada uno de ellos consume 20 L/día serán necesarios 30 m diarios que serán 210 m3 semanalmente. Sin considerar el consumo de las familias bastaría con un modelo 4. Para obtener dicho volumen de agua por medio de bombeo manual se tenía que estar bombeando las 24 horas del día lo que supondría volver a la esclavitud por tanto se descarta por completo para estos últimos dos modelos. No habrá bombeo manual y a priori tampoco bombeo solar, pero por lo destacado anteriormente se podrán poner paneles para aprovechar los recursos y energías renovables complementando a la red.

Para ambos al ser un colegio grande, se considera que el acceso a la red es prácticamente seguro e imprescindible.

En el modelo 4 caso B se contempla la posibilidad de que no haya red para los poblados pequeños que limiten con la capacidad del modelo 3 pero será excepcional ya que, según los estudios llevados a cabo, lo más común es el caso A.

En el modelo 5 como se destacaba anteriormente, se sugiere a MMUU realizar un proyecto paralelo de abastecimiento energético del que se pueda aprovechar el sistema hidráulico. Ya que será un caso extraño donde la necesidad sea evidente.

Aunque no se ha mencionado a este modelo y el anterior, se le pueden añadir otras fuentes de captación de agua por ejemplo de lluvia (siguiendo las directrices del modelo 3) o de ríos (como en el proyecto de ejemplo, agua para Gode). Sin embargo, no se ha hecho hincapié ya que lo más probable es que el agua captada de la lluvia sea despreciable en comparación con las necesidades de consumo. Adicionalmente, por la complejidad del sistema es probable que sea más conveniente incorporar un sistema de captación paralelo o pequeños sistemas domiciliares que uno solo grande que un sistema con captación incorporada en el depósito enterrado. Volviendo al ejemplo del colegio, se pueden poner depósitos de plástico de superficie detrás de los edificios que recojan el agua de lluvia y se empleen para usos distintos a el agua suministrada por los grifos.

De esta manera no se complica el sistema excesivamente (ya que el propósito principal es simplificar), pero sí que se aprovechan al máximo los recursos como el agua durante los meses de lluvia.

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1 CRITERIO DE SELECCIÓN

Como se detalla en la introducción del proyecto, el objetivo es poder implementar un sistema de abastecimiento de agua potable en cualquier región que lo necesite donde opera Manos Unidas. Sin embargo, como se ha ido explicando a lo largo del proyecto, las condiciones y recursos de los que disponen estas zonas pueden no ser siempre los adecuados.

Es por esto, que antes de empezar a implementar el proyecto en cualquier lugar se requiere realizar un estudio para conocer las condiciones del lugar y a continuación comprobar que para ellas es posible abastecer la demanda. Una vez conocidas las características de la región se utilizarán esos datos para hacer funcionar la herramienta de cálculo y dimensionamiento y elegir el modelo.

La herramienta de decisión que se ha elegido es un diagrama de flujo o flujograma que ayudará a la organización a tomar las decisiones fundamentales de manera eficaz. Se trata de un esquema que conduce a cada uno de los modelos recogido en el ANEXO II: Mapas, planos, gráficas, tablas y guías. Se ha hecho tomando como referencia el Algoritmo de selección de los sistemas típicos presentados en el capítulo 1 mostrado también en el ANEXO II: Mapas, planos, gráficas, tablas y guías.

Por último, aunque ya se hayan establecido los criterios para desarrollar un sistema, condiciones de la zona, capacidad etc. en este apartado simplemente se pretende dar un criterio general a considerar una vez que se haya adoptado un modelo u otro.

a. Cuando haya algún caso que esté entre dos opciones, habrá que elegir el más grande porque así por lo menos si crece tiene más capacidad. Si tiene una vida útil de 20

años que pueda crecer que dejarlo preparado con un cuello de botella que dentro de 5 años se queda pequeño.

b. Se debe tener en cuenta que llevar las cosas hasta estos lugares remotos cuesta mucho por lo que vale más llevar una alternativa una grande y que sobre capacidad. Llevar una segunda cuando te das cuenta de que se quedó pequeño creo que es mucho más trabajo y cuesta más arreglarlo que hacerlo grande desde el principio. Además, habrá cosas que no se usen como deberían usarse y que económicamente estén sobredimensionadas, pero no sabemos con qué velocidad va a crecer la población. Siempre es mejor hacer un exceso de capacidad por lo que pueda pasar en el futuro. Arreglarlo cuesta muchísimo más dinero.

c. En los depósitos enterrados al final qué diferencia hay entre uno de 250 de 100, si tampoco es tan grande la diferencia conviene poner el más grande porque son sitios donde puede llover mucho y entonces se puede recoger el agua. Ahí lo que prima es que se pueda recoger casi toda el agua que llueve en un mes.

Eran sitios donde la pluviosidad es muy irregular donde solo hay una época mojada al año. Así se garantiza que se pueda recoger casi todo lo que caiga en un mes. Entonces tienes un extra de capacidad no porque la necesites sino porque eso te permite no despreciar el agua de lluvia.

7.2 ESTUDIO DE VIABILIDAD

Siguiendo el análisis de 4.2 Planificación y estimación económica la viabilidad de cada proyecto vendrá determinada por la información que proporcione el socio local que en todos los casos ofrece alternativas, aunque posiblemente pocas para solucionar la falta de abastecimiento.

Aunque puedan parecer opciones rudimentarias generalmente resultan ser las únicas viables. Los límites del desarrollo y la innovación dependen del compendio de situaciones

y circunstancias recogidas en este proyecto. Además, no se encuentran en artículos ni documentos científicos o tecnológicos, sino en la experiencia de expertos de las ONG que se enfrentan a ellas todos los días.

Para tener una idea, todos los equipos que se compran en España van a ser más baratos que en el tercer mundo por el transporte y la exclusividad en el suministro. Por ejemplo, a la hora de elegir entre una bomba manual o una electro sumergible además del precio de compra de la propia bomba un factor importante son el número de encendidos y apagados que permite ya que reducen considerablemente su vida útil. Este número entra en juego sí hay que estar llenando garrafas constantemente y por ello sustituyendo o reparando la bomba a menudo incrementando los gastos y dependiendo de la ayuda de MMUU. Esta desventaja es considerable frente a una bomba manual que además presenta la ventaja de que la mano de obra será más barata en estos sitios y permite el desarrollo propio del poblado.

Adicionalmente, se debe considerar la vulnerabilidad ante robos o daños externos debido a la falta de protección de sistemas más actuales y los requerimientos en el mantenimiento. Ahora el precio de la energía solar bajando mucho. Si un pozo con bomba manual cuesta 7.500 € uno con bomba electro sumergible con 4 paneles de cuesta 9.000 €. La brecha entre ambos se está cerrando. Va a llegar un momento en que no se pongan paneles y bombas electro sumergibles porque en lugares despoblados estos equipos son altamente vulnerables. Estos equipos se roban y venden fácilmente en menos de un par de horas mientras que para robar una bomba manual se requiere estar dos días trabajando y la recompensa es considerablemente menor.

A modo de conclusión, la viabilidad no está delimitada por el aspecto económico sino por los factores destacados y el fin último de MMUU que es facilitar que las comunidades necesitadas se puedan desarrollar poco a poco por su cuenta.

7.3 MATERIALES, MONTAJE, MANTENIMIENTO Y PRESUPUESTOS

En este apartado se estudiarán los presupuestos para los dos casos que se han planteado.

Es importante saber que:

1. El cálculo del presupuesto variara en función de la zona y el año en que se lleve a cabo el proyecto.
2. En el caso de no poder encontrar todos los materiales en el país en el que se realizará el proyecto, se podrán importar teniendo en cuenta que podría aumentar el precio de alguna de las piezas o componentes.
3. La vida útil de los elementos que componen el sistema es muy importante para que sea viable y "rentable" a largo plazo. La intención es que las comunidades se desarrollen independientemente.

Como los dos modelos pequeños se componen de una bomba manual, a continuación, se realiza el presupuesto en euros que supondría fabricar la bomba de cuerda propuesta en el primer modelo a mano. Dentro de las ventajas fabricar la bomba manual a nivel local son:

1. **Coste reducido**. La fabricación de esta bomba es considerablemente más económica que una bomba clásica de varillas y pistones, siendo entre 3 y 5 veces más barata.
2. **Producción local y materiales accesibles**. Es posible producir y mantener esta bomba a nivel local utilizando materiales disponibles en la zona o incluso reciclados. Además, la formación requerida para su fabricación es breve y relativamente sencilla.
3. **Fácil acceso a piezas de repuesto**. Las piezas de repuesto pueden ser encontradas con facilidad en tiendas artesanales, y algunas de ellas incluso pueden ser fabricadas por uno mismo.
4. **Utilidad en condiciones variadas**. Estas bombas son útiles para el riego, incluso en aguas con presencia de lodos y malas hierbas, lo que amplía sus aplicaciones y beneficios.

5. **Estímulo para la industria local**. La producción artesanal de estas bombas impulsa la industria local, generando empleos e ingresos para pequeñas y medianas empresas de la zona.

Estas bombas no resultan caras. Si bien es cierto que no son excesivamente caras en el mercado, las circunstancias como aranceles o la bajada de precio de la energía solar pueden hacer que no resulte ventajoso comprarlas. Simplemente para tener cierta idea general de las cantidades aproximadas son:

- → El precio de una bomba manual varía entre 25 y 70 euros, dependiendo del modelo, los materiales utilizados, los gastos de mano de obra y el país. La bomba considerada tiene un caudal aproximado de 40 litros por minuto a una profundidad de alrededor de 10 metros.
- → Para una bomba motorizada con un caudal de agua tres veces mayor en la misma profundidad, el precio es de alrededor de 350 euros.
- → Las bombas eólicas de riego, que pueden proporcionar un caudal de 60 litros por minuto, tienen un rango de precio entre 350 y 600 euros.
- → Si se busca una bomba de riego accionada por un caballo, capaz de ofrecer el doble de caudal, el precio aproximado sería de unos 250 euros.

Para los modelos más grandes, como se destacó en el modelo 4, las bombas se comprarán y demás elementos del sistema a los proveedores internacionales o locales. El proveedor propuesto es Gundfos que ofrece gran variedad de bombas por todo el mundo. Destacan:

Américas	**África y Oriente Medio**
Argentina (Argentina)	مصر (Egypt)
Brasil (Brasil)	Ghana (Ghana)
Canadá (Canadá)	Kenia (Kenia)
Chile (Chile)	المملكة العربية السعودية (Saudi Arabia)
Colombia (Colombia)	Sub-Saharan Africa (South Africa)
México (México)	United Arab Emirates (United Arab Emirates)
USA (United States)	

Pinchando en MAPA se puede consultar los países donde distribuye -> MAPA Para conocer mejor los gastos de estos proyectos se deberá consultar con los técnicos de MMUU. En el presente Trabajo se ha dado una idea general sin detallar por confidencialidad. Como se destacó en el cuarto capítulo hay muchas variaciones a corto plazo y es dificil estimar con exactitud ya que el proyecto abarca numerosos países y lugares completamente diferentes.

Un estudio bueno, explicado de forma muy detallada, que puede ser útil consultar es el artículo de sostenibilidad publicado el 2 de agosto de 2022 (año pasado): "Drinking Water Supply in Rural Africa Based on a Mini-Grid Energy System—A Socio-Economic Case Study for Rural Development".

7.4 ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD

Según el Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo: Nuestro futuro común (Informe Brundtland) de 1987, el desarrollo sostenible es aquel que satisface las necesidades de la actualidad sin arriesgar o poner en peligro la capacidad de que las generaciones que vienen detrás puedan satisfacer las suyas. A esto habría que añadir que a la vez se garantice el crecimiento económico, el bienestar social y el cuidado del medio ambiente.

Este término surgió en dicha comisión a raíz de la creciente preocupación de la Asamblea General de las Naciones Unidas por el rápido y alarmante deterioro del medio ambiente y los recursos naturales. Ahora es un foco de atención en todos los proyectos de administraciones y empresas.

Los tres puntos añadidos anteriormente, son las tres vertientes del concepto de sostenibilidad: la ambiental, la económica y la social.

- ✓ La sostenibilidad ambiental se centra en preservar la biodiversidad mientras se evita impactar el desarrollo social y económico. Esto implica promover el uso de

energías renovables y disminuir la dependencia de fuentes de energía tradicionales como el petróleo.

- ✓ La sostenibilidad económica busca el crecimiento económico sin causar daño a los recursos disponibles. Además, se encarga de asegurar la rentabilidad de la sostenibilidad social y ambiental.

- ✓ La sostenibilidad social tiene como objetivo promover el desarrollo integral de las comunidades y sus miembros para que estos logren mejor calidad de salud, educación, vida y otros aspectos globales. Este enfoque también se centra en eliminar las disparidades basadas en el género o la raza, y busca generar estabilidad laboral con buenas condiciones en los empleos.

En este proyecto se busca la sostenibilidad a largo plazo en los tres aspectos descritos anteriormente. Trata de desarrollar a las comunidades más necesitadas mejorando la calidad de vida y en especial la salud y educación al suministrar agua a estos centros, haciendo que sean el centro más importante del poblado. Paralelamente, se busca no solo el desarrollo humano sino económico y tecnológico para que dispongan de la infraestructura necesaria para seguir creciendo y desarrollándose de forma autónoma en el largo plazo. Por último, se ha animado a emplear fuentes de energía limpias y renovables asi como a proteger los sistemas de animales o fuentes de contaminación para preservar la biodiversidad y evitar un impacto ecológico y medioambiental negativo.

El continente africano se enfrenta a un desafío significativo en el sector energético. La Agencia Internacional de la Energía estimó que en 2021 había todavía en torno a 600 millones de personas sin acceso a la electricidad en África subsahariana. La ventaja es que África tiene un enorme potencial para el desarrollo de las energías renovables, en consonancia con los objetivos climáticos a nivel global.

El siguiente mapa, refleja los datos de las Naciones Unidas del informe "Energy Statistics Pocketbook 2022". En él, África destaca como la única región a nivel mundial donde las energías renovables desempeñan un papel fundamental.

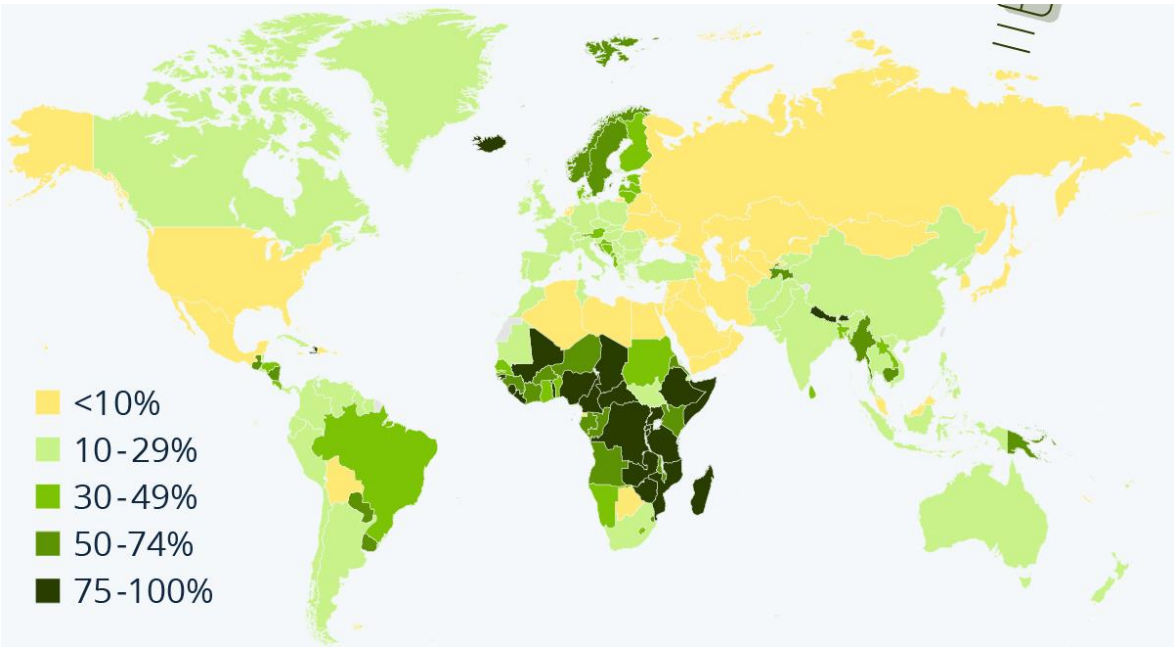


Figura 56. Porcentaje de energía renovable en el consumo total de energía final en 2019, por país (Fuente: Naciones Unidas – Energy Statistics Pocketbook 2022)

En el año 2019, la media de energía proveniente de fuentes verdes alcanzó el 56% a nivel continental en África. países como Uganda, Somalia, la República Democrática del Congo y la República Centroafricana destacaron por ser los únicos países del mundo en los que se registró que las fuentes renovables suponían un porcentaje superior al 90% del consumo final.

8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El proyecto global de MMUU es ayudar a los pueblos más desfavorecidos y vulnerables a dar un pequeño paso para su desarrollo de forma independiente. Para ello, el presente trabajo ha analizado proyectos realizados hasta el momento actual para hacer una recopilación de los casos más comunes y sobre todo los muchos problemas y dificultades que surgen en este tipo de proyectos para que se pueda seguir ayudando a garantizar agua potable de manera más rápida, eficiente y segura.

A modo de conclusión podemos decir que la calidad del servicio en los sistemas de abastecimiento de agua debe se tiene que ofrecer con las seis C's:

1. Calidad
2. Cantidad
3. Continuidad
4. Cobertura
5. Costes
6. Capacidad de gestión

En los sistemas pequeños, los criterios no son abordados de golpe de manera inmediata, sino que se abordan de manera gradual en el tiempo.

Se ha obtenido por tanto un compendio de la amplia casuística que se puede encontrar en los sistemas de abastecimiento de agua y de ahí se han propuesto los límites y escenarios más comunes realizado una guía de cómo enfrentarse a cada situación.

8.1 POSIBLES FUTUROS PROYECTOS

De cara a futuros proyectos, se podría ampliar el presente trabajo en diferentes aspectos:

1. Haciendo una estandarización de una ETAP adicional a los sistemas propuestos.
2. Diseñar redes de distribución sencillas para proyectos en estos lugares.

3. Entrar más en detalle de las posibles fuentes energéticas (preferiblemente sostenibles) así como combinar con el acceso al sistema eléctrico y también la estandarización de proyectos eléctricos.
4. Hacer un análisis exhaustivo de innovaciones como la desalinización y su viabilidad en estos países para los proyectos de las organizaciones.
5. Ampliar el alcance del proyecto, ya sea entrando más en detalle en cada país concreto con los que trabaja MMUU o bien para más países con los que no trabaja actualmente pero que podrían requerir de su ayuda en el futuro.
6. Por último y más interesante, adaptar los sistemas a la agricultura y ganadería para favorecer el desarrollo de estos lugares. Por ejemplo, se podría estandarizar los sistemas de regadío o de abastecimiento de agua para la ganadería y otros aspectos relacionados.

8.2 TRABAJO FUTURO PRINCIPAL

Así mismo, sería interesante realizar el mismo trabajo de estandarización y análisis de proyectos del resto de áreas de la organización. Puesto que el abastecimiento de agua solo es uno de los cuatro sectores en los que colabora. Con la misma base de desarrollo autónomo, se pueden estandarizar los proyectos agrarios, de edificaciones y de energía.

Como en el presente trabajo solo se ha considerado el abastecimiento para el consumo humano (higiene y beber),puede parecer poco realista o dar sensación de que falta algo. Esto es debido a la situación crítica en la que están las comunidades con las que trabaja MMUU. Sin embargo, se ha planteado con un margen considerable que permite que si sobra agua de destine a otros usos. Este proyecto está pensado fundamentalmente para las personas y si les sobra capacidad y autonomía ya se encargarán de utilizarlo para otras necesidades.

8.2.1 PROYECTOS DE GANADERÍA

La cantidad de animales varía mucho de una zona a otra y en muchas ocasiones beben del agua que de derrama en la fuente o extracción de pozo. Se suele llenar una pila cerca del pozo para los animales, pero si las necesidades son mayores se puede mirar la equivalencia calculada y replicar el sistema para cubrirlas.

Además, los animales requieren agua con menos tratamiento y pueden beber agua de ríos o charcas directamente, sin embargo, para consumo humano se requiere tratamiento y desinfección, aunque en este proyecto busquemos agua que con poco o ningún tratamiento se pueda utilizar.

Según se estableció al principio del trabajo, en lugares donde el sistema solo cubre la necesidad de beber, el resto de las necesidades y el consumo de los animales se cubrirán con lagos, ríos, etc.

En un ejemplo estudiado en el lago Titicaca de Perú, la población sufría enfermedades y grandes problemas de salud por agua contaminada sin darse cuenta. La causa tardó en descubrirse y era debido a que llevaban a los animales de la ganadería a beber del agua limpia aguas arriba por encima de la captación que a su vez contaminaban el agua con sus heces. Por ello, es importante no solo dar prioridad al consumo humano en estos proyectos sino explicar al poblado cómo funciona el sistema, que uso se puede hacer de él y como disponer del agua que sobra.

Uno de los problemas que hay en muchos sitios es que el agua de los pozos manuales se sale y se encharca el alrededor. Parte del agua no cae en los bidones y si no se conduce al campo es un desperdicio de agua. Pero, además, lo peor es que se forman charcos que tardan días u horas en evaporarse. Esta situación debe evitarse ya que da lugar a agua estancada que conduce a la proliferación de mosquitos que provocan grandes problemas de salud. Al final las consecuencias pueden ser considerablemente peores que la propia escasez de agua. Por lo general, la forma de solucionarlo es que el agua que no se pueda aprovechar entre por el sumidero o pozo de infiltración y desaparezca de la superficie.

En el ANEXO II: Mapas, planos, gráficas, tablas y guías se muestra un esquema de un mono que refleja cómo se hacen los pozos en África. Este se compone de un abrevadero y decantador pequeño que dirige el agua que sobra a un pozo para infiltración y renovación del acuífero. Como se remarcó al principio de este apartado, es normal que los animales baban del agua derramado en la fuente o extracción de pozo e incluso que se llene una pila cerca del pozo para los animales para los animales.

Una alternativa que se podría trabajar en futuros trabajos es coger el mono mostrado que suele implementar MMUU y adaptarlo sobre ese mismo esquema redimensionando el abrevadero para que sirva como pila para que beba el ganado y a su vez se eviten los charcos y se renueve el acuífero.

8.2.2 PROYECTOS DE AGRICULTURA

Para la agricultura se puede considerar la equivalencia entre habitantes y la superficie de los huertos que pueden ser de 20, 50 o 100 m^2. Más superficie de cultivo ya exige otro enfoque en un proyecto independiente. Un ejemplo es analizar la equivalencia habitante-hectárea en función del cultivo (similar a como se ha hecho y verá más adelante). Los proyectos agrarios suelen ser específicos para ello, pero habiendo realizado este proyecto, el trabajo de infraestructura ya está hecho prácticamente. Solo se requiere adaptar la equivalencia de capacidad que es fácil. La única diferencia será la distribución.

Por ello, para completarlo, se han estudiado también sistemas de abastecimiento completos para ganadería y agricultura. A modo de análisis preliminar se han buscado las equivalencias según el consumo del tipo de ganado o el tipo de cultivo para luego poder escalar el proyecto a otros proyectos que requieran agua para otras actividades.

Se ha podido comprobar que, en cualquier caso, en proyectos de agricultura se requiere red de distribución. Si las personas tienen que ir cargando con garrafas de 25 L, se requiere demasiado trabajo para regar por ejemplo un pequeño huerto de 25 m^2 y entonces no compensa tenerlo.

Con el estudio realizado y los modelos propuestos se ha visto que lo más efectivo es hacer una tabla comparativa entre las diferencias de consumos con respecto al consumo humano. Las tablas que recogen esta información se encuentran en el ANEXO II: Mapas, planos, gráficas, tablas y guías y permiten ver qué capacidad se requiere para cierto número de animales de un tipo determinado de ganadería o para ciertos metros cuadrados de superficie de un tipo determinado de cultivo.

Los tipos de ganadería y cultivos seleccionados y reflejados en la tabla son los más comunes e importantes en África y Sudamérica, pero en cada región o país puede variar. Igualmente, existen muchos cultivos que no se han podido incluir pero que igualmente se podrían equiparar fácilmente.

Para un proyecto agrario o ganadero se pueden emplear los modelos expuestos en el proyecto cogiendo las equivalencias mostradas.

9. BIBLIOGRAFÍA

[1] Abella, M. A., & Romero, F. C. (2017). Máster en Energías Renovables y Mercado Energético Energía Solar Fotovoltaica Escuela de Organización Industrial Sistemas de Bombeo Fotovoltaico. Dimensionamiento De Sistemas Fotovoltaicos, 1(1), 73.

[2] Ali, A. Q., & Telang, D. P. (2017). A Survey on Dynamic Analysis of Elevated Water Tank for Different Staging Configuration.

[3] Antona Díaz, A. M. (2009). Obtención de electricidad y agua potable mediante energía solar para un centro de salud mozambiqueño.

[4] Apuntes (2022) Resistencia de materiales ICAI

[5] Apuntes (2021) Tema 6. Flujo viscoso en conductos. Mecánica de Fluidos ICAI

[6] Barlow, R., McNelis, B., & Derrick, A. (1993). Solar pumping: an introduction and update on the technology, performance, costs, and economics. NASA STI/Recon Technical Report N, 93, 23444.

[7] Becerra, J. L. & Romero, J. C. (2022). Diapositivas Integrating the SDGs into a TFG/TFM ICAI.

[8] Béjar, M. V. (2006). Hidrología estadística. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

[9] Caso Jaraiz, H. D., & Mancebo Piqueras, J. A. (2014). Bomba manual de cuerda y pistones tipo" mecate, BM-2". Caracterización de la potencia de accionamiento. DisTecD. Diseño y Tecnología para el Desarrollo, (1), 168-184.

[10] Castro. R, Perez.R, Organización Panamericana de la Salud. (2009, Diciembre). Capítulo 4. En Saneamiento rural y salud, Guía para acciones a nivel local (pp. 66-103). Ciudad: Guatemala. Editorial: Oficina regional de la Organización Mundial de la Salud. Recuperado de https://iris.paho.org/handle/10665.2/52823 y https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2010/Sanemiento-Capitulo4.pdf

[11] Chavhan, P., Dorle, S., Bendwar, A., Jangere, A. K., Singh, R., & Raza, R. Case Study on Water Tank Resting on Ground.

[12] Claudio Mataix. Turbomáquinas Hidráulicas. Editorial ICAI. 2003

[13] Climate: Africa. (s. f.). https://en.climate-data.org/africa

[14] de Fomento, E. M. (2008). EHE-08: Instrucción de Hormigón Estructural: con comentarios de los miembros de la Comisión Permanente del Hormigón. Ministerio de Fomento, Secretaría General Técnica.

[15] del Taibilla, M. D. E. L. C. (s/f). GUÍA PARA EL DISEÑO Y PROYECTO DE DEPÓSITOS. Mct.es. Recuperado de https://www.mct.es/documents/74411/75505/GUIA.pdf/c9c8414a-10df-4bb0-b2d0-0769406de5f0

[16] Diop, S. (2002). Vital water graphics: an overview of the state of the world's fresh and marine waters.

[17] Energy Statistics Pocketbook 2022. (2022). En Energy statistics pocketbook. United Nations. https://doi.org/10.18356/9789210012911

[18] E Villarroel. C (2014, 25 de diciembre). ROBOT STRUCTURAL 2014 CASTELLANO - TUTORIAL 9.- CALCULO TANQUE DE AGUA [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=xN25Rfe3kmw

[19] E Villarroel. C (2020, 23 de abril). ROBOT STRUCTURAL - TUTORIAL 29.- LOSAS DE FUNDACIÓN (Foundation Slab Analysis) [Video]. YouTube. https://youtu.be/eK_sQyU_OOA

[20] Falk, J., Globisch, B., Angelmahr, M., Schade, W., & Schenk-Mathes, H. (2022). Drinking Water Supply in Rural Africa Based on a Mini-Grid Energy System—A Socio-Economic Case Study for Rural Development. Sustainability, 14(15), 9458.

[21] Fan, Y., Li, H., & Miguez-Macho, G. (2013). Global patterns of groundwater table depth. Science, 339(6122), 940-943.

[22] Field, J. A., & Sierra, R. (2002). High Rate Anaerobic Wastewater Treatment. University of Arizona. Kättesaadav: http://www. uasb. org/anaerlec1/sld001. htm (15.05. 07).

[23] Gamez, M. J. (2022, 24 mayo). Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible. Desarrollo Sostenible. https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/

[24] Grundfos. Grundfos Product Center. https://www.grundfos.com

[25] Home Page. (2023, 16 junio). https://www.ansys.com/

[26] Invers i Barriga, S. (2006). Comparativo en la utilización de hormigón armado tradicional frente a la utilización de hormigón armado con alta dosificación de fibras de acero.

[27] JStructures Institute (2020, 19 de junio). Modelamiento y Análisis de Reservorio Circular Apoyado en Robot Structural [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=WqV6VqFjjls

[28] La Convención sobre los Humedales y su misión | Convention on Wetlands. (s. f.). https://www.ramsar.org/es/acerca-de/la-convencion-sobre-los-humedales-y-su-mision

[29] Luna, T., Ribau, J., Figueiredo, D., & Alves, R. (2019). Improving energy efficiency in water supply systems with pump scheduling optimization. Journal of cleaner production, 213, 342-356.

[30] Mancebo, J. A., & Jiménez, A. (2013). Sistemas de Agua y Saneamiento para el Desarrollo. Tecnologías apropiadas para cumplir el derecho humano al agua. Recuperado de https://sistemasdeaguaysaneamientoparaeldesarrollo.files.wordpress.com/2013/05/tecnologc3adas-apropiadas-para-cumplir-el-derecho-humano-al-agua.pdf

[31] McEvoy, A., Castaner, L., & Markvart, T. (2012). Solar cells: materials, manufacture and operation. Academic Press.

[32] Molina Napurí, A. (2009). Guía de orientación en saneamiento básico para alcaldías de municipios rurales y pequeñas comunidades. Recuperado de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/BARRIOS%20et%20al%202009%20Guia%20de%20orientacion%20alcaldes.pdf

[33] Morote Vázquez, A. M. (2020). Abastecimiento de agua de un centro escolar del Chad (Trabajo fin de máster). [Universidad Pontificia Comillas-ICAI], Madrid.

[34] NASA Atmospheric Science Data Center. (2018). NASA Surface meteorology and Solar Energy - Available Tables. Recuperado de https://eosweb.larc.nasa.gov/

[35] Organización Mundial de la Salud. (2018). Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda, 4a ed + 1a adenda. Organización Mundial de la Salud. https://apps.who.int/iris/handle/10665/272403. License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO

[36] Oxfam. Oxfam Supply Centre Equipment Catalogue. https://supplycentre.oxfam.org.uk/equipment/water-supply/

[37] Piqueras, J. M., & Tous, G. R. (2010). Bomba de mecate sobreelevada (BM-II): Bomba de cuerda sobreelevada (BM-II): manual práctico de construcción, instalación, operación y mantenimiento. Universidad Politécnica, Madrid.

[38] Roa, M. M. (2022, 22 noviembre). Las energías renovables dominan en África. Statista Infografías. https://es.statista.com/grafico/28797/porcentaje-de-energia-renovable-en-el-consumo-total-de-energia-final/

[39] *Robot Structural Analysis Professional | Download & Pricing*. (s. f.). https://www.autodesk.com/products/robot-structural-analysis/overview?term=1-YEAR&tab=subscription

[40] Riba Genescà, E. (2005). Cálculo y elección óptima de un depósito de agua.

[41] SIAPA. (s.f.). Capítulo 2. Sistemas de agua potable-1a. parte. Recuperado de https://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/capitulo_2._sistemas_de_agua_potable-1a._parte.pdf

[42] SIAPA. (s.f.). Capítulo 2. Sistemas de agua potable-2a. parte. Recuperado de https://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/capitulo_2._sistemas_de_agua_potable-2a._parte.pdf

[43] Simulaciones y Proyectos. (2018b, noviembre 8). Clasificación climática mundial según Köppen Geiger - RDT SIMULATION. RDT SIMULATION. https://www.simulacionesyproyectos.com/blog-ingenieria-arquitectura/clasificacion-climatica/

[44] Simulaciones y Proyectos. (2018c, noviembre 8). Clasificación climática mundial según Köppen Geiger - RDT SIMULATION. RDT SIMULATION. https://www.simulacionesyproyectos.com/blog-ingenieria-arquitectura/clasificacion-climatica/

[45] Suri, Marcel, Betak, Juraj, Rosina, Konstantin, Chrkavy, Daniel, Suriova, Nada, Cebecauer, Tomas, Caltik, Marek, Erdelyi, Branislav. (s. f.). Global Photovoltaic Power Potential by Country. World Bank. http://documents.worldbank.org/curated/en/466331592817725242/Global-Photovoltaic-Power-Potential-by-Country

[46] Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003). Wastewater engineering: treatment and reuse, Metcalf & Eddy Inc. McGraw-Hill, Inc., New York. doi, 10, 0070418780.

[47] Tutoriales al Día - Ingeniería Civil. (2018). Red de Distribución de Agua Potable Tutoriales y Artículos para Ingenieros Civiles, Aplicaciones prácticas de la Ingeniería Civil.

https://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/red-de-distribucion-de-agua-potable-abierta-o-cerrada/

[48] UN (2019). The Sustainable Development Goals Report. United Nations, New York. Recuperado de http://www.un.org/sustainabledevelopment

[49] UN Environment (2018). Progress on integrated water resources management. Global baseline for SDG 6 Indicator 6.5.1: degree of IWRM implementation. Recuperado de https://www.unenvironment.org/explore-topics/water

[50] Valsaraj, K. T., & Melvin, E. M. (2000). Elements of environmental engineering: thermodynamics and kinetics. CRC Press.

[51] Water point / homestead protection construction methods tools budget. (s/f). Encosh.org. Recuperado de https://encosh.org/wp-content/uploads/formidable/5/Water-Point-Protection_EHRA-2020.pdf

[52] World Bank. (1993). Update on the Technology, Performance, Costs and Economics. World Bank 168, 91-113.

[53] WWAP (Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos) (2009). IWRM Guidelines at River Basin Level Parte I Principles. París, UNESCO. Recuperado de https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000186417

[54] WWAP (Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos) (2019). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2019: No dejar a nadie atrás. París, UNESCO. Recuperado de https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367304

ANEXO I: REFLEXIÓN SOBRE LOS ODS

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de Naciones Unidas son los objetivos que la ONU creó para garantizar un futuro sostenible. En estos ODS se busca que se avance en la economía y en la sociedad para hacer un uso adecuado de los recursos naturales y poder llegar a tener un futuro sin desigualdad de género y derechos.

Para ello se desarrollaron 17 objetivos que paliarían los principales problemas que se tienen

hoy en día y que protegerían el planeta para el año 2030. Estos se muestran en la tabla a continuación:



Figura 57. Los 17 objetivos de Desarrollo Sostenible (Fuente: Naciones Unidas)



Figura 58. Clasificación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Fuente: Naciones Unidas)

La mayoría de las empresas buscan integrar estos objetivos en ellas ya que la única forma de conseguir un futuro sostenible es integrándolos en la sociedad civil, en el sector privado, en el gobierno y en las demás instituciones. De los objetivos descritos anteriormente, este proyecto contribuye en casi todos (quitando únicamente el objetivo 16) los objetivos como se puede comprobar en la siguiente tabla.

Dimensión de ODS	ODS identificados	Rol	Objetivo
SOCIEDAD	ODS 1: Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo	Secundario	Empezando por la raíz de la pobreza más grande y vital como es la disponibilidad de agua limpia y segura que permite la vida y continuando por el resto de los tipos de pobreza (de comida, recursos, económica, etc.) que derivan de ella.
	ODS 2: Poner fin al hambre	Secundario	El agua es un bien básico no solo para cocinar sino también para la limpieza y preparación de los alimentos. Adicionalmente los sistemas de abastecimiento de agua favorecen el desarrollo de la agricultura y ganadería que satisfacen las necesidades alimentarias.
	ODS 3: Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades	Primario	Garantizando una disponibilidad de agua limpia que evita y previene enfermedades. Además, permitiendo el aseo y cuidado de la salud mediante la higiene y la cura de enfermedades.
	ODS 4: Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos	Secundario	Puesto que el trabajo está centrado en colegios y hospitales. Implementar el sistema de suministro en estos centros los convertirá en los focos del poblado a los que acudirán más personas y niños, promoviendo el acceso a la educación. Además, mejorará las condiciones de los colegios donde además de aprender se ofrecen más servicios como la higiene personal, lavandería, etc.
	ODS 5: Lograr la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y las niñas	Terciario	En muchos países subdesarrollados, son las mujeres y niñas las que se encargan del trabajo doméstico mientras los hombres trabajan y los niños van a la escuela. Por tanto, son ellas las que se encargan de andar largas distancias hasta los pozos, realizar el trabajo de extracción en caso de bombas manuales y cargar con el agua hasta el poblado adicionalmente a todas las tareas del hogar como la limpieza, a cocina o el lavado de ropa. Disponer de un sistema de abastecimiento de agua no solo facilitaría todas estas tareas, sino que evitaría tener que emplear tiempo y esfuerzo en conseguir agua. Además, permitirá que puedan tener acceso al mundo laboral o a la educación, fomentando la igualdad de oportunidades ya que habrá necesidades que ya estén cubiertas.

	ODS 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos	Primario	Se analiza a continuación de la tabla.
	ODS 10: Reducir la desigualdad en y entre los países	Primario	De manera similar a aspectos destacados en otros objetivos el presente trabajo trata fundamentalmente de ayudar a los países menos desarrollados a crecer de manera independiente y autónoma. Con ello, se reduce la brecha entre países ricos y pobres, fundamentalmente cubriendo las necesidades vitales, pero también cimentando la base para la infraestructura del desarrollo y promoviendo la igualdad de oportunidades (laborales, de educación, de sanidad… respecto a aspectos de género, raza o nivel económico)
	ODS 16: Promover sociedades justas, pacíficas e inclusivas	Terciario	Siendo el agua un recurso imprescindible para la vida, toda sociedad justa debe disponer de ella de manera segua de forma que sea repartida equitativamente. Los conflictos, la inseguridad y las situaciones socioeconómicas inestables pueden dar lugar a problemas en el abastecimiento y daños a los sistemas. Como se destacaba en el apartado se situación económica del país es común en estos sitios que produzcan robos (de sistemas o equipos) asi como riesgos sociales (violaciones y agresiones al tener que recorrer largas distancias en situaciones peligrosas o volver de los colegios por la noche) debido al suministro de una necesidad fundamental. Por ello, el diseño de los sistemas teniendo en cuenta estas circunstancias asi como protegiendo tanto a los sistemas como a los habitantes de estos riesgos se fomenta la seguridad, la justicia y la paz.
	ODS 17: Revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible	Secundario	En este proyecto este objetivo se alcanza mediante la cooperación de importantes entidades como es la escuela de ingeniería ICAI y de su Fundación por su interés en colaborar en proyectos en áreas que requieren asistencia, con la organización Manos Unidas. En el cual se apoya a gran cantidad de familias vulnerables económicamente.

BIOSFERA	ODS 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna	Terciario	El proyecto fomenta el promover activamente las energías renovables para no solo cuidar el medio ambiente sino también crear una sociedad libre y saludable. Además, se anima a realizar proyectos conjuntos de sistemas de abastecimiento hidráulicos y energéticos.
	ODS 11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles	Primario	Los pueblos y ciudades son centros neurálgicos del crecimiento económico. El acceso al agua reducirá el número de pueblos y barrios pobres con infraestructuras y servicios inadecuados. Fomentará la seguridad (no tener que recorrer largas y peligrosas distancias para la obtención de agua o que los niños no sufran abusos al volver del colegio por la noche) y la inclusividad (igualdad de oportunidades para las mujeres y fomento de puestos de trabajo para jóvenes). También, gracias a los diseños y robustez de los modelos propuestos hará que estos poblados sean no solo más sostenibles sino más resilientes a la hora de afrontar acontecimientos adversos sabiendo, adaptándose a ellos de forma constructiva.
	ODS 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles	Secundario	El trabajo propone fuentes de energía respetuosas con el medio ambiente, y apela al uso responsable de los recursos naturales aprovechando al máximo las fuentes renovables, respetando los ciclos naturales de reposición y regeneración de los recursos y apelando a hacer un consumo responsable de ellos de manera sostenible con el medio ambiente.
	ODS 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos	Terciario	Como se ha explicado a lo largo del proyecto, el mundo se enfrenta a niveles alarmantes de falta de agua debido a los cambios climáticos que a su vez afectan a muchos otros recursos. El cambio climático está teniendo un impacto global en todos los países. Está generando perturbaciones en las economías nacionales y afectando a todas las comunidades. Los patrones climáticos están experimentando modificaciones, se están registrando aumentos en los niveles del mar y los fenómenos meteorológicos se están volviendo más intensos. Como se destaca en otros objetivos, el proyecto no solo fomenta el uso de energías limpias en futuros proyectos, sino que también fomenta el consumo responsable y la producción sostenible fomentando economías circulares.

	ODS 15: Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras, detener la pérdida de biodiversidad	Cuaternario	Aunque este objetivo no se trabaja mucho en el proyecto, queda reflejado sobre todo en el capítulo 8 de trabajos futuros en el que se propone el uso de estos sistemas para la agricultura y ganadería incluso para dar de beber a animales salvajes. En el proyecto además se establecen medidas de protección para que los sistemas estén en recintos cerrados y no dañen, causen peligros o afecten negativamente a la biodiversidad del lugar. Se fomenta el cuidado de las especies autóctonas y se evita la desertificación causada por la falta de agua.
ECONOMÍA	ODS 8: Promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible, el empleo y el trabajo decente para todos	Primario	Cubrir necesidades vitales como el abastecimiento de agua evita que personas de zonas remotas tengan que trabajar largas horas y desplazarse para disponer de agua. Con ello, se permite que dediquen tiempo y esfuerzos a otras actividades que fomenten su desarrollo. Además, la realización de trabajos de infraestructura permite el desarrollo tecnológico y económico de los países en vías de desarrollo ya que genera nuevos puestos de trabajo sobre todo para jóvenes.
	ODS 9: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación	Primario	Las dos infraestructuras de carácter vital son la casa y la fuente. Por tanto, el proyecto, no solo es fundamental para este objetivo, sino que fomenta y facilita el trabajo eficiente de implementación y desarrollo de esas infraestructuras. Como se ha destacado en otros objetivos, mejora también las instalaciones de colegios y hospitales que también son infraestructuras imprescindibles en los poblados. Proponiendo modelos sostenibles, resistentes y duraderos a largo plazo el trabajo fomenta la industrialización sostenible.

Tabla 23. Objetivos de Desarrollo Sostenible presentes en el trabajo y su implicación en él

(Fuente: Elaboración propia)

El presente trabajo es un propio objetivo en sí. Pretende solucionar directamente el sexto objetivo de asegurar agua disponible con buena gestión y saneamiento.



Figura 59. Sexto objetivo de Desarrollo Sostenible (Fuente: Abdul Latif Jameel)

Es indiscutible que el progreso económico está estrechamente ligado a los recursos hídricos. No obstante, resulta crucial que los planificadores y los gobiernos consideren las necesidades de los diversos usuarios del agua, tales como las comunidades, la agricultura, la industria, la minería y el medio ambiente.

A medida que la demanda de agua en el sector agrícola e industrial sigue en aumento, resulta esencial llegar a acuerdos sobre el uso compartido del agua y asegurar un acceso equitativo para todos. La cooperación y las alianzas son elementos esenciales para que el acceso seguro al agua esté garantizado para todos.

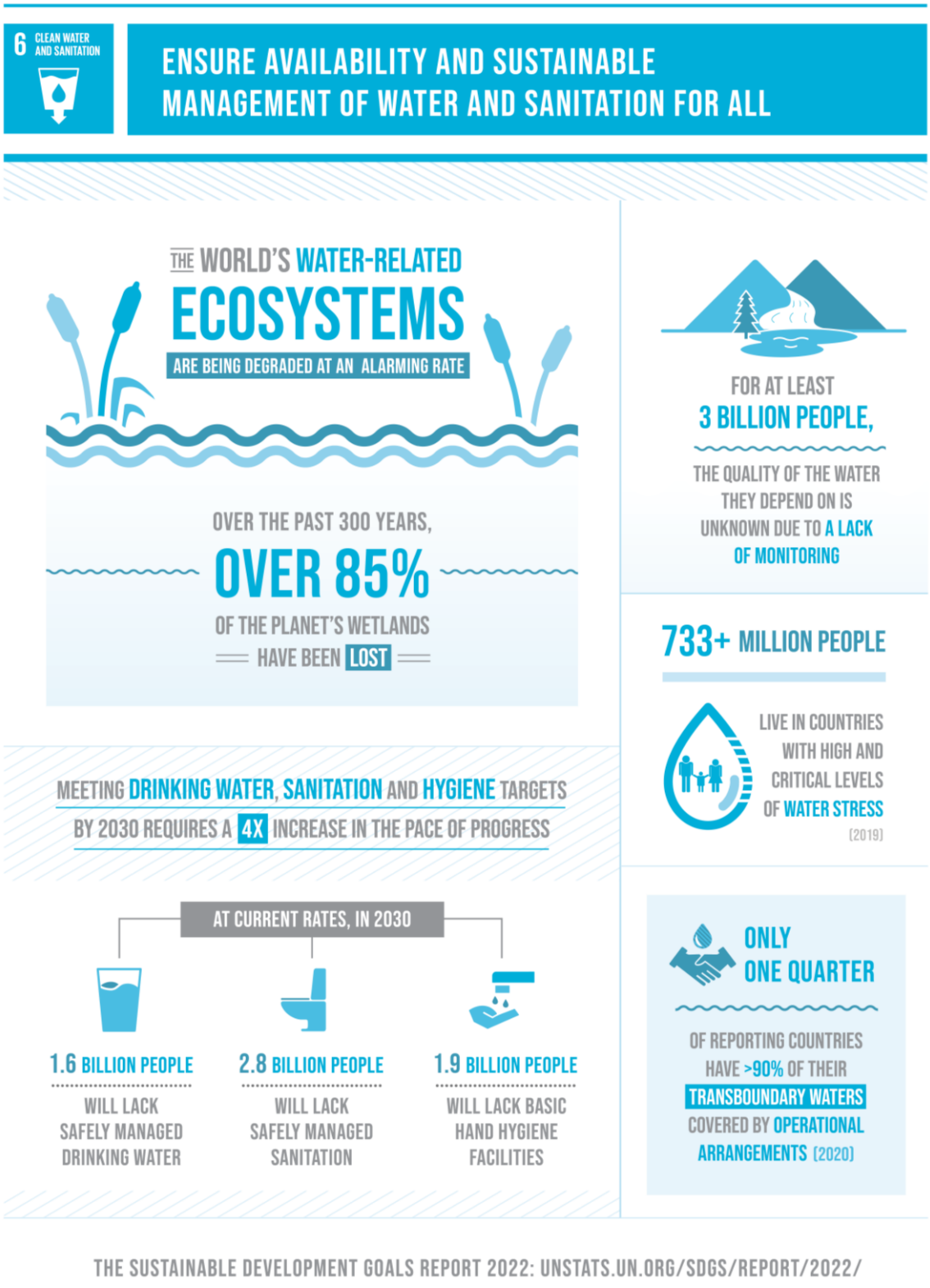


Figura 60. Situación actual de la falta de agua del informe de 2022 de la ONU

(Fuente: United Nations, Department of Economic and Social Affairs)

ANEXO II: MAPAS, PLANOS, GRÁFICAS, TABLAS Y GUÍAS

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y CRONOGRAMA 1

2. MAPA DE LOS PAÍSES EN LOS QUE OPERA MMUU AMPLIADO 2

3. INFORMACIÓN IMPORTANTE DE LOS PAÍSES EN LOS QUE OPERA MMUU 3

4. PLANISFERIO DE LAS ZONAS CLIMÁTICAS DEL MUNDO 4

5. MAPA DEL NIVEL FREÁTICO DE SUDAMÉRICA 5

6. MAPA DEL NIVEL FREÁTICO DE ASIA 6

7. MAPA DEL NIVEL FREÁTICO DE ÁFRICA 7

8. TABLA DE LOS HUMEDALES RAMSAR DE SUDAMÉRICA 8

9. TABLA DE LOS HUMEDALES RAMSAR DE ASIA 9

10. TABLA DE LOS HUMEDALES RAMSAR DE ÁFRICA 10

11. VALORES DE REFERENCIA DE LA OMS PARA CONTAMINANTES DE CONSTRUCCIÓN 11

12. VALORES DE REFERENCIA DE LA OMS PARA ELEMENTOS QUÍMICOS 12

13. VALORES DE REFERENCIA DE LA OMS PARA BACTERIAS 13

14. GUÍAS Y DOCUMENTACIÓN DE PROYECTOS DE AGUA DE MMUU 14

15. DATOS DE RADIACIÓN DE LOS PAÍSES EN LOS QUE OPERA MMUU 18

16. EJEMPLO DE PROYECTO DE RECOGIDA DEL AGUA DE LLUVIA DE LOS TEJADOS 19

17. TABLA COMPARATIVA DE BOMBAS SUMERGIBLES DEL CATÁLOGO GRUNDFOS 21

18. ALGORITMO DE SELECCIÓN DE SISTEMAS DE SUMINISTRO DE AGUA TÍPICOS 22

19. DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA SELECCIÓN DE LOS MODELOS PROPUESTOS.....23

20. PLANO O ESQUEMA DE UN MONO CON ABREVADERA DE UN POZO TÍPICO 24

21. TABLA DE EQUIVALENCIAS DE CONSUMO SEGÚN EL TIPO DE GANADERÍA 25

22. TABLA DE EQUIVALENCIAS DE CONSUMO SEGÚN EL TIPO DE CULTIVO 26

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y CRONOGRAMA



«Modelos tipo» de sistemas de suministro de agua a centros de servicios o poblaciones para Manos Unidas

Se establecerán en función del caudal necesario, del sistema de captación, del sistema de bombeo (alimentación de la bomba mediante fotovoltaica, grupo electrógeno, etc).

Lugar: Varios países

Cuándo: 2023

AREA	ACTIVIDAD	2022				2023					
		sep-09	oct-10	nov-11	dic-12	ene-01	feb-02	mar-03	abr-04	may-05	jun-06
INICIACIÓN PROYECTO	Anexo A	X									
	Definición del alcance	X									
	Calendario y plan de organización	X									
	Definir periodicidad de reuniones	X									
	Anexo B					X					
INVESTIGACIÓN, ANÁLISIS y ESTUDIO	Definición del genérica del proyecto		X	X							
	Investigación general	X	X	X	X	X					
	Análisis del impacto (inputs, entorno y dimensión)		X	X							
	Análisis de sostenibilidad operativa y económica a LP						X	X			
	Definición de alternativas viables						X	X			
	Comparaciones					X	X	X			
DISEÑO Y CÁLCULOS	Descripción de elementos viables					X	X	X			
	Definición de variables e hipótesis					X	X	X			
	Cálculos de alternativas viables						X	X			
	Presupuestos y análisis económico							X			
DOCUMENTACIÓN	Guías de usuarios (mantenimiento, montaje y formación)										
	Beneficio e impacto social (ODS)		X	X							
	Redación y revisión del proyecto							X		X	
HITOS	Preparación de la presentación								X		
	Reuniones MMUU y Fund. Ing.	X		X		X	X	X	X		
	Presentación intermedia							X	X		
	Entrega y defensa TFG									X	X
	Presentación final MMUU y Fund. Ing										X

	Periodo de exámentes finales
ENERO	Anexo B
FEBRERO	Hipotesis, variables, modelos y comparativa
MARZO	Revisión final y estudio económico
ABRIL	Detalles y preparación de la presentación
MAYO	Entrega y presentación

2. MAPA DE LOS PAÍSES EN LOS QUE OPERA MANOS UNIDAS

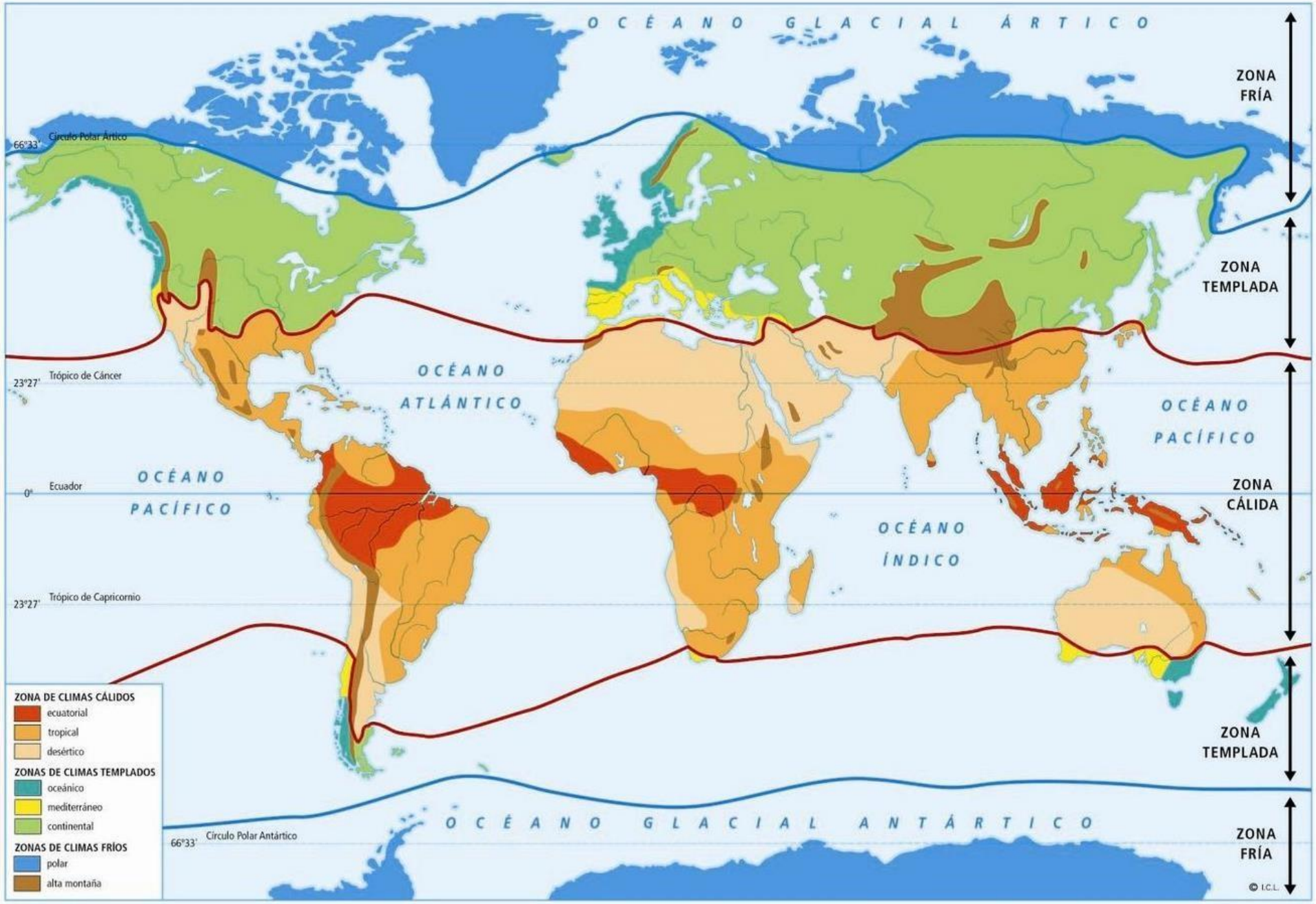


3. INFORMACIÓN IMPORTANTE DE LOS PAÍSES EN LOS QUE OPERA MMUU

Country indicators in Africa

			Basic indicators						PV potential indicators					Power sector indicators					
ISO_A3	Country or region	World Bank Region	Total population, 2018	Total area, 2018	Evaluated area	Level 1 area (% of evaluated area)	Human development Index, 2017	Gross domestic product (USD per capita), 2018	Average theoretical potential (GHI, kWh/m2/day), long-term	Average practical potential (PVOUT Level 1, kWh/kWp/day), long-term	Average economic potential (LCOE, USD/kWh), 2018	Average PV seasonality index, long-term	PV equivalent area (% of total area), long-term	Cummulative installed PV capacity (MWp), 2018	Cummulative installed PV capacity (Wp per capita), 2018	Access to electricity (% of rural population), 2016	Electric power consumption (kWh per capita), 2014	Reliability of supply and transparency of tariff index, 2019	Approximate electricity Tariffs for SMEs (US cent/kWh), 2019
AFG	Afghanistan	SOA	37.172.386	652.860	652.860	59%	0,50	521	5,49	5,02	0,09	1,67	#N/A	22	0,6	79,0	#N/A	0	17,6
AGO	Angola	AFR	30.809.762	1.246.700	1.246.700	75%	0,58	3.432	5,75	4,66	0,09	1,32	0,003	13,4	0,4	16,0	312	3	4,6
BDI	Burundi	AFR	11.175.378	25.680	25.680	82%	0,42	275	5,19	4,17	0,10	1,32	#N/A	5,1	0,5	1,7	#N/A	0	15,7
BEN	Benin	AFR	11.485.048	112.760	112.760	99%	0,51	902	5,33	4,20	0,10	1,41	0,005	8	0,7	18,0	100	0	19,6
CAF	Central African Republic	AFR	4.666.377	622.980	622.980	57%	0,37	510	5,70	4,47	0,10	1,41	#N/A	0,3	0,1	0,4	#N/A	0	9,8
CIV	Côte d'Ivoire	AFR	25.069.229	318.000	318.000	98%	0,49	1.716	5,05	4,00	0,11	1,41	0,01	8,3	0,3	38,1	275	4	11,8
CMR	Cameroon	AFR	25.216.237	472.710	472.710	68%	0,56	1.527	5,30	4,28	0,10	1,44	0,007	14,2	0,6	21,3	275	0	14,1
COD	Democratic Republic of Congo	AFR	84.068.091	2.267.050	2.267.050	47%	0,46	562	5,19	4,26	0,10	1,30	0,002	6,8	0,1	0,4	109	0	10
EGY	Arab Republic of Egypt	MENA	98.423.595	995.450	995.450	24%	0,70	2.549	6,26	5,25	0,08	1,31	0,081	750	7,6	100,0	1683	3	8
ERI	Eritrea	AFR	4.475.000	101.000	101.000	72%	0,44	#N/A	6,07	4,89	0,09	1,43	#N/A	2,7	0,6	39,3	#N/A	#N/A	#N/A
ETH	Ethiopia	AFR	109.224.559	1.000.000	1.000.000	83%	0,46	772	5,85	4,70	0,09	1,58	0,003	11	0,1	26,5	69	0	3,9
GAB	Gabon	AFR	2.119.275	257.670	257.670	44%	0,70	8.030	4,54	3,60	0,12	1,39	0,005	1,4	0,7	55,0	1168	3	18,9
GHA	Ghana	AFR	29.767.108	227.540	227.540	96%	0,59	2.202	5,10	4,02	0,11	1,39	0,022	63,6	2,1	66,6	351	4	22,2
GNB	Guinea-Bissau	AFR	1.874.309	28.120	28.120	96%	0,46	778	5,60	4,46	0,10	1,39	#N/A	1,2	0,6	4,0	#N/A	0	24,9
KEN	Kenya	AFR	51.393.010	569.140	569.140	82%	0,59	1.711	5,78	4,50	0,09	1,38	0,006	92,5	1,8	39,3	164	4	21,5
LBR	Liberia	AFR	4.818.977	96.320	96.320	93%	0,44	674	4,88	3,88	0,11	1,41	#N/A	2,6	0,5	1,3	#N/A	0	39
LSO	Lesotho	AFR	2.108.132	30.360	30.360	64%	0,52	1.324	5,54	5,13	0,08	1,17	#N/A	0,4	0,2	15,7	#N/A	0	13,9
MAR	Morocco	MENA	36.029.138	446.300	446.300	81%	0,67	3.238	5,56	5,01	0,09	1,31	0,041	205,5	5,7	100,0	904	7	12,3
MDG	Madagascar	AFR	26.262.368	581.800	581.800	77%	0,52	461	5,63	4,76	0,09	1,31	#N/A	33	1,3	17,3	#N/A	0	15,7
MLI	Mali	AFR	19.077.690	1.220.190	1.220.190	40%	0,43	901	6,02	4,68	0,09	1,24	#N/A	19,6	1,0	1,8	#N/A	0	13,6
MOZ	Mozambique	AFR	29.495.962	786.380	786.380	85%	0,44	490	5,38	4,44	0,10	1,23	0,009	17	0,6	5,0	479	4	10,4
MRT	Mauritania	AFR	4.403.319	1.030.700	1.030.700	25%	0,52	1.219	6,04	4,75	0,09	1,20	#N/A	86,1	19,6	2,3	#N/A	2	17,7
MWI	Malawi	AFR	18.143.315	94.280	94.280	93%	0,48	389	5,59	4,60	0,09	1,38	#N/A	22,7	1,3	4,0	#N/A	0	11,5
NER	Niger	AFR	22.442.948	1.266.700	1.266.700	30%	0,35	412	6,26	4,84	0,09	1,24	0	20	0,9	4,7	51	0	19,3
NGA	Nigeria	AFR	195.874.740	910.770	910.770	97%	0,53	2.028	5,44	4,30	0,10	1,40	0,014	19,1	0,1	41,1	145	0	13,6
RWA	Rwanda	AFR	12.301.939	24.670	24.670	78%	0,52	773	5,08	4,10	0,10	1,22	#N/A	30,3	2,5	17,8	#N/A	5	13,9
SDN	Sudan	AFR	41.801.533	#N/D	1.886.068	46%	0,50	977	6,32	4,94	0,09	1,42	#N/A	17,6	0,4	22,2	190	3	4,4
SEN	Senegal	AFR	15.854.360	192.530	192.530	83%	0,51	1.522	5,80	4,58	0,09	1,28	0,009	134	8,5	38,3	229	5	17,3
SLE	Sierra Leone	AFR	7.650.154	72.180	72.180	97%	0,42	523	5,12	4,09	0,10	1,46	#N/A	4,2	0,5	2,5	#N/A	0	20,4
SOM	Somalia	AFR	15.008.154	627.340	627.340	90%	#N/A	315	6,03	4,76	0,09	1,50	#N/A	7,1	0,5	11,6	#N/A	#N/A	#N/A
SSD	South Sudan	AFR	10.975.920	#N/D	619.745	65%	0,39	283	5,68	4,46	0,10	1,40	#N/A	0,5	0,0	5,9	44	#N/A	#N/A
TCD	Chad	AFR	15.477.751	1.259.200	1.259.200	46%	0,40	730	6,26	4,84	0,09	1,38	#N/A	0,2	0,0	2,2	#N/A	0	20,5
TGO	Togo	AFR	7.889.094	54.390	54.390	98%	0,50	672	5,22	4,12	0,10	1,41	0,011	3	0,4	19,4	155	3	17
TZA	Tanzania	AFR	56.318.348	885.800	885.800	81%	0,54	1.051	5,66	4,51	0,09	1,31	0,003	25,4	0,5	16,9	104	5	12,6
UGA	Uganda	AFR	42.723.139	200.520	200.520	82%	0,52	643	5,64	4,46	0,10	1,24	#N/A	48	1,1	18,0	#N/A	0	17,1
ZMB	Zambia	AFR	17.351.822	743.390	743.390	80%	0,59	1.540	5,88	4,83	0,09	1,39	0,007	5	0,3	2,7	717	4	4,7
ZWE	Zimbabwe	AFR	14.439.018	386.850	386.850	95%	0,53	2.147	5,78	4,86	0,09	1,27	0,01	10,6	0,7	15,6	609	0	11,9

4. PLANISFERIO DE LAS ZONAS CLIMÁTICAS DEL MUNDO



CLIMAS FRÍOS

- **Localización:** Entre los 60° y 90° de latitud Norte y Sur. En alta montaña, por encima de 2.500 m.
- **Temperatura media anual** no supera los 0°C en zonas polares. En alta montaña disminuye con la altitud.

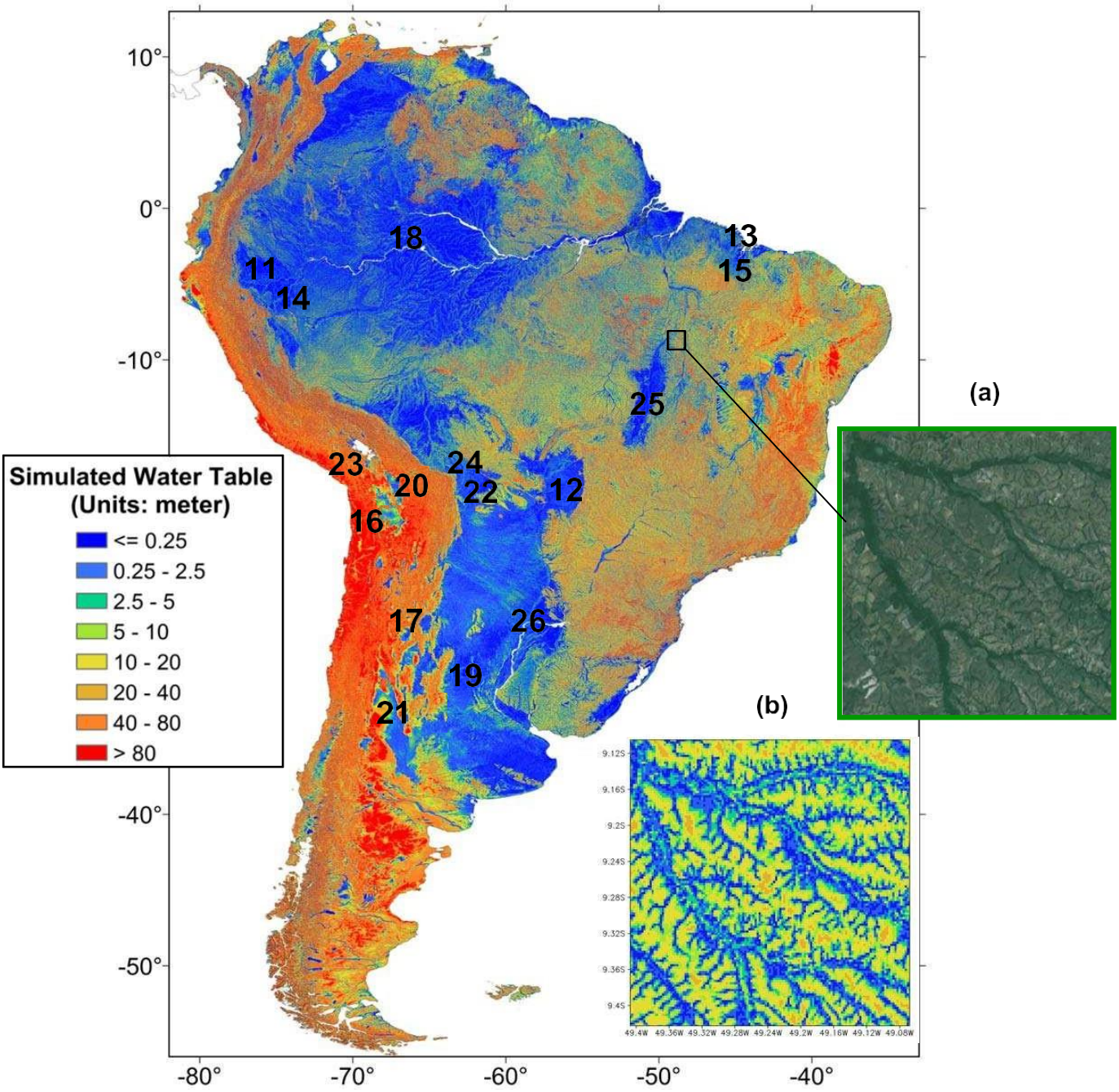
CLIMAS TEMPLADOS

- **Localización:** Entre los 30° y 60° de latitud Norte y Sur.
- **Temperatura media anual** entre 0° y 20°C.

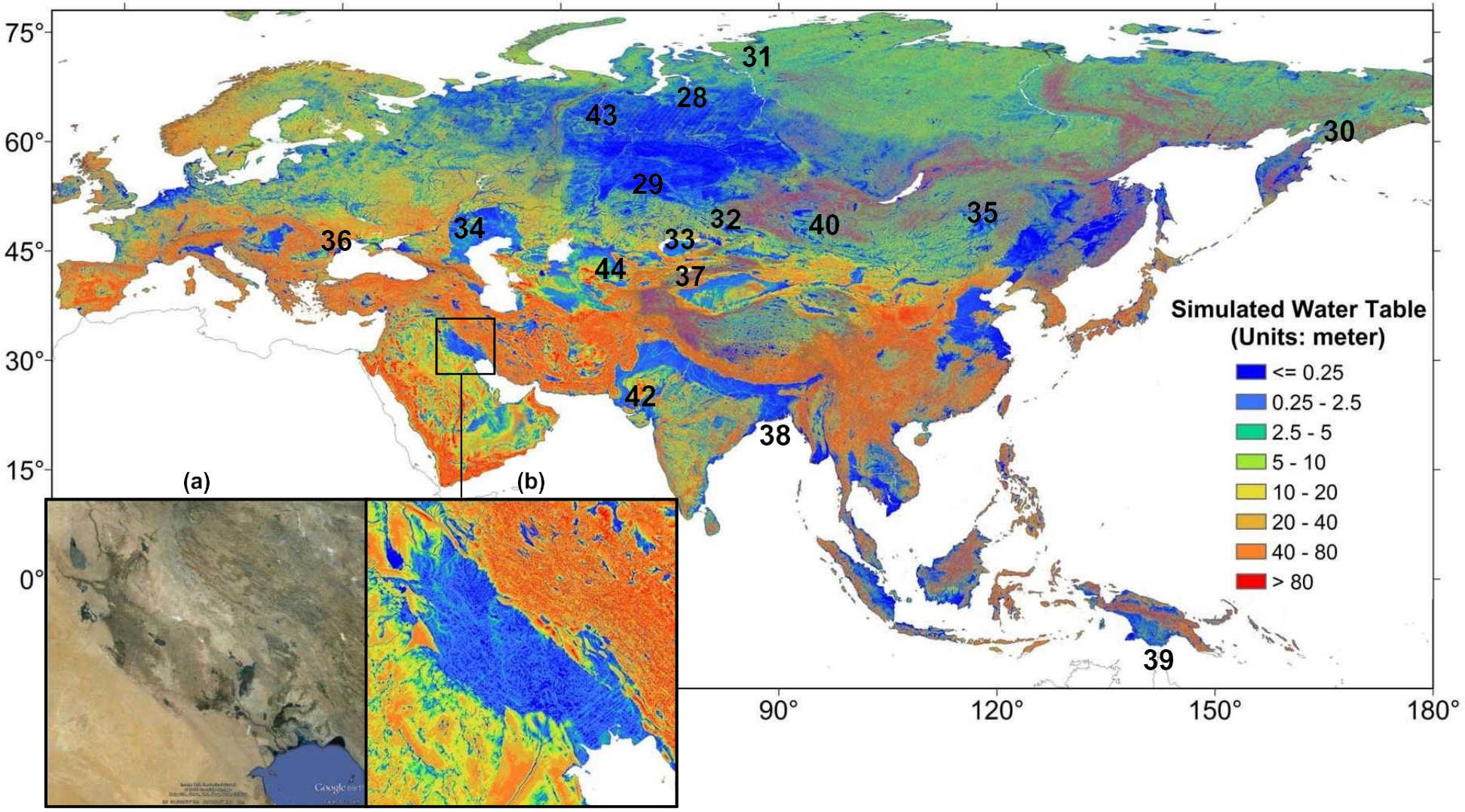
CLIMAS CÁLIDOS

- **Localización:** Entre los 0° y 30° de latitud Norte y Sur.
- **Temperatura media anual** superior a 20°C.

5. MAPA DEL NIVEL FREÁTICO DE SUDAMÉRICA



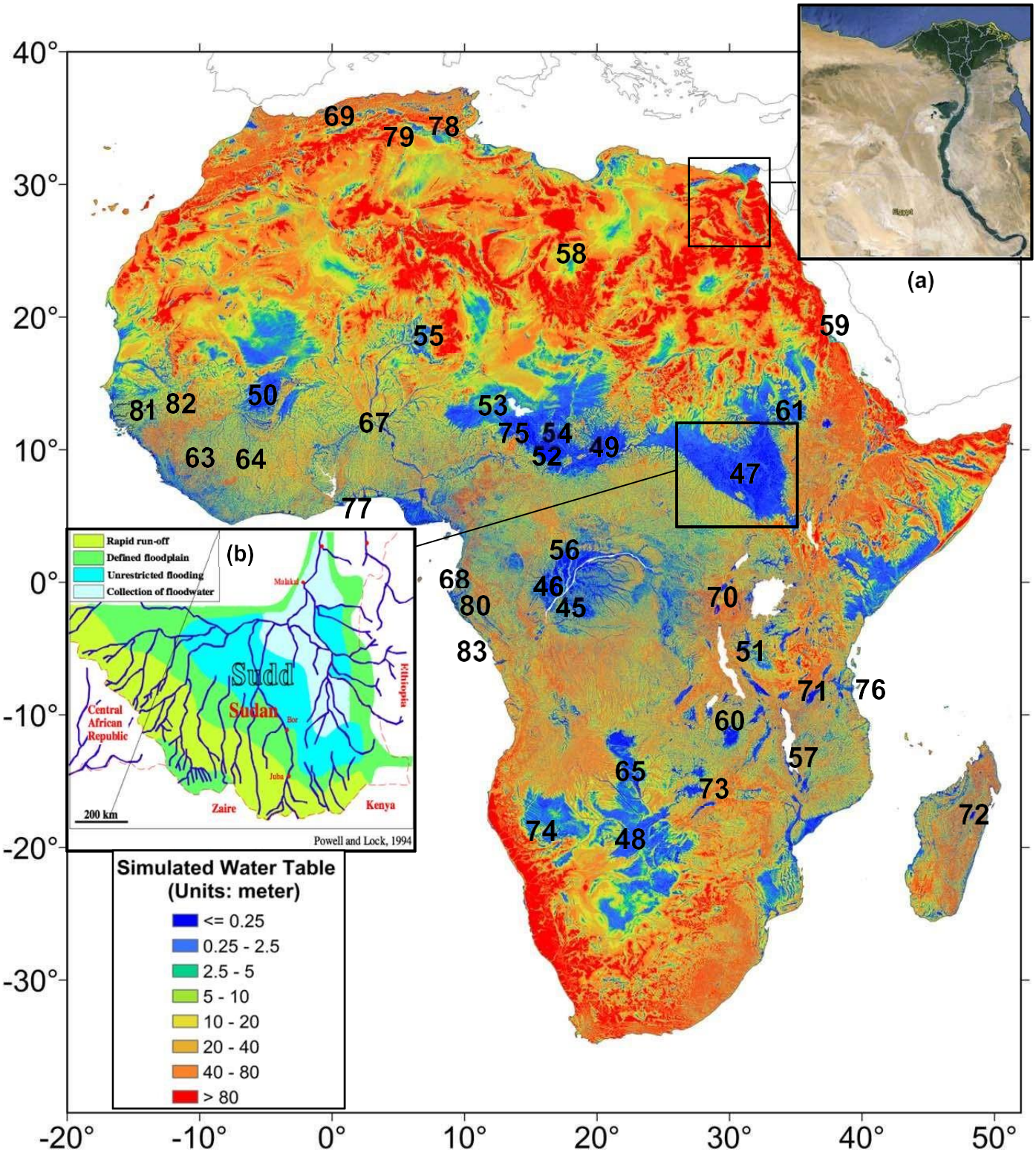
Simulated WTD in S. America, showing (a) the gallery forests along valleys carved into the Brazilian shields, (b) modeled WTD over the same region showing groundwater seeps at the base of the slopes. The numbers correspond to the top 85 largest Ramsar wetlands found on this continent



6. MAPA DEL NIVEL FREÁTICO DE ASIA

Simulated WTD in Europe and Asia showing the Mesopotamian Marshes of Iraq and Iran on the Persian Gulf coast (a) and the corresponding WTD (b). The numbers indicate the world's 85 largest Ramsar wetlands found on this continent (Table S2). The stripes north of 60°N are from ASTER digital topography data.

7. MAPA DEL NIVEL FREÁTICO DE ÁFRICA



Simulated WTD in Africa, showing the oases in the lower Nile (a) and the flooding characterisics of the Sudd Swamps (b) (*227*), also described as the Great Marsh of the White Nile (*228*). The numbers indicate the world's 85 largest Ramsar wetlands found on this continent

8. TABLA DE LOS HUMEDALES RAMSAR DE SUDAMÉRICA

	Wetland Humedal	**Country País**	**State Estado**	**Protected Area Zona protegida (km2)**	**Lat.**	**Long.**
11	*Complejo de humedales del Abanico del río Pastaza*	Peru	Loreto	38.273	- 4,00	- 75,42
12	*Pantanal Matogrossense*	Brazil	Mato Grosso	1.350	- 17,65	- 57,42
	Pantanal Boliviano	Bolivia	Santa Cruz	31.899	- 18,00	- 58,50
				33.249		
13		Brazil	Maranhlo	26.809	- 1,68	- 45,07
14		Peru	Loreto	20.800	- 5,25	- 74,67
15	*Baixada Maranhense Environmental Protection Area*	Brazil	Maranhlo	17.750	- 3,00	- 44,95
16		Bolivia	Potosí	14.277	- 22,17	- 67,40
53	*Lagunas Altoandinas y*	Argentina	Catamarca	12.282	- 26,87	- 67,93
18	*Bañados del Río Dulce y*	Brazil	Amazonas	11.240	- 2,30	- 66,03
19	*Laguna de Mar Chiquita*	Argentina	Córdoba	9.960	- 30,38	- 62,77
20	*Lagunas de Guanacache, Desaguadero y del Bebedero*	Bolivia	Oruru	9.676	- 18.77	- 67.12
21		Argentina	Mendoza, San Juan, San Luis	9.624	- 33,00	- 67,60
22	*Palmar de las Islas y las*	Bolivia	Santa Cruz	8.568	- 19,25	- 61,00
23	Lago Titicaca (Sector Boliviano)	Bolivia	La Paz	8.000	- 16,17	- 68,87
24	*Bañados del Izozog y el rioParapeti*	Bolivia	Santa Cruz	6.159	- 18,45	- 61,82
25	*Ilha do Bananal*	Brazil	Tocantins	5.623	- 10,52	- 50,20
26	*Humedales Chaco*	Argentina	Chaco	5.080	- 27,33	- 58,83

Los 85 humedales Ramsar de importancia internacional más grandes del mundo (>5.000 km2). Dentro de cada continente, se clasifican por la extensión del área protegida. Cuando un humedal abarca más de un país, las contribuciones se sombrean y se obtiene el área total.

"Global Patterns of Groundwater Table Depth" por Y. Fan, H. Li y G. Míguez-Macho

9. TABLA DE LOS HUMEDALES RAMSAR DE ASIA

	Wetland Humedal	Country País	State Estado	Protected Area Zona protegida (km2)	Lat.	Long.
27	*Réserve Naturelle Nationale des Terres Australes Réserve Naturelle Nationale des Terres Australes Françaises*	France	Terres Australes et Antarctiques Fr.	22.700	- 43,12	63,85
28	*"Brekhovsky Islande in Ynisei esturay"*	Russia	Taimyrsky/Dolgano-Nenets	14.000	70,50	82,75
29	*Tobol-Ishim Forest-steppe*	Russia	Tyumen Oblast	12.170	55,45	69,00
30	*Parapolsky Dol*	Russia	Korak Autonomous Area	12.000	61,62	165,78
31	*Area between the Pura & Mokoritto rivers*	Russia	Taimyrsky/Dolgano-Nenets	11.250	72,53	85,50
32	*Ili River Delta and South Lake Balkhash*	Kazakhstan	Almaty Oblast	9.766	45,60	74,73
33	*Alakol-Sasykkol Lakes System*	Kazakhstan	Almaty, East Kazakhstan Oblasts	9.147	46,27	81,53
34	*Volga Delta*	Russia	Astrakhan Oblast	8.000	45,90	48,78
35	*Dalai Lake National Nature Reserve, Inner Mongolia*	China	Inner Mongolia	7.400	48,55	117,50
36	*Danube Delta*	Romania	Tulcea County	6.470	45,17	29,25
37	*Isyk-Kul State Reserve with the Lake Isyk-Kul*	Kyrgyz		6.236	42,45	77,27
20	*Sundarbans Reserved Forest*	Bangladesh	Khulna	6.017	22,03	89,52
21	*Tonda Wildlife Management Area*	Papua New Guinea	Western Province	5.900	-8,75	141,38
22	*Lake Uvs and its surrounding wetlands*	Mongolia	Uvs Province	5.850	50,33	92,75
23	*Eqalummiut Nunaat and Nassuttuup Nunaa*	Denmark (Greenland)	Kangaatsiaq, Sisimiut	5.795	67,47	-50,82
24	*Runn of Kutch*	Pakistan	Sindh	5.664	24,38	70,08
25	*Lower Dvuobje*	Russia	Khanty-Mansi & Yamalo-Nenets	5.400	64,53	65,77
26	*Aydar Arnasay Lakes System*	Uzbekistan	Dzhizak, Navoi	5.271	40,78	67,77

84	Coongie Lakes		South Australia	19.800	-27,45	140,00
85	Kakadu National Park		Northern Territory	19.798	-13,02	132,43

Los 85 humedales Ramsar de importancia internacional más grandes del mundo (>5.000 km2). Dentro de cada continente, se clasifican por la extensión del área protegida. Cuando un humedal abarca más de un país, las contribuciones se sombrean y se obtiene el área total.

"Global Patterns of Groundwater Table Depth" por Y. Fan, H. Li y G. Míguez-Macho

10. TABLA DE LOS HUMEDALES RAMSAR DE ÁFRICA

	Wetland Humedal	Country País	State Estado	Protected Area Zona protegida (km2)	Lat.	Long.
45	*Ngiri-Tumba-Maindombe*	Dem Rep Congo	Equateur, Bandundu	65.696	- 1,50	17,50
46	*Grands affluents*	Congo	Plateaux, Cuvette, Sangha, Likouala	59.081	- 0,25	16,70
47		Sudan	Southern Sudan	57.000	7,57	30,65
48	*Okavango Delta System*	Botswana	Ngamiland	55.374	- 19,28	22,90
49	*Plaines d"inondation des Bahr Aouk et Salamat*	Chad	Salamat, Bahr Koh	49.220	10,75	20,55
50	*Delta Intérieur du Niger*	Mali	Mopti, Ségou,Tomboctou	41.195	15,20	- 4,10
51	*Malagarasi-Muyovozi Wetlands*	Tanzania	Kigoma, Shinyanga, & Tabora	32.500	- 5,00	31,00
52	*Plaines d"inondation du Logone et les dépressions Toupouri*	Chad	Chari-Baguirmi, Mayo-Kebbi, Tandjilé	29.789	10,50	16,23
53	*Partie tchadienne du lac Tchad*	Chad	Lac, Kenam	16.482	14,33	13,62
	Lake Chad Wetlands in Nigeria	Nigeria	Borno	6.074	13,07	13,80
	Lac Tchad	Niger	Diffa	3.404	14,25	13,33
	Partie Camerounaise du Lac Tchad	Cameroon	Far North Region	1.250	12,77	14,32
				27.210		
54	*Plaine de Massenya* Plaine de Massenya	Chad	Baguirmi	25.260	11,25	16,25
55	*Gueltas et Oasis de l"Ai'r* Gueltas et Oasis de l"Aïr	Niger	Agadez	24.132	18,30	9,50
56	*Sangha-Nouabalé-Ndoki* Sangha-Nouabalé-Ndoki	Congo	Sangha, Likouala	15.250	1,68	16,43
57	*Lake Niassa and its Coastal Zone (Lago Niassa e Zona Costeira)*	Mozambique	Niassa Province	13.637	- 12,50	34,85
58	*Banu d"Arguin*	Mauritania		12.000	20,83	16,75
59	*Suakin-Gulf of Agig*	Sudan	Red Sea State	11.250	18,57	38,08
60	*BangweuluSwamps*	Zambia	Northern Province	11.000	- 11,42	29,98
61	*Dinder NationalPark(DNP)*	Sudan	Sennar State	10.846	12,32	34,78
62	*Niger-Niandan-Milo*	Guinea	Kankan	10.464	10,50	- 9,50
63	*Niger-Mafou*	Guinea	Kankan, Faranah	10.155	9,88	- 10,62
64	*Sankarani-Fié*	Guinea	Kankan	10.152	10,42	- 8,50
65	*Zambezi Floodplains*	Zambia	Western Province	9.000	- 15,25	23,25
66	*Tinkisso*	Guinea	Faranah, Kankan	8.960	11,22	- 10,58
67	*Site Ramsar du Complexe W*	Benin	Alibori	8.955	11,83	2,50
68	*Site Ramsar Bas Ogooué*	Gabon	Moyen Ogooué,Ogooué maritime	8.627	- 0,65	10,02
69	*Chott Ech Chergui*	Algeria	Saida	8.555	34,45	0,83
70	*Parc national des Virunga*	Dem Rep Congo	Nord-Kivu	8.000	- 1,25	29,50
71	*Kilombero Valley Floodplain*	Tanzania	Morogoro Region	7.967	- 8,67	36,17
72	*Le Lac Alaotra: les zoneshumides et bassins versants*	Madagascar	Ambatondrazaka	7.225	- 17,47	48,52
73	*Kafue Flats*	Zambia	Southern & Central Provinces	6.005	- 15,68	27,27
74	*Etosha Pan, Lake Oponono & Cuvelai drainage*	Namibia		6.000	- 19,25	15,50
75	*The Waza Lagone Floodplain*	Cameroon	Far North Region	6.000	11,63	14,62
76	*Rufiji-Mafia-KiIwa Marine Ramsar Site*	Tanzania	Coast, Lindi Regions	5.969	-8,13	39,63
77	*Zones Humides du Littoral du Togo*	Togo	Maritime	5.910	6,57	1,42
78	*Chott El Jerid*	Tunisia	Tozeur, Kebili		33,70	8,40
79	*Chott Melghir*	Algeria	El Oued, Biskra, Khenchela	5.515	34,25	6,32
80	*Site Ramsar des Monts Birougou*	Gabon	Ngounié, Ogooué-Iolo	5.368	- 0,65	10,02
81	*Gambie-Oundou-Liti*	Guinea	Labé	5.274	11,55	- 12,30
82	*Bafing-Falémé*	Guinea	Labé	5.173	12,00	- 11,50
83	*Conkouati-Douli*	Congo	Kouilou	5.050	- 3,92	11,45

11. VALORES DE REFERENCIA DE LA OMS PARA CONTAMINANTES DE CONSTRUCCIÓN

Valores de referencia de la OMS para la calidad del agua potable: contaminantes químicos I

Compuesto	Valor de referencia
Antimonio	0,02 mg/l (20 µg/l) Como la fuente más común de antimonio en el agua potable parece ser la disolución de tuberías y accesorios metálicos, el control del antimonio de tales fuentes debe hacerse mediante el control del producto.
Benzo[a]pireno	0,0007 mg/l (0,7 µg/l) La presencia de concentraciones significativas de benzo[a]pireno en el agua potable en ausencia de concentraciones muy altas de fluoranteno indica la existencia de partículas de alquitrán de hulla, que pueden proceder del grave deterioro de las tuberías revestidas de alquitrán de hulla Se recomienda que se suspenda el uso del alquitrán de hulla y de materiales similares para el revestimiento de las tuberías y los tanques de almacenamiento
Cobre	2 mg/l (2000 µg/l) En la mayoría de los casos en que se utilizan tubos de cobre como material de fontanería, las concentraciones de este metal deben estar por debajo del valor de referencia. Sin embargo, en algunas condiciones, como las aguas altamente ácidas o agresivas, que darán lugar a concentraciones de cobre mucho más altas, el uso de tubos de este material puede no ser apropiado.
Plomo	0,01 mg/l (10 µg/l) Este es un valor orientativo provisional, ya que los principales efectos del plomo no parecen tener un umbral. El plomo es excepcional en comparación con otros peligros químicos, ya que la mayor parte del plomo contenido en el agua potable proviene de las tuberías de los edificios, y la solución consiste principalmente en eliminar la fontanería y los accesorios que contienen plomo. Deben aplicarse todas las demás medidas prácticas para reducir la exposición total al plomo, incluido el control de la corrosión.
Níquel	0,07 mg/l (70 µg/l) Cuando el níquel se filtra de aleaciones en contacto con el agua potable o de grifos de cromo o niquelados, el control se realiza mediante un control adecuado de los materiales que están en contacto con el agua potable y los sistemas de descarga de agua antes de utilizarla.
Cloruro de vinilo	0,0003 mg/l (0,3 µg/l) Como el cloruro de vinilo es un carcinógeno humano conocido, la exposición a este compuesto debe evitarse en la medida de lo posible, y sus niveles deben mantenerse tan bajos como sea posible. El cloruro de vinilo es un importante motivo de preocupación como contaminante potencial de cierta proporción de las tuberías a base de este compuesto y se controla mejor mediante la especificación de la calidad del material

From: 8, Directrices de la OMS para otros factores de riesgo clave de la vivienda

12. VALORES DE REFERENCIA DE LA OMS PARA ELEMENTOS QUÍMICOS

Valores orientativos de la OMS para la calidad del agua potable: contaminantes químicos II

Compuesto	Valor de referencia
Arsénico	0,01 mg/l (10 µg/l) El valor de referencia se establece como provisional sobre la base del desempeño del tratamiento y la viabilidad analítica. El arsénico suele estar presente en aguas naturales en concentraciones inferiores a 1 µg/l. Sin embargo, en las aguas, en particular las subterráneas, donde hay depósitos minerales de sulfuro y depósitos sedimentarios derivados de rocas volcánicas, las concentraciones pueden ser significativamente elevadas. Se han observado indicios de arsenicismo crónico, incluido en traumatismos dérmicos, como la hiperpigmentación e hipopigmentación, la neuropatía periférica, cáncer de piel, cáncer de vejiga y pulmón y enfermedades vasculares periféricas, en poblaciones que consumen agua potable contaminada con arsénico. Para los suministros locales de agua no corriente, la primera opción para el control del arsénico es a menudo la sustitución de dicho suministro por fuentes microbianamente seguras de contenido bajo de arsénico o la dilución con esas fuentes. También puede ser apropiado utilizar fuentes alternativas para beber y cocinar, pero utilizar las fuentes contaminadas para bañarse o para lavar la ropa
Fluoruro	1,5 mg/l (1500 µg/l) En muchas aguas están presentes trazas de fluoruros, en que las concentraciones más altas a menudo se asocian con las aguas subterráneas. Cuando el agua potable contiene 3-6 mg/l de fluoruro, particularmente con un alto consumo de agua se puede manifestar fluorosis esquelética (con cambios perjudiciales en la estructura ósea). La fluorosis esquelética paralizante generalmente se desarrolla solo cuando el agua potable contiene más de 10 mg/l. El riesgo de fluorosis dental dependerá de la ingesta total de fluoruro de todas las fuentes y no solo de la concentración en el agua potable. Está disponible un documento de orientación sobre la gestión del flúor. En algunos países, el flúor también puede añadirse al agua potable para proporcionar protección contra la caries dental, de tal manera que las concentraciones finales suelen oscilar entre 0,5 y 1 mg/l
Nitrato	50 mg/l (50 000 µg/l) La metahemoglobinemia se ha asociado con mayor frecuencia con los pozos privados. El medio más adecuado para controlar las concentraciones de nitratos, especialmente en las aguas subterráneas, es la prevención de la contaminación. Esto puede adoptar la forma de una gestión adecuada de las prácticas agrícolas, la ubicación cuidadosa de las letrinas de pozo y las fosas sépticas, el control de fugas del alcantarillado, así como la gestión del uso de fertilizantes y estiércol y el almacenamiento de estiércol animal. También puede adoptar la forma de desnitrificación de los efluentes de aguas residuales

From: 8, Directrices de la OMS para otros factores de riesgo clave de la vivienda

13. VALORES DE REFERENCIA DE LA OMS PARA BACTERIAS

Valores de referencia de la OMS para la calidad del agua potable: bacterias

Agente patógeno	Valor de referencia
Legionella spp	No existe ningún valor de referencia para la *Legionella* La temperatura del agua es un elemento importante de las estrategias de control de la *Legionella*. Siempre que sea posible, las temperaturas del agua deben mantenerse fuera del intervalo de 25-50°C y preferiblemente fuera del intervalo de 20-50°C para evitar el desarrollo de este organismo En los sistemas de agua caliente, las temperaturas que producen los calentadores deben estar por encima de 60°C, y a lo largo de las tuberías asociadas deben mantenerse temperaturas superiores a 50°C. Sin embargo, el mantenimiento de temperaturas del agua caliente por encima de 50°C puede representar un riesgo de quemadura en los niños y niñas de corta edad, las personas mayores y otros grupos vulnerables. Cuando las temperaturas de los sistemas de distribución de agua caliente o fría no puedan mantenerse fuera del intervalo de 25-50°C, se requiere prestar una mayor atención a la desinfección y a las estrategias destinadas a limitar el desarrollo de biopelículas
Escherichia coli	*Escherichia coli (E. coli)* o las bacterias coliformes termotolerantes no deben poderse detectar en ninguna muestra de 100 ml La presencia de *E. coli* indica contaminación fecal del agua potable debido a contaminación cruzada. La contaminación cruzada puede ocurrir en edificios debido a la conexión cruzada con sistemas de agua no potable o durante el transporte o almacenamiento de agua en condiciones de suministro de aguas no canalizadas cuando los hogares necesitan buscar agua en una fuente exterior de su hogar.

From: 8, Directrices de la OMS para otros factores de riesgo clave de la vivienda

14. GUÍAS Y DOCUMENTACIÓN DE PROYECTOS DE AGUA DE MANOS UNIDAS

Guide for the presentation of Water Technical Projects (V3 - 24/05/2022)	
Proyect Nº	**KEN 76008**

Manos Unidas
CAMPAÑA CONTRA EL HAMBRE

Previous instructions

1.	The objective of this document is helping the Local Partner to prepare the **Technical Project** Documentation that they must send to Manos Unidas.	
2.	This **document is complementary** to the Guide for the Elaboration and Presentation of Cooperation for Development Projects, so here the required data will only be indicated if they are not included in the Guide.	
3.	**In all cases the following documents must be attached:**	
	3.1	Technical description of the project (1 to 3 pages), explaining the parts of which it is composed, how it is intended to be built/installed, what controls are planned, etc.
	3.2	Geodetic coordinates of the location of each of the main parts of the project (all those separated by more than 100 meters).
	3.3	Measurements table elaborated by the hired Technician for the Project.
	3.4	Budget valued by the competent Technician for the Technical Project, of the previous measurements, of the Work Units, Installations, equipment, etc.
	3.5	At least two economic offers of providers/installators/constructors with the budgets disaggregated by construction units and unitary prices.
	3.6	Explanations in case of impossibility of submitting any of the previous documents.
4.	In the next page, regarding the items with the indication **(P)**, this means that detailed plans must be submitted, or handmade and dimensioned drawings.	
5.	If the Technical Project includes infrastructure related to buildings or energy production, the "Guide for the Presentation of Technical Building or Energy Projects" must also be attached, as applicable to this Project.	
6.	Along with the required documentation, **the Local Partner must send this document to Manos Unidas filling in** the columns "D" and "E" of the next pages.	
7.	In the cases in which, apart from specific data, detailed information is required, the Local Partner must include an Annex.	
8.	The documents that the Local Partner submits **must be numbered with the same code** that the concept of the column "C" of the next page they respond to has.	

Guide for the Presentation of **Water** Projects (V3 - 24/05/2022)			
GENERAL IDENTIFICATION	**DOCUMENT**	**¿It's submitted? Indicate YES/NO**	**LOCAL PARTNER COMMENTARIES**
A.- Existing infrastructure: Previous technical analysis to check if there are infrastructures that can be repaired instead of building new ones.	A1.- Description of the current water supply situation and already carried out work.		We currently depend on water from a borehole that was sunk in 2013 – during that time , the Congregation had not yet planned for access to clean and safe water for drinking and food preparation .So our current water supply was designed for domestic use at 22,500 liters per day and for substience crop irrigation at 10,000 liters per day as per the government permit . In this regards ; Main piping from the borehole to cover 1.6 ha of farm irrigation is already in place, Main underground piping for domestic water use is already done to reach the kitchen directly, Administration block , and the new 18 flush toilets , 6 urinal bowls ,and 12 handwashing taps and another 2 flush toilets in the rehabilitation block. In 2021 we implemented a water drinking point by installing a reverse osmosis purifier system with a maximum capacity to purify 250 liters per day from our borehole water that has 7.2 mg/l of fluoride for use daily for drinking by over 115 persons who are in the institution daily (learners with disabilities and key personnel. Attached is the water supply map
	A2.- ¿Is it possible to repair or extend the existing infrastructure?, ¿what would be done?		Yes-it is possible to extend the existing water infrastructure by installing a roof top rain water harvesting system , a conveyance system and storage tank to increase the amount of water for hygiene and sanitation.
	A3.- ¿Has the rainwater usage been considered?, ¿could it be taken advantage of?		Yes rain water has been considered . It could be taken advantage of because we have a total roof area space of 1,485 meters squared without gutters .
	A4.- Identify and relate the existing/available water resources in the area, indicate them in a map (P).		Indicated
B.- Water demand: Adapt the systems (human and animal consumption, watering systems) to the necessities and calculate the demand volume.	B1.- ¿What specific uses will the water be put to?		1. Drinking; 2. Cooking; 3. Personal hygiene i.e. handwashing, bathing , dental hygiene ; 4. Menstrual Hygiene; 5. Sanitation – flushing the toilets, cleaning facilities; 6. Irrigation (First flush rain water and surplus) –farm and gardens
	B2.- Estimate the number of people, livestock (indicate the number of heads of each type) or crops (indicate the number of hectares and type of crops) to be supplied by the project.		320
	B3.- ¿What will be the daily provision (liters per person, per livestock head and type and crop per ha)?		1. 10 liters per person per
	B4.- ¿What average distance will a person have to travel from their home to the water collection point?, ¿how many people will be supplied in each point?		1: Average Distance - 70 meters; 2: 1 tap for 20 people
C.- Water quantity: Adapt the systems (human and animal consumption, watering systems) to the availabke resources and calculate the available volume.	C1.- Has an inventory of superficial water and other nearby supplies been made?, locate them in a map (P).		Yes as located in the attached map
	C2.- Has an inventory of nearby underground water been made?. Information and location in a map (P).		Yes , as located in the attached map
	C3.- Has a hydrogeological study been carried out?		Yes , report annexed
	C4.- Has a geophysical study been carried out?, Vertical Electrical Sounding (VES)		Yes ,report annexed
D.- Water quality: Adapt the systems (human and animal consumption, watering systems) to the quality of the water.	D1.- Has a chemical analysis of the available water been carried out?, attach it, ¿does the available water require treatment?		Yes ,
	D2.- ¿Has a bacteriological analysis of the available water been carried out, attached, does the available water require treatment?		Yes
	D3.- Given the location of the water collection point, is there risk of pollution due to products used in agriculture?, risk of pollution due to the livestock?, and risk of pollution due to the existence of latrines?, show in a map the location of all these elements (P).		No
E.- Design summary and alternatives: Technical design, infrastructure quality, alternative designs.	E1.- Indicate the pros and cons considered for the project, and the alternatives relating the advantages and disadvantages.		Design 1 – Utilizing an existing 448 meter cubic pit that was dug in 2016 as a provision for underground water tank – marked X in the map. The advantage of this design is that the pit is already existing thus cutting the cost of excavation . Cons ; The pit is too big in relation to the expected water harvest per year -868 meters cubic. This would affect the optimization of the stored water. The pit is located next to the road making it vulnerable to pollution and sabotage of its solar system as the fence is very weak. Secondly , considering the topography of the Centre , it would be more expensive to convey the water harvested to this tank as it is on raised ground hence need for more piping and pipes will be exposed to achieve gradient which .Additionally its less than 20 meters from the main septic tank Alternative 2 – Guided by the expected water harvest per year , need to protect the water storage from pollution , to achieve drainage ; we propose Design 2 – Providing for a 181 meter cubic 2 chamber reinforced concrete tank marked Y . Pros – 1. All our main water infrastructure will be consolidated in one area , making it easier to secure and use. 2. The conveyance system will be cheaper and achievable due to the topography where the water will drain to the tank through gravity . 3. Number of piping connections , bends , will greatly reduce ensuring , pressure and less costs of maintain ace. Cons ; The cost of excavating for a new tank and filling up the old provision will be relatively high.

Guide for the presentation of **Water** Projects (V3 - 24/05/2022)

<table>
<tr><th>SPECIFIC IDENTIFICATION, DEPENDING ON PROJECT TYPE</th><th>DOCUMENT</th><th>¿It's submitted? Indicate YES/NO</th><th>LOCAL PARTNER COMMENTARIES</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="5">J.- Water catchment: rivers and springs.</td><td>J1.- Estimation of gauging (water flow of a course or river or amount of water that can be extracted from a well in a given period of time) at different times of the year. Explain how they have been obtained.</td><td></td><td>N.A</td></tr>
<tr><td>J2.- Selection of the water catchment point and justification, indicate its location in a map. (P)</td><td></td><td>N.A</td></tr>
<tr><td>J3.- Construction process of the weir or small dam, the water catchment point, the bypass canal, the sand catcher and load chamber, load breaker chambers. Include drawings/charts. (P)</td><td></td><td>N.A</td></tr>
<tr><td>J4.- Flood forecasting (only in the case of rivers).</td><td></td><td>N.A</td></tr>
<tr><td>J5.- Water catchment protection system. Include drawings/charts. (P)</td><td></td><td>N.A</td></tr>
<tr><td rowspan="14">K.- Undergroung catchment: Drilled wells.</td><td>K1.- Phreatic levels of the area's aquifers.</td><td></td><td>N.A</td></tr>
<tr><td>K2.- Depth of the planned well.</td><td></td><td>N.A</td></tr>
<tr><td>K3.- Diameter of the planned well.</td><td></td><td>N.A</td></tr>
<tr><td>K4.- Depth of the casing that will be installed.</td><td></td><td>N.A</td></tr>
<tr><td>K5.- Diameter of the casing.</td><td></td><td>N.A</td></tr>
<tr><td>K6.- Depth(s) of the slotted or perforated zones.</td><td></td><td>N.A</td></tr>
<tr><td>K7.- Depth at which the pump will be installed.</td><td></td><td>N.A</td></tr>
<tr><td>K8.- Type of pump (manual or electric submersible).</td><td></td><td>N.A</td></tr>
<tr><td>K9.- Static level of the water in the well (without pumping).</td><td></td><td>N.A</td></tr>
<tr><td>K10.- Dynamic level of the water in the well (with pumping).</td><td></td><td>N.A</td></tr>
<tr><td>K11.- Water flow, in liters per minute.</td><td></td><td>N.A</td></tr>
<tr><td>K12.- Data from the pumping test (if it was carried out).</td><td></td><td>N.A</td></tr>
<tr><td>K13.- Expected/actual lithological column.</td><td></td><td>N.A</td></tr>
<tr><td>K14.- Previous chemical and bacteriological analysis.</td><td></td><td>Yes - Chemical Analysis</td></tr>
<tr><td rowspan="4">L.- Rainwater collection.</td><td>L1.- Type of collection (roof, specific structure,…).</td><td></td><td>Roof Area</td></tr>
<tr><td>L2.- Collector surface.</td><td></td><td>Iron Sheets</td></tr>
<tr><td>L3.- Seasonal rain cycle in the area.</td><td></td><td>590 mm/year</td></tr>
<tr><td>L4.- Calculation of the storage tank's capacity.</td><td></td><td>
<table>
<tr><th></th><th>Roof Area (sqm)</th><th>Runoff coefficient</th><th>Precipitation (mm/year)</th><th>Expected Water Harvested Liters/yr</th><th>supply of water in storage tank is in (m3/year):</th></tr>
<tr><td>Totals</td><td>1,485.28</td><td>0.99</td><td>590</td><td>867,551</td><td>868</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td rowspan="4">M.- Water pumps (indicate the required information for each one installed).</td><td>M1.- Pump type, make and model.</td><td></td><td>Na</td></tr>
<tr><td>M2.- Criteria for the selection of the pump, main functioning parameters and characteristic curves.</td><td></td><td>Na</td></tr>
<tr><td>M3.- Power supply of the pump and criteria for its selection.</td><td></td><td>Na</td></tr>
<tr><td>M4.- Rising pipe: type, material, length and diameter.</td><td></td><td>Na</td></tr>
<tr><td rowspan="4">N.- Storage and tanks.</td><td>N1.- Selected water storage system, storage tank (elevated, buried or semi-buried). Attach drawings/charts. (P).</td><td></td><td>Buried – Reinforced Concrete Tank</td></tr>
<tr><td>N2.- Calculation of the capacity depending on the expected demand.</td><td></td><td>
<table>
<tr><th></th><th>Roof Area (sqm)</th><th>Runoff coefficient</th><th>Precipitation (mm/year)</th><th>Expected Water Harvested Liters/yr</th><th>supply of water in storage tank is in (m3/year):</th></tr>
<tr><td>Totals</td><td>1,485.28</td><td>0.99</td><td>590</td><td>867,551</td><td>868</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>N3.- Dimensions, materials and construction process. Attach drawings/charts. (P)</td><td></td><td>1. Site preparation and excavation.
2. Preparation of ground with vibrator.
3. Construction of reinforcement for foundation and sidewalls.
4. Concreting of the foundation.
5. Constructing the formwork for the sidewall and concreting the first segment.
6. Concreting the second segment of the sidewall.
7. Concreting the third segment.
8. Concreting the final segment.
9. Finishing walls and concreting the support pillar.
10. Construction of the formwork for the roof and the reinforcement.
11. Concreting of the roof.
12. Plastering the roof and constructing the manhole.
13. Finishing the manhole and doing several minor steps
Drawings attached</td></tr>
<tr><td>N4.- How will pressure be exerted over the network (by gravity, elevation of storage tanks, pumps,…)?</td><td></td><td>1. From the roofs the water will run through the conveyance system through gravity .
2. From the underground water tank to the existing overhead tank pressure will be exerted through a solar powered submersible pump</td></tr>
</table>

Guide for the presentation of **Water** Projects (V3 - 24/05/2022)

SPECIFIC IDENTIFICATION, DEPENDING ON PROJECT TYPE	DOCUMENT	¿It's submitted? Indicate YES/NO	LOCAL PARTNER COMMENTARIES
O.- Pipe network and water collection points.	O1.- Topography, layout selection. Attach maps. (P)		Map attached
	O2.- Hydraulic calculation of the network.		From the roofs the water will drain in 3'' downpipes to the underground conveyance pipping using 6''piping to the receiving tank and then pumped out using 4'' for pressure.
	O3.- Type of pipes, materials and joints.		We shall use HDPE pipes and fittings as they are more stronger and durable in the long run as opposed to PVC pipes .
	O4.- Valve boxes. Attach descriptive maps and with locations. (P)		Pointed in distribution layout
	O5.- Pipe protection, in their normal layout and in special places (for example: under pathways or in the crossing of gullies). Attach descriptive maps and with locations of the special protections. (P)		Down Pipes will be well clipped on the walls while the conveyance piping will be buried between 6" – 18" as will be dictated by the slope. Where the piping will cross the drive way – we shall burry the piping encased in iron piping to prevent any risk of breakage however minimal.
	O6.- Number of expected water taps and estimated waiting times. Attach map with locations. (P)		We already have 20 traps for handwashing and another 9 taps for clean and safe drinking water in place. Estimated waiting times is 2 minutes
	O7.- How will the water collection points be protected from pollution?		To prevent leaves and debris from entering the system, mesh filters will be provided at the mouth of the drainpipe. Further, a first-flush point will be provided in the conduit before it connects to the storage container.
P.- Water treatment.	P1.- Explain if any of these treatment types are necessary: physical, clarification (clotting, floculation, decanting or filtration).		Na
	P2.- Explain if any of these treatment types are necesssary: chemical, hardness correction, salinity correction, etc. (softening, reverse osmosis).		Already in place
	P3.- Explain if any of these treatment types are necessary: bacteriological, disinfection (cloration, solar disinfection, boiling, ozonization).		Chlorination to kill bacteria, viruses and other microbes in water.
Q.- Sanitation, overall.	Q1.- Description of the situation of the current sanitation system, latrines, cesspools, sewage outlets, grey waters separation, etc.		We currently have 18 flush latrines , 6flush urinal bowls served by 2 cesspools that drain into soak pits . Grey waters – we collect and separate the kitchen and water and water from handwashing points in the school and the farm into two 3m3 tank Latrine- we have a single pit latrine at the farm
	Q2.- Is the use of houses' grey waters for agricultre considered feasible?		Yes , we use the separated grey waters for watering our trees and flowers.
R.- Latrines	R1.- What type of latrine has been selected and why?		We want to improve our single pit latrine and make it a single Ventilated Improved Latrine . This will help deal with the bad smell and flies .
	R2.- Constructive details of the latrines, dimensions, available elements. Attach drawings/charts. (P)		Attached
	R3.- Is distinction by sex considered?		Considering that we have sufficient flush latrines in the school area and rehabilitation area , the farm Ventilated Latrine will be unisex for use by farm hand casuals . Our youth will use the new sanitation facilities that are disability friendly.
	R4.- How are the latrines protected from the runoff of superficial waters?		They pit cover is raised at least 25 cm
	R5.- How will it be prevented that the latrines pollute the water supplies? Attach maps with locations. (P)		The current latrine is raised to prevent fecal matter overflowing during the rain seasons and its located at the far end of the farm away from the main water sources. Additionally fecal matter will be exhausted regular by sewer trucks.
	R6.- If a cesspool is included: explain the connections and its maintenance. Attach drawings/charts. (P)		No
	R7.- Has the production of compost with waste been considered?		Yes , we currently use biodegrable waste to make compost that we use in the farm ; However we lack an incinerator for the disposal of hazardous waste
	R8.- How do they expect to carry out the cleaning and maintenance of the latrine?, and the solid waste removal?		To clean and maintain we shall use soap , detergents and water . We shall have a sanitary towel disposal bin inside. Solid waste will be regular removed through exhauster services.
	R9.- Will filtration ditches or pits be built for waste? Attach drawings/charts. (P)		Pits for waste attached
S.- Maintenance and training.	S1.- Explain the corrective technical maintenance planned to be carried out on the infrastructures that may be necessary in case of repairs.		(see table below)
	S2.- Explain the preventive technical maintenance plan and the relation of expected spare parts.		The preventive maintenance plan is scheduled as shown above and in case of emergencies , repairs will be immediate.The preventive maintenance plan is scheduled as shown above and in case of emergencies , repairs will be immediate. Spare parts- this will be available as per the manufactures specifications and warranty covers
	S3.- What maintenance training plan is expected?		Yes – How to clean the rain harvesting system (roofs , gutters, down pipes) How to operate the first flush point How to treat the stored rain water How to change over in between the existing borehole water and now rain water How to maintain and operate the solar system for underground water tank

NO	COMPONENT	DESCRIPTION	MAINTENANCE ACTIONS	SUGGESTED FREQUENCY
1	Collection system	Roof surface and gutters to capture rainwater and send it to the storage system.	Keep clean and clear of excessive debris, especially after prolonged dry periods or after storms. Inspect roof surface and ensure water flows and drains properly as intended.	Weekly
2	Inlet filter	Screen filter to catch large debris.	Clean out filter and replace at regular manufacturer-specified intervals.	Weekly; manufacturer-specified intervals
3	First flush diverter	Diverter that removes debris not captured by the inlet filter from the initial stream of rainwater.	Keep clean and clear of excessive debris, especially after prolonged dry periods or after storms. Ensure the diverter is functioning as intended, diverting only the initial flush of water during rainfall.	Monthly and after prolonged storms
4	Storage tank	Storage tanks composed of FDA-approved, food-grade polyester resin material that is green in color, which helps to reduce bacterial growth.	Inspect tank for cracks or leakage. Infrequent blowdown may be needed to remove sediment from the bottom of the tank. If filters are regularly maintained, sediment accrual should be minimal (2 mm to 2 in. per year).	Annually
5	Overflow	Drainage spout that allows for overflow if the storage tank gets full.	Visually inspect overflow spout to ensure it is clear of debris.	Monthly
6	Controls	Control system that monitors water level and filtration system.	Ensure controls operate as intended, visually confirm response to control commands. Request manufacturer maintenance as needed to repair any controls issues. Check that wiring is in good condition.	Monthly
7	Treatment system	Filtration and disinfection system that treats the water to potable standards.	Clean and replace filters at manufacturer-specified intervals.	Manufacturer-specified intervals

15. DATOS DE RADIACIÓN DE LOS PAÍSES EN LOS QUE OPERA MANOS UNIDAS

Summary statistics

	Long-term		Theoretical potential (GHI, kWh/m2/day)								Practical potential (PVOUT Level 1, kWh/kWp/day)							
ISO_A3	Country or region	World Bank Region	Minimum	10th percentile	25th Percentile	Average	Median	75th Percentile	90th percentile	Maximum	Minimum	10th percentile	25th Percentile	Average	Median	75th Percentile	90th percentile	Maximum
AGO	Angola	AFR	4,40	5,19	5,54	5,75	5,80	6,04	6,24	6,55	3,54	4,15	4,41	4,66	4,72	4,97	5,11	5,31
BDI	Burundi	AFR	4,47	4,86	5,11	5,19	5,22	5,35	5,44	5,54	3,72	3,98	4,11	4,17	4,18	4,27	4,35	4,49
BEN	Benin	AFR	4,64	4,81	5,04	5,33	5,45	5,59	5,67	5,77	3,67	3,79	3,98	4,20	4,31	4,40	4,46	4,52
CAF	Central African Republic	AFR	5,20	5,42	5,57	5,70	5,72	5,83	5,93	6,12	4,19	4,29	4,37	4,47	4,47	4,55	4,62	4,84
CIV	Côte d'Ivoire	AFR	4,48	4,66	4,79	5,05	4,98	5,33	5,58	5,70	3,55	3,69	3,78	4,00	3,95	4,23	4,42	4,51
CMR	Cameroon	AFR	4,29	4,74	4,90	5,30	5,24	5,75	5,85	6,00	3,43	3,75	3,90	4,28	4,46	4,57	4,65	4,78
COD	Democratic Republic of Congo	AFR	4,32	4,86	4,97	5,19	5,17	5,39	5,60	5,93	3,41	3,98	4,09	4,26	4,23	4,42	4,61	4,86
EGY	Arab Republic of Egypt	MENA	5,52	5,87	6,10	6,26	6,34	6,45	6,51	6,71	4,74	4,88	5,11	5,25	5,30	5,39	5,47	5,78
ERI	Eritrea	AFR	5,21	5,65	5,89	6,07	6,21	6,28	6,33	6,41	4,15	4,50	4,74	4,89	5,00	5,06	5,15	5,39
ETH	Ethiopia	AFR	4,70	5,33	5,60	5,85	5,92	6,12	6,25	6,60	3,98	4,30	4,52	4,70	4,73	4,89	5,03	5,35
GAB	Gabon	AFR	4,10	4,34	4,42	4,54	4,53	4,69	4,75	4,99	3,33	3,45	3,51	3,60	3,58	3,69	3,76	3,97
GHA	Ghana	AFR	4,49	4,69	4,80	5,10	5,11	5,35	5,53	5,66	3,57	3,71	3,79	4,02	4,02	4,22	4,35	4,46
GNB	Guinea-Bissau	AFR	5,44	5,51	5,57	5,60	5,62	5,65	5,67	5,70	4,34	4,39	4,44	4,46	4,47	4,48	4,50	4,59
KEN	Kenya	AFR	5,02	5,35	5,47	5,78	5,71	6,11	6,32	6,60	4,04	4,19	4,26	4,50	4,43	4,75	4,92	5,15
LBR	Liberia	AFR	4,43	4,62	4,78	4,88	4,90	4,99	5,08	5,22	3,54	3,68	3,80	3,88	3,90	3,97	4,05	4,18
LSO	Lesotho	AFR	5,11	5,38	5,47	5,54	5,56	5,64	5,68	5,72	4,84	5,02	5,09	5,13	5,14	5,19	5,25	5,35
MAR	Morocco	MENA	4,76	5,11	5,32	5,56	5,56	5,84	6,00	6,13	4,39	4,63	4,82	5,01	5,04	5,21	5,31	5,54
MDG	Madagascar	AFR	4,36	4,84	5,25	5,63	5,84	6,01	6,09	6,19	3,72	4,14	4,47	4,76	4,92	5,05	5,13	5,25
MLI	Mali	AFR	5,70	5,82	5,93	6,02	6,05	6,09	6,16	6,29	4,48	4,55	4,60	4,68	4,66	4,75	4,81	5,07
MOZ	Mozambique	AFR	4,77	5,16	5,31	5,38	5,39	5,48	5,58	5,87	4,16	4,31	4,37	4,44	4,43	4,50	4,56	4,78
MRT	Mauritania	AFR	5,85	5,92	5,97	6,04	6,06	6,10	6,13	6,19	4,58	4,63	4,66	4,75	4,70	4,80	4,94	5,29
MWI	Malawi	AFR	4,88	5,34	5,48	5,59	5,62	5,73	5,84	6,04	4,15	4,41	4,51	4,60	4,62	4,69	4,77	4,95
NER	Niger	AFR	5,81	6,04	6,17	6,26	6,28	6,38	6,46	6,58	4,52	4,68	4,74	4,84	4,81	4,92	5,07	5,32
NGA	Nigeria	AFR	4,29	4,66	5,08	5,44	5,54	5,90	5,98	6,06	3,40	3,69	4,01	4,30	4,38	4,67	4,72	4,79
RWA	Rwanda	AFR	4,20	4,74	4,96	5,08	5,14	5,24	5,33	5,52	3,51	3,93	4,05	4,10	4,12	4,19	4,25	4,36
SDN	Sudan	AFR	5,53	6,04	6,23	6,32	6,35	6,47	6,55	6,67	4,32	4,71	4,82	4,94	4,94	5,06	5,20	5,52
SEN	Senegal	AFR	5,63	5,70	5,74	5,80	5,81	5,86	5,88	5,90	4,46	4,50	4,52	4,58	4,58	4,64	4,67	4,79
SLE	Sierra Leone	AFR	4,76	4,89	5,00	5,12	5,12	5,24	5,36	5,50	3,81	3,91	3,99	4,09	4,09	4,18	4,27	4,39
SOM	Somalia	AFR	5,38	5,54	5,68	6,03	5,99	6,37	6,55	6,74	4,20	4,32	4,45	4,76	4,72	5,07	5,25	5,44
SSD	South Sudan	AFR	5,26	5,40	5,55	5,68	5,67	5,83	5,95	6,11	4,09	4,25	4,36	4,46	4,45	4,56	4,66	4,80
TCD	Chad	AFR	5,84	5,94	6,06	6,26	6,23	6,50	6,60	6,76	4,58	4,64	4,68	4,84	4,77	4,91	5,16	5,54
TGO	Togo	AFR	4,74	4,91	5,09	5,22	5,24	5,37	5,49	5,65	3,74	3,88	4,03	4,12	4,15	4,24	4,32	4,46
TZA	Tanzania	AFR	4,74	5,16	5,30	5,66	5,65	6,02	6,18	6,53	3,93	4,12	4,23	4,51	4,49	4,78	4,91	5,15
UGA	Uganda	AFR	4,37	5,17	5,35	5,64	5,72	5,93	6,05	6,29	3,88	4,11	4,25	4,46	4,52	4,66	4,74	4,92
ZMB	Zambia	AFR	5,58	5,72	5,81	5,88	5,90	5,96	6,01	6,15	4,55	4,67	4,75	4,83	4,84	4,91	4,97	5,04
ZWE	Zimbabwe	AFR	5,25	5,43	5,67	5,78	5,83	5,94	6,01	6,10	4,44	4,60	4,77	4,86	4,90	4,99	5,04	5,15
BOL	Bolivia	LCR	3,81	4,88	5,07	5,42	5,15	5,39	6,79	7,29	3,83	4,11	4,18	4,94	4,38	5,77	6,07	6,37
BRA	Brazil	LCR	4,15	4,88	5,04	5,28	5,27	5,50	5,74	6,12	3,75	4,08	4,24	4,40	4,42	4,58	4,70	4,92
COL	Colombia	LCR	3,27	4,18	4,74	4,87	4,89	5,15	5,43	6,00	2,82	3,48	3,89	4,05	4,10	4,30	4,47	4,91
CUB	Cuba	Other	4,73	5,23	5,34	5,41	5,42	5,51	5,61	5,85	4,09	4,43	4,48	4,54	4,53	4,59	4,68	4,87
DOM	Dominican Republic	LCR	4,59	5,04	5,19	5,42	5,36	5,66	5,90	6,12	4,09	4,30	4,36	4,57	4,54	4,76	4,92	5,05
ECU	Ecuador	LCR	3,12	3,60	3,87	4,30	4,40	4,63	4,88	5,81	2,64	2,89	3,01	3,40	3,31	3,70	4,14	4,60
GTM	Guatemala	LCR	4,19	4,83	5,02	5,25	5,18	5,54	5,84	6,10	3,73	3,98	4,10	4,39	4,31	4,70	4,86	5,02
HND	Honduras	LCR	4,37	4,81	4,94	5,16	5,11	5,33	5,65	6,12	3,80	3,98	4,08	4,26	4,21	4,37	4,71	4,93
HTI	Haiti	LCR	4,41	4,99	5,32	5,54	5,59	5,83	5,97	6,14	3,93	4,33	4,52	4,68	4,72	4,86	4,96	5,10
MEX	Mexico	LCR	4,61	5,16	5,46	5,73	5,86	6,02	6,13	6,29	3,84	4,33	4,64	4,92	5,07	5,25	5,33	5,51
NIC	Nicaragua	LCR	4,43	4,68	4,80	5,04	4,92	5,20	5,70	6,03	3,57	3,78	3,88	4,11	4,00	4,33	4,62	4,87
PAN	Panama	LCR	3,47	4,13	4,47	4,74	4,79	5,08	5,32	5,56	2,95	3,59	3,81	3,97	3,98	4,21	4,29	4,45
PER	Peru	LCR	3,51	4,41	4,74	5,15	4,90	5,65	6,34	6,95	3,26	3,93	4,42	4,90	5,02	5,46	5,66	5,88
PRY	Paraguay	LCR	4,89	4,96	5,03	5,08	5,09	5,13	5,17	5,24	4,04	4,20	4,27	4,28	4,30	4,32	4,34	4,38
SLV	El Salvador	LCR	5,16	5,60	5,84	5,92	5,98	6,07	6,12	6,19	4,39	4,67	4,78	4,83	4,85	4,90	4,95	5,02
BGD	Bangladesh	SOA	4,33	4,45	4,51	4,60	4,60	4,65	4,76	4,95	3,68	3,79	3,83	3,88	3,87	3,90	4,00	4,23
IND	India	SOA	3,77	4,63	4,89	5,10	5,20	5,34	5,49	5,64	3,63	4,03	4,17	4,32	4,35	4,44	4,66	4,85
ISR	Israel	Other	5,25	5,44	5,52	5,75	5,77	5,96	6,09	6,20	4,62	4,77	4,85	5,08	5,10	5,28	5,39	5,51
JOR	Jordan	MENA	5,50	5,82	5,90	6,02	5,99	6,17	6,29	6,40	4,71	5,11	5,20	5,32	5,28	5,49	5,58	5,72
KHM	Cambodia	EAP	4,27	4,74	5,04	5,09	5,15	5,22	5,31	5,45	3,60	3,99	4,09	4,13	4,14	4,19	4,24	4,34
LBN	Lebanon	MENA	4,59	4,95	5,15	5,36	5,40	5,62	5,68	5,76	4,11	4,44	4,63	4,83	4,89	5,07	5,13	5,31
NPL	Nepal	SOA	3,30	4,00	4,33	4,53	4,57	4,77	4,96	5,73	3,50	3,73	3,82	4,00	3,91	4,08	4,28	5,66
PSE	West Bank and Gaza	MENA	5,38	5,48	5,52	5,61	5,59	5,70	5,77	5,85	4,60	4,80	4,84	4,93	4,91	5,04	5,12	5,20
SAU	Saudi Arabia	MENA	5,69	5,90	6,07	6,21	6,25	6,36	6,45	6,62	4,51	4,90	5,06	5,16	5,18	5,28	5,38	5,62
SYR	Syrian Arab Republic	MENA	4,82	5,21	5,29	5,45	5,41	5,64	5,79	5,90	4,34	4,65	4,72	4,85	4,79	5,01	5,17	5,37
THA	Thailand	EAP	4,34	4,68	4,80	4,93	4,93	5,10	5,20	5,28	3,67	3,87	3,99	4,06	4,08	4,17	4,22	4,25
VNM	Vietnam	EAP	3,16	3,43	3,65	4,25	4,15	4,88	5,08	5,52	2,67	2,87	3,02	3,55	3,74	3,99	4,10	4,44
PHL	Philippines	EAP	3,67	4,25	4,53	4,73	4,76	4,98	5,17	5,46	3,24	3,65	3,77	3,93	3,93	4,09	4,24	4,55
TLS	Timor-Leste	EAP	4,39	4,86	5,10	5,32	5,35	5,55	5,73	5,90	3,78	4,05	4,21	4,34	4,36	4,49	4,60	4,77

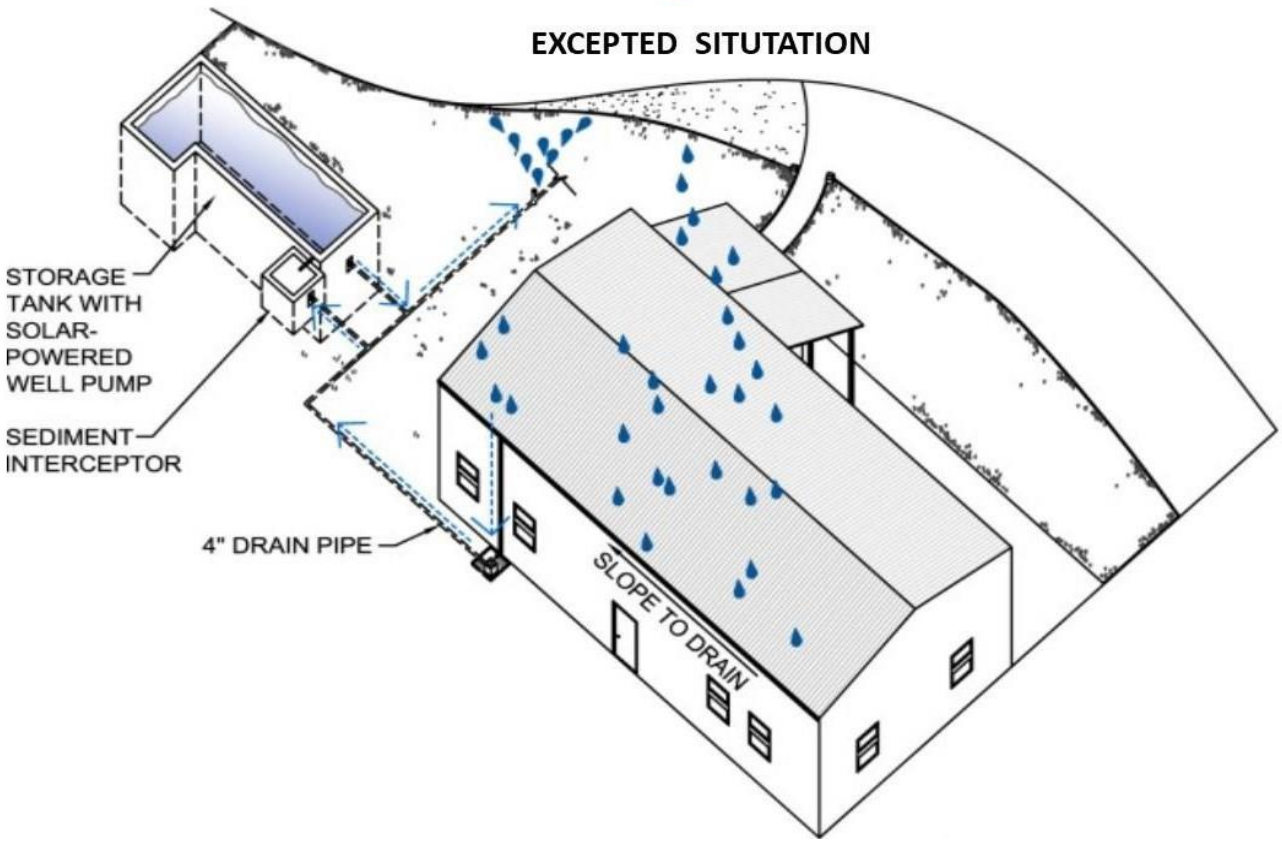
16. EJEMPLO DE PROYECTO DE RECOGIDA DEL AGUA DE LLUVIA DE LOS TEJADOS

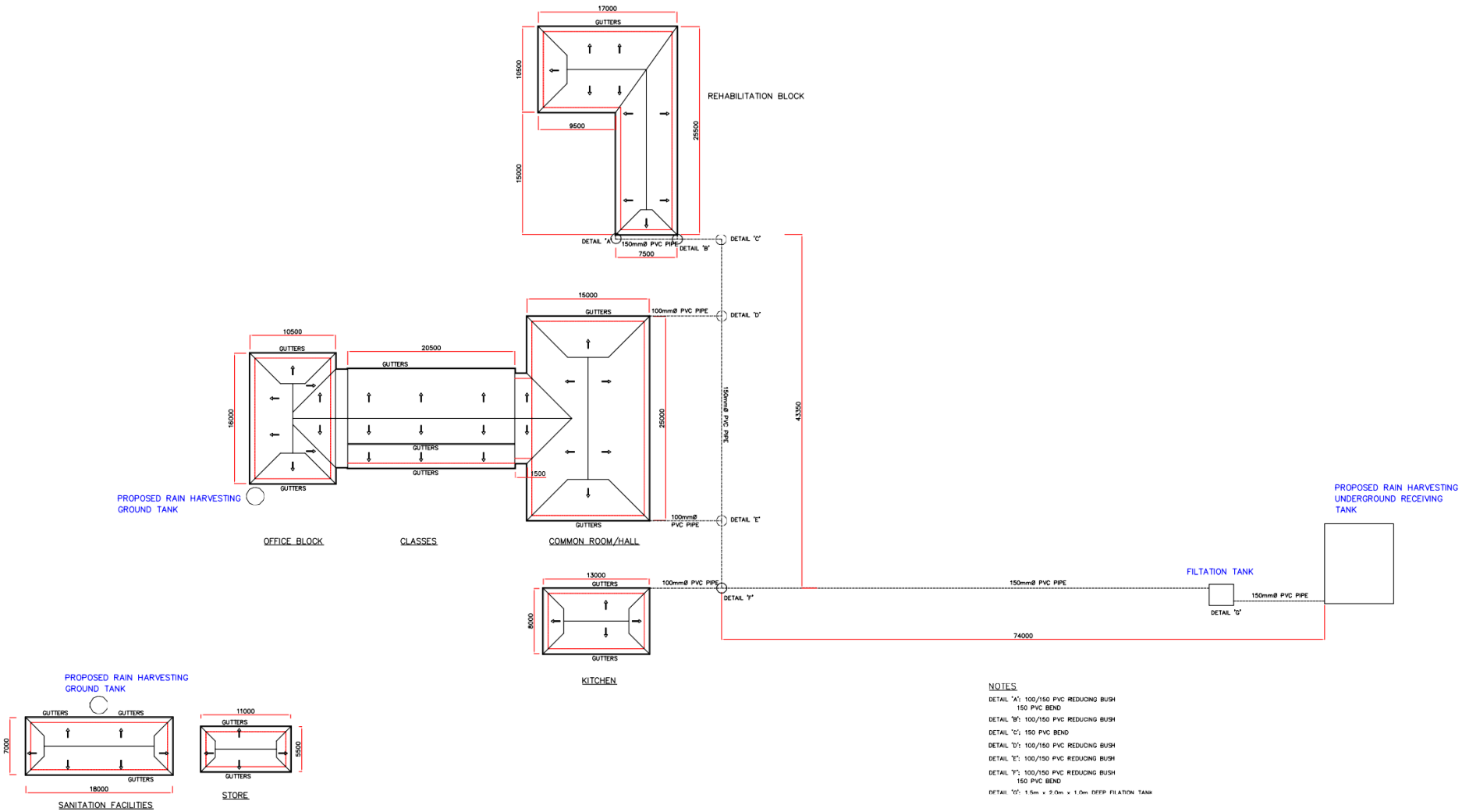
PROPOSED PROJECT;
IMPROVEMENT OF ACCESS TO WATER FOR HYGIENE AND SANITATION

CURRENT SITUATION VS EXPECTED SITUATION

Current Situation







NOTES

DETAIL 'A': 100/150 PVC REDUCING BUSH
150 PVC BEND

DETAIL 'B': 100/150 PVC REDUCING BUSH

DETAIL 'C': 150 PVC BEND

DETAIL 'D': 100/150 PVC REDUCING BUSH

DETAIL 'E': 100/150 PVC REDUCING BUSH

DETAIL 'F': 100/150 PVC REDUCING BUSH
150 PVC BEND

DETAIL 'G': 1.5m x 2.0m x 1.0m DEEP FILATION TANK

NB; PVC piping and fittings changed to HDPE due to durability.

PROJECT: PROPOSED RAIN HARVESTING FOR OREON COMMUNITY TRAINING CENTRE – KENYA

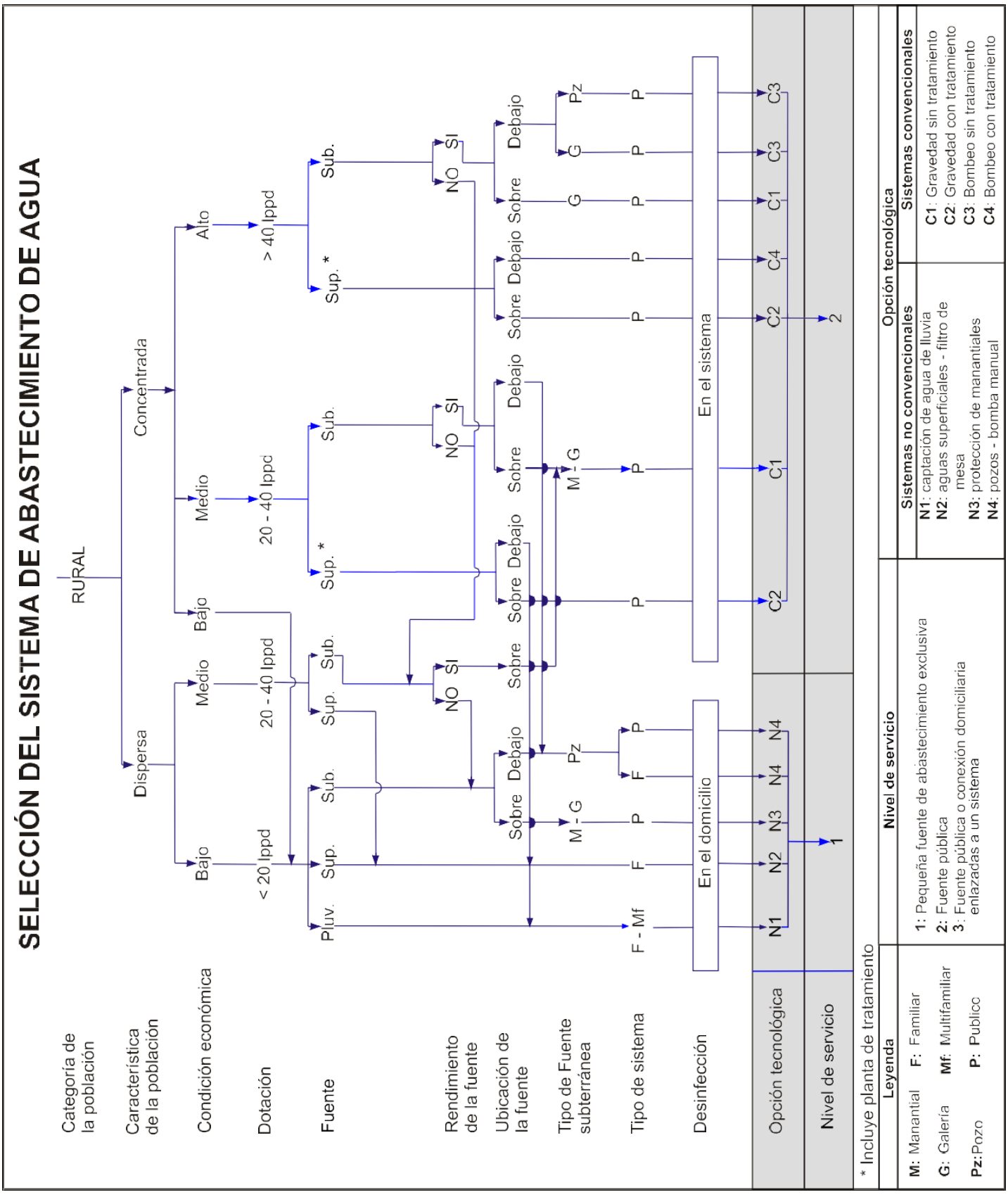
17. TABLA COMPARATIVA DE BOMBAS SUMERGIBLES DEL CATÁLOGO GRUNDFOS

		BOMBAS SUMERGIBLES PARA AGUAS SUBTERRÁNEAS										
		SQFlex	SP	SP, SP-G, SP-NE, SPE	SPE	SQ, modelo motor B & bomba B	SQE, modelo motor B & bomba B	SQ 1	SQ 2	SQ 3	SQ 5	SQ 7
Temperatura líquido	°C		-15 .. 90 °C	-15 .. 90 °C	0 .. 60 °C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C
Altura máx.	m		667	667	559	230	230	230	153	145	100	60
Caudal máx.	m³/h		283	290	290	9	9	2	3	4	8	9
p máx.	bar		60	60		15	15 bar	15 bar	15 bar	15 bar	15 bar	15 bar

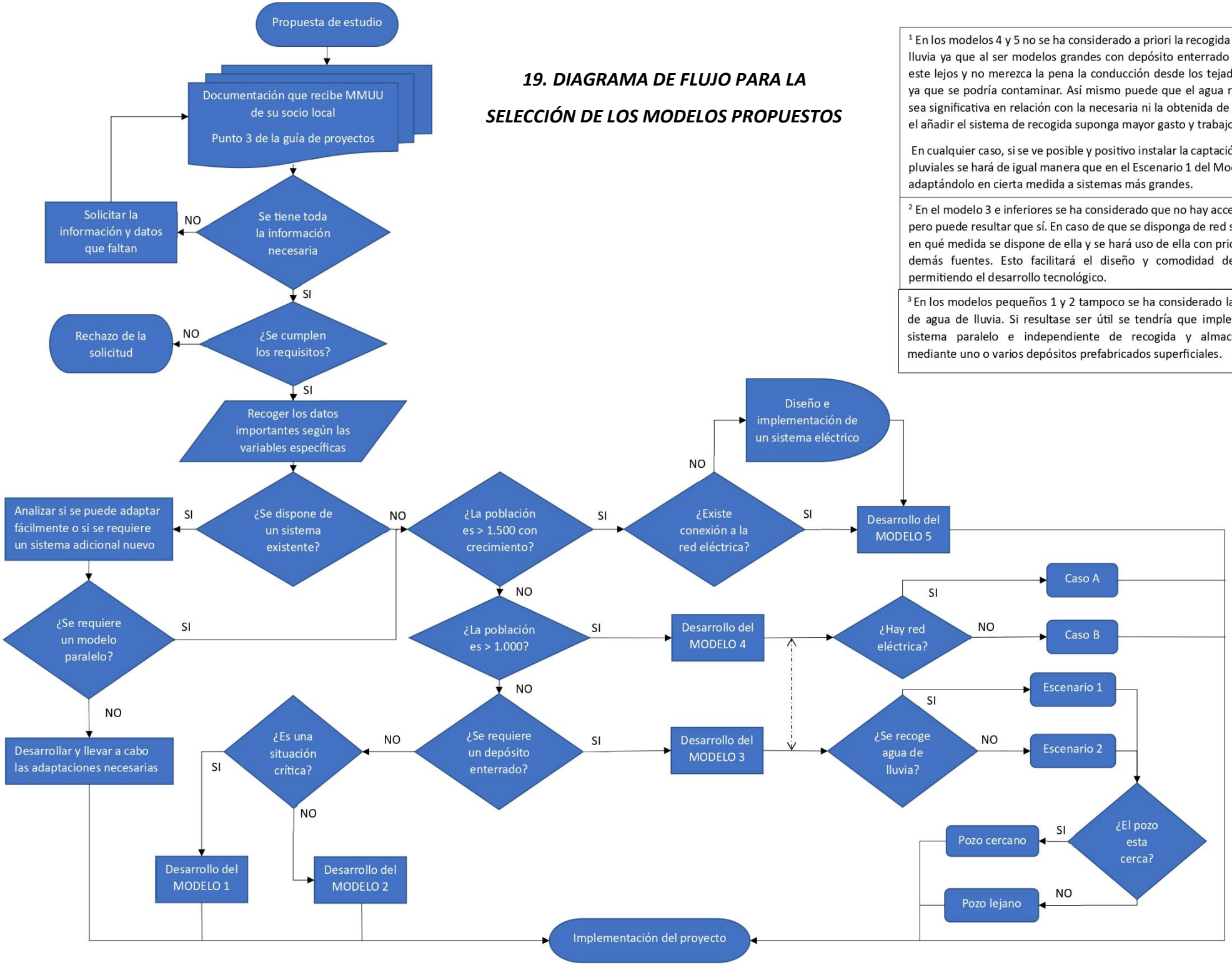
		BOMBAS SUMERGIBLES PARA AGUAS SUBTERRÁNEAS									
		SQE 1	SQE 2	SQE 3	SQE 5	SQE 7	SQ, modelo motor B & bomba B, America del Norte	30 SQ	SB	SBA	SQE constant pressure package (test)
Temperatura líquido	°C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C	0 .. 35 °C	0 .. 40 °C	0 .. 40 °C	0 .. 35 °C
Altura máx.	m	230	153	145	100	60	60	60	45	45	
Caudal máx.	m³/h	2	3	4	8	9	9	9	7	7	
p máx.	bar	15 bar	15 bar	15 bar	15 bar	15 bar	15 bar	15 bar			15 bar

18. ALGORITMO DE SELECCIÓN DE SISTEMAS DE SUMINISTRO DE AGUA TÍPICOS

HDT- CEPIS Nº 89, junio 2003



19. DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA SELECCIÓN DE LOS MODELOS PROPUESTOS



[1] En los modelos 4 y 5 no se ha considerado a priori la recogida de agua de lluvia ya que al ser modelos grandes con depósito enterrado puede que este lejos y no merezca la pena la conducción desde los tejados hasta él ya que se podría contaminar. Así mismo puede que el agua recogida no sea significativa en relación con la necesaria ni la obtenida de los pozos y el añadir el sistema de recogida suponga mayor gasto y trabajo.

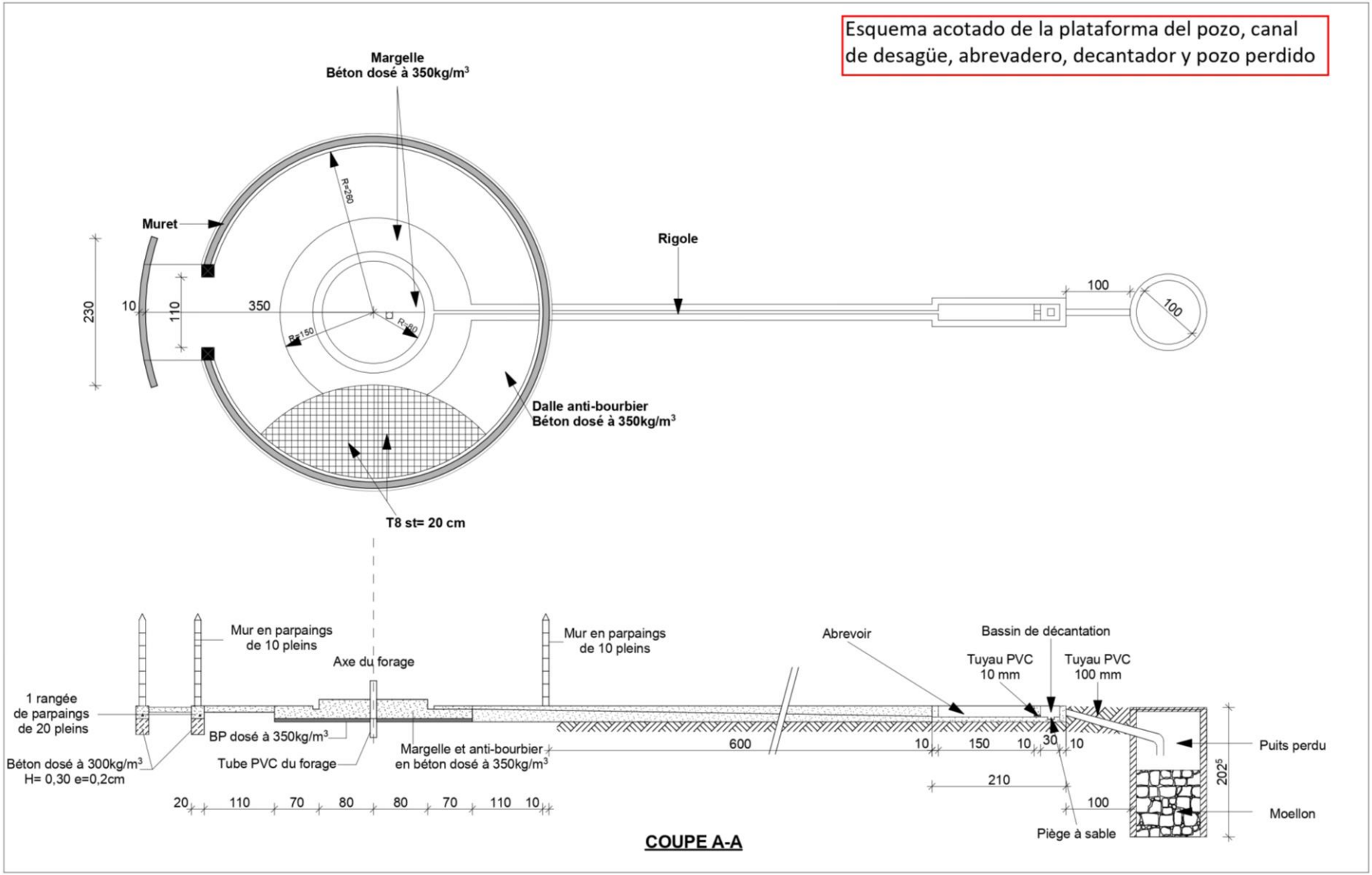
En cualquier caso, si se ve posible y positivo instalar la captación de aguas pluviales se hará de igual manera que en el Escenario 1 del Modelo 3 pero adaptándolo en cierta medida a sistemas más grandes.

[2] En el modelo 3 e inferiores se ha considerado que no hay acceso a la red, pero puede resultar que sí. En caso de que se disponga de red se analizará en qué medida se dispone de ella y se hará uso de ella con prioridad a las demás fuentes. Esto facilitará el diseño y comodidad de la gente permitiendo el desarrollo tecnológico.

[3] En los modelos pequeños 1 y 2 tampoco se ha considerado la captación de agua de lluvia. Si resultase ser útil se tendría que implementar un sistema paralelo e independiente de recogida y almacenamiento mediante uno o varios depósitos prefabricados superficiales.

20. PLANO O ESQUEMA DE UN MONO CON ABREVADERA DE UN POZO TÍPICO DE ÁFRICA

PROJET D'AMENAGEMENT DE FORAGE DE LA JARC



21. TABLA DE EQUIVALENCIAS DE CONSUMO SEGÚN EL TIPO DE GANADERÍA

Sector ganadero			
Tipo de ganado	**Imagen**	**Producción**	**Conusmo de agua por animal**
Ganado vacuno y bovino (vacas)		La cría de ganado vacuno es una de las actividades ganaderas más comunes en África y una una actividad ganadera dominante en Sudamérica. Se crían principalmente razas locales adaptadas a las condiciones climáticas y de pastoreo de cada región. Países como Argentina, Brasil y Uruguay son reconocidos por su producción de carne de res.	Por cabeza de ganado vacuno puede variar entre **40 y 60 L/día**, dependiendo de factores como el tamaño del animal y las condiciones climáticas.
Ganado ovino (carneros, las ovejas, los corderos o borregos)		La cría de ovejas es otra actividad ganadera importante en varias partes de África y común en Sudamérica, especialmente en países como Argentina, Chile y Uruguay. Las ovejas son apreciadas y se crían por su carne, leche y lana, y se adaptan bien a diferentes tipos de pastoreo.	Las ovejas suelen consumir entre **3 y 6 L/día** por animal. Este valor puede aumentar en climas calurosos o durante la lactancia.
Cabras		Las cabras son una especie de ganado muy resistente y se crían ampliamente en África. Son apreciadas por su carne, leche y su capacidad para adaptarse a áreas con poca vegetación.	Las cabras tienen un consumo de agua similar a las ovejas, entre **3 y 6 L/día** por cabra.
Ganado porcino		La cría de cerdos es otra actividad ganadera extendida en Sudamérica. Se crían cerdos para obtener carne de cerdo y productos derivados como jamón y tocino.	Los cerdos pueden consumir una cantidad significativa de agua, generalmente entre **10 y 20 L/día** por animal, dependiendo del tamaño y las condiciones ambientales.
Aves de corral (Gallinas, pavos, patos, ocas, codornices, palomas, faisanes, perdices y pollos)		Las aves de corral, como pollos y gallinas, son criadas en pequeña escala en muchos hogares y granjas en África y tanto a pequeña como a gran escala en Sudamérica. Proporcionan carne y huevos como fuente de proteínas.	El consumo es menor en el rango de **0.1 a 0.5 L/día** por animal .
Es importante destacar que estos son solo algunos ejemplos de la ganadería común en África y Sudamérica. Existen otras especies de ganado y prácticas ganaderas en cada región, influenciadas por los recursos locales, el clima y las tradiciones ganaderas de cada país.			
Estos valores son estimaciones aproximadas y pueden variar en función de diversos factores. Es importante asegurarse de que los animales tengan acceso a agua limpia y adecuada en todo momento para su bienestar y salud.			

22. TABLA DE EQUIVALENCIAS DE CONSUMO SEGÚN EL TIPO DE CULTIVO

Sector agrícola			
Tipo de cultivo	**Imagen**	**Producción**	**Conusmo de agua por m2**
Maíz		El maíz es uno de los cultivos más importantes y ampliamente cultivados en África. Es una fuente de alimento básica para muchas personas y se utiliza en diversas formas, como maíz en grano, harina de maíz y alimentos procesados.	Entre 6 a 12 L/m2 al día, dependiendo de las condiciones climáticas y la etapa de crecimiento.
Arroz		El arroz es otro cultivo fundamental en África, especialmente en países de África occidental como Nigeria, Senegal y Mali. Se cultiva tanto para consumo local como para exportación.	Puede oscilar entre 20 y 40 L/m2 al día. Es un cultivo acuático con alta demanda de agua y su consumo varía ampliamente.
Frijoles		Los frijoles son una fuente importante de proteínas en la dieta africana. Diversas variedades de frijoles, como frijoles rojos, frijoles negros y frijoles mungo, se cultivan en todo el continente africano.	Requieren alrededor de 4 a 8 L/m2 al día.
Mandioca		La mandioca, también conocida como yuca, es un cultivo básico en África, especialmente en África central y occidental. Sus raíces son ricas en carbohidratos y se utilizan en la preparación de varios alimentos.	Consumo en un rango de 2 a 6 L/m2 al día. Es un cultivo resistente a la sequía y requiere menos agua en comparación con otros cultivos.
Plátanos y bananas		Los plátanos y las bananas son ampliamente cultivados en muchas partes de África. Son una fuente importante de carbohidratos y nutrientes en la dieta africana.	Requieren aproximadamente de 8 a 15 L/m2 al día.
Maní		El maní, también conocido como cacahuete, se cultiva en diversas regiones de África y es un cultivo importante para la producción de aceite y como fuente de proteínas.	Varia entre 4 y 8 L/m2 al día.
Sorgo		El sorgo es un cultivo resistente a la sequía y se cultiva en varias partes de África. Se utiliza como alimento básico, para la producción de cerveza y como forraje para el ganado.	Varia entre 2 a 6 L/m2 al día.
Café		África es conocida por ser una región importante para la producción de café. Países como Etiopía, Kenia, Costa de Marfil y Uganda son reconocidos por su café de alta calidad.	Requiere un rango de consumo de 6 a 12 L/m2 al día.

Sector agrícola			
Cacao		El cacao es un cultivo importante en países de África occidental, como Ghana y Costa de Marfil. Es la principal materia prima para la producción de chocolate.	Necesita alrededor de 8 a 15 L/m2 al día
Soja		La soja es uno de los principales cultivos en Sudamérica.	Consumo en un rango de 4 a 8 L/m2 al día
Trigo		El trigo es otro cultivo común en Sudamérica.	El consumo puede variar de 6 a 12 L/m2 al día, similar al maíz.
Caña de azúcar		La caña de azúcar es un cultivo que requiere una cantidad significativa de agua.	Consumo en un rango de 10 a 20 litros

*Estos valores son estimaciones aproximadas y pueden variar según las condiciones específicas de cultivo. Además, el método de riego utilizado (riego por goteo, aspersión, inundación, etc.) también afectará el consumo de agua. Es recomendable adaptar las prácticas de riego a las condiciones locales y utilizar técnicas de riego eficientes para conservar el agua.