

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE
EN LA ISLA DE IDJWI, REPÚBLICA
DEMOCRÁTICA DEL CONGO**

**DESIGN OF A DRINKING WATER SUPPLY
SYSTEM ON THE ISLAND OF IDJWI,
DEMOCRATIC REPUBLIC OF CONGO**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN HIDROLOGÍA
Y GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS**

Presentado por:

D. JAVIER DE MINGO MARTÍN

Dirigido por:

Dra. D^a NOEMÍ MERAYO CUEVAS

Dra. D^a ANA KARINA BOLTES ESPÍNOLA

Alcalá de Henares, a 14 de septiembre 2022

*A mi profesor y amigo José Antonio Mancebo,
por ayudarme a descubrir el que espero que sea mi camino.*

AGRADECIMIENTOS

Quisiera mostrar mi más sincero agradecimiento a la fundación Kivu Jambo-Proyecto Rubare, por su incansable trabajo en una región cuyas personas no existen para occidente. Muchas gracias, Tomás y Paco, por dejarme ser parte de ello.

De igual forma agradezco a mis tutoras Ana Karina Boltes y Noemí Merayo su dedicación y lo fácil que me han puesto desarrollar este trabajo.

No puedo olvidarme de todas las personas del Grupo de Cooperación Sistemas de Agua y Saneamiento para el Desarrollo, de la Universidad Politécnica de Madrid: Raquel, Noemí, Beatriz y José Antonio. Sois pura inspiración y la razón que me llevó a empezar todo esto.

Y el mayor de los agradecimientos a todas las personas que me han sostenido en un año tan duro, tanto en lo personal como en lo profesional: desde todos mis amigos y amigas hasta mis padres y mi hermana. Soy inmensamente afortunado por estar tan bien rodeado.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
1. OBJETIVOS.....	4
2. EL AGUA COMO ELEMENTO FUNDAMENTAL PARA EL DESARROLLO	4
2.1. EL DERECHO HUMANO AL AGUA (DHA)	4
2.2. LA INFLUENCIA DEL AGUA EN LA SALUD	6
2.3. EL AGUA Y LA SALUD EN LOS PAÍSES EN DESARROLLO	7
2.4. EL AGUA EN LA AGENDA 2030	8
3. ELEMENTOS FUNDAMENTALES DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA	11
3.1. CAPTACIÓN	11
3.1.1. CAPTACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES	11
3.1.2. CAPTACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA.....	13
3.2. TRANSPORTE DE AGUA	14
3.3. POTABILIZACIÓN	14
3.3.1. PRETRATAMIENTO	14
3.3.2. COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN.....	15
3.3.3. SEDIMENTACIÓN.....	15
3.3.4. FILTRACIÓN.....	16
3.3.5. DESINFECCIÓN.....	16
3.4. ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN.....	17
4. CALIDAD DEL AGUA Y PROYECTOS DE AGUA EN COOPERACIÓN PARA EL DESARROLLO.....	19
5. ANÁLISIS TERRITORIAL DE LA ZONA DE ESTUDIO	21
5.1. REPÚBLICA DEMOCRÁTICA DEL CONGO.....	21
5.2. LA REGIÓN DE KIVU	23
5.3. LA ISLA DE IDJWI.....	26
6. PROPUESTA DE PROYECTO.....	28
6.1. ESTIMACIÓN DE CAUDAL	29
6.2. CAPTACIÓN	30
6.3. DISEÑO RED DE DISTRIBUCIÓN	30
6.4. DISEÑO ARQUETAS DE ROTURA	35
6.5. DEPÓSITO.....	37
6.6. VALVULERÍA E INSTRUMENTACIÓN	42

6.7. ESTUDIO DE COSTES	42
7. CONCLUSIONES	45
8. BIBLIOGRAFÍA.....	47
ANEXOS	53
1. P&ID DEL ABASTECIMIENTO	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Criterios normativos sobre el Derecho Humano al Agua.....	5
Tabla 2: Principales bacterias transmitidas por el agua.....	7
Tabla 3: Principales enfermedades transmitidas por el agua.....	7
Tabla 4: Secuencia operacional de los sistemas de agua potable	11
Tabla 5: Reparto PIB según sectores en la RDC	22
Tabla 6: Concentración media de metales pesados ($\mu\text{g/L}$) en diferentes muestras de agua tomadas del lago Kivu, en superficie y a 40 m de profundidad	26
Tabla 7: Datos ejemplo de cálculo para el diseño de la red de abastecimiento.....	32
Tabla 8: Resultados diseño red de abastecimiento	33
Tabla 9: Singularidades puntos de agua	34
Tabla 10: Simbología arqueta de rotura	36
Tabla 11: Dimensiones cámaras de rotura de presión	37
Tabla 12: Descripción morfológica para el suelo tipo Nitisoles Dístricos	38
Tabla 13: Relación arena-limo-arcilla para cada tipo de suelo	38
Tabla 14: Tamaños de partículas del suelo.....	39
Tabla 15: Dimensiones y relaciones dimensionales del depósito	41
Tabla 16: Relación de costes de material	43
Tabla 17: Costes estimados de personal en ejecución de obra	45

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Acceso al suministro básico de agua gestionado de manera segura, 2015 (% de la población).....	3
Figura 2: Porcentaje de población usando servicios de agua gestionados de forma segura (2020)	8
Figura 3: Objetivos de Desarrollo Sostenible	9
Figura 4: Relación del ODS 6 con el resto de ODS de la Agenda 2030	10
Figura 5: Sistema de recogida, filtrado y almacenamiento de agua de lluvia en tejados	12
Figura 6: Captación de agua superficial en Kigoma, Tanzania.....	12
Figura 7: Esquema captación en manantial	13
Figura 8: Red ramificada, reticulada y mixta de distribución de agua	19
Figura 9: Situación geográfica y división territorial de la República Democrática del Congo	22
Figura 10: Ubicación de la región de Kivu en la RDC.....	24
Figura 11: Ubicación de minas y grupos armados en la RDC.....	25
Figura 12: Ubicación de cada uno de los tres puntos de toma de muestras de agua para análisis	26
Figura 13: Localización de la isla de Idjwi en la RDC.....	27
Figura 14: Vista sobre mapa de la red ramificada de distribución (Google Earth Pro)	28
Figura 15: Vista de la población beneficiaria del proyecto	28
Figura 16: Estimación de población según la aplicación <i>Population explorer</i>	29
Figura 17: Cámara de captación en manantial. A: sección; B: planta	30
Figura 18: Distribución de los puntos de agua	31
Figura 19: Metodología para el cálculo de las presiones residuales en la red.....	32
Figura 20: Red de distribución	34
Figura 21: Pedestal de fuente con un caño. A: vista general; B: sección	35
Figura 22: Esquema cámara de rotura de presión.....	36
Figura 23: Esquema depósito	41

LISTA DE ABREVIATURAS

OMS: Organización Mundial de la Salud

ONU: Organización de las Naciones Unidas

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

ONG: Organización No Gubernamental sin ánimo de lucro

DHA: Derecho Humano al Agua

PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

IDH: Índice de Desarrollo Humano

RDC: República Democrática del Congo

PIB: Producto Interior Bruto

ETAP: Estación de Tratamiento de Agua Potable

PE: Polietileno

DN: Diámetro Nominal

USD: Dólar Estadounidense

FDLR: Fuerzas Democráticas para la Liberación de Ruanda

M23: Movimiento 23 de Marzo (Grupo rebelde militar de Kivu Norte)

FARDC: Fuerzas Armadas de la República Democrática del Congo

BPT: Cámara de Rotura de Presión

LISTA DE SÍMBOLOS

Q: Caudal

v: Velocidad

V: Volumen

L: Longitud

A: Área

G: Fuerza de la gravedad

Re: Número de Reynolds

ΔH_f : Pérdida de carga

μ : Viscosidad dinámica

P_0 : Población inicial

P_t : Población transcurrido un tiempo t

H_i : Cota inicial

Z_f : Cota final

H_f : Cota piezométrica

H_{BPT} : Altura cámara de rotura de presión

v_s : Velocidad de sedimentación

t_s : Tiempo de sedimentación

t_r : Tiempo de retención

q: Factor de carga de un sedimentador

RESUMEN

La presente propuesta tiene como objetivo mejorar el acceso a los servicios básicos de agua potable de una comunidad de unas 1500 personas, correspondiente a la población de Bumpeta, en la costa noroeste de la isla de Idjwi, en lago Kivu, República Democrática del Congo. Para ello, se plantea el diseño de una red de abastecimiento que tome agua, mediante obra de captación, de un manantial en la zona interior de la isla. Desde dicha obra de captación, el agua será conducida por tubería de polietileno y mediante la acción de la gravedad hasta un depósito de 50 m³. Se trata de un agua con una calidad presumiblemente apta para el consumo humano, por lo que no se propone sistema de tratamiento ni de desinfección. Sin embargo, ante el posible arrastre de sólidos en la corriente de agua, se diseña el depósito de abastecimiento de manera que favorezca la separación de los sólidos por decantación y así evitar las consecuencias de la sedimentación de las partículas sólidas en la línea de abastecimiento.

Desde el depósito, el agua caerá por acción de la gravedad y a través de tubería de polietileno de diferentes diámetros hasta los distintos puntos de consumo, entre los cuales destacan varias escuelas, una iglesia y un centro social.

A lo largo de la red de abastecimiento, se instalarán tres cámaras de rotura de presión, para evitar las elevadas presiones que ocasionaría en las tuberías la diferencia de alturas entre las cotas. Se determina también la valvulería e instrumentación necesaria para mantener la seguridad y control de la red.

Toda la propuesta de diseño se plantea atendiendo a las limitaciones económicas y técnicas que supone un proyecto como este en un entorno de estas características, y entendiendo que el planteamiento inicial puede sufrir modificaciones durante su ejecución en terreno.

Palabras clave: abastecimiento de agua, calidad del agua, Cooperación para el Desarrollo, Derecho Humano al agua, tratamiento de agua, ODS 6.

ABSTRACT

The aim of this proposal is to improve access to basic drinking water services for a community of around 1,500 people, corresponding to the population of Bumpeta, on the northwest coast of the island of Idjwi, in Lake Kivu, Democratic Republic of Congo. To this end, a water supply network is to be designed to take water from a spring in the interior of the island. The water will be taken from the spring by means of a polyethylene pipe and gravity-fed to a 50 m³ tank. The quality of the water is presumably suitable for human consumption, so no treatment or disinfection system is proposed. However, in view of the possible entrainment of solids in the water flow, the supply tank is designed in such a way as to favour the separation of solids by decantation and thus avoid the consequences of sedimentation of solid particles in the supply line.

From the tank, the water will fall by gravity and through polyethylene pipes of different diameters to the different consumption points, including several schools, a church and a social centre.

Three break pressure tanks (BPT) will be installed along the supply network to avoid the high pressures that would be caused in the pipes by the difference in height between the different levels. The valves and instrumentation necessary to maintain the safety and control of the network are also determined.

The entire design proposal is based on the economic and technical limitations of such a project in an environment of these characteristics, and on the understanding that the initial approach may undergo modifications during its execution on site.

Key words: water supply, water quality, Development Aid, Human Right to Water, water treatment, SDG 6.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto nace como consecuencia de la colaboración entre el grupo de cooperación Sistemas de Agua y Saneamiento para el Desarrollo de la Universidad Politécnica de Madrid y la ONG burgalesa Kivu Jambo-Proyecto Rubare, cuya misión principal es la reducción de las desigualdades y la promoción del desarrollo de la isla de Idjwi, en la República Democrática del Congo. Esta colaboración tiene como meta el mejorar el acceso a los servicios básicos de agua de una comunidad en dicha isla, tratando así de favorecer el desarrollo mencionado.

El agua se plantea como un factor básico en el proceso de desarrollo de los pueblos y cumple con diversas funciones, tanto sociales: producción agrícola e industrial, consumo humano, usos culturales; como naturales, siendo un recurso insustituible.

La carencia de agua de calidad suficiente para el consumo se traduce en una serie de consecuencias, directas e indirectas, sobre los individuos y las sociedades en su conjunto.

En la Figura 1 se aprecia cómo las regiones con un grado de desarrollo superior, presentan un mayor porcentaje de cobertura de suministro de agua gestionado de manera segura.

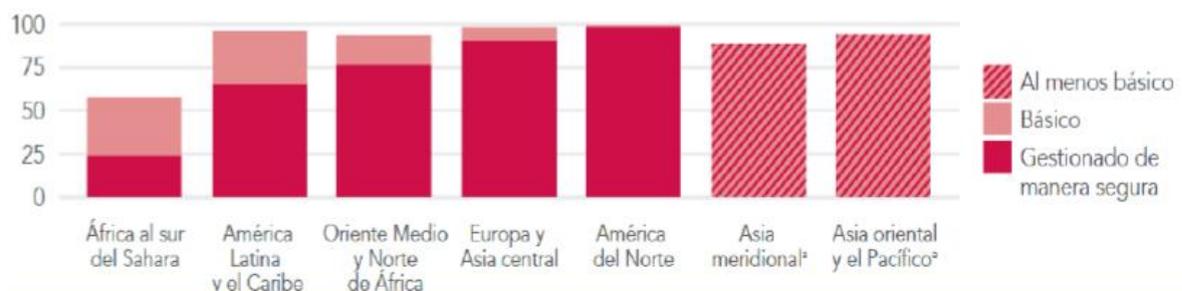


Figura 1: Acceso al suministro básico de agua gestionado de manera segura, 2015 (% de la población) [1]

Las intervenciones en Cooperación para el Desarrollo en materia de agua, tratan de dotar a los pueblos de las herramientas necesarias para favorecer su desarrollo a través de colaboraciones con las comunidades receptoras. Por lo tanto, no se debe confundir la Cooperación con la caridad, pues se debe entender como un trabajo horizontal en el que ambas partes trabajan por un objetivo común.

A la hora de proceder a una intervención de estas características, se debe atender con prudencia a la viabilidad técnica y económica, así como a las condiciones culturales y

sociales de la comunidad beneficiaria del proyecto. Es por ello que, aunque este Trabajo Final de Máster tiene una esencia puramente ingenieril, se desarrolla desde un enfoque basado en el lazo Ingeniería-Sociedad [2], el cual se define como el nexo que une los espectros técnico y social, en el que el diseño se realiza de forma posterior al trabajo con las comunidades y la identificación de sus necesidades y condiciones.

1. OBJETIVOS

El objetivo general de esta propuesta es la mejora del acceso a los servicios básicos de agua potable y su consecuente efecto en la salud de la población beneficiaria y en el desarrollo de ésta. Esta mencionada mejora se pretende conseguir mediante el diseño de un sistema de distribución de agua apta para el consumo que permita abastecer una serie de puntos de agua accesibles para la población, evitando de esta forma, por una parte, el kilométrico desplazamiento que los habitantes de la comunidad debían recorrer, así como el consumo de agua de calidad insuficiente.

Se trata de un trabajo con una serie de limitaciones técnicas y económicas que obligan a explorar alternativas con el fin de simplificar su diseño y ejecución, por lo que la búsqueda de un método de acondicionamiento de agua para consumo, adecuado al contexto, se plantea como el principal objetivo específico del proyecto.

2. EL AGUA COMO ELEMENTO FUNDAMENTAL PARA EL DESARROLLO

2.1. EL DERECHO HUMANO AL AGUA (DHA)

En el mes de julio del año 2010, la Asamblea General de Naciones Unidas reconoce de forma explícita en la Resolución 64/292 el Derecho Humano al agua y al saneamiento. De esta manera, se reafirma que el agua limpia y el saneamiento son elementos esenciales para la consecución de todos los Derechos Humanos, exhortando con ello a organizaciones internacionales, partes interesadas locales y Estados a facilitar los recursos financieros y técnicos necesarios para contribuir a dotar de un suministro de agua potable y saneamiento accesible, asequible, aceptable, suficiente y saludable, con especial énfasis en las regiones en vías de desarrollo [3]. La Tabla 1 muestra la descripción de cada uno de los criterios definidos para el cumplimiento del DHA.

Tabla 1: Criterios normativos sobre el Derecho Humano al Agua

Accesible	Servicio de agua físicamente al alcance de todo individuo
Asequible	El agua y sus servicios deben tener un coste asumible para todos y todas
Aceptable	El agua debe presentar olor, color y sabor aceptable para los usos personal y doméstico
Suficiente	La dotación de agua debe ser tal que se garantice la cobertura de las necesidades en materias básicas de salud e higiene
Saludable	El agua debe estar libre de contaminantes que puedan dañar la salud de quien la consuma

Esta declaración se considera el hito reciente más significativo en la lucha contra la crisis mundial del agua, y es que la Organización Mundial de la Salud estima en unos 2200 millones de personas las que carecen de acceso a servicios de agua gestionados de una forma segura, y apunta que para el año 2025 la mitad de la población de planeta vivirá en riesgo de escasez del recurso, a pesar de las múltiples declaraciones políticas y los numerosos avances tecnológicos.

Como se mencionaba anteriormente, el acceso al agua es un elemento fundamental para el cumplimiento de los demás Derechos Humanos, debido a su carácter transversal y su relación directa con aspectos como la alimentación, el desarrollo económico, el medio ambiente, la salud o la igualdad de género: la distancia que de media recorren niñas y mujeres africanas para recoger agua es de unos 6 km diarios, lo cual afecta de forma directa al desempeño de sus tareas educativas o laborales, además de la exposición a asaltos que supone el trayecto.

Garantizar el DHA requiere que se entienda el agua no como un bien de mercado, sino como un derecho que posee todo ser humano y que por lo tanto debe ser cubierto sin buscar el lucro [4].

El cumplimiento del DHA exige una acción coordinada en la que se señalen las situaciones de vulneración del derecho, de forma que, por un lado, se fortalezcan las capacidades de los titulares del derecho, y por otro lado el resto de actores faciliten la tecnología y recursos necesarios para encarar de forma conjunta el reto que supone garantizar el cumplimiento del este derecho esencial [5].

2.2. LA INFLUENCIA DEL AGUA EN LA SALUD

El impacto de las enfermedades vinculadas al agua sobre los países en desarrollo tiene un efecto atroz, no únicamente sobre la supervivencia de las personas, sino también en el desarrollo de las regiones, debido a que dificulta la posibilidad de superar el ciclo de la pobreza [6].

El consumo de agua no gestionada de manera segura, así como el uso de sistemas de saneamiento deficientes, lleva en la mayoría de los casos a la aparición y transmisión de enfermedades como la disentería, el cólera y otras diarreas o la fiebre tifoidea [7].

Según datos de la OMS al año cerca de un millón de personas mueren de diarrea [7] como consecuencia de un agua insalubre, de un saneamiento no suficiente o de una higiene de manos deficiente, y es la segunda mayor causa de mortalidad en menores de cinco años. Esta situación se genera por la presencia y persistencia de agentes patógenos (virus, protozoos, bacterias y helmintos) en el agua, originado en gran parte por la ausencia de un sistema de saneamiento seguro [8], [9].

Pero el consumo directo de agua no es la vía exclusiva de transmisión de patógenos, sino que existen otros medios a través de los cuales se produce este fenómeno, como una higiene corporal deficiente, la falta de lavado de manos, la ingesta de productos alimenticios lavados con agua contaminada o condiciones ambientales insalubres, hechos que afectan con una dureza mayor a las regiones en desarrollo.

A pesar de que el impacto sobre la salud no es el mismo para todos los patógenos, la bacteria *Escherichia coli* es probablemente el indicador de contaminación fecal más extendido para el control de la calidad de las aguas. En las tablas 2 y 3 se presentan las principales bacterias transmitidas por el agua y las principales enfermedades relacionadas con el agua:

Tabla 2: Principales bacterias transmitidas por el agua [10]

Bacteria	Fuente	Período incubación	Duración	Síntomas clínicos
<i>Salmonella typhi</i>	Heces, orina	7-28 días	5-7 días	Fiebre, tos, náuseas, cefalea, vómito y diarrea
<i>Escheruchia coli</i>	Heces	8-24 horas	1-2 semanas	Diarrea, fiebre, cefalea, mialgias, dolor abdominal, heces mucosas y con sangre
<i>Shigella</i>	Heces	1-7 días	4-7 días	Diarrea con sangre, fiebre, síntomas tóxicos, retortijones, convulsiones...
<i>Vibrio Cholerae</i>	Heces	9-72 horas	3-4 días	Diarrea acuosa, vómito, deshidratación
<i>Aerómonas</i>	Heces	Desconocido	1-7 días	Diarrea, dolor abdominal, náuseas, cefalea...

Tabla 3: Principales enfermedades transmitidas por el agua [10]

Enfermedad	Extensión geográfica	Número de casos anuales	Defunciones por año
Ascariasis	África, Asia y América Latina	250 millones	60.000
Hepatitis A	Todo el mundo	600.000 – 3 millones	2.400 – 12.000
Cólera	Sudamérica, África y Asia	384.000	20.000
Fiebre paratifoidea y tifoidea	80% Asia, 20 % América Latina y África	16 millones	600.000

Se concluye, por lo tanto, que la inversión en los servicios de agua y saneamiento de calidad es una de las formas más eficientes y menos costosas de mejorar la salud pública, por lo que ambos retos deben ser encarados de forma conjunta.

2.3. EL AGUA Y LA SALUD EN LOS PAÍSES EN DESARROLLO

Las desigualdades económicas y sociales en países en desarrollo y su relación con el uso de agua de calidad no apta para el consumo, es uno de los mayores desafíos en materia de agua a nivel global. La falta de recursos económicos, la baja tasa educativa, la carencia de centros de salud y la priorización de otros factores con respecto al agua, limitan la mejora y el mantenimiento de los servicios de agua. En la Figura 2 se presenta el porcentaje de población

con acceso a servicios de agua potable gestionados de manera segura a nivel global en el año 2020. Se aprecia cómo la vulneración del DHA es particularmente fuerte en África Subsahariana y en África Central

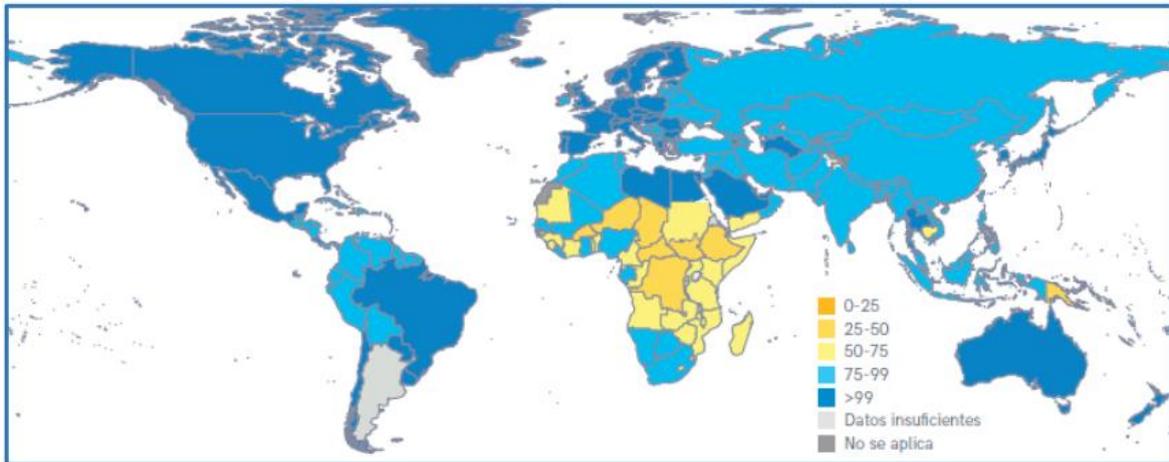


Figura 2: Porcentaje de población usando servicios de agua gestionados de forma segura (2020) [11]

La estrecha relación entre la salud y el agua provoca que los países que según la Figura 2 tienen una cobertura de agua segura menor al 75%, están expuestos a un riesgo mayor de enfermedades transmitidas por el agua, y según el informe del Banco Mundial del año 2021, a pesar de que ha disminuido a la mitad en los últimos 20 años, el África Subsahariana tiene el mayor ratio de mortalidad infantil del planeta [12].

2.4. EL AGUA EN LA AGENDA 2030

En septiembre del año 2000 los países miembros de las Naciones Unidas, asumieron una alianza mundial en la que se establecieron 8 objetivos en los cuales se reconocían una serie de problemas globales, así como una agenda operativa para lograr cumplir dichos objetivos. La lista de propósitos que conformaban dicha agenda son los que se reconocen como Objetivos de Desarrollo del Milenio y establecieron como meta lograr cumplir los 8 objetivos planteados.

Sin embargo, aunque esta agenda produjo avances importantes en el desarrollo global, tenía ciertas carencias: enfoque únicamente hacia países pobres; consideración de la economía como único requisito para el desarrollo; tareas repartidas de forma desigual... Finalmente, en septiembre del año 2015 se establece la denominada Agenda 2030, en la que se fijan unos nuevos objetivos de aplicación universal, los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), donde los esfuerzos de los países se acentúan para tratar de poner fin a la pobreza en todas

sus formas, así como reducir la desigualdad (Figura 3). Y todo ello teniendo como lucha común la que se bate contra el cambio climático. A diferencia de las que la precedían, la Agenda 2030 incluye como actores, además de a los Estados, a la empresa privada, a las ONGs y a la sociedad en general, asumiendo que todo el mundo debe tomar parte de esta lucha, pues el objetivo de la Agenda es común y no individual.



Figura 3: Objetivos de Desarrollo Sostenible [13]

La Agenda 2030 tiene como ODS número 6 garantizar la disponibilidad de agua limpia y saneamiento gestionados de forma segura para todas las personas.

Este ODS 6 plantea una serie de metas concretas a cumplir antes de 2030 para lograr la totalidad del Objetivo, y que se podrían resumir en los siguientes aspectos [13]:

- Asegurar un acceso universal al agua y al saneamiento seguros.
- Mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación de ésta.
- Promover un uso y una gestión más eficientes de los recursos hídricos.
- Proteger los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos bosques y montañas.
- Ampliar la Cooperación Internacional y el apoyo a países en desarrollo.
- Fortalecer la participación de las comunidades locales en la gestión del agua.

Sin embargo, a pesar de que se trate de objetivos independientes, la Agenda en su conjunto tiene un carácter integral, donde el cumplimiento de cada meta alimenta y se ve alimentada por las demás. En la Figura 4 se muestra la relación del ODS 6 con el resto de objetivos de la Agenda 2030:

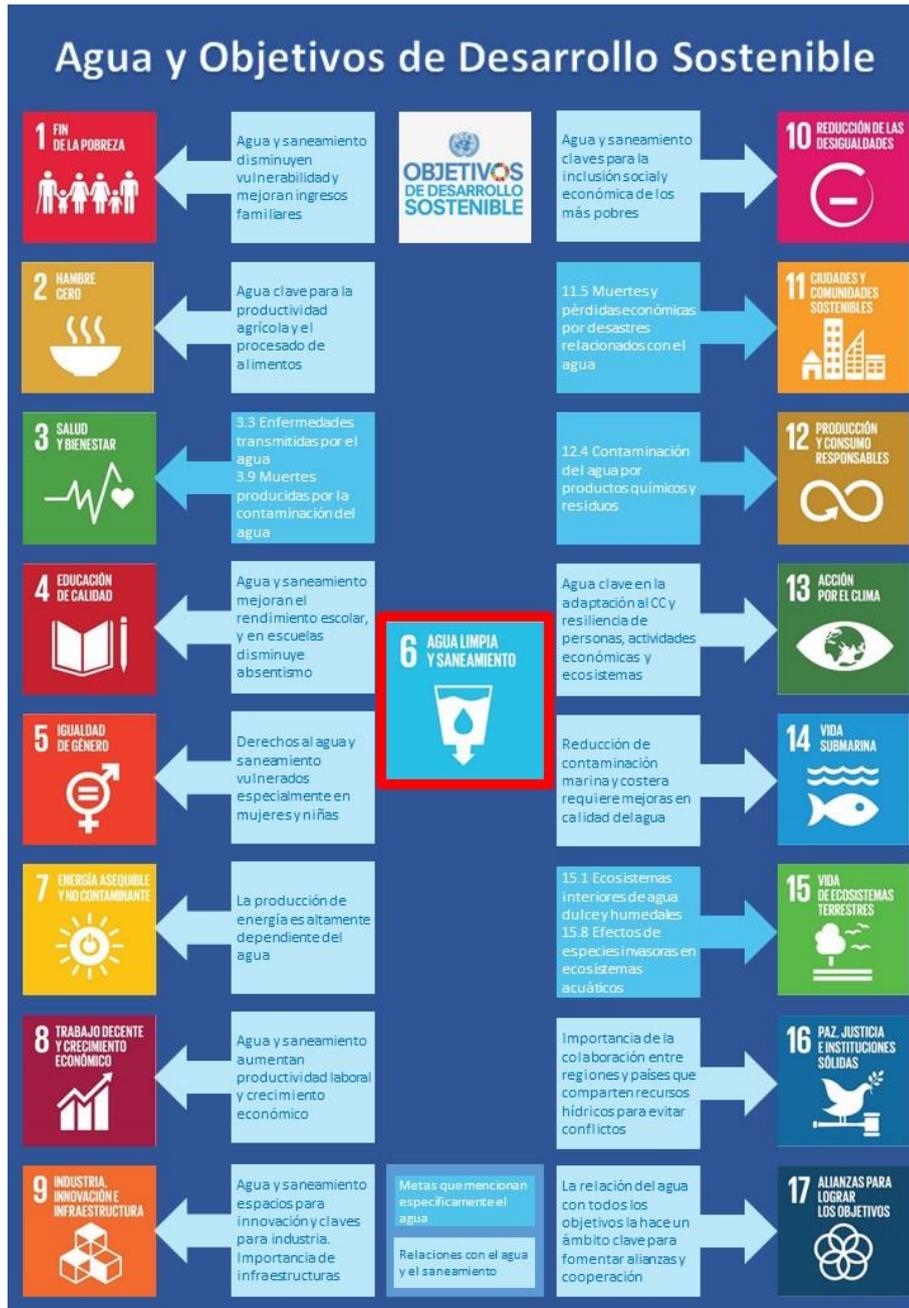


Figura 4: Relación del ODS 6 con el resto de ODS de la Agenda 2030 [14]

3. ELEMENTOS FUNDAMENTALES DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

Los sistemas de agua potable siguen una secuencia operacional cuyas etapas se definen en la Tabla 4:

Tabla 4: Secuencia operacional de los sistemas de agua potable [15]

ETAPA	OPERACIÓN
Captación	Captación de aguas subterráneas
	Captación de aguas superficiales
Acondicionamiento	Potabilización
Conducción	Transporte de agua potable a red de distribución
Distribución	Almacenamiento
	Red de distribución

3.1. CAPTACIÓN

Se define como captación el punto o los puntos de origen de las aguas empleadas para abastecimiento, así como aquellas obras de distinta naturaleza que han de realizarse para su recogida.

Dependiendo del origen del agua utilizada, se distinguen captaciones de aguas superficiales y captaciones de aguas subterráneas.

3.1.1. CAPTACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES

Se incluyen dentro de esta clasificación las aguas captadas de lluvia, las aguas tomadas de arroyos y ríos, así como aquellas de lagos y embalses [15].

- **Captación de aguas pluviales:** Los sistemas de captación de agua de lluvia constan de una zona de recogida, normalmente tejados o eras debidamente dispuesta para la recogida, y un posterior recipiente de almacenamiento (Figura 5). Se trata de una solución a menudo adecuada para contextos en desarrollo, dado que ahorraría el gasto en obra civil [6], [16].



Figura 5: Sistema de recogida, filtrado y almacenamiento de agua de lluvia en tejados [17][18]

- **Captaciones en ríos y arroyos:** antes de proceder a decidir si serán útiles como fuente de abastecimiento, se deben valorar las precipitaciones de la cuenca, la superficie de ésta, el coeficiente de escorrentía y la capacidad de campo de ésta. La forma de tomar el agua de arroyos y ríos varía según el caso desde la apertura de pozos en los márgenes del cauce hasta la construcción de presas y azudes (Figura 6) [15].



Figura 6: Captación de agua superficial en Kigoma, Tanzania¹

- **Captación de agua en embalses y lagos:** la toma se realizaría mediante la construcción de torres toma o a través de tuberías unidas directamente a la impulsión.

¹ Autor: Mancebo Piqueras, J. A. – ISF, 2008

Con el objetivo de realizar la toma con las mayores garantías posibles, conviene ubicarla a la suficiente profundidad y alejada de la orilla [15].

3.1.2. CAPTACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA

Tradicionalmente se ha intentado captar agua superficial por su mayor sencillez a la hora de hacer la captación, por tratarse de caudales conocidos, etc. Sin embargo, hay ocasiones en las que la toma superficial de agua es demasiado complicada por las condiciones del terreno o que simplemente es más adecuado y más sencillo tomar el agua de fuentes subterráneas. Además, dado que la contaminación afecta más directamente a las aguas superficiales, surgió la necesidad de buscar alternativas a las tomas de aguas superficiales [15].

Algunos ejemplos de toma de aguas subterráneas podrían ser las captaciones de manantiales o la apertura de pozos y sondeos.

- **Captación en manantiales:** en primer lugar, se debe identificar el tipo de manantial del que se va a tomar agua (de emergencia, de afloramiento o de grietas o filón) pues dependiendo de ello la obra de captación precisará de unos requerimientos u otros. Las tomas para la captación deben construirse con materiales inertes para evitar la obstrucción de las venas líquidas. En las obras de captación de manantiales, se debe prestar especial atención a la impermeabilización para impedir la contaminación de las aguas por penetración de aguas externas o elementos extraños, así como cualquier cambio en la calidad del agua como consecuencia de empleo de materiales inadecuados en la construcción. En la Figura 7 se muestra, de manera esquemática, la obra de captación de un manantial.

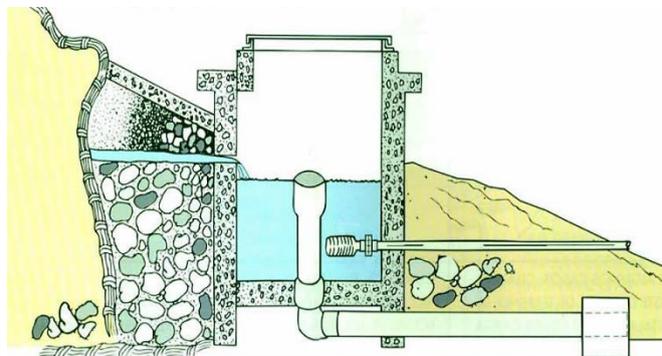


Figura 7: Esquema captación en manantial [19]

- **Pozos y sondeos:** se trata de perforaciones realizadas en terreno con el fin de

proceder a la toma de agua subterránea o a la investigación hidrogeológica. La construcción de los pozos engloba dos etapas: la perforación y acondicionamiento del mismo y el posterior equipamiento electromecánico.

3.2. TRANSPORTE DE AGUA

La etapa de conducción de agua es determinante en el coste final del abastecimiento. Se puede diferenciar entre sistemas de transporte por gravedad, sistemas de transporte por impulsión o bombeo y sistemas mixtos [15], [20].

- Los **sistemas de transporte por gravedad** son aquellos que se basan en la diferencia de cotas entre el punto inicial y el punto final de la línea de conducción, siendo la cota del primer punto mayor que la del segundo, por lo que el agua llega a su destino por acción de la gravedad. Este tipo de sistemas se plantean como la mejor opción, dado que no precisan de equipos de bombeo, no presentan costes energéticos asociados y el mantenimiento es de menor coste.
- Cuando el transporte por gravedad no es factible, la alternativa es la instalación de un **sistema de transporte de agua por bombeo**, en el que los equipos de bombeo, como las bombas centrífugas serán las encargadas de impulsar el agua hasta el punto de destino. Estos sistemas suponen una inversión importante, tanto en el propio equipo de bombeo, como en los costes energéticos asociados a su funcionamiento.
- Los **sistemas mixtos de transporte de agua** se instalan en aquellos casos en los que las condiciones permiten el transporte por gravedad, pero cuentan con equipos de impulsión auxiliares para ocasiones puntuales.

3.3. POTABILIZACIÓN

La potabilización, en términos generales, consiste en la eliminación de sustancias potencialmente tóxicas para el consumo humano. El proceso de acondicionamiento de agua variará según el origen de la misma y se llevará a cabo en estaciones de tratamiento de agua potable (ETAP). Las etapas de cada ETAP dependerán de la calidad del agua cruda.

3.3.1. PRETRATAMIENTO

Se trata de la primera etapa de acondicionamiento de agua y tiene por objetivo evitar en la

medida de lo posible el arrastre de arena, es decir, la retirada de grava, arenas y partículas minerales del flujo de agua, evitando de esta manera las consecuencias de la acumulación de sólidos en las conducciones [21].

3.3.2. COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

Tras la captación y desarenado, el agua aún puede presentar cierta turbidez, color y suspensiones de partículas que deben ser retiradas. Esto puede hacerse por decantación y filtración, pero si la concentración es elevada, conviene realizar también un proceso de coagulación-floculación para facilitar los mencionados procesos de decantación y filtración [21], [22].

- Coagulación: consiste en la desestabilización de partículas cargadas que conforman la suspensión coloidal mediante la adición de agentes coagulantes ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{FeCl}_3\dots$). Se debe tener en cuenta que el tiempo necesario para esta operación es normalmente corto, por lo que se ve favorecida por una agitación rápida para facilitar la mezcla.
- Floculación: se trata de la unión o agregación de coágulos entre sí una vez éstos se han formado. Este proceso tiene lugar con la adición de floculantes y se ve favorecido por una agitación lenta. Se distinguen dos formas de agregación:
 - Floculación pericinética: generada por el movimiento natural de las moléculas de agua e inducido por la energía térmica.
 - Floculación ortocinética: basado en las colisiones de las partículas debido a una energía exterior que provoca el movimiento del agua.

3.3.3. SEDIMENTACIÓN

La sedimentación consiste en la separación de las partículas sólidas del fluido por deposición de éstas en el fondo del sedimentador. Este proceso se basa en la reducción de la velocidad del agua de manera que se vea favorecida la decantación de los sólidos hacia el fondo del equipo. Para lograr un rendimiento razonable de la operación, el tiempo de residencia de las partículas en el tanque, debe ser mayor que el tiempo que dichos sólidos tardan en llegar al fondo [22].

En los sedimentadores, el agua clarificada se recoge por la parte superior del equipo, mientras que los fangos generados son retirados por el fondo del mismo.

Este proceso se ve condicionado por diferentes factores: tamaño de las partículas, densidad del medio, velocidad del agua, geometría del sedimentador, etc [22].

Según su geometría, existen diferentes tipos de sedimentadores, siendo los más utilizados los rectangulares y los circulares.

3.3.4. FILTRACIÓN

La filtración es otra de las operaciones de separación sólido-líquido más empleadas en la potabilización de aguas. En ella, el flujo de agua atraviesa un lecho filtrante en el que quedarán retenidas las partículas que no han sido retiradas en las operaciones anteriores [23], [24].

Los filtros más comúnmente utilizados son los de lecho de arena, tanto en los países desarrollados como en el mundo en desarrollo [6], [16]. En ellos, se pueden diferenciar dos opciones de filtrado:

- Filtración lenta: en ellos la velocidad de filtración es inferior a 0,2 m/h y se emplean para flujos pequeños. En la parte superior del equipo se genera una lámina biológica en la cual tiene lugar la degradación de la materia orgánica.
- Filtración rápida: la velocidad de filtración en estos filtros puede ser de hasta 50 m/h. Las partículas se van acumulando a lo largo del lecho y se requiere de un aporte de energía externo para aumentar la presión del proceso.

3.3.5. DESINFECCIÓN

La desinfección es la última etapa del proceso de acondicionamiento de agua para consumo. Consiste en la eliminación de los microorganismos patógenos, potencialmente dañinos para la salud, que están presentes en el agua.

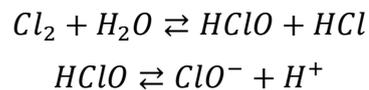
La desinfección puede lograrse mediante diferentes métodos:

- Adición de agentes químicos: existen diferentes compuestos de carácter biocida:
 - o Compuestos clorados: se trata del método de desinfección más utilizado por la serie de ventajas que ofrece: actúa rápido, aplicación y manejo sencillos,

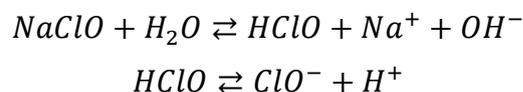
bajo coste y efecto desinfectante residual.

La cloración puede realizarse mediante la adición de distintos compuestos clorados.

- Cloro gas. La reacción del cloro en agua viene definida por la reacción:



- Hipoclorito sódico. Es el producto desinfectante más empleado y actúa según la reacción:



- Ozono: se trata de un oxidante un 150% más potente que el cloro [25] y con un espectro antimicrobiano más amplio que este [26]. Requiere de un tiempo de contacto corto y las dosis empleadas son de en torno a 0,5 ppm. Entre sus principales desventajas cabe destacar que tiene un tiempo de vida medio corto, por lo que debe producirse *in-situ*, y no posee efecto desinfectante residual.
- Desinfección UV [27]: para que este método de desinfección sea eficaz, se requiere un agua con unos niveles bajos de turbidez y una también baja cantidad de materia orgánica e iones disueltos, ya que estas sustancias pueden absorber la radiación ultravioleta. El fundamento de la desinfección mediante radiación ultravioleta se basa en la inactivación de los microorganismos como consecuencia del daño fotoquímico que la radiación provoca sobre sus ácidos nucleicos.

Aunque se han mencionado las etapas de un proceso típico de potabilización de agua, existen otras muchas operaciones que se han de valorar según su idoneidad para cada contexto: ósmosis inversa, adsorción, intercambio iónico, fitorremediación, biofiltros, etc.

3.4. ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN

El agua tratada previamente al suministro se almacena en depósitos, que en abastecimiento

se definen como aquellas estructuras aptas para contener cierto volumen de agua, con las instalaciones adicionales necesarias para cumplir con las funciones para las cuales se haya diseñado ese depósito [15], [28], que, resumiendo, podrían ser:

- Almacenar el agua.
- Regular caudal.
- Regular presión en la red.
- Ofrecer seguridad al abastecimiento.
- Asegurar el mantenimiento de la calidad del agua.

El suministro de agua desde los depósitos hasta los puntos de consumo se efectúa por medio de una red de distribución, cuyo fin es garantizar que exista el caudal necesario, la presión y la calidad necesarias [15], [20].

Los sistemas de redes de distribución pueden reducirse a tres fundamentales:

- **Red ramificada:** Consiste en una arteria maestra o tubería principal de la que derivan arterias secundarias, de las cuales a su vez derivan tuberías de tercer o cuarto orden, cada vez menores (Figura 8). Este tipo de red tiene el gran inconveniente de que una avería en la misma deja en seco toda la red a partir del punto averiado. Por lo tanto, se trata de un sistema poco aconsejable, recomendado únicamente en zonas rurales que requieran puntos de agua muy dispersos.
- **Red reticulada o mallada:** En este sistema, los ramales de la red anterior se unen y el agua puede llegar a cada punto por varios caminos (Figura 8). Presenta el problema de la indeterminación del sentido de la circulación, pero tiene la ventaja de que, en caso de avería, el agua llegaría al resto de la red por otros caminos.
- **Red mixta:** Resultado de la combinación de los dos tipos de red descritos anteriormente (Figura 8).

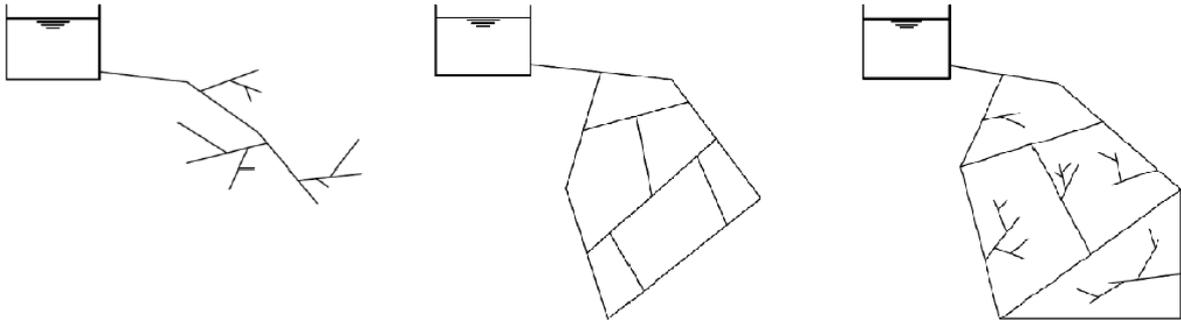


Figura 8: Red ramificada, reticulada y mixta de distribución de agua²

Es complicado dar criterios para la adopción de un sistema u otro, pues depende de varios factores, como el trazado de la ciudad o la ubicación de los depósitos y su carácter, entre otros.

4. CALIDAD DEL AGUA Y PROYECTOS DE AGUA EN COOPERACIÓN PARA EL DESARROLLO

El agua se constituye como un factor fundamental e insustituible para la vida. El aumento de la población mundial, la crisis migratoria, el crecimiento de la pobreza y la contaminación y la mala gestión hacen que el agua potable sea cada día un recurso más limitado [29]. Se requiere, por lo tanto, una gestión y control de la calidad de los recursos hídricos frecuentes y detallados, así como de los sistemas de abastecimiento y distribución de agua, de forma que se asegure la calidad necesaria para el consumo y se facilite la toma de decisiones en lo relativo a los tratamientos adecuados.

La calidad del agua está definida por el conjunto de características físicas, químicas, biológicas y radiológicas del agua que la hacen apta o no apta para su uso:

- Parámetros físicos
 - Olor
 - Temperatura
 - Color
 - Sabor

² Elaboración propia

- Turbidez
- Conductividad
- Parámetros químicos
 - pH
 - Demanda química de oxígeno (DQO)
 - Demanda biológica de oxígeno (DBO)
 - Oxígeno disuelto
 - Cloro residual
 - Acidez
 - Alcalinidad
 - Dureza
- Parámetros biológicos
 - Bacterias (coliformes fecales, *E. Coli*, etc.)
 - Algas
 - Protozoos
 - Virus
- Parámetros radiológicos
 - Núcleos radiactivos

El asegurar un control de calidad y una gestión del recurso y de los sistemas adecuados, supone un desafío aún mayor en los contextos en desarrollo.

En Cooperación para el Desarrollo, las intervenciones en el ámbito del agua a menudo sufren de una carencia de datos importante en lo relativo a índices de calidad del agua, lo cual tiene su consecuencia sobre la toma de decisiones al respecto. La falta de datos relativos a la calidad del agua puede traducirse en el fracaso de un proyecto o en que éste tenga un impacto menor que el esperado. La carencia de recursos y personal para la realización de análisis y la ausencia general de laboratorios en este tipo de contextos son la principal razón de esta falta de datos iniciales.

Es por ello que toda intervención de este tipo debe hacerse de una manera transversal e

integral, incluyendo desde aspectos como la sensibilización, capacitación y formación de la comunidad receptora en materia de calidad del agua hasta la ejecución de la obra y el mantenimiento de la misma.

Por otra parte, los proyectos de Cooperación deben tener en cuenta las necesidades y capacidades de las comunidades receptoras para llevar a cabo el mantenimiento y la operación de las tecnologías propuestas, por lo que se ha de estudiar con prudencia qué es lo más adecuado para cada contexto, atendiendo a criterios económicos, técnicos y de viabilidad y sostenibilidad. En general, recurrir a sistemas y tecnologías alternativas y de bajo coste (SODIS, fitorremediación, biofiltros...) puede plantearse como una opción óptima.

5. ANÁLISIS TERRITORIAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

5.1. REPÚBLICA DEMOCRÁTICA DEL CONGO

La República Democrática del Congo (RDC) se encuentra localizada en el corazón del continente africano. En su mayor parte, el país está regado por la cuenca del río Congo, el cual es el segundo más caudaloso del mundo y el quinto más largo [30]. La República Democrática del Congo está situada en una inmensa meseta y forma parte del África de los Grandes Lagos: lago Tanganika, lago Kivu y lago Eduardo.

Se trata del segundo país más extenso de África (por detrás de Argelia) con una extensión de 2.344.858 km², por lo que sus fronteras limitan con hasta nueve países: Angola, Burundi, República Centroafricana, República del Congo, Ruanda, Sudán del Sur, Tanzania, Uganda y Zambia (Figura 9). Tiene una población total de 90.377.986 personas [31], de los cuales, aproximadamente unos 14 millones viven en su capital, Kinshasa.

que, aunque hay cierta controversia en lo referido a los datos, en la RDC se encuentra un importante porcentaje de las reservas de coltán del planeta [33].

Sin embargo, contrasta con esta inmensa riqueza en mineral y en materia prima, la situación de pobreza extrema en la que vive un alto porcentaje de la población, y es que la tasa de pobreza se mantiene cercana al 80% [34] y hasta 15,6 millones de personas requieren de ayuda humanitaria [35]. El Índice de Desarrollo Humano (IDH) de la República Democrática del Congo es de 0,480, lo cual se entiende como bajo y sitúa al país en el puesto nº 176 de un total de 189 países [36].

El número de desplazados internos asciende a más de 5 millones de personas y cerca de 1 millón se encuentran refugiados en países vecinos.

Se considera a la RDC como el país con mayores recursos hídricos de África, dado que posee más del 50% de las reservas del continente [32]. Sin embargo, pese a ser tan rico en este recurso, se enfrenta a una crisis aguda de suministro de agua potable. Se estima que únicamente el 26% de su población tiene acceso a sistemas de agua potable gestionados de manera segura, un dato muy inferior al 60% promedio del África subsahariana [37]. Las inversiones insuficientes, el deterioro de infraestructuras y los conflictos producto de la inestabilidad social han derivado en una serie de consecuencias sobre los servicios de agua y saneamiento, así como sobre la salud pública.

5.2. LA REGIÓN DE KIVU

La antigua provincia de Kivu, hoy dividida en Kivu del Norte y Kivu del Sur, comprende la región oriental de la RDC que rodea al lago Kivu en la zona limítrofe con Ruanda (Figura 10).



Figura 10: Ubicación de la región de Kivu en la RDC

La región ha sido escenario de constantes conflictos armados. La *Guerra del Coltán* (1998-2003), también conocida como la *Segunda Guerra del Congo* o la *Gran Guerra de África* involucró a 9 naciones distintas, numerosas facciones armadas y provocó la muerte de 4 millones de personas. Pese a la finalización oficial del conflicto, la situación continúa siendo del todo inestable, y continúan surgiendo focos violentos. Las continuas escaramuzas y su consecuencia sobre los servicios básicos se cobran la vida de más de 100 personas diarias [38].

Desde 2004 la *Guerra del Kivu* enfrenta a las Fuerzas Armadas de la República Democrática del Congo (FARDC) y el ejército rebelde del Congreso Nacional por la Defensa del Pueblo (CNDP), comandado por Laurent Njunda [39].

En el conflicto también se han involucrado las Fuerzas Democráticas para la Liberación de Ruanda (FDLR), entre cuyas filas contaban con miembros que dirigieron el genocidio de Ruanda. La inestabilidad de la zona debida a las disputas entre los diversos grupos étnicos de la región, unida a los intereses externos sobre la que es una de las regiones más ricas en minerales del planeta, ha provocado que el conflicto se alargue hasta día de hoy sin que la paz se vea como un escenario cercano. De hecho, en marzo del año 2022 se produjo la ofensiva del M23 [40] en la que el *Movimiento 23 de marzo* atacó diversas aldeas de la región de Kivu Norte, enfrentándose a las FARDC. La ofensiva originó el desplazamiento de miles de refugiados, y es que, de los más de 5 millones de desplazados internos en la RDC, cerca de 2 millones lo son en la región de Kivu Norte [41].

Una de las principales razones que alimenta el conflicto en la zona, es la riqueza mineral de su suelo, y es que la región de Kivu cuenta con importantes reservas de coltán, oro, diamantes

o tungsteno [42] (Figura 11).

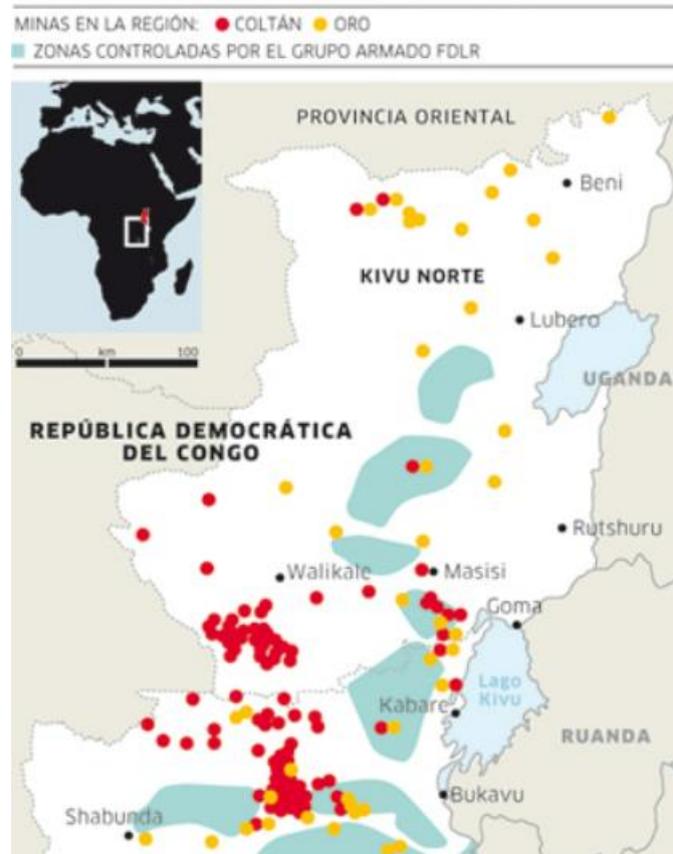


Figura 11: Ubicación de minas y grupos armados en la RDC [43]

Sin embargo, la actividad minera se realiza a menudo sin respetar los Derechos Humanos, trabajando en condiciones inhumanas y empleando para ello a niños, impidiendo su formación escolar y generando miseria [44].

Esta actividad minera, del todo irregular, tiene un impacto ambiental atroz: fragmentación de bosques, deforestación, contaminación de suelos y degradación de la calidad del agua de los acuíferos y del lago Kivu. Un reciente estudio, llevado a cabo en el año 2020, evidenció este último hecho: en la Tabla 6 se muestran los resultados obtenidos en el análisis de muestras de agua en diversos puntos de la costa ruandesa del lago Kivu, observándose cómo la mayoría de los parámetros se encuentran por encima de los niveles considerados aptos para agua de consumo:

Tabla 6: Concentración media de metales pesados ($\mu\text{g/L}$) en diferentes muestras de agua tomadas del lago Kivu, en superficie y a 40 m de profundidad [45]

Profundidad (m)	Pb	Cd	Cu	Cr	Mn	Hg
Ubicación: Rusizi						
0	28,26	8,84	6,98	200,52	740,00	0,0155
40	23,13	7,68	7,87	205,73	673,47	0,013
Ubicación: Karongi						
0	28,47	7,53	4,44	160,51	680,74	0,0018
40	26,66	7,32	4,88	153,32	683,56	0,0021
Ubicación: Rubavu						
0	27,15	9,72	6,77	176,49	611,63	0,028
40	21,64	9,30	7,58	165,57	623,08	0,0855

En la Figura 12 se muestran los tres puntos de los que se tomaron las muestras de agua:

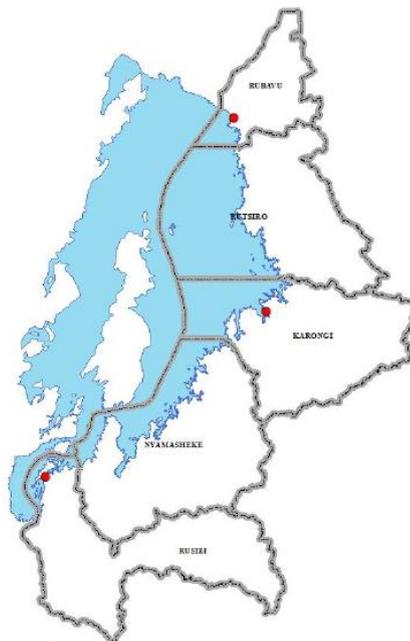


Figura 12: Ubicación de cada uno de los tres puntos de toma de muestras de agua para análisis[45]

5.3. LA ISLA DE IDJWI

La isla de Idjwi con sus 285 km² es la de mayor extensión de las que se encuentran en el interior del lago Kivu (Figura 13). Cuenta con una población de unas 220.000 personas y sus principales actividades económicas son la agricultura (yuca, piña y batata), el café y la pesca [46].

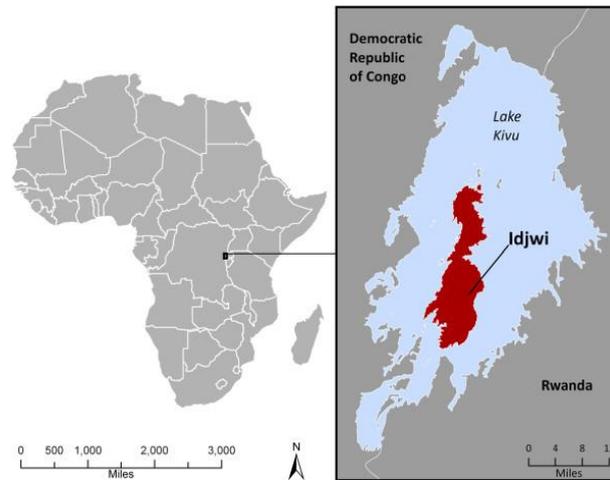


Figura 13: Localización de la isla de Idjwi en la RDC [46]

El aislamiento en el que geográficamente se encuentra la isla, ha permitido que dentro del caos de violencia y conflictos que supone la región de Kivu, Idjwi se erija como un remanso de tranquilidad, aunque también se enfrenta a los problemas propios de la zona: tensiones interétnicas y sociales, falta de servicios, pobreza...

La situación de paz en la zona no es fruto de la casualidad, sino del esfuerzo llevado a cabo en las propias comunidades por parte de asociaciones e individuos particulares por dotar a la isla de cierta independencia y generar un clima con una cultura de paz real [47].

Como se mencionaba anteriormente, esta condición de aislamiento en la que se encuentra la isla, no la hace ajena de los problemas de la región. La intensa minería de la zona afecta directamente a la calidad del agua del lago (ver Tabla 6) haciéndola no apta para su consumo. Este hecho obliga a los y las habitantes a buscar otras fuentes de agua segura y tener que recorrer largas distancias para ello, con todas las consecuencias que este hecho implica. No obstante, afortunadamente, y aunque lejos de algunos núcleos poblacionales, la isla cuenta en su parte interior con diversos manantiales con agua de calidad suficiente para su consumo.

El aislamiento citado con anterioridad tiene, obviamente, su parte negativa: se trata de un lugar remoto y de difícil acceso en el que los puntos de agua segura y el saneamiento gestionado de forma segura apenas existen, como tampoco un abastecimiento energético de calidad. Es por ello que, aunque no se trate de un país prioritario para la Cooperación Española [48], se precisa un esfuerzo por parte de los actores globales para cumplir con la premisa de *no dejar a nadie atrás* que define al Desarrollo Humano [36].

6. PROPUESTA DE PROYECTO

Se plantea el diseño de una red de distribución de agua por gravedad para abastecer la demanda de una comunidad de unas 1600 personas en la población de Bumpeta, a orillas del lago Kivu, en la costa oeste de la isla de Idjwi (Figura 14). El agua se captará de un manantial y será conducida hasta un depósito de almacenamiento, que será diseñado de forma que se favorezca el proceso de decantación de los posibles sólidos presentes en el agua. Desde dicho depósito de almacenamiento, el agua caerá por gravedad a través de tubería de polietileno de alta densidad de diferentes diámetros hasta los diferentes puntos de consumo.

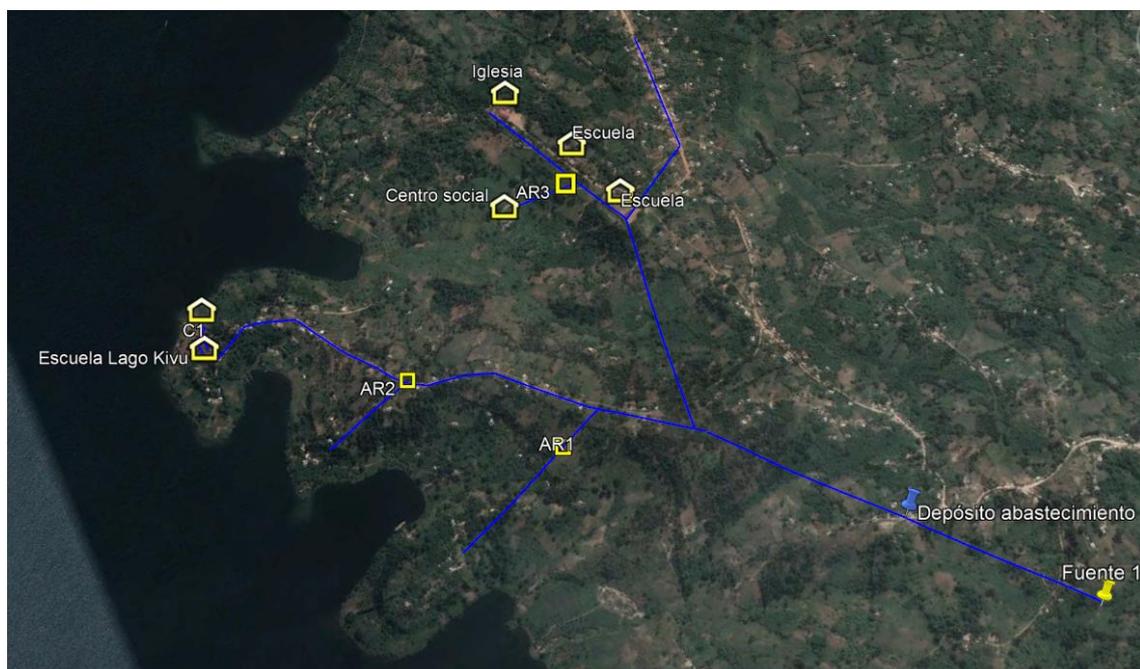


Figura 14: Vista sobre mapa de la red ramificada de distribución (Google Earth Pro)

En la Figura 15 se muestra la localización de una escuela y una serie de casas en las que se plantea la ubicación de puntos de agua:



Figura 15: Vista de la población beneficiaria del proyecto

6.1. ESTIMACIÓN DE CAUDAL

En primer lugar, se debe conocer el número de personas a las que se pretende abastecer. Según datos proporcionados por personal local, este número asciende a unas 1600 personas. Para contrastar este dato, se emplea la aplicación Population Explorer, con la cual se obtiene el resultado mostrado en la Figura 16:

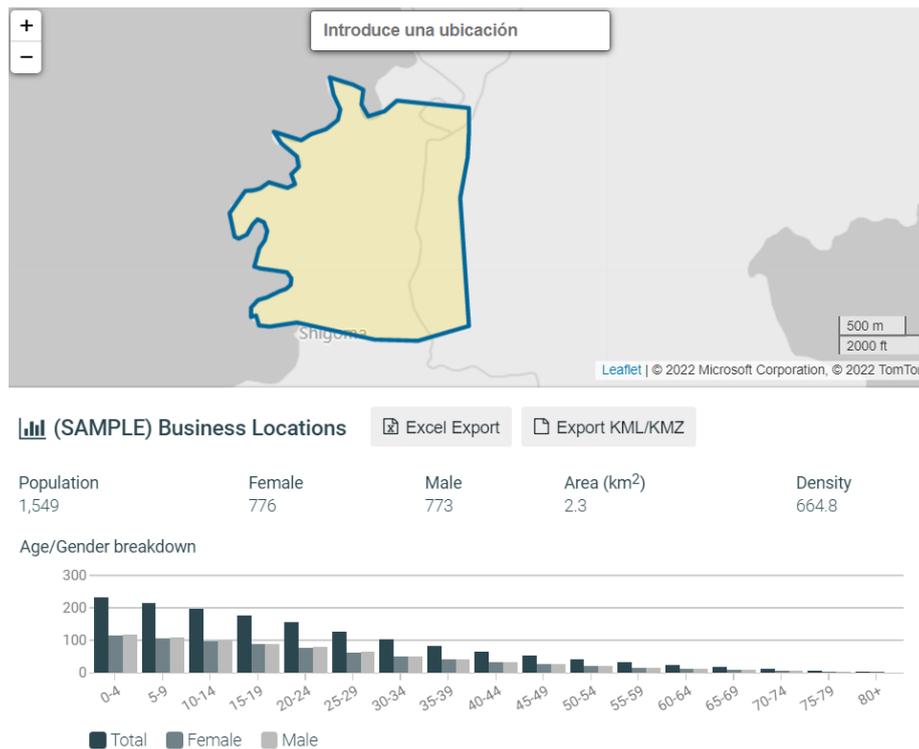


Figura 16: Estimación de población según la aplicación *Population explorer*

Sin embargo, para la estimación de caudal necesario, se tendrá en cuenta el crecimiento poblacional a 10 años vista, aplicando una tasa de crecimiento del 3%, correspondiente a la República Democrática del Congo [49].

$$\begin{aligned}
 P_0 &\approx 1600 \text{ hab} \\
 P_t &= P_0 \cdot (1 + r)^t \quad (1)
 \end{aligned}$$

$$P_t = 1600 \cdot (1 + 0,03)^{10}$$

$$P_t = 2150 \text{ hab}$$

Los organismos internacionales (OMS, ONU) recomiendan establecer una dotación de $50 \frac{L}{\text{hab}\cdot\text{día}}$ [50]. Por tanto, el volumen diario necesario sería el calculado en la ecuación 2:

$$V \left(\frac{m^3}{\text{día}} \right) = n^{\circ} \text{ hab} \cdot \text{dotación} \left(\frac{L}{\text{hab} \cdot \text{día}} \right) \quad (2)$$

$$V \left(\frac{m^3}{\text{día}} \right) = 2150 \text{ hab} \cdot \frac{50 L}{\text{hab} \cdot \text{día}} \cdot \frac{1 m^3}{1000 L} = 107,5 \frac{m^3}{\text{día}}$$

6.2. CAPTACIÓN

A pesar de que, durante la intervención en terreno, el planteamiento inicial puede sufrir importantes modificaciones en función de la viabilidad de ejecución e idoneidad de la propuesta, se sugiere la construcción de una captación en manantial como la que se aprecia en la Figura 17:

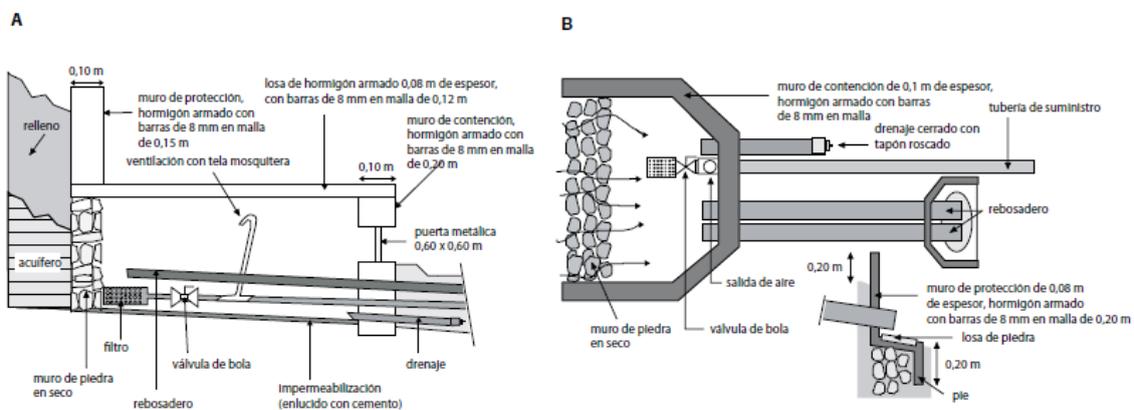


Figura 17: Cámara de captación en manantial. A: sección; B: planta [16].

6.3. DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

A la hora de proceder con el diseño, se han de tener en cuenta una serie de consideraciones:

- Se debe evitar que la presión de la red sobrepase los 50 metros de columna de agua [15], pues es la presión máxima de diseño de un grifo convencional. Para ello, se diseñan cámaras de rotura de presión en los puntos que, atendiendo a esta condición, se consideren necesarios.
- Para que el suministro se considere aceptable, la presión en cada punto de agua debe estar por encima de 5 metros de columna de agua [6].
- Para evitar la sedimentación de partículas sólidas en tubería, se debe intentar que la velocidad por el interior de las mismas sea superior a 0,6 m/s [15].

- Se debe instalar como mínimo un punto de agua por cada 150 habitantes [16].

$$n_{ptos\ agua} = hab \cdot \frac{ptos\ agua}{hab} \quad (3)$$

$$n_{ptos\ agua} = 2150 \cdot \frac{1}{150} = 14\ ptos$$

A estos 14 puntos de agua se sumarán a la red de distribución aquellos que abastecerán las 6 casas que se encuentran a orillas del lago, las cuales contarán con 2 grifos cada uno, por lo que el total de grifos será 26.

Por lo tanto, se propone la distribución de puntos de agua mostrada en la Figura 18. La tubería irá enterrada unos 40 cm – 60 cm.

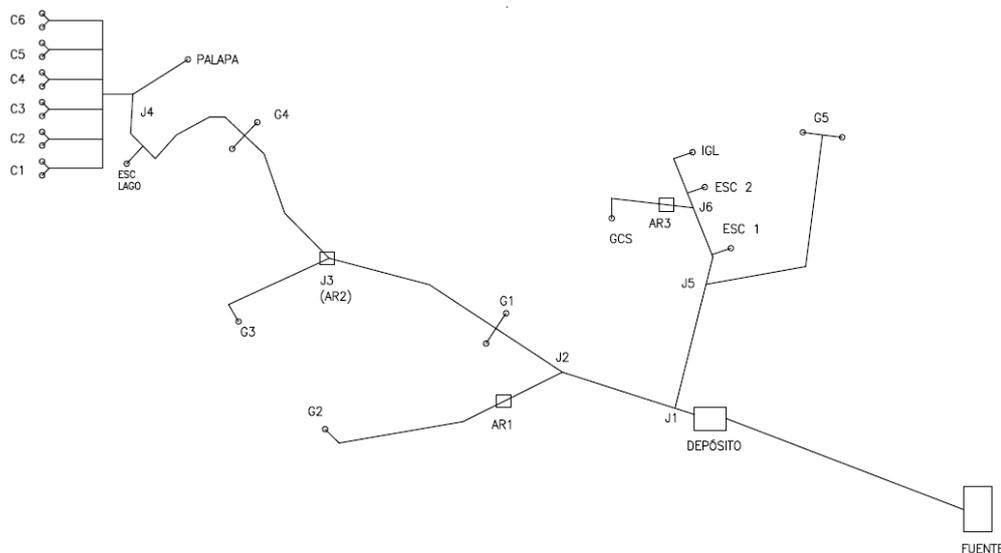


Figura 18: Distribución de los puntos de agua³

A continuación, se procede a diseñar la red de distribución empleando el programa *Cálculo red*, creado por el profesor de la Universidad Politécnica de Madrid José Antonio Mancebo. Para ello, se emplean los caudales máximos que circularán por cada tramo de tubería, y siguiendo el diagrama que se muestra a continuación (Figura 19), se calculará la presión residual en cada punto:

³ Elaboración propia

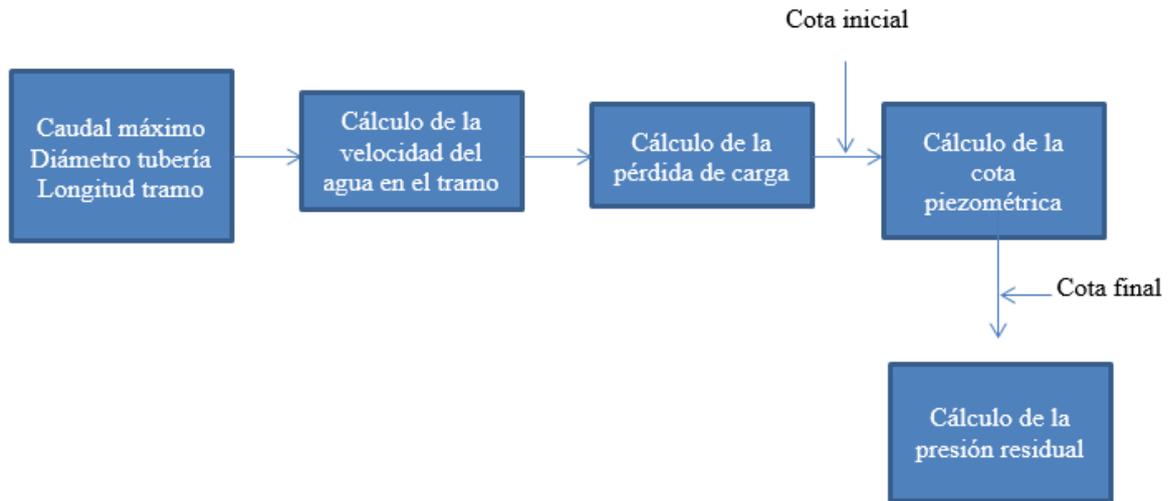


Figura 19: Metodología para el cálculo de las presiones residuales en la red

Para el ejemplo de cálculo (Tabla 7), se toma el tramo de tubería entre el depósito y el punto J1:

Tabla 7: Datos ejemplo de cálculo para el diseño de la red de abastecimiento

Q (L/s)	D (mm)	L (m)	Hi (m)	Zf (m)
1	40	536 m	1625	1605

$$v \left(\frac{m}{s} \right) = \frac{Q \left(\frac{m^3}{s} \right)}{A(m^2)} \quad (4)$$

$$v \left(\frac{m}{s} \right) = \frac{1 \frac{L}{s} \cdot \frac{1 m^3}{1000 L}}{\pi \cdot \frac{(0,04 m)^2}{4}} = 0,80 \frac{m}{s}$$

$$\text{Pérdida de carga: } \Delta H(m) = f \cdot \frac{L \cdot v^2}{D \cdot 2g} \quad (5)$$

$$\Delta H(m) = 0,02 \cdot \frac{536 m \cdot \left(0,80 \frac{m}{s}\right)^2}{(40 \cdot 10^{-3})m \cdot 2 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}} = 8,66 m$$

$$\text{Cota piezométrica: } H_f(m) = H_i(m) - \Delta H(m) = \quad (6)$$

$$H_f(m) = 1625 m - 8,66 m = 1616,34 m$$

$$P_{residual}(m) = H_f(m) - Z_f(m) \quad (7)$$

$$P_{residual}(m) = 1616,34 m - 1605 m = 11,34 mca$$

Se diseña la red de abastecimiento repitiendo el proceso para todos los tramos. En la Tabla 8 se resumen los resultados obtenidos:

Tabla 8: Resultados diseño red de abastecimiento

RED RAMIFICADA DE KIVU						
TRAMO TUB	CAUDAL l/s	LONG. (m)	D (mm)	VELOC.(m/s)	COTA Zf (m)	hf (mca)/P resid
Fuente - Depósito	1	536	40	0,80	1605,00	11,34
Depósito - J1	6,5	501	75	1,47	1585,00	5,24
J1-J5	1,5	550	63	0,48	1549,00	39,18
J5 - Esc1	1	43	32	1,24	1542,00	44,06
Esc1 - J6	0,75	124	32	0,93	1537,00	45,62
J6 - Esc2	0,5	65	32	0,62	1539,00	42,82
Esc2 - Iglesia	0,25	223	20	0,80	1540,00	34,62
J6 - AR3	0,25	25	20	0,80	1536,00	37,81
AR3					1536,00	
AR3 - CS	0,25	198	20	0,80	1508,00	21,60
J5-G5	0,5	569	32	0,62	1539,00	42,17
J1 - J2	5	220	63	1,60	1558,00	23,08
J2 - G1	4,75	210	63	1,52	1545,00	28,18
G1 - J3	4,25	265	63	1,36	1519,00	46,20
J3					1519,00	
J3 - G4	4	340	63	1,28	1483,00	26,93
G4 - Esc Lago	3,5	260	63	1,12	1471,00	33,62
Esc Lag - J4	3,25	40	63	1,04	1470,00	33,92
J4 - C1	0,5	20	20	1,59	1471,00	30,33
J4 - C2	0,5	20	20	1,59	1470,00	31,33
J4 - C3	0,5	20	20	1,59	1470,00	31,33
J4 - C4	0,5	20	20	1,59	1470,00	31,33
J4 - C5	0,5	20	20	1,59	1470,00	31,33
J4 - C6	0,5	20	20	1,59	1470,00	31,33
J4 - Palapa	0,25	40	20	0,80	1472,00	28,04
J2 - AR1	0,25	124	20	0,80	1534,00	43,07
AR1					1534,00	
AR1 - G2	0,25	346	20	0,80	1487,00	35,82
J3 - G3	0,25	249	20	0,80	1479,00	31,96

En la figura 20 se muestra el esquema de la red de distribución con sus distintos puntos de agua. Se debe tener en cuenta que algunos de estos puntos son dobles y contarán, por lo tanto, con dos grifos. Un grifo convencional aporta un caudal máximo de unos 0,25 litros por segundo. En la Tabla 9 se recogen los datos de cada punto de agua:

Tabla 9: Singularidades puntos de agua

Nombre	Símbolo	Caudal (L/s)	h (m)
Punto de agua 1	G1	0,5	1545
Punto de agua 2	G2	0,25	1487
Punto de agua 3	G3	0,25	1479
Punto de agua 4	G4	0,5	1483
Punto de agua 5	G5	0,5	1539
Punto de agua Escuela 1	Esc1	0,25	1542
Punto de agua Escuela 2	Esc2	0,25	1539
Punto de agua iglesia	Iglesia	0,25	1540
Punto de agua Escuela lago	Esc Lago	0,25	1471
Punto de agua palapa	Palapa	0,25	1472
Punto de agua Centro Social	GCS	0,25	1508
Punto de agua Casa 1	C1	0,5	1471
Punto de agua Casa 2	C2	0,5	1470
Punto de agua Casa 3	C3	0,5	1470
Punto de agua Casa 4	C4	0,5	1470
Punto de agua Casa 5	C5	0,5	1470
Punto de agua Casa 6	C6	0,5	1470

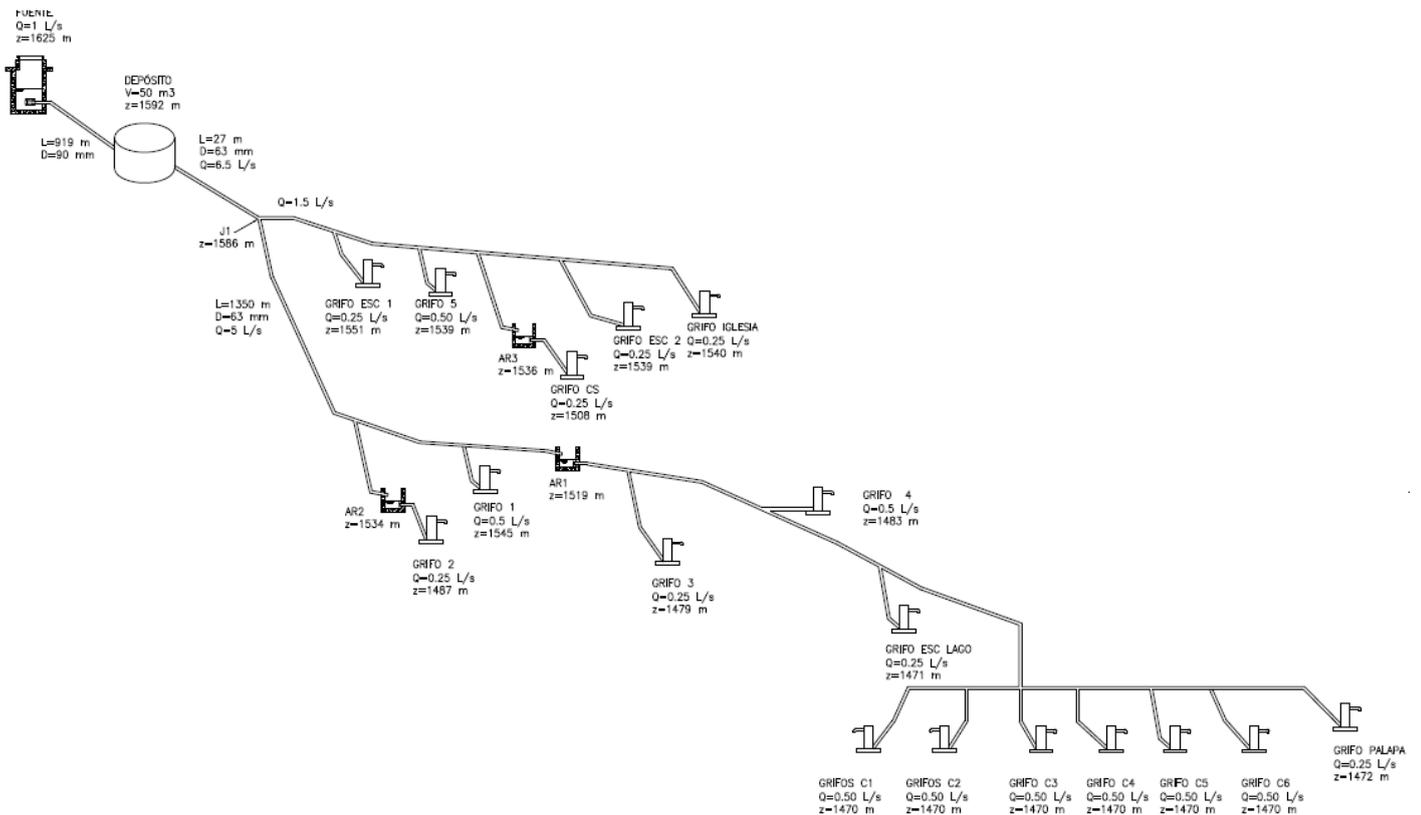


Figura 20: Red de distribución⁴

⁴ Elaboración propia

En la figura 20 se detalla la configuración constructiva de los puntos de agua:

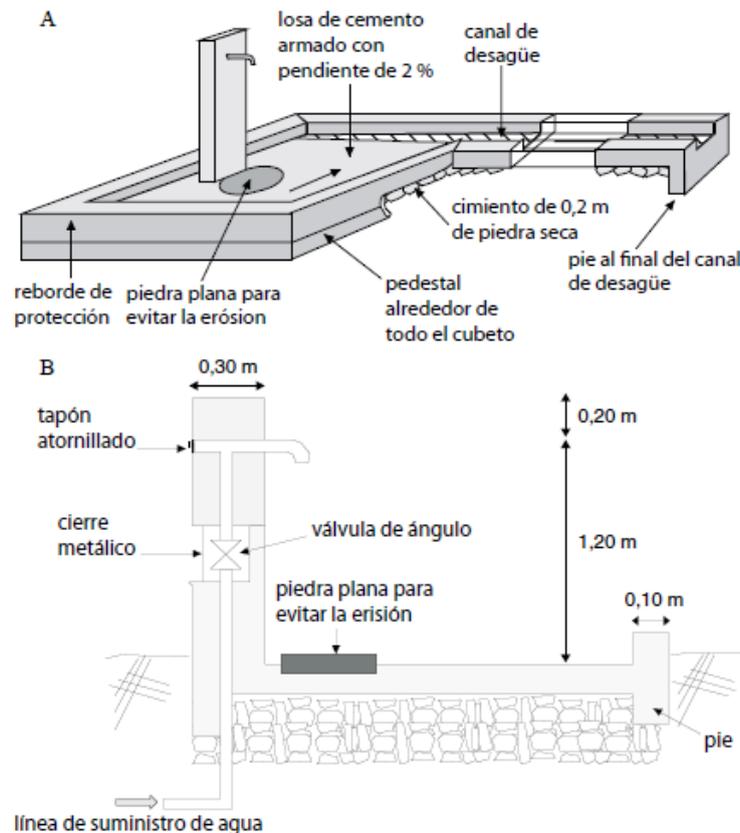


Figura 21: Pedestal de fuente con un caño. A: vista general; B: sección [16]

6.4. DISEÑO ARQUETAS DE ROTURA

Debido a la diferencia de cota entre el depósito de almacenamiento y los diferentes puntos de agua, la presión en la red alcanzaría valores superiores a 50 metros de columna de agua, la cual es la máxima presión admisible en un grifo convencional. Para evitar esto, se instalarán diferentes cámaras de rotura de presión (Break Pressure Tanks o BPT) a lo largo de la línea de abastecimiento. En estas cámaras, la presión relativa de la red se iguala a 0 (presión atmosférica), estableciéndose así un nuevo nivel hidrostático (Figura 21).

En las Figuras 14 y 18 se observa la situación de las tres arquetas de rotura que se proponen para este sistema.

En cuanto a las dimensiones de las cámaras de rotura, éstas tendrán un área de 1 m^2 y su altura se determinará en función de la altura de carga requerida para la circulación por la tubería de salida:

Tabla 10: Simbología arqueta de rotura

$$H_{BPT}(m) = a(m) + B_L(m) + h(m) \quad (8)$$

a	Altura mínima
B_L	Borde libre
h	Altura de carga requerida

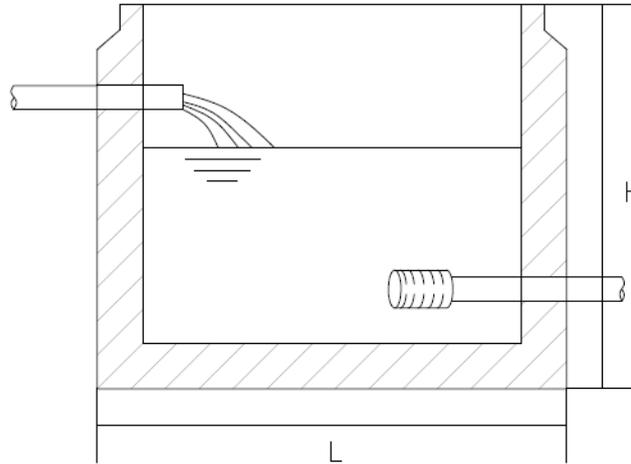


Figura 22: Esquema cámara de rotura de presión

$$h(m) = 1,56 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (9)$$

Para el caso de la arqueta de rotura *ARI*, donde la velocidad de entrada es de $v = 0,8 \frac{m}{s}$ (ver tabla 9), la altura de carga requerida será la siguiente:

$$h_{AR1}(m) = 1,56 \cdot \frac{0,8^2}{2 \cdot 9,81} = 0,05 \text{ m}$$

Sin embargo, por razones de diseño y facilidad de mantenimiento, se establece una h mínima de 40 cm. Por lo tanto:

$$H(m) = 0,1 \text{ m} + 0,4 \text{ m} + 0,4 \text{ m} = 0,9 \text{ m} \quad (10)$$

En la Tabla 11 se resumen las dimensiones de las tres arquetas de rotura, calculadas de la misma forma:

Tabla 11: Dimensiones cámaras de rotura de presión

Cámara de rotura	Altura H (m)	Ancho A (m)	Largo L (m)
AR1	0,9	1	1
J3	0,9	1	1
AR3	0,9	1	1

Las arquetas se ejecutarán en hormigón.

6.5. DEPÓSITO

El depósito de almacenamiento de agua será de hormigón armado y el mortero será hidrófugo. Tendrá el volumen suficiente para satisfacer las necesidades de consumo de agua de la población a abastecer, es decir, unos 50 m³.

Asimismo, deberá cumplir con las funciones propias del depósito [15]:

- Almacenamiento de agua.
- Regulación de caudal.
- Regulación de presión.

Sin embargo, además de estas funciones, el depósito se diseñará de forma que favorezca la sedimentación de los sólidos que puedan llegar arrastrados por el agua. Esto no implica que se trate de un sedimentador propiamente dicho, por lo que no se emplearán los criterios de diseño para sedimentadores.

Para favorecer la sedimentación en depósito, se tendrán en cuenta una serie de consideraciones:

- La velocidad de sedimentación de las partículas sólidas en el agua debe ser mayor que el factor de carga del depósito.
- El tiempo de retención será tal que permita la sedimentación de la mayoría de los sólidos.
- La salida de agua no se situará en el fondo del depósito, sino que será a través de una poceta con cierta elevación sobre el fondo del tanque, de manera que se evite el arrastre de sólidos hacia la tubería de salida.

Para proceder al diseño, en primer lugar, se calcula la velocidad de sedimentación de las partículas sólidas presentes en el agua. Atendiendo a la bibliografía el suelo presente en la zona es de *Nitisoles díttricos* [51]. El perfil típico de estos suelos es tipo ABtC, cuya descripción morfológica viene resumida en la tabla 12:

Tabla 12: Descripción morfológica para el suelo tipo Nitisoles Dístricos [52]

Horizonte	Descripción morfológica
A1	0-8 cm; pardo a pardo oscuro (10yr4/3), en húmedo; francoarenoso; estructura migajosa, fina, moderadamente desarrollada, moderadamente friable en húmedo; frecuentes raíces, medias; límite neto y plano.
A2	8-15 cm; pardo amarillento (10yr5/4), en húmedo; francoarenoso; estructura migajosa, media, fuertemente desarrollada, moderadamente friable en húmedo; frecuentes raíces, medias; límite neto y plano.
AB	15-30 cm; pardo amarillento (10yr5/8), en húmedo; francoarcilloso-arenoso; estructura subangular, media, moderadamente desarrollada, moderadamente friable en húmedo; escasas raíces, gruesas; límite gradual y ondulado.
B1	30-55 cm; pardo amarillento (10yr5/8), en húmedo; arcilloso; estructura angular, media, moderadamente desarrollada, moderadamente firme en húmedo; escasas raíces, finas; límite gradual.
B2T	25-220 cm; rojo oscuro (2.5yr3/6), en húmedo; arcilloso; estructura angular, gruesa, fuertemente desarrollada, muy firme en húmedo; escasas raíces, finas; límite difuso.
B3	220-250 cm; rojo amarillento (5yr4/6), en húmedo; francoarcilloso; estructura subangular, media, moderadamente desarrollada, moderadamente firme en húmedo; límite gradual.
C	> 250 cm; rojo amarillento (5yr5/6), en húmedo; francoarcilloso, moderadamente firme en húmedo.

La relación arena-limo-arcilla para cada textura se recoge en la Tabla 13:

Tabla 13: Relación arena-limo-arcilla para cada tipo de suelo [53]

Tipo de suelo	Textura	Relación arena-limo-arcilla	Símbolo
Livianos	Arenoso	90-5-5	A
	Arenoso franco	80-15-5	aF
Medios	Franco arenoso	65-25-10	Fa
	Franco	40-40-20	F
	Franco limoso	20-65-15	FL
	Franco arcilloso arenoso	35-35-30	FAa
Pesados	Franco arcilloso	35-30-35	FA
	Franco arcilloso limoso	10-35-55	FAL
	Limoso	10-85-5	L
	Arcillo arenoso	55-5-40	Aa
	Arcillo limoso	5-50-45	AL
	Arcilloso	10-20-60	A

Por lo tanto, se estima el tamaño medio de partícula atendiendo a esta relación de

composición y con los datos de la tabla 14.

Tabla 14: Tamaños de partículas del suelo

Partícula	Tamaño (mm)
Arena	0,05 - 2
Limo	0,002 - 0,05
Arcilla	<0,002

$$D_{p \text{ medio}} = 0,65 \cdot (0,3 \cdot 10^{-3} m) + 0,25 \cdot (30 \cdot 10^{-6}) + 0,1 \cdot (3 \cdot 10^{-6}) = 2 \cdot 10^{-4} m \quad (11)$$

Por su parte, la densidad aparente de los suelos francoarenosos es de $\rho_s = 1330 \frac{kg}{m^3}$ [9]. Por lo tanto, empleando la ecuación 12 para el cálculo de la velocidad sedimentación se obtiene que:

$$v_s \left(\frac{m}{s} \right) = \frac{D_p^2 \cdot (\rho_s - \rho) \cdot g}{18 \cdot \mu} \quad (12)$$

$$v_s \left(\frac{m}{s} \right) = \frac{(2 \cdot 10^{-4} m)^2 \cdot \left(1330 \frac{kg}{m^3} - 1000 \frac{kg}{m^3} \right) \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}}{18 \cdot 0,001 Pa \cdot s} = 7,91 \cdot 10^{-3} \frac{m}{s}$$

Para favorecer la sedimentación en el depósito, la velocidad de sedimentación de las partículas deberá ser mayor que el factor de carga del depósito.

$$t_s(s) \leq t_r(s) \quad (13)$$

$$\frac{h(m)}{v_s \left(\frac{m}{s} \right)} \leq \frac{V(m^3)}{Q \left(\frac{m^3}{s} \right)} \rightarrow v_s \left(\frac{m}{s} \right) \geq \frac{h(m) \cdot Q \left(\frac{m^3}{s} \right)}{V(m^3)}$$

$$q \left(\frac{m^3}{m^2 \cdot s} \right) = \frac{Q \left(\frac{m^3}{s} \right)}{A_s(m^2)} \quad (14)$$

$$(15)$$

$$v_s \geq q$$

Por razones constructivas, en este tipo de proyectos no conviene que la altura de los depósitos sea superior a 2,5 m [6]. Adicionalmente, dado que la sedimentación se ve favorecida en tanques con poca profundidad, se decide determinar una altura de 2 m.:

$$V(m^3) = h(m) \cdot A_s(m^2) \quad (16)$$

$$A_s(m^2) = \frac{V(m^3)}{h(m)} = \frac{50 m^3}{2 m} = 25 m^2$$

Se comprueba que $v_s \left(\frac{m}{s} \right) \geq q \left(\frac{m^3}{m^2 \cdot s} \right)$:

$$q \left(\frac{m^3}{m^2 \cdot s} \right) = \frac{1 \frac{L}{s} \cdot 1000 L}{25 m^2} = 4 \cdot 10^{-5} \frac{m^3}{m^2 \cdot s} < v_s \left(\frac{m}{s} \right)$$

Con el objetivo de tratar de cumplir con las relaciones dimensionales establecidas en la literatura para sedimentadores rectangulares de flujo horizontal [21], se propone una longitud de depósito $L = 8 m$. Con ello y mediante la ecuación 17, se obtiene la anchura del depósito:

$$A(m^2) = L(m) \cdot b(m) \quad (17)$$

$$b(m) = \frac{A(m^2)}{L(m)} = \frac{25 m^2}{8 m} = 3,125 m \approx 3,5 m$$

El tiempo de retención queda definido por la ecuación 18, en la cual se toma el caudal medio de consumo estimado para la población a abastecer:

$$t_r(h) = \frac{V(m^3)}{Q_{salida} \left(\frac{m^3}{h} \right)} \quad (18)$$

$$t_r(h) = \frac{50 m^3}{43 \frac{m^3}{día} \cdot \frac{1 día}{24 h}} = 28 h$$

En la tabla 15 se recogen las dimensiones resultantes del diseño, así como las relaciones dimensionales del sedimentador:

Tabla 15: Dimensiones y relaciones dimensionales del depósito

Volumen (m³)	50
L (m)	8
h (m)	2
b (m)	3,5
t_r (h)	28
L/h	4
L/b	2,28

La Figura 23 muestra, de manera esquemática, las dimensiones del depósito sedimentador diseñado:

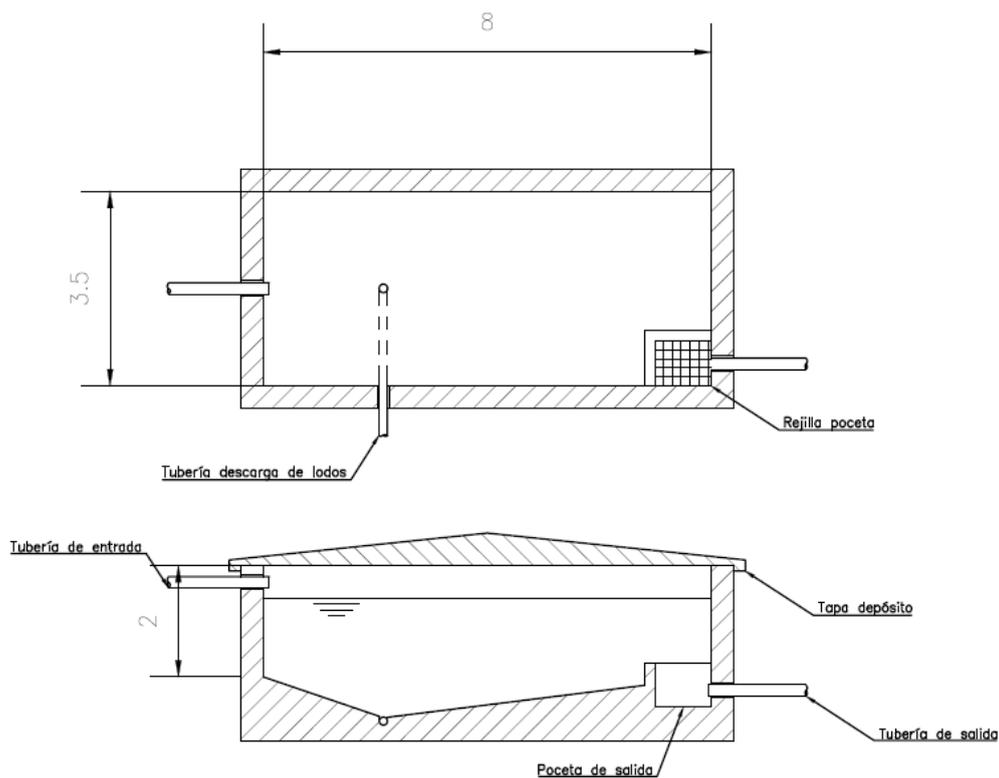


Figura 23: Esquema depósito⁵

⁵ Elaboración propia

6.6. VALVULERÍA E INSTRUMENTACIÓN

A pesar de tratarse de un diseño que tiene como limitante la viabilidad tanto técnica como económica y en el que se pretende que el sistema sea lo más sencillo posible, es necesario instalar una serie de válvulas e instrumentos de control que permitan el funcionamiento seguro de la red:

- Se instalarán válvulas de seccionamiento que permitan aislar los diferentes tramos de tubería, con el objetivo de facilitar el mantenimiento de la instalación. Dichas válvulas podrán ser de bola o de mariposa, en función de lo más viable en términos económicos.
- Se instalarán válvulas de venteo en los puntos altos para evacuar el aire o los vapores que pueda haber en la tubería. Las válvulas de venteo tendrán un diámetro de la mitad de la tubería principal e irán instaladas tras una Te y una válvula de corte.
- Para el vaciado de lodos acumulados en la tubería, se instalarán válvulas de purga de lodos o de purga de fondo en los puntos más bajos de la red.
- A la entrada de cada punto de agua, se instalará una válvula de seccionamiento.
- A la salida del depósito de almacenamiento se instalará un limitador de caudal, pues ayudará a diagnosticar fugas en la red.
- En el depósito y en las arquetas de rotura de presión se instalarán válvulas de flotador que eviten la entrada de agua en dichos equipos cuando alcancen un determinado nivel.

En el P&ID elaborado para este sistema (Anexo I) se detalla la posición de la valvulería en la red, así como las conducciones y equipos.

6.7. ESTUDIO DE COSTES

La estimación de costes se realiza atendiendo únicamente a los costes de material y personal para la ejecución de la obra (Tablas 16 y 17). No se consideran los costes de operación dado que está previsto que las tareas de mantenimiento estén a cargo de miembros de la propia población, pues al tratarse de un sistema sin elemento electromecánicos, el trabajo no tendrá una complejidad elevada.

Tabla 16: Relación de costes de material [54], [55]

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio/u (€)	Precio total (€)
Tubería Polietileno DN75	m	700	5,58 €	3.906,00 €
Tubería Polietileno DN63	m	2700	4,08 €	11.016,00 €
Tubería Polietileno DN40	m	760	1,73 €	1.314,80 €
Tubería Polietileno DN32	m	1200	1,03 €	1.236,00 €
Tubería Polietileno DN20	m	1900	0,53 €	1.007,00 €
Válvula de bola DN75	ud	2	137,65 €	275,30 €
Válvula de bola DN63	ud	25	80,19 €	2.004,75 €
Válvula de bola DN40	ud	3	31,81 €	95,43 €
Válvula de bola DN32	ud	5	22,84 €	114,20 €
Válvula de bola DN20	ud	35	10,69 €	374,15 €
Válvula de bola DN10	ud	2	5,25 €	10,50 €
Válvula de flotador DN63	ud	2	156,40 €	312,80 €
Válvula de flotador DN40	ud	2	91,59 €	183,18 €
Válvula de flotador DN20	ud	3	26,22 €	78,66 €
Válvula de venteo DN32	ud	6	29,40 €	176,40 €
Válvula de venteo DN20	ud	2	9,05 €	18,10 €
Válvula de venteo DN10	ud	2	9,05 €	18,10 €
Válvula de retirada de lodos DN75	ud	2	449,31 €	898,62 €
Válvula de retirada de lodos DN63	ud	4	449,31 €	1.797,24 €
Válvula de retirada de lodos DN40	ud	2	135,18 €	270,36 €
Válvula de retirada de lodos DN32	ud	2	99,81 €	199,62 €
Codo Polietileno 90° DN63	ud	18	21,34 €	384,12 €
Codo Polietileno 90° DN40	ud	6	9,82 €	58,92 €
Codo Polietileno 90° DN32	ud	11	6,48 €	71,28 €
Codo Polietileno 90° DN20	ud	48	3,63 €	174,24 €
Te Polietileno 75x63	ud	8	61,26 €	490,08 €
Te Polietileno 63x50	ud	18	32,08 €	577,44 €
Te Polietileno 32	ud	8	9,41 €	75,28 €
Te Polietileno 20	ud	16	5,52 €	88,32 €
Te Polietileno 40x32	ud	6	14,68 €	88,08 €
Te Polietileno 32x40	ud	2	14,68 €	29,36 €

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio/u (€)	Precio total (€)
Te Polietileno 32x25	ud	7	9,41 €	65,87 €
Te Polietileno 63	ud	7	32,21 €	225,47 €
Manguito Polietileno DN75	ud	15	36,77 €	551,55 €
Manguito Polietileno DN63	ud	50	21,38 €	1.069,00 €
Manguito Polietileno DN40	ud	15	9,82 €	147,30 €
Manguito Polietileno DN32	ud	25	6,28 €	157,00 €
Manguito Polietileno DN20	ud	40	3,63 €	145,20 €
Reducción Polietileno 75x63	ud	5	36,77 €	183,85 €
Reducción Polietileno 63x50	ud	10	20,66 €	206,60 €
Reducción Polietileno 63x40	ud	5	20,66 €	103,30 €
Reducción Polietileno 63x32	ud	10	20,66 €	206,60 €
Reducción Polietileno 63x20	ud	10	20,66 €	206,60 €
Reducción Polietileno 50x40	ud	6	13,74 €	82,44 €
Reducción Polietileno 40x32	ud	6	9,82 €	58,92 €
Reducción Polietileno 32x20	ud	10	6,28 €	62,80 €
Reducción Polietileno 1"x1/2" HM	ud	7	1,49 €	10,43 €
Grifo 1/2"x 3/4 "	ud	20	12,20 €	244,00 €
Entronque compresión 75x2 1/2 macho	ud	4	21,48 €	85,92 €
Entronque compresión 63x2" mcho	ud	50	12,19 €	609,50 €
Entronque compresión 40x1 1/4 macho	ud	60	6,02 €	361,20 €
Entronque compresión 32x1" macho	ud	10	4,52 €	45,20 €
Entronque compresión 20x1/2"	ud	70	2,24 €	156,80 €
Entronque compresión 10x1/4"	ud	4	2,24 €	8,96 €
				32.338,84 €

Dado que los precios se han consultado en diferentes almacenes de España, con el objetivo de evaluar el coste en terreno, se hará una sobreestimación del 100%, dada la dificultad en la obtención de materiales en ese contexto. Por lo tanto:

$$\text{Estimación coste(€)} = \text{Coste}_{\text{España}} \cdot 2 = 32.338,84\text{€} \cdot 2 = 64.677,68 \text{€}$$

Se estima una duración de ejecución de obra de unas ocho semanas a cargo de un jefe obra

y cuatro operarios, cuyo coste se refleja en la Tabla 17. En dicho período, el personal realizará las siguientes tareas:

- Apertura de zanjas.
- Construcción de depósito sedimentador.
- Instalación de tubería, valvulería y grifos.

Tabla 17: Costes estimados de personal en ejecución de obra

Descripción	Cantidad	Salario mensual RDC [56]	Nº meses	Salario total
Jefe de obra	1	80 €	2	160 €
Albañil	2	45 €	1	90 €
Fontanero	2	60 €	1	120 €
				370 €

7. CONCLUSIONES

- Toda intervención en Cooperación para el Desarrollo debe, en primer lugar, identificar la necesidad de la comunidad receptora, así como sus condiciones sociales y culturales, y planificar la intervención en base a ello. Concretamente, este proyecto, una vez identificada la necesidad de abastecer de agua ciertos puntos de la población de Bumpeta, ha sufrido importantes modificaciones en su diseño dadas las condiciones y convicciones sociales y culturales de la comunidad.
- Este tipo de proyectos deben buscar la manera de ser lo más sostenible posible. En este caso, se ha realizado el diseño de tal forma que no se precise ningún aporte energético externo, pues se trata de una conducción íntegramente por gravedad. Por otra parte, al no existir en el sistema elementos electromecánicos, el mantenimiento se convierte en algo mucho más sencillo y, por lo tanto, con un mayor grado de sostenibilidad.
- La decisión de diseñar un depósito de almacenamiento que cumpliera además con la función de sedimentador responde a la necesidad de buscar la solución, que, cumpliendo con lo requerido, supusiera un coste menor, pues en general este tipo de proyectos cuentan con un presupuesto limitado. Si bien se trata de un agua, en

principio, con una calidad del todo apta para su consumo, se entiende que en la captación y transporte se puede producir cierto arrastre de sólidos, que serían retirados en el depósito mencionado.

- Al no contar con sistemas de impulsión por bombeo, se juega con los diámetros y longitudes de tubería para lograr las velocidades y pérdidas de carga adecuadas en la conducción. Por su parte, las cámaras de rotura de presión juegan un papel fundamental en el funcionamiento y la seguridad de la red.
- Se quiere destacar que se trata de una propuesta y que este planteamiento sufrirá modificaciones hasta y durante su ejecución, en función de lo que se considere más idóneo en terreno.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Grupo Banco Mundial, “Atlas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible basado en los Indicadores de Desarrollo Mundial,” 2018.
- [2] J. de Mingo Martín, R. Núñez de la Fuente, N. Merayo Cuevas, B. González Rodrigo, and J. A. Mancebo Piqueras, “Martes Solidarios: Cooperation at University,” *ICERI2021 Proceedings*, pp. 3174–3179, 2021.
- [3] ONU: Asamblea General, “El derecho humano al agua y el saneamiento: Resolución aprobada por la Asamblea General,” Aug. 2010.
- [4] M. F. Zaragoza-Martí, “El cambio de paradigma hídrico: de mercancía a Derecho Humano al agua,” 2020.
- [5] A. Kallhof, “Water justice: A multilayer term and its role in cooperation,” *Analyse und Kritik*, vol. 36, pp. 367–382, 2014.
- [6] A. Pérez Foguet *et al.*, *El agua como elemento clave para el desarrollo*. Fundación Canal. [Online]. Available: www.canaleduca.com
- [7] “Agua para consumo humano.” <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water> (accessed Sep. 06, 2022).
- [8] E. Murayani, “Literature review: Water quality and public health problems in developing countries,” *AIP Conf Proc*, vol. 2363, Nov. 2021.
- [9] M. A. Montgomery and M. Elimelech, “Water and Sanitation in Developing Countries: Including Health in the Equation,” *American Chemical Society*, pp. 207–219, 2010.
- [10] J. R. Morillo Cano, V. Vega, and B. Sánchez Martínez, “Enfermedades transmitidas por el consumo de agua de mala calidad”.
- [11] “Indicator | SDG 6 Data.” <https://sdg6data.org/indicator/6.1.1> (accessed Sep. 06, 2022).
- [12] Banco Mundial, “Informe sobre el desarrollo mundial 2022,” 2022.

- [13] “Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible.”
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
(accessed Sep. 06, 2022).
- [14] “Agua y saneamiento - Desarrollo Sostenible.”
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/> (accessed Sep.
06, 2022).
- [15] A. Hernández Muñoz, *Abastecimiento y distribución de agua*, 6ª edición. Ibergarceta
publicaciones, 2015.
- [16] Acción Contra el Hambre, *AGUA, SANEAMIENTO E HIGIENE PARA LAS
POBLACIONES EN RIESGO*. Acción Contra el Hambre Internacional, 2011.
[Online]. Available: www.actionagainsthunger.org
- [17] M. del M. Recio Díaz, P. Armisen Bobo, J. A. Mancebo Piqueras, and A. Esteban
Zazo, “Sistemas de captación de agua de lluvia: paralelismos entre África y América
y desarrollo de un captador portátil,” *DisTecD*, pp. 14–26, 2019.
- [18] “YOW INVESTIGACIÓN | Yow.” <https://www.yourownwater.org/ivestigacion/>
(accessed Sep. 06, 2022).
- [19] “Cámara de captación de manantiales | SSWM - Find tools for sustainable sanitation
and water management!” [https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-
de-tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/captacion/c%C3%A1mara-de-
captaci%C3%B3n-de-manantiales](https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/captacion/c%C3%A1mara-de-captaci%C3%B3n-de-manantiales) (accessed Sep. 06, 2022).
- [20] Canal de Isabel II, *Normas para redes de abastecimiento*, 4th ed. 2021.
- [21] A. Hernández Muñoz, *DEPURACION Y DESINFECCION DE AGUAS
RESIDUALES*, 6ª Edición. GARCETA GRUPO EDITORIAL, 2015.
- [22] Organización Panamericana de la Salud and Centro Panamericano de Ingeniería
Sanitaria y Ciencias del Ambiente, *Tratamiento de agua para consumo humano*.
- [23] C. Marrón, *Plantas de tratamiento por filtración lenta*.
- [24] L. de Vargas, *Tratamiento de agua para consumo humano: plantas de filtración lenta*.

Organización Panamericana de la Salud, 2004.

- [25] E. Aguayo, “Tratamientos químicos desinfectantes de hortalizas de IV gama: ozono, agua electrolizada y ácido peracético,” *Agroagencia Uruguay*, Jun. 2017.
- [26] P. Rego *et al.*, “Estudio de la cinética de muerte con tratamientos de ozono a microorganismos patógenos típicos de las hortalizas”.
- [27] H. B. Wright and W. L. Cairns, “Desinfección de agua por medio de luz ultravioleta”.
- [28] “GUÍA PARA EL DISEÑO Y PROYECTO DE DEPÓSITOS MANCOMUNIDAD DE LOS CANALES DEL TAIBILLA Calle Mayor 1. 30201 Cartagena (Murcia),” 2013. [Online]. Available: www.mct.es
- [29] M. del P. Arcos Pulido, S. L. Ávila de Navia, S. M. Estupiñán Torres, and A. C. Gómez Prieto, “Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua.,” *Nova*, vol. 3, 2005.
- [30] “De los más contaminados a los más caudalosos: retrato de los ríos - iambiente.” <https://iambiente.es/2019/04/de-los-mas-contaminados-a-los-mas-caudalosos-retrato-de-los-rios/> (accessed Sep. 06, 2022).
- [31] Banco Mundial, “Congo, República Democrática del | Data.” <https://datos.bancomundial.org/pais/congo-republica-democratica-del> (accessed Sep. 06, 2022).
- [32] U. E. y C. Ministerio de Asuntos Exteriores, “Ficha país: República Democrática del Congo,” Mar. 2022.
- [33] M. Oliveira, “La lucha por las minas de coltán en la República Democrática del Congo.” <http://pueaa.unam.mx/blog/minas-coltan-congo> (accessed Sep. 06, 2022).
- [34] “República Democrática del Congo | Oxfam International.” <https://www.oxfam.org/es/que-hacemos/donde-trabajamos/paises/republica-democratica-del-congo> (accessed Sep. 06, 2022).
- [35] “Violencia, conflicto y erupción volcánica en RD Congo| eACNUR.” <https://eacnur.org/es/actualidad/noticias/emergencias/violencia-conflicto->

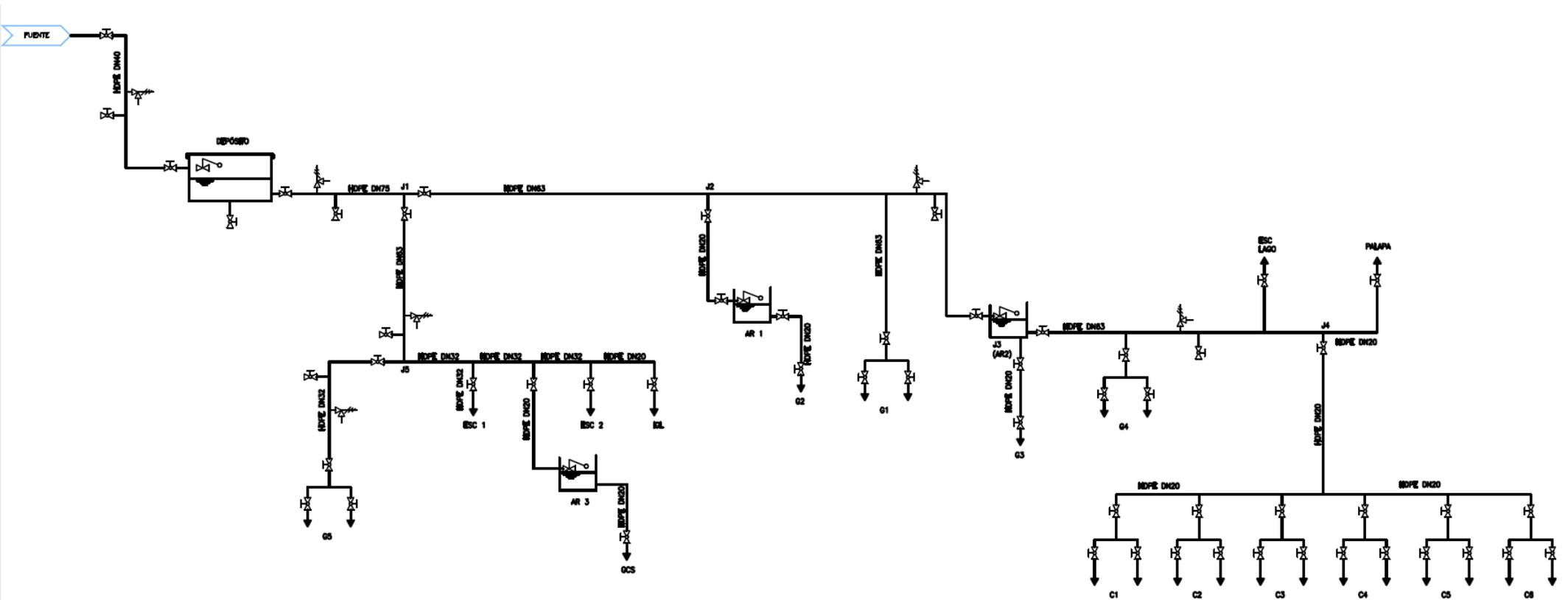
- desplazamiento-rd-congo (accessed Sep. 06, 2022).
- [36] Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), “Informe anual 2021,” 2021.
- [37] U. N. E. Programme, “Water Issues in the Democratic Republic of Congo: Challenges and Opportunities - Technical Report,” 2011, Accessed: Sep. 06, 2022. [Online]. Available: <https://wedocs.unep.org/xmlui/handle/20.500.11822/22067>
- [38] G. Farrés Fernández, “La segunda guerra del Congo, rol de los principales actores regionales,” *Nova África*.
- [39] J. M. Royo Aspa, “La guerra de la RD Congo, más allá de sus recursos,” Dec. 2009.
- [40] J. Cuadrado, “El complicado camino hacia la paz en el este del Congo. Repercusiones del fin de las hostilidades del M23,” *Pre-bie3*, vol. 6, 2013.
- [41] “Violencia, conflicto y erupción volcánica en RD Congo | eACNUR.” <https://eacnur.org/es/actualidad/noticias/emergencias/violencia-conflicto-desplazamiento-rd-congo> (accessed Sep. 06, 2022).
- [42] “La extracción de minerales en la provincia de Kivu del Norte, RDC: situación actual y análisis de los aspectos ambientales | Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales.” <https://www.wrm.org.uy/es/articulos-del-boletin/la-extraccion-de-minerales-en-la-provincia-de-kivu-del-norte-rdc-situacion-actual-y-analisis-de-los> (accessed Sep. 06, 2022).
- [43] I. Coello, “El expolio de minerales se dispara en el Congo,” *Público*, Nov. 27, 2009.
- [44] “La extracción de minerales en la provincia de Kivu del Norte, RDC: situación actual y análisis de los aspectos ambientales | Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales.” <https://www.wrm.org.uy/es/articulos-del-boletin/la-extraccion-de-minerales-en-la-provincia-de-kivu-del-norte-rdc-situacion-actual-y-analisis-de-los> (accessed Sep. 06, 2022).
- [45] A. Nsabimana, S. v. Gaidashova, and V. Haibamana, “Heavy Metal Concentrations in Water Samples from Lake Kivu, Rwanda,” *Rwanda Journal of Engineering Science Technology and Environment*, pp. 53–62, Jul. 2020.

- [46] D. R. Thomson, M. B. Hadley, P. G. Greenough, and M. C. de Castro, “Modelling strategic interventions in a population with a total fertility rate of 8.3: A cross-sectional study of Idjwi Island, DRC,” *BMC Public Health*, 2012.
- [47] A. Blin, “Isla Idjwi en el Congo (RDC): Paz a través de la acción local y la seguridad ‘desde abajo’. ★ Commonspolis.” <https://commonspolis.org/propuestas/isla-idjwi-en-el-congo-rdc-paz-a-traves-de-la-accion-local-y-la-seguridad-desde-abajo/> (accessed Sep. 06, 2022).
- [48] “Portal Web AECID Países de cooperación avanzada.” <https://www.aecid.es/ES/Paginas/D%C3%B3nde%20Cooperamos/Paises-cooperacion-avanzada.aspx> (accessed Sep. 06, 2022).
- [49] “Population growth (annual %) - Congo, Dem. Rep. | Data.” <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.GROW?locations=CD> (accessed Jun. 22, 2022).
- [50] World Health Organization., *Guidelines for drinking-water quality : first addendum to the third edition, volume 1 : recommendations*. 2006.
- [51] “Mapa Mundial de Suelos de FAO/UNESCO | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.” <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/mapas-historicos-de-suelos-y-bases-de-datos/mapa-mundial-de-suelos-de-faunesco/es/> (accessed Jun. 22, 2022).
- [52] Universidad de Sevilla, “Suelos Andalucía occidental: Perfil de suelo Nitisoles Dísrticos.” <http://institucional.us.es/suelos/index.php/p/nd> (accessed Jun. 22, 2022).
- [53] N. Ciancaglini-Prosap, “Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico.”
- [54] Masa tubos y sistemas, “Tarifa general Tubos de Polietileno Flexipol, Excel Plus, Push-Fast y Gasypol.” Jan. 2019.
- [55] “Saltoki | Fontanería, material eléctrico y material construcción.” <https://www.saltoki.com/> (accessed Sep. 06, 2022).
- [56] “Salarios en Congo, salarios promedio en 2022 y 2021 | BDEX.”

es.com/congo/ (accessed Sep. 06, 2022).

ANEXOS

1. P&ID DEL ABASTECIMIENTO⁶



⁶ Elaboración propia