



MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER **ABASTECIMIENTO DE AGUA DE UN CENTRO ESCOLAR DEL CHAD**

Autor: Ana María Morote Vázquez

Director: Antonio José Huertas Moreno

Madrid

JULIO de 2020

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

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

El autor D. ANA MARIA MOROTE VÁZQUEZ

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra:

ABASTECIMIENTO DE AGUA DE UN CENTRO ESCOLAR DEL CHAD.
que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

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

3º. Condiciones de la cesión y acceso

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

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

4º. Derechos del autor.

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

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

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

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

intereses a causa de la cesión.

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

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

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

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

Madrid, a17.... deJulio..... de ..2020..

ACEPTA

Fdo..........

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

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

ABASTECIMIENTO DE AGUA DE UN CENTRO ESCOLAR DEL CHAD

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

curso académico ..2019./2020... 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.: Ana María Morote Vázquez

Fecha: ..17../ ..07../ 2020

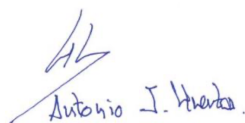


Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Antonio José Huertas Moreno

Fecha: ..17../ ..07../ 2020





MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER **ABASTECIMIENTO DE AGUA DE UN CENTRO ESCOLAR DEL CHAD**

Autor: Ana María Morote Vázquez

Director: Antonio José Huertas Moreno

Madrid

JULIO de 2020

ABASTECIMIENTO DE AGUA DE UN CENTRO ESCOLAR DEL CHAD

Autor: **Morote Vázquez, Ana María**

Director: Huertas Moreno, Antonio José

Entidad Colaboradora: Fundación de Ingenieros ICAI

RESUMEN DEL PROYECTO

1. Introducción

1.1. Planteamiento del problema

Garantizar el acceso a servicios que aseguren agua para el consumo humano y la higiene personal en cantidad y calidad suficientes es un elemento esencial que contribuye a un mejor desarrollo social, y, sobre todo, representa uno de los puntos centrales para combatir la pobreza y las enfermedades en todas partes del mundo. El agua, elemento imprescindible en la vida, hace que se convierta en un recurso transcendental para el desarrollo sostenible a nivel económico, social y ambiental.

En julio de 2010, la Asamblea General de la ONU reconoció el acceso básico al agua y al saneamiento como un derecho humano, al que todas las personas, indistintamente del poder adquisitivo y el lugar donde vivan, tienen derecho a él. Es responsabilidad de todos los países garantizar que todo el mundo tenga acceso a ellos.

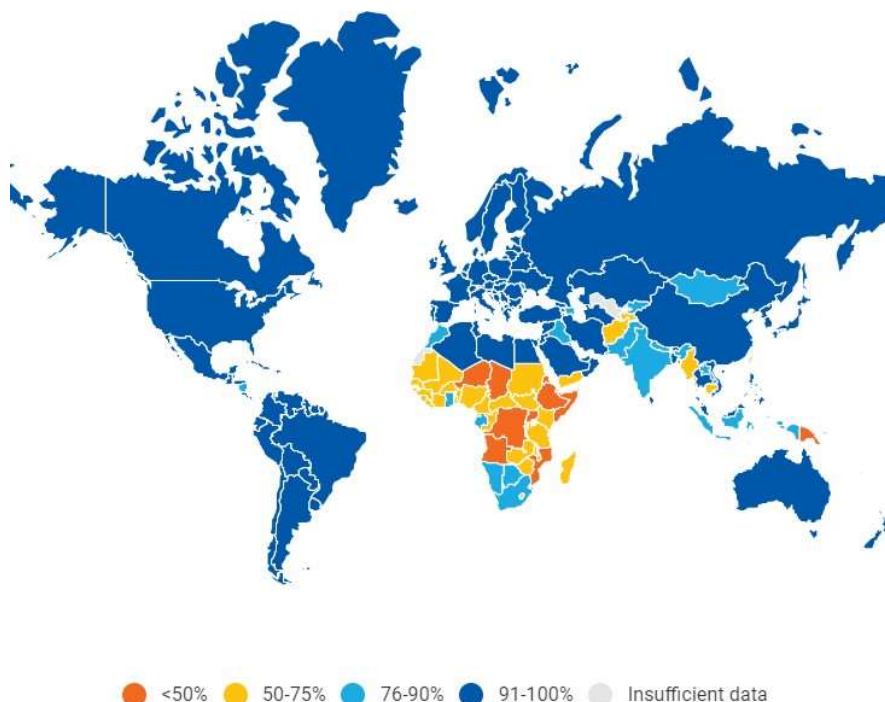
De entre los 17 Objetivos planteados en la Agenda 2030 adoptada por la Asamblea General para bien de la prosperidad, el planeta y las personas, uno de ellos está plenamente consagrado al acceso a agua potable y saneamiento, bajo el lema: *“Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”*.

En la actualidad, existen todavía miles de millones de personas, principalmente en áreas rurales, que carecen de estos servicios básicos. Se calcula que una de cada tres personas no tiene acceso a agua potable, dos de cada cinco personas no gozan de una instalación básica para lavarse las manos y que más de 673 millones de personas no disponen de letrinas (Naciones Unidas, 2019).

Estas cifras ponen de manifiesto la necesidad inmediata de mejorar la disponibilidad y el acceso a los servicios de agua y saneamiento. Este hecho ha quedado todavía más patente con la pandemia del COVID-19 a raíz de la cual se ha comprobado como una costumbre tan básica como la higiene de manos contribuye a salvar vidas.

A pesar de que la falta de acceso al agua está extendida por todo el mundo, existe un foco mayoritario situado en los países de África subsahariana, en los que la cobertura de agua no sobrepasa el 75%.

Ilustración 1. Población que usa fuentes mejoradas de agua potable en 2015



El Chad es uno de los países de esta región que se ve mayoritariamente afectado por este problema, por no decir el que más. Las cifras son alarmantes: 50% de la población no tiene acceso a una fuente adecuada de agua y tan sólo el 9% de la población goza de un sistema de saneamiento mejorado. La población del Chad se estima en 11,04 millones de habitantes y a juzgar por la tendencia poblacional al alza que experimenta el país, se prevé alcanzar una población de 44,21 millones en 2050. No es difícil anticipar que el país presenciará una situación todavía más dramática si no se toman medidas de forma inminente.

Es fruto de la concienciación de la alarmante necesidad de agua en el continente africano y concretamente, en el Chad, que surge este proyecto en colaboración con la Fundación Ingenieros ICAI. En este sentido, nace la oportunidad de realizar un proyecto que tiene por objeto mejorar las instalaciones del colegio Saint François Xavier, situado en Toukra, una pequeña región a 20 kilómetros al sur de la capital del Chad, N'Djamena. La consecución de una mejora en las condiciones higiénicas y sanitarias del colegio tendrá también un impacto directo favorable sobre otros aspectos, como son unas mejores condiciones de estudio para los alumnos y mejores condiciones de vida, en general.

1.2.Estado de la técnica

El Chad, cuya capital es N'Djamena, tiene una superficie de 1.284.000 km², quinto país con mayor extensión del continente Africano. La población rural representa un porcentaje

mayoritario de la población total del Chad, siendo esta del 78%. Por desgracia, el Chad se caracteriza por ser uno de los países con mayor brecha de género, con un porcentaje del 58%, muy notable en las tasas de escolarización, en las que los hombres representan un 81% frente al 19% que representa a las mujeres.

Ilustración 2. Ubicación Chad



Conforme al programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el Chad ocupa el puesto 186 de 189 países en el índice de desarrollo humano (IDH), considerándose como uno de los países más pobres del mundo.

A pesar de que en estos últimos años, el Chad haya ido recuperando estabilidad política, ésta se ha visto mermada por los conflictos generados en países vecinos y el aumento de terrorismo en la cuenca del lago Chad.

Profundizando en el marco de los servicios de agua y saneamiento proporcionados por el país, cabe señalar que estos se gestionan a través de la “Société Tchadienne des Eaux” (STE) bajo un contrato de concesión. No obstante, esta sociedad sólo actúa en las 11 ciudades más grandes del país si bien la mayoría de la población del Chad se distribuye por zonas rurales. Esto resulta en la falta de regulación y ausencia de medios e instrumentos que dificultan la incorporación de mejoras en el sector.

Referente a la situación actual del colegio Saint François Xavier, cabe notar que hay 1.500 alumnos matriculados a diferencia de los 350 alumnos inscritos en 2015, último registro disponible. Del mismo modo, la región de Toukra ha ido creciendo a medida que lo ha hecho el colegio, cuya población asciende en la actualidad a 10.000 habitantes. En los inicios del colegio contaba con tan sólo 3.000 habitantes.

Ilustración 3. Ubicación edificios en la parcela del colegio



El colegio cuenta con una parcela de hasta 7 hectáreas aunque la mayor parte del terreno está vacía, con una tierra seca y erosionada, y sin ningún árbol que proporcione sombra. Algunos edificios del complejo están inacabados por falta de recursos y otros están a medio derruir debido a fuertes tormentas.

Ilustración 4. Pozo con bomba eléctrica fuera de servicio



Otra asociación que está involucrada en la expansión y mejora de las infraestructuras del colegio es la Fundación Ramón Grosso que lleva colaborando con el colegio desde 2014 a través de actividades deportivas orientadas a la formación y educación de los niños.

Hasta el momento, la Fundación Ramón Grosso ha realizado 4 pozos de agua en las inmediaciones del colegio. Todos ellos son pozos manuales, con excepción de uno que dispone de una bomba eléctrica que abastece a un pequeño depósito de 2.000 litros, volumen notablemente escaso para el gran número de alumnos inscritos en el colegio. La bomba se alimenta con un pequeño generador de gasoil el cual se pone en marcha muy de vez en cuando debido al alto coste del combustible y la difícil obtención del mismo.

En definitiva, las múltiples condiciones adversas presentes impiden un correcto funcionamiento de la bomba por lo que se encuentra la mayor parte del tiempo fuera de servicio.

1.3. Objeto del proyecto

El objetivo de este proyecto es satisfacer las necesidades de consumo de agua y saneamiento de todo el colegio. Cubriendo una necesidad básica como es el acceso a una fuente de agua adecuada, se busca conseguir que los alumnos del colegio estudien y aprendan en un entorno más favorable, que contribuya a maximizar el desarrollo de todo su potencial. Los objetivos principales pueden considerarse los siguientes:

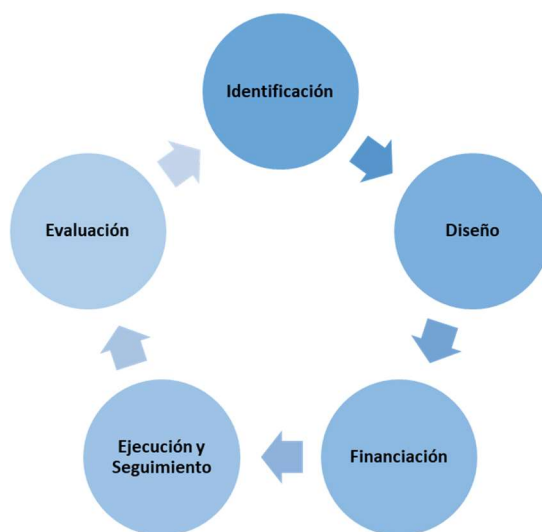
- **Disposición de agua en cantidad y calidad para todos los alumnos:** se asegurará que el suministro de agua es continuo y suficiente para todos los alumnos del colegio. Estos servicios engloban, entre otros, agua para beber, saneamiento e higiene personal y preparación de alimentos en el comedor. Se garantizará que las infraestructuras puedan utilizarse independientemente de las condiciones climatológicas.
- **Disposición de un sistema de saneamiento seguro y digno prestando especial atención a las necesidades de las niñas:** las letrinas deberán de garantizar privacidad, especialmente para las niñas ya que muchas de ellas dejan de ir a la escuela debido a los tabúes menstruales que existen en estos países.
- **Adopción de hábitos de higiene adecuados a los alumnos:** se proporcionarán los medios necesarios para inculcar hábitos de higiene que mejoren la vida de los niños, disminuyendo, por ejemplo, la tasa de enfermedades e infecciones.
- **Mejorar la salud de los alumnos, y, por extensión, la salud de sus familias:** los niños comparten con sus familias lo aprendido en el colegio. El colegio se convierte en el punto de partida para mejorar los hábitos de higiene de toda la familia.
- **Mejorar la calidad de aprendizaje de los alumnos:** las infraestructuras de agua y saneamiento suponen los cimientos para fomentar la asistencia escolar y mejorar los resultados de aprendizaje.

Para ello, se decide llevar a cabo el desarrollo de un sistema de bombeo de agua, alimentado por una fuente de energía natural, el Sol. Se considera que es un sistema muy adecuado para la zona y que será capaz de satisfacer perfectamente las necesidades del colegio. Las características que presentan estos sistemas son muy acordes a las condiciones del lugar puesto que se trata de una tecnología de bajo coste, fácil de conservar y lo que probablemente es más importante, es conciliable con los escasos recursos del lugar.

2. Metodología

La realización de este proyecto se lleva a cabo por medio de la metodología denominada *Enfoque del Marco Lógico*, herramienta muy generalizada en el campo de los proyectos de cooperación de desarrollo. Resumidamente, se trata de una técnica que permite descomponer un proyecto inicialmente complejo en pequeños proyectos más fáciles de abordar. El Enfoque del Marco Lógico sigue una estructura cíclica compuesta por las fases que se muestran en la Ilustración 5.

Ilustración 5. Ciclo de las fases principales de un proyecto de cooperación



A continuación, se describen los puntos tratados en cada fase.

• Identificación

En esta fase se ha buscado contextualizar el proyecto, realizando un análisis del entorno de tal manera que se logre la relación recursos – resultados óptima, habida cuenta de los escasos recursos disponibles. Este estudio es sumamente importante en proyectos con un carácter social arraigado en el que se deben de precisar las personas a las que se pretende ayudar, determinar el resultado que se desea lograr y analizar la viabilidad del mismo. La solución a adoptar vendrá dada por la confluencia entre las expectativas, las necesidades y las posibilidades del lugar. Para asegurar que el proyecto responde a la realidad, y no la realidad al proyecto, se han llevado a cabo los siguientes estudios:

- Contexto del país en distintos ámbitos, dedicando un apartado a la situación actual del acceso a los servicios de agua y saneamiento.
- Análisis de problemas en el que se identifican los aspectos negativos que el proyecto pretende combatir. Para ello, se establecen las causas y los efectos de dichos problemas.

- Análisis de objetivos a fin de determinar los resultados a los que se quiere llegar por medio de este proyecto. En este caso, se identifican las relaciones medio – fin asociadas a los objetivos planteados.
- Selección de la estrategia más adecuada, acorde a las características del lugar, una vez analizados los medios planteados en el punto anterior.

- **Diseño**

En primer lugar, se ha realizado un breve repaso de las distintas variantes de sistemas de bombeo solar existentes, para luego estudiar los distintos componentes que constituyen una instalación de este tipo.

Posteriormente, se han realizado todos los cálculos requeridos para el correcto dimensionado de una estación de bombeo solar. En líneas generales, se han abordado los siguientes puntos:

1. Evaluación de las condiciones hidráulicas de la zona e identificación de la energía hidráulica requerida. Se ha determinado la altura hidráulica de bombeo, el volumen de agua diario necesario y la energía que deberá de suministrar el generador fotovoltaico, sujeta a la radiación solar y las condiciones climatológicas de la zona.
2. Determinación de los componentes principales de la instalación. Se realizan todos los cálculos necesarios para el correcto dimensionado de los mismos. Es en este punto en el que se especifican las prestaciones de los dispositivos para que respondan a las necesidades estipuladas.
3. Definición de la configuración de la instalación. Se traza el diseño del conexionado entre los distintos componentes de la instalación fotovoltaica. Además, se calculan las secciones de los conductores por medio de los cuales irán unidos dichos componentes.
4. Dimensionado y determinación de las protecciones necesarias a disponer en toda la instalación a fin de garantizar la seguridad de las personas y evitar posibles daños de los mismos componentes.

Una vez terminado el diseño de la estación de bombeo, se procede a realizar el dimensionado de la red de distribución de agua que permitirá abastecer aquellos puntos de consumo establecidos en el colegio. A grandes rasgos, se tratan los siguientes puntos:

1. Elección de la configuración de los puntos de consumo. Se diseña la distribución de los puntos de abastecimiento por el colegio, al igual que la distribución de las tuberías que llegarán hasta ellos.
2. Se establecen los parámetros de diseño de la red de distribución mediante los cuales se calcula el diámetro externo de tubería requerido para cada tramo y la presión final residual en cada punto de consumo.
3. Identificación de los accesorios requeridos que permitirán la conexión entre los distintos segmentos de tuberías y formarán la red de distribución.

4. Seguido al punto anterior, se incrementa el nivel de detalle y se determinan los accesorios necesarios para instalar la grifería de cada punto de consumo.

- **Financiación**

Se investiga sobre las distintas líneas de financiación que emplean las organizaciones sin ánimo de lucro para conseguir fondos. En la misma línea, el proyecto necesitará recursos económicos externos para ser ejecutado puesto que no es alcanzable económicamente dentro de las capacidades de los beneficiarios locales. El punto de partida para la designación de la fuente de financiación no lucrativa más adecuada para este proyecto será la matriz DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades).

- **Ejecución y Seguimiento**

La mayoría de las etapas de esta fase se llevan a cabo durante la ejecución del proyecto en terreno local, tal y como su nombre indica. Esta fase se compone de todas aquellas actuaciones necesarias para convertir el proyecto en una realidad. No obstante, uno de los puntos contemplados en esta fase es la organización del proceso logístico que puede plantearse de manera teórica. Es por ello por lo que se ha estimado oportuno dedicar un apartado en el que exponer distintas alternativas para gestionar la cadena de transporte que hará llegar el material de la instalación hasta el colegio.

- **Evaluación**

Esta fase no viene recogida en el proyecto ya que consiste en la realización de un análisis crítico de los resultados obtenidos una vez finalizada la implantación del proyecto, que de momento, tendrá que esperar, debido a la situación actual de crisis sanitaria ocasionada por el coronavirus.

3. Resultados

Antes de empezar a exponer los resultados, cabe señalar que este proyecto se lleva a cabo en conjunto con el trabajo realizado por Pablo Merino Gil, alumno de ICAI y cuyo proyecto se titula “*Instalación eléctrica de un colegio en Chad*”. Como bien indica su nombre, consiste en diseñar la instalación eléctrica del colegio para proporcionar iluminación en las aulas. Ambos proyectos tienen un elemento en común y es el sistema fotovoltaico mediante el cual se alimentarán las respectivas cargas de cada proyecto. Lógicamente, se han dimensionado los componentes del generador fotovoltaico de forma conjunta a fin de que los proyectos estuviesen vinculados en el mayor grado posible a la realidad. No obstante, se ha estimado también oportuno calcular los elementos requeridos para una estación de bombeo en la que la única carga que alimentar fuese la motobomba. Estos cálculos se recogen en el apartado de Anexos de la presente memoria.

En primer lugar, se han determinado las condiciones hidráulicas, parámetros fundamentales para el diseño del sistema y en los que figuran la carga dinámica total (CDT) y el volumen de agua diario que satisfacer.

A partir de los cálculos realizados, se estima que la altura hidráulica total que deberá de vencer la bomba es de 29 metros.

En cuanto a la determinación del caudal diario medio necesario se procede de la siguiente manera:

- Se planifica una posible distribución de los puntos de consumo para cada edificio del colegio (Tabla 1).
- Se determina el caudal en cada punto de consumo conforme a los caudales instantáneos mínimos recogidos en el Documento Básico HS Salubridad (Sección HS 4 Suministro de agua).
- Por último, se evalúa el tiempo y la frecuencia de utilización diaria de cada punto de consumo.

Tabla 1. Puntos de consumo edificios

EDIFICIO	TIPO DE CONSUMO	CANTIDAD
ESO		
Edif 1	fuelle	2
Edif 2	fuelle	2
Cocina y comedor		
Comedor	fuelle	1
Cocina	grifo cocina	1
Baños ESO		
Chicas	lavabo	2
	inodoro	4
	bidé	1
Chicos	lavabo	2
	urinario	3
	inodoro	1

EDIFICIO	TIPO DE CONSUMO	CANTIDAD
Enfermería		
Enfermería	lavabo	1
	grifo media altura	1
Secundaria		
Baño gimnasio	lavabo	2
	inodoro	2
	bidé	1
Edif Secundaria	fuelle	2
Primaria		
Edif 1	fuelle	2
Edif 2	fuelle	2
Edif 3	fuelle	2
Edif 4	fuelle	2

Como se observa en la Tabla 2, la estimación del volumen de agua diario requerido por el colegio es de aproximadamente 20 m³. Inicialmente, se había planteado instalar un depósito con una capacidad de 30 m³, satisfaciendo holgadamente las necesidades del colegio. La instalación de este depósito permitirá no sólo estabilizar los parámetros de presión y caudal, sino que también proporcionará la demanda de caudal durante un día entero en el caso de malas condiciones climatológicas o paradas.

Tabla 2. Estimación consumo diario

Edificio	Tipo de consumo	Cantidad	L/s x punto de consumo	L/s total	Alumnos / punto_día	nº de veces_día	seg. grifo abierto_vez	L/día total
ESO								
Edif 1	fuelle	2	0,15	0,3	125	2	5	375
Edif 2	fuelle	2	0,15	0,3	125	2	5	375
Cocina y comedor								
Comedor	fuelle	1	0,15	0,15	1500	1	5	1125
Cocina	grifo cocina	1	0,2	0,2	1	1	600	120
Baños ESO								
Chicas	lavabo	2	0,05	0,1	375	3	5	562,5
	inodoro	4	0,1	0,4	187	3	10	2244
	bidé	1	0,1	0,1	750	3	5	1125
Chicos	lavabo	2	0,05	0,1	375	3	5	562,5
	urinario	3	0,15	0,45	250	3	10	3375
	inodoro	1	0,1	0,1	750	2	10	1500
Enfermería								
Enfermería	lavabo	1	0,1	0,1	500	1	5	250
	grifo media altura	1	0,1	0,1	500	1	5	250
Secundaria								
Baño gimnasio	lavabo	2	0,05	0,1	750	3	5	1125
	inodoro	2	0,1	0,2	750	3	10	4500
	bidé	1	0,1	0,1	750	3	5	1125
Edif Secundaria	fuelle	2	0,15	0,3	125	2	5	375
Primaria								
Edif 1	fuelle	2	0,15	0,3	93	2	5	279
Edif 2	fuelle	2	0,15	0,3	93	2	5	279
Edif 3	fuelle	2	0,15	0,3	93	2	5	279
Edif 4	fuelle	2	0,15	0,3	93	2	5	279
Total L / día								20.105

Los requisitos que debe de cumplir la bomba de la instalación son (i) satisfacer una necesidades hídricas diarias de 20 m³ (con una media de funcionamiento de 6 horas diarias) y (ii) vencer una altura hidráulica de 29 metros. Con esto, se acude al catálogo ofrecido por *Grundfos* para escoger la bomba que mejor se ajuste a estas características, que finalmente resulta ser la bomba SQ 5–25.

A continuación, se determinan las características del generador fotovoltaico que dependen de la radiación solar y las condiciones climatológicas de la zona. Empleando el método del caso más desfavorable (mes con la menor irradiancia solar), se calcula que 3 módulos de 405 W modelo Hiku del proveedor Canadian Solar, serán los que aporten la potencia necesaria para cubrir la demanda de energía solicitada por la bomba. En cambio, el número total de módulos requeridos para satisfacer el consumo total de energía del colegio (introduciendo las cargas eléctricas de las aulas, véase Tabla 3) es de 20 módulos.

Tabla 3. Consumo energético total del colegio

Elemento	Potencia	Horas de utilización diarias	Energía / día (Wh/día)
Iluminación	3524	5	17620
Tomas de fuerza	1587	5	7935
Bomba hidráulica	728	6	4368
Ventiladores	90	5	450
Total			30373

Atendiendo a las magnitudes máximas de tensión y corriente que circulan por el sistema, se obtiene que lo más adecuado es emplear dos reguladores de la marca Victron Energy, cuya tensión e intensidad admisible son 150 V y 85 A respectivamente. El regulador proporcionará una tensión de trabajo estable, siendo esta de 48V. En la misma línea, se dimensiona el inversor cuya función será transformar la corriente continua generada por los módulos en corriente alterna que alimentará las cargas. El inversor seleccionado, modelo Quattro 10.000 VA de la marca Victron, proporciona una tensión monofásica de 230V a su salida, suficiente para el caso de esta instalación.

Otro componente integrante de esta instalación son las baterías que proporcionan energía para alimentar las cargas cuando hay baja irradiancia solar. Las baterías no son indispensables en el sistema de bombeo ya que el depósito se ha dimensionado para que almacene la cantidad de agua requerida para abastecer el consumo del colegio durante un día completo. En cambio, las baterías son un elemento imprescindible en la instalación eléctrica del colegio para iluminar las aulas por la tarde y por la noche. Se ha aprovechado esta oportunidad para considerar también la carga de la bomba en el cálculo de la capacidad del sistema de acumulación, ya que no suponía ningún coste adicional en el presupuesto general de la instalación completa. Se escogen finalmente 2 bancos de baterías Ultracell UZS600 de 48V y 600Ah, cada uno.

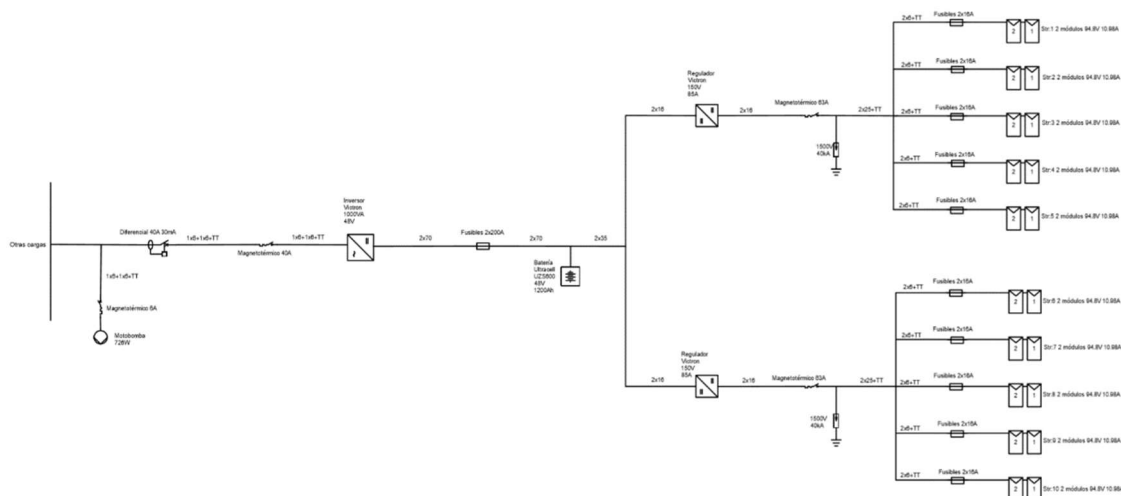
Los conductores de la instalación se han dimensionado conforme al criterio de corriente máxima y caída de tensión admisible, como viene estipulado en la instrucción ITC-BT-19 del REBT (Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión). A continuación, se adjunta la Tabla 4 en la que se reflejan las secciones asignadas a cada tramo de la instalación.

Tabla 4. Composición de los cables según el tramo de la instalación

Cableado		Composición del cable (mm2)
Inicio	Final	
String	Caja de protecciones fusibles	20 x (1x6) + TT
Caja de protecciones fusibles	Repartidor de corriente	20 x (1x6)
Repartidor de corriente	Cuadro principal CC	2 x (2x25) + TT
Cuadro principal	Regulador	2 x (2x16)
Regulador	Conector	2 x (2x16)
Conector	Batería	1 x (2x35)
Batería	Inversor	1 x (2x70)
Inversor	Cuadro principal CA	1 x (1x6 + 1x6) + TT
Cuadro Principal CA	Unidad de control - Bomba	Tramo 1
		Tramo 2
		Tramo 3
		1 x (1x6 + 1x6) + TT

También se ha diseñado una posible solución en lo relativo a la conexión entre distintos elementos de la instalación (véase Plano nº1: Conexionado del sistema). Tal y como se puede observar en la Ilustración 6, como en toda instalación eléctrica, se han dimensionado e incluido las protecciones eléctricas pertinentes para garantizar la seguridad de las personas conforme al IDEA (Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red).

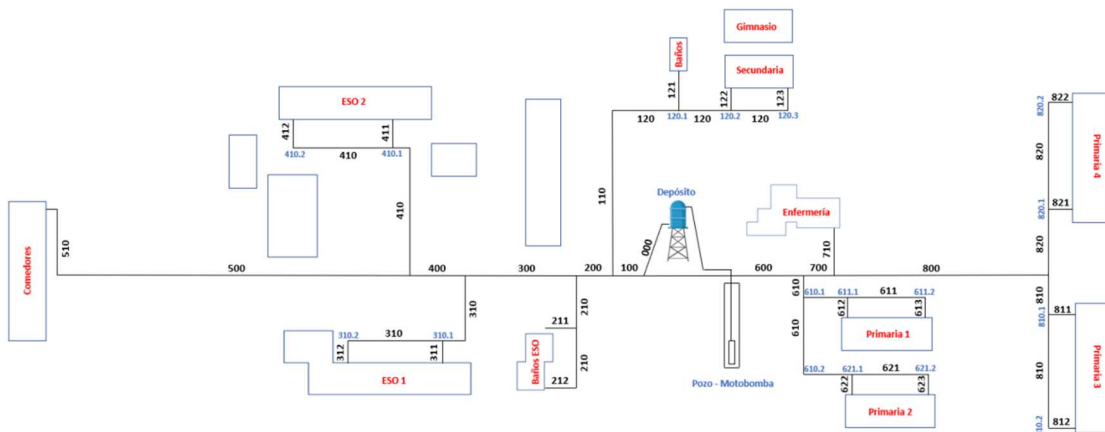
Ilustración 6. Esquema unifilar instalación fotovoltaica y estación de bombeo solar



Una vez diseñada la instalación fotovoltaica que alimenta a la bomba, se procede a dimensionar la red de distribución de agua que permite abastecer todos aquellos puntos de consumo del colegio.

En primer lugar, se plantea la configuración de la red mostrada en la Ilustración 7. La red cuenta con una tubería principal de la cual derivan múltiples ramales hasta llegar a los puntos de consumo.

Ilustración 7. Disposición puntos de abastecimiento



El diámetro de cada tramo viene dado por la velocidad y el caudal del fluido que circula por el tramo, parámetros previamente conocidos. Se comprueba que, para la sección de tubería escogida en cada tramo, la velocidad se mantiene en un rango de velocidades de entre 0,50 y 3,50 m/s para evitar sedimentos de partículas por baja velocidad y daños inadmisibles por alta velocidad (véase Parte II. Documentos: Secciones de tuberías).

Seguidamente, se verifica que la presión disponible en cada punto de consumo es superior al valor mínimo recomendable. De acuerdo con el Documento Básico de Suministro de Agua HS4, la presión mínima indicada es de 100 kPa. En cambio, esta cifra se toma únicamente como un parámetro con el que comparar los resultados obtenidos, habida cuenta del carácter rudimentario del sistema que se pretende instalar. Por tanto, se decide finalmente asegurar una presión de 50 kPa, siendo ésta la presión mínima a la que opera la grifería que se quiere instalar. Atendiendo a la ecuación de Bernoulli, se calculan las pérdidas de presión desde el origen de la instalación, en este caso, el depósito de almacenaje de agua, hasta cada punto final de consumo (véase Parte II. Documentos: Pérdidas de carga y presión residual en puntos de consumo).

Posteriormente, se realiza un diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID) el cual permite tener una visión clara de todas las tuberías y componentes relacionados en el circuito de la red (véase Plano nº3: Configuración de la red de distribución). Este diseño es la línea de base para llevar a la realidad la red de distribución de agua. En él vienen especificados los distintos fittings necesarios para realizar la conexión entre tramos y los distintos elementos necesarios en la instalación para que ésta funcione adecuadamente (válvulas de paso, válvulas de compuerta, etc.).

Por último, movido por los problemas que ocasionan las letrinas actuales del colegio, se propone la construcción de un sistema de letrinas de arrastre hidráulico. Se trata de un sistema que generalmente requiere de 2 a 4 litros de agua para el arrastre, de los cuales se dispondría gracias a la instalación de bombeo.

En cuanto a la financiación del proyecto, tras estudiar cada una de las vías tradicionales de financiación no lucrativa mediante un análisis DAFO, se llega a la conclusión de que las dos líneas que mejor se adaptan a este proyecto son la campaña de crowdfunding y la organización de eventos benéficos. Después de analizar los fondos recaudados a través de estas dos vías por otros proyectos realizados en colaboración con la Fundación Ingenieros ICAI, se estima que la recaudación podría ascender a 8.400€, cifra con la que a penas se cubre un 12% de los gastos totales del proyecto. Se recuerda que, cuando se habla de proyecto, se hace alusión a la iniciativa que comprende tanto la instalación de agua como la instalación eléctrica del colegio. Si se tomase únicamente en consideración el presupuesto requerido para la infraestructura del agua, la cifra descendería a 17.909,09€, pero, al igual que para el conjunto de proyectos, sigue siendo superior a la recaudación esperada. Se decide finalmente que estas dos líneas queden como vías complementarias y en respuesta a la necesidad de acceder a otra fuente de financiación de mayor capacidad, se contacta con Manos Unidas, que desde un principio se ha mostrado interesada en apoyar la causa.

Tabla 5. Presupuesto general sistema de bombeo solar

Presupuesto General	
Concepto	Coste (€)
Componentes principales	5.704,14 €
Cableado	1.271,56 €
Protecciones	345,78 €
Tuberías	1.112,22 €
Fittings	215,53 €
Otros	1.229,46 €
Mano de obra	200,00 €
Logística	7.830,40 €
Total 17.909,09 €	

El último punto abordado es el de la cadena logística. Después de estudiar diferentes alternativas, se llega a la conclusión de que la solución más apropiada es introducir la mercancía a través del corredor principal que va desde Douala (ciudad portuaria de Camerún) a N'Djamena (capital del Chad). En un principio, se contactará con un transitario europeo que bajo un incoterm CFR (Cost and Freight) realizará el transporte de la carga desde España (presumiblemente desde Algeciras) a Douala, Camerún. Una vez estando la carga en continente africano, se contratarán los servicios de un transitario local que se encargará de tramitar el contenedor desde su llegada a Camerún hasta el Chad, concretamente hasta la puerta del colegio. Este tipo de envío corresponderá a un incoterm DDP (Delivery Duty Paid).

Tomando en consideración un informe del Banco Mundial, propuestas de presupuesto por parte de empresas transitarias y plataformas de cotización online de contenedores, se esboza el siguiente presupuesto logístico.

Tabla 6. Presupuesto cadena logística

Logística	
Concepto	Coste [€]
Algeciras - Douala	
Flete marítimo	1200
Tarifas portuarias	1000
Douala - N'Djamena	
Coste del transporte por carretera	2016
Costes cargados por el transitario	2040
Coste transporte CAMRAIL	1134
Trámites aduaneros	90
Otros costes	300
N'Djamena - Toukra	50,4
Total 7.830,40 €	

4. Conclusiones

Este proyecto ha permitido estudiar y dimensionar los elementos que componen un sistema de bombeo solar. Desde un marco técnico, se ha podido comprobar que es posible satisfacer el consumo de agua de un colegio con aproximadamente 1.500 alumnos matriculados mediante un sistema fotovoltaico robusto y relativamente sencillo.

Este trabajo pone de relieve la utilidad de emplear una tecnología renovable como es la fotovoltaica para cubrir necesidades básicas como es el suministro de agua en zonas desfavorecidas que carecen de redes sofisticadas para este tipo de servicio. Además, queda visible el interés que pueden presentar proyectos de esta naturaleza para países como el Chad, que se caracterizan por su importante desestructuración social y que pueden suponer una solución fácil y viable para paliar esta situación.

Quedan por abordar las etapas relacionadas con la materialización del proyecto, siendo estas la ejecución y su posterior evaluación. En este sentido, se distinguen infinidad de soluciones y posibilidades que dependen de un sinfín de factores. Esto ha quedado evidenciado tras las conversaciones mantenidas con varias personas experimentadas en la puesta en marcha de proyectos de cooperación por la zona. Cabe señalar que el diseño de toda la instalación se ha llevado a cabo con un número muy limitado de material de apoyo por lo que el proyecto podría presentar cambios en el momento de su ejecución.

El objetivo final de este proyecto, que era poder llegar a implantarlo en terreno local, se ha visto interrumpido debido a la crisis sanitaria provocada por el coronavirus. La pandemia global del coronavirus ha instaurado una situación de incertidumbre total, muchos proyectos de cooperación al desarrollo se han visto interrumpidos por tiempo indefinido o han visto la necesidad de reorientarse hacia la lucha contra el coronavirus, sobre todo en países como el Chad, en el que los recursos sanitarios son escasos. Este proyecto se ha visto afectado fundamentalmente en la búsqueda de la financiación y la gestión del proceso logístico. Cualquier convenio de colaboración con Manos Unidas o negociaciones con empresas logísticas han quedado paralizadas hasta nuevo aviso.

Algunas líneas futuras que se contemplan para este proyecto son la incorporación de algún método de potabilización de agua, la realización de un plan de mantenimiento de la instalación para asegurar un correcto uso y un buen mantenimiento de la misma, y por último, la instalación de varios puntos de riego para posibilitar la plantación de arboledas.

Este proyecto persigue el cambio: un proyecto con el que poder sumarse a un conjunto de pequeños cambios que ayude a los más desfavorecidos y a todos aquellos que viven en un contexto de debilidad permanente.

WATER SUPPLY FOR A SCHOOL CENTER IN TCHAD

Author: **Morote Vázquez, Ana María**

Director: Huertas Moreno, Antonio José

Collaborating Entity: Fundación de Ingenieros ICAI

PROJECT SUMMARY

1. Introduction

1.1. Problem statement

Ensuring access to water services for human consumption and personal hygiene in sufficient quantity and quality is an essential element that contributes to a better social development, and, above all, represents one of the key facts to fight poverty and diseases all over the world. Water, key element of life, becomes a far-reaching element for a sustainable economic, social, and environmental development.

In July 2010, the UN General Assembly acknowledged basic access to water and sanitation as a human right, to which all people, regardless of purchasing power and where they live, have the right to it. It is the responsibility of all countries to ensure that everyone has access to them.

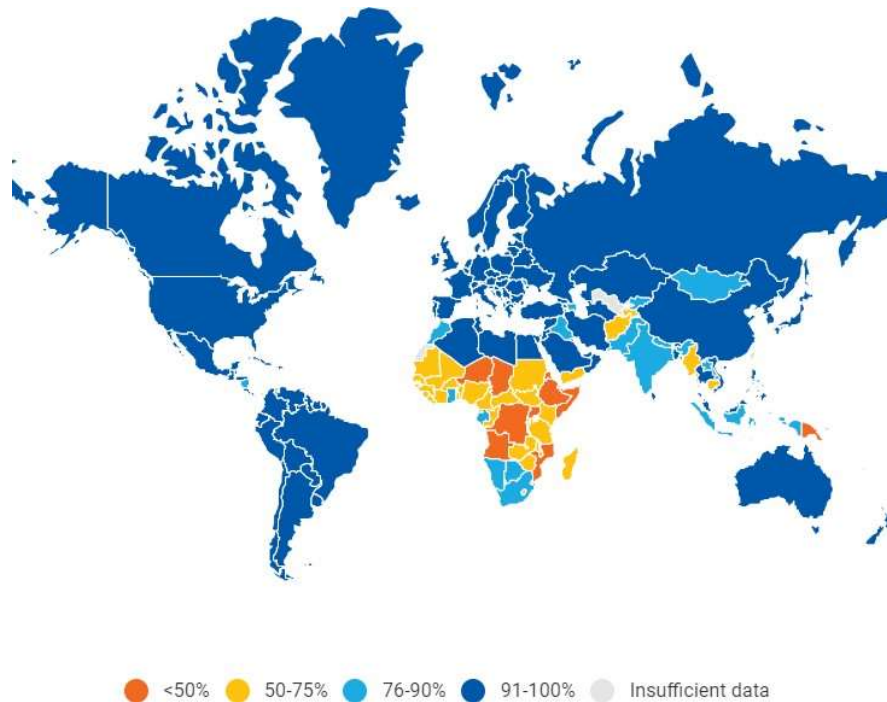
Among the 17 Objectives set out in the 2030 Agenda established by the General Assembly in support of prosperity, planet sustainability and people, one of them is fully dedicated to drinkable water and sanitation access, under the banner “Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all”.

Today, there are still billions of people, mainly in rural areas, who lack adequate basic water services. It is estimated that one out of three people does not have access to drinkable water, two out of five people do not have a basic hand-washing facility, and that more than 673 million people do not have latrines (United Nations, 2019).

These figures highlight the immediate need to improve the availability and access to water and sanitation services. This fact has become even more obvious with the COVID-19 pandemic as a result of which it has been proven that a basic habit as washing hands contributes to saving lives.

Even if lack of water access is distributed throughout the world, there is a clear focus in the countries of sub-Saharan Africa, where water coverage does not exceed 75%.

Illustration 1. Population using improved sources of drinkable water in 2015



Tchad is one of the countries of this region most affected by this problem. Figures are alarming: 50% of the population does not have access to an adequate source of water and only 9% of the population has an improved sanitation system. Tchad's population is estimated at 11.04 million inhabitants and judging by the increasing population trend that the country is experiencing, it is expected to reach a population of 44.21 million in 2050. It is not difficult to anticipate that the country will witness an even more dramatic situation if action is not taken imminently.

It is because of the awareness of water alarming need in the African continent, and especially in Tchad, that this project arises in collaboration with Fundación Ingenieros ICAI. This project consists of water facilities improvement in Saint François Xavier School, located in Toukra, a small region 20 kilometers to the south of Tchad's capital, N'Djamena. Achieving the improvement of hygienic and sanitary conditions in the school will also have a favorable direct impact on other aspects, such as better learning conditions for students and better living conditions, in general.

1.2.State of art

Tchad, whose capital is N'Djamena, has a surface extension of 1.284.000 km², fifth largest country on the African continent. Rural population represents a majority percentage of the total population, this being 78%. Unfortunately, Tchad is characterized as one of the countries with the largest gender gap, with a percentage of 58%, remarkable

in school enrollment rates, in which men represent 81% compared to 19% representing women.

Illustration 2. Tchad's location



According to the United Nations Development Program (UNDP), Tchad is ranked 186 out of 189 countries in the Human Development Index (HDI), considering itself as one of the poorest countries in the world.

Even though in recent years, Chad has been recovering political stability, it has been diminished by the conflicts generated in neighboring countries and the increase of terrorism in the Lake Chad basin.

Launching into the framework of Tchad's water and sanitation services, it should be noted that these are managed through the "Société Tchadienne des Eaux" (STE) under a concession contract. However, this society only operates in the 11 largest cities of the country, although most of the Chad's population lives in rural areas. This results in the lack of regulation and the absence of instruments that hinder the incorporation of improvements in the sector.

Regarding Saint François Xavier school current situation, it should be noted that there are 1,500 students enrolled, unlike the 350 students enrolled in 2015, latest available record. In the same way, Toukra region has grown to the same extent as the school has grown, whose population currently numbers 10,000 inhabitants. At school's start, Toukra only had 3,000 inhabitants.

Illustration 3. Buildings' location school plot



The school has a 7 hectares plot although most of the land is empty, with dry and eroded land, and without any trees which can provide shade. Some buildings are unfinished due to lack of resources and others are half collapsed due to major storms.

Illustration 4. Well with an electric pump out of service



Another association that is involved in the expansion and improvement of the school's infrastructures is the Fundación Ramón Grosso, which has been collaborating with the school since 2014 through sport activities aimed at training and educating children.

So far, Fundación Ramón Grosso has made 4 water wells in the school surroundings. All of them are manual wells, except for one that has an electric pump that supplies a small 2,000-liter tank, remarkably low volume for the large number of students enrolled in the school. The pump is powered by a small diesel generator which is switched on occasionally due to the high cost of fuel. In short, the multiple adverse conditions prevent the pump from working properly and it is out of service most of the time.

1.3.Purpose of the project

The objective of this project is to satisfy the needs of water consumption and sanitation of the entire school. Covering a basic need such as access to an adequate water source, the aim is to ensure that students learn in a more favorable environment, contributing to maximize the development of their full potential. The main objectives can be considered the following:

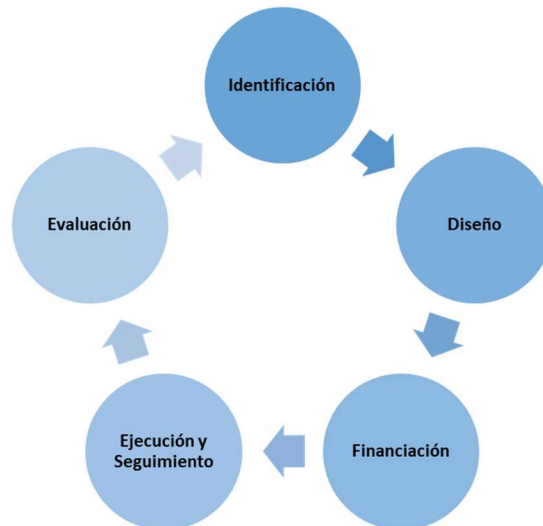
- **Water availability in quantity and quality for all students:** ensure that water supply is continuous and sufficient for all students at the school. These services include, among others, drinking water, sanitation and personal hygiene and food preparation in the dining room. It will be ensured that the infrastructures can be used regardless of weather conditions.
- **Safe and decent sanitation system availability, paying special attention to the needs of girls:** latrines must guarantee privacy, especially for girls since many of them stop going to school due to menstrual taboos existing in these countries.
- **Establishing adequate hygiene habits for students:** the necessary means will be provided to instill hygiene habits that improve children's lives, reducing, for example, the rate of illness and infection.
- **Improve student's health and, by extension, their family's health:** children share with their families what they learn at school. The school becomes the starting point to improve the hygiene habits of the whole family.
- **Improve student learning quality:** water and sanitation infrastructures are the mainstay for promoting school attendance and improving learning outcomes.

For this purpose, it was decided to carry out the development of a water pumping system, powered by a natural energy source, the Sun. It is a very suitable system for the area, that will be able to perfectly satisfy the needs of the school. The characteristics of these systems are very consistent with the conditions of the place since it is a low-cost technology, easy to maintain and, what is probably more important, it is reconcilable with the scarce resources of the place.

2. Methodology

The accomplishment of this project is carried out using the methodology called Logical Framework Approach, a very widespread tool in the field of cooperation projects development. In short, it is a technique that allows an initially complex project to be broken down into smaller projects that are easier to tackle. The Logical Framework Approach follows a cyclical structure made up of the phases shown in Illustration 5.

Illustration 5. Cyclical structure of cooperation project main phases



The stages covered in each phase are described below.

- **Identification**

This phase seeks to contextualize the project, carrying out an analysis of the surroundings in such a way as to achieve the optimal resource-results relationship, taking into account the limited resources available. This study is extremely important in projects with a deep-rooted social character in which the people to be helped must be specified, determine the result to be achieved and analyze its viability. The solution to adopt will come given by the confluence between the expectations, the needs and the possibilities of the place. To ensure that the project responds to reality, and not reality to the project, the following studies have been carried out:

- Country context in different areas, devoting a section to the current situation of access to water and sanitation services.
- Analysis of problems that the project aims to fight. For this, causes and effects of these problems are identified.
- Analysis of objectives to determine the results to be achieved through this project. In this case, the means-purpose relationships associated with the stated objectives are identified.

- Selection of the most appropriate strategy, according to the characteristics of the place, after analyzing the means proposed in the previous point.

- **Design**

Firstly, a brief review of the different existing solar pumping systems has been carried out, and then, it has been studied the different components that constitute the installation.

Subsequently, all the calculations required for the correct sizing of a solar pumping station have been carried out. The approached points are the following:

1. Hydraulic conditions assessment and identification of the required hydraulic energy. The hydraulic pumping height, the daily volume of water required and the energy that the photovoltaic generator must supply, have been determined, subject to solar radiation and weather conditions in the area.
2. Determination of the main components of the installation. All necessary calculations are made for correct components sizing. It is at this point that the features of the devices are specified so that they respond to the stipulated needs.
3. Definition of the installation configuration. The design of the connection between the different components of the photovoltaic installation is drawn up. In addition, the sections of the conductors by means of which these components will be joined are calculated.
4. Sizing and determination of the necessary protections to be provided throughout the installation to guarantee the safety of people and avoid possible damage to components.

Once the design of the pumping station is finished, the sizing of the water distribution network is carried out, which will allow supplying the water consumption points settled in the school. In general terms, the following points are covered:

5. Configuration choice of consumption points. The distribution of the supply points throughout the school is designed, as well as the distribution of the pipes that will reach them.
6. Design parameters of the distribution network are established: pipe external diameter and final residual pressure at each consumption point are calculated.
7. Identification of the required accessories that will allow the connection between the different pipeline segments and will form the distribution network.
8. Following the previous point, level of detail is increased and the accessories necessary to install the plumbing are determined.

- **Funding**

The different lines that non-profit organizations use to raise funds are studied. This project will need external financial resources in order to be executed since it is not economically achievable within the capacities of local beneficiaries. The starting point for the

designation of the most suitable non-profit financing source for this project will be the SWOT matrix (Weaknesses, Threats, Strengths and Opportunities).

- **Execution and Monitoring**

Most of the stages of this phase are carried out during the execution of the project in local terrain. This phase consists of all those actions necessary to make the project a reality. However, one of the points considered in this phase is the organization of the logistics process that can be studied theoretically. For this reason, it was felt appropriate to dedicate a section in which to expose different alternatives to manage the transport chain that will deliver the installation material to the school.

- **Evaluation**

This phase is not included in the project since it consists of carrying out a critical analysis of the results obtained once the implementation of the project is completed, which, for the time being, will have to wait, due to the current situation of sanitary crisis caused by the coronavirus .

3. Results

Before stating results, it should be noted that this project is carried out in conjunction with the work done by Pablo Merino Gil, an ICAI student and whose project is entitled “Electrical installation of a school in Chad”. As its name indicates, it consists of designing the electrical installation of the school to provide lighting in the classrooms. Both projects have a common element and it is the photovoltaic system through which the respective loads of each project will be powered. Logically, the components of the photovoltaic generator have been sized together so that the projects are linked to the greatest extent to reality. However, it has also been considered appropriate to calculate the elements required for a pumping station in which the only load to supply was the motor pump. These calculations are included in the Annexes section of this report.

First, the hydraulic conditions have been determined. The key parameters for the design of the system are the total dynamic head (TDH) and the volume of daily water to be satisfied.

From calculations made, it is estimated that the total hydraulic height that the pump must overcome is 29 meters.

Regarding the determination of the necessary average daily flow, the following procedure is followed:

- A possible distribution of consumption points is planned for each school building (Table 1).
- The flow at each point of consumption is determined according to the minimum instantaneous flows indicated in the Basic Document HS Health (Section HS 4 Water supply).
- Finally, the time and frequency of daily use of each point of consumption is evaluated.

Table 7. Buildings consumption points

EDIFICIO	TIPO DE CONSUMO	CANTIDAD
ESO		
Edif 1	fuelle	2
Edif 2	fuelle	2
Cocina y comedor		
Comedor	fuelle	1
Cocina	grifo cocina	1
Baños ESO		
Chicas	lavabo	2
	inodoro	4
	bidé	1
Chicos	lavabo	2
	urinario	3
	inodoro	1

EDIFICIO	TIPO DE CONSUMO	CANTIDAD
Enfermería		
Enfermería	lavabo	1
	grifo media altura	1
Secundaria		
Baño gimnasio	lavabo	2
	inodoro	2
	bidé	1
Edif Secundaria	fuelle	2
Primaria		
Edif 1	fuelle	2
Edif 2	fuelle	2
Edif 3	fuelle	2
Edif 4	fuelle	2

As observed in Table 2, the estimate of daily water volume required by the school is approximately 20 m³. Initially, it had been considered to install a tank with a capacity of 30 m³, meeting school needs. The installation of this tank will not only stabilize the pressure and flow parameters but will also provide the flow demand for an entire day in the case of bad weather conditions or shutdowns.

The requirements that the installation pump must meet are (i) satisfy a daily water requirement of 20 m³ (with an average operating time of 6 hours per day) and (ii) overcome a hydraulic height of 29 meters. With this, we attend *Grundfos* catalog to choose the pump that best suits these characteristics, which finally turns out to be the SQ 5–25 pump.

Table 8. Estimate daily consumption

Edificio	Tipo de consumo	Cantidad	L/s x punto de consumo	L/s total	Alumnos / punto_día	nº de veces_día	seg. grifo abierto_vez	L/día total
ESO								
Edif 1	fuelle	2	0,15	0,3	125	2	5	375
Edif 2	fuelle	2	0,15	0,3	125	2	5	375
Cocina y comedor								
Comedor	fuelle	1	0,15	0,15	1500	1	5	1125
Cocina	grifo cocina	1	0,2	0,2	1	1	600	120
Baños ESO								
Chicas	lavabo	2	0,05	0,1	375	3	5	562,5
	inodoro	4	0,1	0,4	187	3	10	2244
	bidé	1	0,1	0,1	750	3	5	1125
Chicos	lavabo	2	0,05	0,1	375	3	5	562,5
	urinario	3	0,15	0,45	250	3	10	3375
	inodoro	1	0,1	0,1	750	2	10	1500
Enfermería								
Enfermería	lavabo	1	0,1	0,1	500	1	5	250
	grifo media altura	1	0,1	0,1	500	1	5	250
Secundaria								
Baño gimnasio	lavabo	2	0,05	0,1	750	3	5	1125
	inodoro	2	0,1	0,2	750	3	10	4500
	bidé	1	0,1	0,1	750	3	5	1125
Edif Secundaria	fuelle	2	0,15	0,3	125	2	5	375
Primaria								
Edif 1	fuelle	2	0,15	0,3	93	2	5	279
Edif 2	fuelle	2	0,15	0,3	93	2	5	279
Edif 3	fuelle	2	0,15	0,3	93	2	5	279
Edif 4	fuelle	2	0,15	0,3	93	2	5	279
Total L / día								20.105

Following that, the characteristics of the photovoltaic generator are determined. Using the worst-case method (month with the lowest solar irradiance), it is calculated that 3 modules of 405 W Hiku model from Canadian Solar supplier will provide the necessary power to cover the energy demand requested by the pump. On the other hand, the total number of modules required to satisfy the total energy consumption of the school (introducing the electrical charges of the classrooms, see Table 3) is 20 modules.

Table 9. School total energy consumption

Elemento	Potencia	Horas de utilización diarias	Energía / día (Wh/día)
Iluminación	3524	5	17620
Tomas de fuerza	1587	5	7935
Bomba hidráulica	728	6	4368
Ventiladores	90	5	450
Total			30373

Considering the maximum magnitudes of voltage and current that circulate through the system, it is found that the most appropriate is to use two regulators of Victron Energy supplier and whose admissible voltage and current are 150 V and 85 A respectively. The regulator will provide a stable working voltage, being 48V. Following that, the inverter is sized and whose function is to transform current generated by the modules into alternating current to supply the loads. The selected inverter, Quattro 10,000 VA from

Victron supplier, provides a single-phase 230V voltage at its output, sufficient for the case of this installation.

Another component of this installation are the batteries that provide energy to power the loads when there is low solar irradiance. Batteries are not imperative in the pumping system since the tank has been sized to store the amount of water required to supply the school's consumption for a full day. In contrast, batteries are an essential element in the school's electrical installation to illuminate classrooms in the afternoon and at night. This opportunity has been used to also consider the pump load in the calculation of the accumulation system capacity, since it does not suppose any additional cost in the general budget. Finally, 2 banks of Ultracell UZS600 48V and 600Ah each, are chosen.

Wire conductors have been sized according to the criteria of maximum current and admissible voltage drop, as stipulated in instruction ITC-BT-19 of the REBT (Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión). Table 4 is attached below, reflecting the sections assigned to each frame of the installation.

Table 10. Wire conductors' section

Cableado		Composición del cable (mm2)
Inicio	Final	
String	Caja de protecciones fusibles	20 x (1x6) + TT
Caja de protecciones fusibles	Repartidor de corriente	20 x (1x6)
Repartidor de corriente	Cuadro principal CC	Tramo 1
		Tramo 2
Cuadro principal	Regulador	2 x (2x25) + TT
Regulador	Conector	2 x (2x16)
Conector	Batería	1 x (2x35)
Batería	Inversor	1 x (2x70)
Inversor	Cuadro principal CA	1 x (1x6 + 1x6) + TT
Cuadro Principal CA	Unidad de control - Bomba	Tramo 1
		Tramo 2
		Tramo 3

A possible solution has also been designed in relation to the connection between different elements of the installation (see Drawing nº1: Conexión del sistema). As it can be seen in Figure 6, as in any electrical installation, the relevant electrical protections have been dimensioned and included to guarantee the safety of people in accordance with the IDEA (Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red).

First, the configuration of the network shown in Figure 7 is considered. The network has a main pipeline from which multiple branches derive until reaching the consumption points.

Diagrama de distribución de agua fría. El sistema incluye un depósito elevado con una motobomba y un pozo. El agua fluye a través de una red de tuberías que abastece a edificios como Comedores, ESO 1, ESO 2, Gimnasio, Secundaria, Enfermería, y aulas de Primaria 1, 2, 3 y 4. Se muestran los diámetros de las tuberías en pulgadas (pulg.) y los niveles de agua en metros.

28

Subsequently, it is verified that the available pressure at each point of consumption is higher than the minimum recommended value. According to the HS4 Basic Water Supply Document, the indicated minimum pressure is 100 kPa. However, this figure is only taken as a parameter with which to compare the results obtained, considering the rudimentary nature of the system to be installed. Therefore, it is finally decided to ensure a pressure of 50 kPa, this being the minimum pressure at which the taps to be installed operate. Based on the Bernoulli equation, pressure losses are calculated from the origin of the installation, in this case, the water storage tank, up to each end point of consumption (see Part II. Documents: Pérdidas de carga y presión residual en puntos de consumo).

Following that, a diagram of pipes and instrumentation (P&ID) is made, which allows having a clear vision of all the pipes and related components in the network circuit (see Drawing n°3: Configuración de la red de distribución). This design is the baseline to bring the water distribution network to reality. The diagram specifies the different fittings necessary to make the connection between sections and the different elements necessary in the installation for its proper operation.

Finally, motivated by the problems caused by the school's current latrines, the construction of a drag hydraulic latrine system is proposed. It is a system that generally requires 2 to 4 liters of water for the drag, which would be available thanks to the pumping installation.

Regarding project funding, after studying each of the traditional non-profit funding channels through a SWOT analysis, it is concluded that the two lines that best fit to this project are crowdfunding and events organization. After analyzing funds raised through these two channels by other projects carried out in collaboration with the Fundación Ingenieros ICAI, it is estimated that the raising could amount to € 8,400, a figure that barely covers 12% of total expenses of the project. Whenever talking about the project, it is referred to the initiative that includes both the installation of water and the electrical installation of the school. If only taken into consideration the budget required for the water infrastructure, the figure would drop to € 17,909.09, but as for the set of projects, continues to be higher than the expected fund raising. That is how it came out that these two lines should remain as complementary funding lines. In response to the need for accessing a funding source with greater capacity, Manos Unidas was contacted. From the very beginning, the organization has shown its interest in support of the cause.

Table 11. General Budget of solar pumping system

Presupuesto General	
Concepto	Coste (€)
Componentes principales	5.704,14 €
Cableado	1.271,56 €
Protecciones	345,78 €
Tuberías	1.112,22 €
Fittings	215,53 €
Otros	1.229,46 €
Mano de obra	200,00 €
Logística	7.830,40 €
Total	17.909,09 €

Finally, supply chain issue is approached. After the study of different alternatives, it is concluded that the most appropriate solution is to introduce goods through the main corridor that goes from Douala (port city of Cameroon) to N'Djamena (capital of Chad). Initially, a European freight forwarder will be contacted and will transport the freight from Spain (most likely from Algeciras) to Douala, Cameroon, under a CFR (Cost and Freight) Incoterm. Once the freight is on the African continent, the services of a local freight forwarder will be hired to handle the container from its arrival in Cameroon to Chad, more precisely to the school gate. This type of shipment will correspond to a DDP (Delivery Duty Paid) Incoterm.

Taking into account a World Bank report, budget proposals by freight forwarding companies and container quotation in online platforms, the following logistics budget is outlined.

Table 12. Supply chain Budget

Logística	
Concepto	Coste [€]
Algeciras - Douala	
Flete marítimo	1200
Tarifas portuarias	1000
Douala - N'Djamena	
Coste del transporte por carretera	2016
Costes cargados por el transitario	2040
Coste transporte CAMRAIL	1134
Trámites aduaneros	90
Otros costes	300
N'Djamena - Toukra	50,4
Total	7.830,40 €

4. Conclusions

This project has allowed studying and dimensioning the elements that compose a solar pumping system. From a technical framework, it has been verified that it is possible to satisfy the water consumption of a school with approximately 1,500 students enrolled using a robust and relatively simple photovoltaic system.

This work highlights the usefulness of using a renewable technology such as photovoltaics to cover basic needs as it is the supply of water in deprived areas. In addition, projects of this nature can bring forward an easy and viable solution to mitigate the significant social fragmentation that Tchad experiences.

The stages related to the materialization of the project remain to be achieved. In this sense, an infinite number of solutions and possibilities are distinguished, depending on an endless number of factors. This has been evidenced after conversations held with several people experienced in the implementation of cooperation projects in the area. It should be noted that the design of the entire facility has been carried out with a very limited number of supporting materials, so the project could present changes at the time of its execution.

The final purpose of this project, which is implementing the project on local land, has been interrupted due to the health crisis caused by the coronavirus. The global coronavirus pandemic has created a situation of total uncertainty, many development cooperation projects have been interrupted indefinitely or have been reoriented towards the fight against the coronavirus, especially in countries such as the Chad, where health resources are scarce. This project has been fundamentally affected in the search for funding and the management of the logistics process. Any collaboration agreement with Manos Unidas or negotiations with logistics companies have been paralyzed until further notice.

Some lines that could be covered in a future are the incorporation of some method of water purification, the realization of a maintenance plan for the installation to ensure its correct use and good maintenance, and lastly, the installation of an irrigation system for tree planting.

This project seeks for change: a project which, together with other projects, may help the most underprivileged and all those who live in a context of permanent weakness.



MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER **ABASTECIMIENTO DE AGUA DE UN CENTRO ESCOLAR DEL CHAD**

Autor: Ana María Morote Vázquez

Director: Antonio José Huertas Moreno

Madrid

JULIO de 2020

ÍNDICE DE LA MEMORIA

PARTE I. MEMORIA DE CÁLCULOS.....	15
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	15
1. INTRODUCCIÓN	15
2. ESTADO DE LA CUESTIÓN	16
3. MOTIVACIÓN.....	19
CAPÍTULO II. DEFINICIÓN DE UN PROYECTO DE COOPERACIÓN	21
1. DEFINICIÓN	21
2. EL CICLO DE VIDA DEL PROYECTO	21
3. ENFOQUE DEL MARCO LÓGICO.....	22
3.1. FASE DE IDENTIFICACIÓN.....	23
3.2. FASE DE DISEÑO	23
3.3. FASE DE FINANCIACIÓN.....	23
3.4. FASE DE EJECUCIÓN Y SEGUIMIENTO.....	24
3.5. FASE DE EVALUACIÓN.....	24
CAPÍTULO III. FASE DE IDENTIFICACIÓN	25
1. CONTEXTO DEL PAÍS	25
1.1. SITUACIÓN DEMOGRÁFICA	25
1.2. PERSPECTIVA POLÍTICA	26
1.3. PERSPECTIVA SOCIAL.....	26
1.4. PERSPECTIVA ECONÓMICA	27
1.5. PERSPECTIVA DE SEGURIDAD	27
1.6. CONTEXTO AMBIENTAL.....	28
1.7. SITUACIÓN DEL ACCESO A LOS SERVICIOS DE AGUA Y SANEAMIENTO.....	28
2. ANÁLISIS DE PROBLEMAS	29
2.1. PROBLEMA CENTRAL.....	29
2.2. ANÁLISIS DE LAS CAUSAS DEL PROBLEMA.....	30
2.3. ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DEL PROBLEMA	30
3. ANÁLISIS DE OBJETIVOS	31
3.1. ANÁLISIS DE FINES	31
4. SELECCIÓN DE LA ESTRATEGIA.....	32
CAPÍTULO IV. FASE DE DISEÑO	35
INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE BOMBEO SOLAR	35
1. LOS SISTEMAS DE BOMBEO SOLAR.....	35
1.1. TIPOS DE SISTEMAS DE BOMBEO SOLAR.....	35
1.1.1. Clasificación por el suministro de agua.....	36
1.1.2. Clasificación por el suministro de energía	37
2. DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO	38

DIMENSIONADO SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO	42
3. CONSIDERACIONES PREVIAS.....	42
3.1. DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES HIDRÁULICAS.....	42
3.1.1. <i>Carga Dinámica Total (CDT)</i>	42
3.1.1.1. Altura estática	43
3.1.1.2. Abatimiento	43
3.1.1.3. Altura dinámica	44
3.1.2. <i>Caudal diario medio necesario</i>	44
3.2. RADIACIÓN SOLAR DISPONIBLE	47
4. COMPONENTES EQUIPO DE BOMBEO DE AGUA	49
4.1. BOMBA.....	49
4.1.1. <i>Punto de funcionamiento de la bomba</i>	51
4.1.2. <i>Curvas características de la bomba</i>	52
4.1.3. <i>Conexión bomba seleccionada</i>	54
4.2. TUBERÍA DE IMPULSIÓN.....	55
4.3. UNIDAD DE CONTROL DE LA BOMBA.....	57
5. COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA.....	59
5.1. GENERADOR FOTOVOLTAICO	59
5.1.1. <i>Dimensionado para abastecer el consumo de la bomba</i>	59
5.1.2. <i>Dimensionado para abastecer el consumo de la instalación completa</i>	62
5.1.2.1. Consumo energético diario requerido	62
5.1.2.2. Rendimiento global de la instalación	63
5.1.2.3. Determinar tensión de trabajo.....	65
5.1.2.4. Número de módulos fotovoltaicos.....	65
5.1.2.5. Conexión en serie.....	66
5.1.2.6. Conexión en paralelo.....	66
5.1.2.7. Configuración de los módulos fotovoltaicos	68
5.2. DIMENSIONADO DEL REGULADOR.....	68
5.3. DIMENSIONADO DE LAS BATERÍAS.....	71
5.3.1. <i>Conexión de las baterías</i>	75
5.3.2. <i>Conexión de las baterías con los reguladores</i>	76
5.4. DIMENSIONADO DEL INVERSOR.....	77
6. CONFIGURACIÓN DE LA RED AISLADA	81
6.1. CONDUCTORES.....	81
6.1.1. <i>Criterio de corriente máxima</i>	82
6.1.2. <i>Criterio de máxima caída de tensión</i>	83
6.2. CONEXIONADO DE LOS CIRCUITOS.....	85
6.2.1. <i>Interconexión entre módulos fotovoltaicos</i>	85
6.2.2. <i>Conexión strings – caja de protecciones de fusibles</i>	85
6.2.3. <i>Conexión al cuadro principal de continua</i>	87
6.2.4. <i>Conexión inversor – cuadro de protecciones de corriente alterna</i>	87
6.3. CÁLCULO CABLEADO CORRIENTE CONTINUA.....	89
6.3.1. <i>Cálculo de sección por intensidad máxima admisible</i>	89
6.3.2. <i>Cálculo de sección por caída de tensión</i>	92
6.4. CÁLCULO CABLEADO CORRIENTE ALTERNA: CUADRO PRINCIPAL ALTERNA – BOMBA	93
6.4.1. <i>Cálculo de sección para el tramo motobomba</i>	94
7. PROTECCIONES	97
7.1. CONDUCTORES DE PROTECCIÓN	98
7.2. TUBOS PROTECTORES.....	98

7.3.	ELEMENTOS DE PROTECCIÓN EN LA INSTALACIÓN.....	99
7.3.1.	<i>Fusibles</i>	99
7.3.2.	<i>Magnetotérmico de protección para líneas</i>	100
7.3.2.1.	Número de polos.....	101
7.3.2.2.	Intensidad nominal.....	101
7.3.2.3.	Curva de disparo	102
7.3.2.4.	Poder de corte.....	102
7.3.3.	<i>Descargadores de sobretensiones</i>	102
7.3.4.	<i>Interruptor diferencial</i>	103
7.4.	DIMENSIONADO MAGNETOTÉRMICOS Y FUSIBLES	104
7.5.	PROTECCIONES CORRIENTE CONTINUA.....	106
7.5.1.	<i>Caja de protecciones intemperie – fusibles</i>	106
7.5.2.	<i>Cuadro principal de protecciones de CC</i>	107
7.6.	PROTECCIONES EN CORRIENTE ALTERNA.....	110
7.6.1.	<i>Cuadro principal de protecciones de CA</i>	110
7.7.	PUESTA A TIERRA	112
7.7.1.	<i>Dimensionado puesta a tierra</i>	114
7.7.1.1.	Puesta a tierra corriente continua	115
7.7.1.2.	Puesta a tierra corriente alterna	117
	DIMENSIONADO RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA.....	119
8.	CONFIGURACIÓN PUNTOS DE ABASTECIMIENTO	119
9.	PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN	122
9.1.	VELOCIDAD.....	122
9.2.	DIÁMETRO TUBERÍA.....	122
9.3.	PÉRDIDAS DE CARGA.....	125
9.3.1.	<i>Pérdidas de carga continuas</i>	125
9.3.2.	<i>Pérdidas de carga secundarias</i>	126
9.3.3.	<i>Factor de fricción</i>	127
9.3.4.	<i>Diagrama Moody</i>	128
10.	DEPÓSITO DE ALMACENAMIENTO DE AGUA	130
11.	CÁLCULO PÉRDIDAS DE CARGA EN LA RED	131
12.	MATERIAL TUBERÍAS DE DISTRIBUCIÓN	134
13.	CONFIGURACIÓN RED DE DISTRIBUCIÓN.....	134
14.	ELEMENTOS DE CONDUCCIÓN.....	135
14.1.	LISTADO DE ACCESORIOS DE CONDUCCIÓN DE LA RED	139
15.	PUNTOS DE CONSUMO	141
15.1.	FUENTES EXTERIORES.....	141
15.2.	BAÑOS - LETRINAS	142
15.2.1.	<i>Ubicación del pozo séptico</i>	148
15.2.2.	<i>Determinación hoyo del pozo séptico</i>	150
15.3.	ENFERMERÍA.....	153
	CAPÍTULO V. FASE DE FINANCIACIÓN	155
1.	INTRODUCCIÓN	155
2.	ANÁLISIS D.A.F.O.....	155
3.	FINANCIACIÓN NO LUCRATIVA.....	157

3.1.	FINANCIACIÓN PÚBLICA	158
3.1.1.	<i>Convocatoria pública</i>	159
3.2.	FINANCIACIÓN PRIVADA	160
3.2.1.	<i>Convocatoria privada</i>	161
3.2.2.	<i>Convenios de colaboración</i>	162
3.2.3.	<i>Crowdfunding</i>	164
3.2.4.	<i>Cuota de socios</i>	167
3.2.5.	<i>Venta de productos</i>	170
3.2.6.	<i>Organización de eventos</i>	172
3.2.7.	<i>Herencias y legados solidarios</i>	174
3.2.8.	<i>Apadrinamiento</i>	175
4.	FINANCIACIÓN DEL PROYECTO	177
4.1.	FINANCIACIÓN POR VÍAS CLÁSICAS	178
4.2.	FINANCIACIÓN MANOS UNIDAS	181
	CAPÍTULO VI. FASE DE EJECUCIÓN Y SEGUIMIENTO	185
1.	INTRODUCCIÓN	185
2.	CONTENEDOR DE MERCANCÍAS.....	187
3.	INCOTERMS.....	188
4.	CÓDIGOS HS	189
5.	CORREDOR DOUALA – N'DJAMENA.....	190
5.1.	PUERTO DE DOUALA.....	191
5.2.	TRÁNSITO POR CARRETERA.....	191
5.3.	TRÁNSITO POR FERROCARRIL	191
5.4.	TRÁNSITO AÉREO	192
6.	FASES DEL PROCESO DE ENVÍO	192
6.1.	TRANSITARIOS LOGÍSTICOS	192
6.1.1.	<i>Transitario Europeo</i>	193
6.1.2.	<i>Transitario local</i>	194
6.2.	OPERADORES LOGÍSTICOS	194
7.	COSTES Y DURACIÓN DE LA CADA LOGÍSTICA DOUALA – N'DJAMENA	196
7.1.	COSTE DE LA CADENA LOGÍSTICA	196
7.2.	DURACIÓN DE LA CADENA LOGÍSTICA.....	198
8.	REUNIONES	199
	CAPÍTULO VII. EVALUACIÓN.....	201
1.	CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS	201
	BIBLIOGRAFÍA	203
	PARTE II. PRESUPUESTO.....	207
1.	PRESUPUESTO SISTEMA DE BOMBEO SOLAR.....	207
1.1.	PRESUPUESTO DE SUMAS PARCIALES	207
1.1.1.	<i>Componentes principales</i>	207
1.1.2.	<i>Cableado y tubos</i>	208
1.1.3.	<i>Protecciones</i>	208
1.1.4.	<i>Tuberías</i>	209

1.1.5.	<i>Fittings tuberías</i>	209
1.1.6.	<i>Otros elementos</i>	210
1.1.7.	<i>Mano de obra</i>	210
1.2.	PRESUPUESTO GENERAL SISTEMA DE BOMBEO SOLAR	211
2.	PRESUPUESTO INSTALACIÓN COMPLETA	211
2.1.	PRESUPUESTO DE SUMAS PARCIALES	212
2.1.1.	<i>Componentes principales</i>	212
2.1.2.	<i>Cableado y tubos</i>	212
2.1.3.	<i>Protecciones</i>	213
2.1.4.	<i>Tuberías</i>	213
2.1.5.	<i>Fittings tuberías</i>	214
2.1.6.	<i>Otros elementos</i>	215
2.1.7.	<i>Mano de obra</i>	215
2.2.	PRESUPUESTO GENERAL INSTALACIÓN COMPLETA	216
PARTE III. ANEXOS		217
CAPÍTULO I. ALINEACIÓN DEL PROYECTO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS) DE NACIONES UNIDAS		217
1. INTRODUCCIÓN		217
2. LOS DERECHOS HUMANOS AL AGUA Y EL SANEAMIENTO		218
2.1.	SITUACIÓN ACTUAL DE LOS DERECHOS HUMANOS AL AGUA Y EL SANEAMIENTO A NIVEL MUNDIAL	218
2.1.1.	<i>Educación y alfabetización</i>	219
2.1.2.	<i>Igualdad de género</i>	221
2.2.	SITUACIÓN ACTUAL DE LOS DERECHOS HUMANOS AL AGUA Y EL SANEAMIENTO EN ÁFRICA SUBSAHARIANA	222
3. VÍNCULO ENTRE LOS DERECHOS HUMANOS AL AGUA Y EL SANEAMIENTO Y OTROS DERECHOS HUMANOS		222
CAPÍTULO II. DOCUMENTACIÓN		225
ÁRBOL DE PROBLEMAS		226
ÁRBOL DE OBJETIVOS		227
ESTIMACIÓN DE CONSUMO DE AGUA DIARIO		228
RADIACIÓN SOLAR DISPONIBLE		229
DETERMINACIÓN CAUDALES DE CADA TRAMO		230
SECCIONES DE TUBERÍAS		231
ACCESORIOS DE LAS TUBERÍAS.....		232
PÉRDIDAS DE CARGA Y PRESIÓN RESIDUAL EN PUNTOS DE CONSUMO		233
PARÁMETROS DIMENSIONADO DE CABLEADO PARA LA INSTALACIÓN COMPLETA.....		234
SECCIONES CABLEADO DE LA INSTALACIÓN COMPLETA		235
CARACTERÍSTICAS ELEMENTOS DE PROTECCIÓN DE LA INSTALACIÓN COMPLETA		236
CARACTERÍSTICAS COMPONENTES DEL SISTEMA DE BOMBEO SOLAR		237
PARÁMETROS DIMENSIONADO DE CABLEADO PARA EL SISTEMA DE BOMBEO SOLAR		237
SECCIONES CABLEADO DEL SISTEMA DE BOMBEO SOLAR		238
CARACTERÍSTICAS ELEMENTOS DE PROTECCIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO SOLAR.....		239
PARTE IV. PLANOS		241

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Población que usa fuentes mejoradas de agua potable en 2015	16
Ilustración 2. Ubicación de la región de Toukra.....	17
Ilustración 3. Colegio Saint François Xavier.....	17
Ilustración 4. Pozo con bomba eléctrica fuera de servicio.....	18
Ilustración 5. Productividad acuífera en África	19
Ilustración 6. Ciclo de las fases principales de un proyecto de cooperación.....	22
Ilustración 7. Fundamentos de la fase de identificación.....	23
Ilustración 8. Países limítrofes con el Chad.....	25
Ilustración 9. Medios empleados para la consecución del objetivo principal	32
Ilustración 10. Medios que posiblemente se podrían emplear para la consecución de objetivos futuros.....	33
Ilustración 11. Suministro a depósito sistema solar	36
Ilustración 12. Suministro directo bombeo solar.....	37
Ilustración 13. Sistema de bombeo fotovoltaico	38
Ilustración 14. Carga Dinámica Total.....	43
Ilustración 15. Ubicación edificios del colegio	45
Ilustración 16. Etapas de la motobomba	51
Ilustración 17. Curva característica de la bomba SQ 5 -25.....	52
Ilustración 18. Curva NPSH bomba SQ 5 - 25	53
Ilustración 19. Esquema de conexión de la bomba.....	54
Ilustración 20. Unidad de control CU 300 Grundfos	58
Ilustración 21. Esquema de conexión Unidad de Control	58
Ilustración 22. Disposición de los módulos en el techado del edificio de dirección.....	61
Ilustración 23. Conexión en serie de módulos	66
Ilustración 24. Conexión en paralelo repartidor de corriente	67
Ilustración 25. Repartidor de corriente.....	67
Ilustración 26. Conexión en paralelo de módulos.....	67
Ilustración 27. Configuración de los módulos fotovoltaicos.....	68
Ilustración 28. Regulador de carga Victron 150/85	71
Ilustración 29. Banco de baterías seleccionado	75
Ilustración 30. Profundidad de descarga banco de baterías seleccionado.....	75
Ilustración 31. Configuración conexión banco de baterías	76
Ilustración 32. Conexión baterías - reguladores	77
Ilustración 33. Conexión entre componentes de la instalación.....	80
Ilustración 34. Conexión entre módulos fotovoltaicos.....	85
Ilustración 35. Conexión strings - caja de protecciones.....	86
Ilustración 36. Conexión a tierra partes metálicas de los módulos	86
Ilustración 37. Conexión hasta alimentación de la motobomba	87
Ilustración 38. Conexión sistema solar fotovoltaico	88
Ilustración 39. Tubos de PVC corrugados para protección contra contactos directos	99
Ilustración 40. Distintos tipos de fusibles	99
Ilustración 41. Magnetotérmico.....	100
Ilustración 42. Salto magnético y salto térmico de un magnetotérmico.....	101
Ilustración 43. Curvas de disparo de un magnetotérmico	102

Ilustración 44. Descargador de sobretensión	103
Ilustración 45. Interruptor diferencial.....	104
Ilustración 46. Selectividad en magnetotérmicos.....	106
Ilustración 47. Conexión magnetotérmicos y descargadores en el cuadro principal de CC.....	109
Ilustración 48. Conexión fusibles entre banco de baterías e inversor	110
Ilustración 49. Protecciones cuadro principal de CA.....	111
Ilustración 50. Corriente de defecto fase - masa	112
Ilustración 51. Sistema IT	113
Ilustración 52. Módulos trabajando en vacío en caso de defecto en un sistema TT	114
Ilustración 53. Sistema TT	114
Ilustración 54. Disposición puntos de abastecimiento	119
Ilustración 55. Diagrama de Moody para determinar el factor de fricción	129
Ilustración 56. Depósito de agua proveedor AguaDep Casariche.....	131
Ilustración 57. Letrina de fosa simple	134
Ilustración 58. Ubicación válvulas de compuerta en la red	136
Ilustración 59. Válvula de compuerta y brida de unión	136
Ilustración 60. Válvula de bola	137
Ilustración 61. Tipos de uniones roscadas	138
Ilustración 62. Collarín de derivación.....	138
Ilustración 63. Unión en T	139
Ilustración 64. Codo y acoplo reductor	139
Ilustración 65. Grifo frontal empleado en las fuentes exteriores.....	141
Ilustración 66. Disposición elementos de la fuente exterior	142
Ilustración 67. Configuración inicial baños colegio	143
Ilustración 68. Letrina de arrastre hidráulico.....	143
Ilustración 69. Aparato sanitario tipo turco	144
Ilustración 70. Distancia entre casetas.....	144
Ilustración 71. Vista en planta instalación de saneamiento baños.....	145
Ilustración 72. Instalación bidé baños ESO	146
Ilustración 73. Configuración toma del bidé y recorrido de las tuberías de derivación	147
Ilustración 74. Unión tubería de desagüe	147
Ilustración 75. Ubicación de letrinas con respecto a pozos existentes.....	148
Ilustración 76. Distancias entre pozo séptico y fuentes de agua	149
Ilustración 77. Recubrimiento de las paredes del pozo	149
Ilustración 78. Altura total del pozo.....	150
Ilustración 79. Disposición del lavabo en el edificio de enfermería.....	153
Ilustración 80. Configuración toma grifo enfermería.....	153
Ilustración 81. Tubería de desagüe grifo lavabo enfermería	154
Ilustración 82. Campaña de crowdfunding Project Zimbabwe	179
Ilustración 83. Campaña de crowdfunding ayuda a los niños de Madagascar	180
Ilustración 84. Localización geográfica corredor Douala – N'Djamena	185
Ilustración 85. Contenedor de mercancía	187
Ilustración 86. Dígitos códigos HS	190
Ilustración 87. Cadena logística Douala - N'Djamena	196
Ilustración 88. Distribución Presupuesto General sistema de bombeo solar	211
Ilustración 89. Distribución Presupuesto General instalación completa	216
Ilustración 90. Cobertura global y regional de agua potable y saneamiento, 2015	219

Ilustración 91. Proporción por país de escuelas con un servicio básico de agua potable, 2016	220
Ilustración 92. Proporción por país de escuelas con un servicio básico de saneamiento, 2016	220
Ilustración 93. Tasas de alfabetización de jóvenes por país, 2016	221

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Puntos de consumo edificios.....	46
Tabla 2. Caudal instantáneo mínimo.....	46
Tabla 3. Estimación consumo diario	47
Tabla 4. Estimación número de alumnos.....	47
Tabla 5. Irradiancia incidente sobre una superficie inclinada.....	48
Tabla 6. Horas solares pico para cada mes del año	49
Tabla 7. Criterios equipo de bombeo.....	50
Tabla 8. Características motobomba SQ 5-25 Grundfos.....	50
Tabla 9. Punto de funcionamiento de la bomba.....	51
Tabla 10. Características Unidad de Control CU 300 - Grundfos	58
Tabla 11. Características placa Canadian Solar 405 W.....	61
Tabla 12. Consumo energético total del colegio.....	62
Tabla 13. Valores escogidos como coeficientes de pérdidas	64
Tabla 14. Valores parámetros a la salida del campo fotovoltaico	69
Tabla 15. Características regulador de carga Victron 150/85	70
Tabla 16. Valores parámetros a la entrada de cada regulador	70
Tabla 17. Comprobación parámetros a la entrada del regulador.....	71
Tabla 18. Características del banco de baterías.....	74
Tabla 19. Potencias estimadas de consumo	78
Tabla 20. Características inversor Victron 10.000 VA 48 V	79
Tabla 21. Valores de caída de tensión recomendables.....	84
Tabla 22. Tramos de la instalación a dimensionar	84
Tabla 23. Intensidades admisibles para cables con conductores de cobre, no enterrados. Temperatura ambiente 40°C en el aire	90
Tabla 24. Factor de corrección por temperatura para cables no enterrados.....	90
Tabla 25. Factores de reducción para agrupamiento de varios circuitos	91
Tabla 26. UNE 211435 Intensidad máxima admisible para cables de tipo XZ1 de 0,6/1 kV.....	95
Tabla 27. Correcciones aplicadas para el tramo enterrado hasta la motobomba.....	96
Tabla 28. Resistividad térmica del terreno en función de su naturaleza y humedad.....	96
Tabla 29. Valor sección recorrido hasta motobomba	96
Tabla 30. Composición de los cables según el tramo de la instalación.....	97
Tabla 31. Relación entre conductores de protección y activos según norma UNE – HD 60.364-5-54.....	98
Tabla 32. Características fusibles instalación eléctrica	111
Tabla 33. Características magnetotérmicos instalación eléctrica	112
Tabla 34. Características descargadores de sobretensiones instalación eléctrica	112
Tabla 35. Características interruptor diferencia circuito motobomba	112
Tabla 36. Valores medios aproximados de la resistividad en función del terreno	115
Tabla 37. Fórmulas resistencia de tierra en función de las características del electrodo	116
Tabla 38. Caudales establecidos para cada tramo de la red de distribución.....	121
Tabla 39. Diámetros tuberías para cada tramo de la red	124
Tabla 40. Características principales del depósito de agua	130
Tabla 41. Cálculo pérdidas de carga y presión final residual red de distribución de agua ..	¡Error!

Marcador no definido.

Tabla 42. Características válvula de compuerta.....	136
Tabla 43. Listado de accesorios de conducción	140
Tabla 44. Características accesorios de las fuentes exteriores	142
Tabla 45. Características accesorios grifería bidé	146
Tabla 46. Tasa de infiltración según el tipo de suelo	151
Tabla 47. Valores parámetros para el cálculo de la profundidad del hoyo	152
Tabla 48. Resultados obtenidos cálculo profundidad hoyo	152
Tabla 49. Características accesorios grifo enfermería	154
Tabla 50: Análisis DAFO: Convocatoria pública.....	159
Tabla 51: Análisis DAFO: Convocatoria privada.	161
Tabla 52: Análisis DAFO: Convenio de colaboración.....	163
Tabla 53: Análisis DAFO: Crowdfunding.....	165
Tabla 54: Análisis DAFO: Cuota de socios.	168
Tabla 55: Análisis DAFO: Venta de productos.....	170
Tabla 56: Análisis DAFO: Organización de eventos.....	172
Tabla 57: Análisis DAFO: Herencia y legados solidarios.....	174
Tabla 58: Análisis DAFO: Apadrinamiento.	176
Tabla 59. Dimensiones de contenedores normalizados	187
Tabla 60. Incoterms 2020.....	189
Tabla 61. Presupuesto transporte Douala - N'Djamena.....	197
Tabla 62. Presupuesto transporte Douala - Toukra	198
Tabla 63. Sumas parciales componentes principales sistema de bombeo solar	207
Tabla 64. Sumas parciales cableado y tubos sistema de bombeo solar	208
Tabla 65. Sumas parciales protecciones sistema de bombeo solar	208
Tabla 66. Sumas parciales tuberías sistema de bombeo solar.....	209
Tabla 67. Sumas parciales fittings tuberías sistema de bombeo solar	209
Tabla 68. Sumas parciales otros elementos sistema de bombeo solar	210
Tabla 69. Sumas parciales mano de obra sistema de bombeo solar	210
Tabla 70. Presupuesto general sistema de bombeo solar	211
Tabla 71. Sumas parciales componentes principales instalación completa	212
Tabla 72. Sumas parciales cableado y tubos instalación completa	212
Tabla 73. Sumas parciales protecciones instalación completa	213
Tabla 74. Sumas parciales tuberías instalación completa.....	213
Tabla 75. Sumas parciales fittings tuberías instalación completa	214
Tabla 76. Sumas parciales otros elementos instalación completa	215
Tabla 77. Sumas parciales mano de obra instalación completa	215
Tabla 78. Presupuesto general instalación completa	216

PARTE I. MEMORIA DE CÁLCULOS

CAPÍTULO I. Introducción

“No dejar a nadie atrás” es el lema con el que la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible [1] aspira a que todas las personas en todos los países se beneficien del desarrollo socioeconómico, cuya crecimiento resulta indispensable para la plena realización de los derechos humanos. La edición del 2019 del Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos publicado por las Naciones Unidas deja reflejado como la mejora en la gestión de los recursos hídricos, el acceso al suministro de agua y a los servicios de saneamiento seguros son la clave para erradicar la pobreza, construir sociedades fructíferas y reducir desigualdades.

1. Introducción

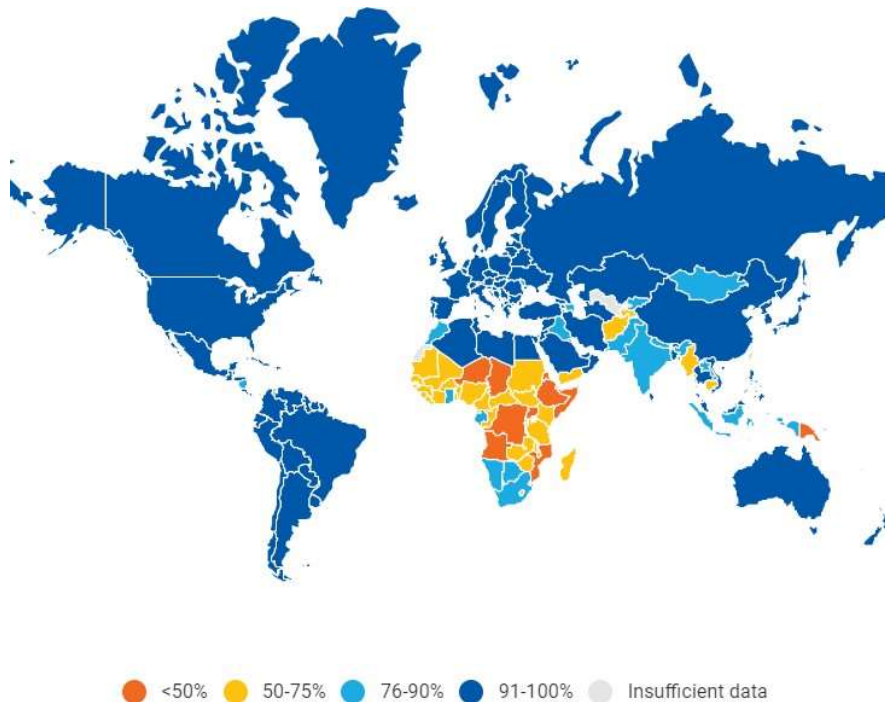
El agua constituye un bien imprescindible en el desarrollo socioeconómico de un país, siendo una pieza fundamental para el progreso de la salud, el bienestar y la educación de dicho país.

Desde la perspectiva de los países en desarrollo, la falta de agua es sinónimo de pobreza. Uno de los hitos recientes más importantes y que tuvo lugar en el año 2010, fue el reconocimiento por parte de la Asamblea General de las Naciones Unidas del derecho humano al agua y al saneamiento, reafirmando así que estos dos factores son esenciales para que se cumplan el resto de los derechos humanos [2]. A consecuencia de dicha resolución, se incitó a los países desarrollados y organizaciones internacionales a proporcionar recursos tanto financieros como tecnológicos para ayudar a todos aquellos países que estuviesen atravesando graves problemas en relación con el suministro de agua potable y saneamiento.

A pesar de los extraordinarios avances en materia de agua potable a nivel mundial que se han llevado a cabo desde entonces, como por ejemplo, que el 91% [3] de la población mundial utiliza actualmente una fuente mejorada de agua potable, sigue habiendo disparidades significativas y según los datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), 844 millones de personas siguen careciendo de un servicio básico de suministro de agua potable, lo que representa un 11% de la población mundial [4].

La cobertura más baja corresponde a los 48 países designados por las Naciones Unidas como menos adelantados, en particular, los de África subsahariana, como se puede observar en la ilustración que se muestra a continuación [5].

Ilustración 1. Población que usa fuentes mejoradas de agua potable en 2015



Uno de los países africanos más afectados por este problema es el Chad, en el que el acceso al agua potable y a servicios de saneamiento está entre los más bajos del mundo: el 50% de la población no tiene acceso a fuentes mejoradas de agua potable y sólo el 9% tiene un sistema de saneamiento mejorado [6].

El acceso igualitario al agua es imprescindible para una sociedad más justa, para reducir la pobreza y para un crecimiento inclusivo de las sociedades. Es por este motivo por el que nace el presente proyecto, llevado a cabo por la Fundación de Ingenieros de ICAI [7].

Este proyecto tiene por objeto mejorar las instalaciones del colegio Saint François Xavier, regentado por la compañía de Jesús, situado en una población del Chad llamada Toukra a 20 kilómetros al sur de la capital N'Djamena. De este modo, se desea no sólo mejorar las condiciones en las que estudian sus alumnos, sino también mejorar las condiciones de vida, higiénicas y sanitarias de los vecinos de la región, en la que abunda la sequía y el acceso al agua potable es insuficiente.

Otra asociación que contribuye significativamente en el desarrollo y expansión del colegio es la Fundación Ramón Grosso [8], que no sólo ayuda económicamente sino también contribuye a la formación y educación de los niños a través de actividades deportivas.

2. Estado de la cuestión

El colegio Saint François Xavier se construyó cuando la población de Toukra no alcanzaba los

3 mil habitantes. Al cabo de poco tiempo, el colegio empezó a cobrar importancia en la zona, ya que en él la gente encontró una razón para mirar al futuro con optimismo. De esta forma, el colegio ha pasado a tener 1.500 alumnos en la actualidad a diferencia de los 350 alumnos inscritos en 2015. La región de Toukra ha crecido del mismo modo, que ahora cuenta con una población de 10.000 habitantes y para los que el colegio se ha convertido en el epicentro.

Ilustración 2. Ubicación de la región de Toukra



El colegio dispone de una gran parcela de 7 hectáreas. Sin embargo, la mayor parte del terreno está completamente vacía, con una tierra seca y erosionada, y sin ningún árbol que proporcione sombra. Además, la construcción de algunos de los edificios que conforman el colegio está paralizada por falta de recursos. En la imagen que se muestra a continuación se puede observar el estado actual del colegio.

Ilustración 3. Colegio Saint François Xavier



Hasta ahora, la Fundación Ramón Grosso ha realizado cuatro pozos de agua, de los seis que dan servicio de agua potable, tanto al colegio como a los vecinos de Toukra. Todos ellos son pozos de presión manual, a excepción de uno que cuenta con una bomba eléctrica que abastece a un pequeño depósito de 2.000 litros. Sin embargo, en la actualidad, dicha bomba está fuera de servicio.

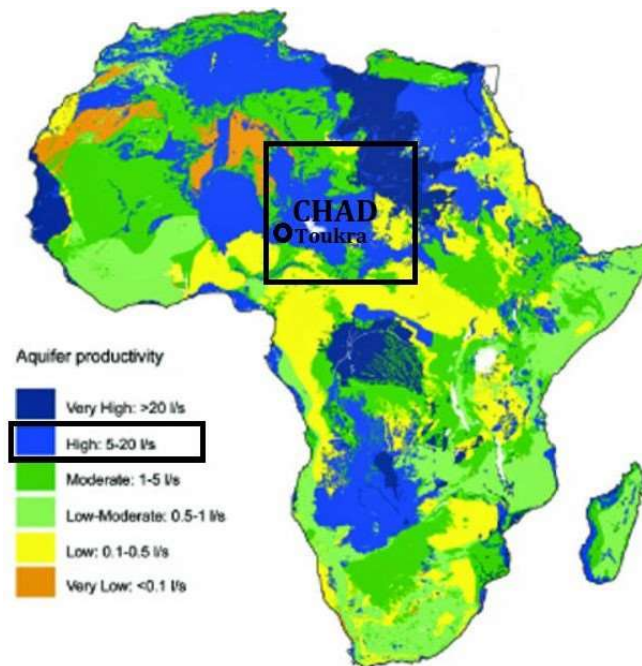
Ilustración 4. Pozo con bomba eléctrica fuera de servicio



Con ánimo de seguir creciendo, se tenía en mente desde hace un par de años empezar con la instalación de un sistema de abastecimiento que pudiese dar servicio de agua corriente al colegio. Llegado este punto, se considera necesario el comienzo del proyecto para poder dar solución a los problemas expuestos.

Además, se estima que la profundidad de los pozos varía entre 30 y 50 metros, lo que hace creer que se trata de ríos subterráneos lo que discurre bajo la superficie terrestre y no de bolsas de agua de cantidad finita. Para confirmar esta suposición, un mapa geológico elaborado por científicos británicos muestra que África descansa sobre una reserva inmensa de agua subterránea. Como se puede observar en la imagen, la productividad del acuífero podría ser de hasta 20 litros por segundo [9].

Ilustración 5. Productividad acuífera en África



El volumen total de agua subterránea ascendería a medio millón de kilómetros cúbicos, una cantidad que equivale a veinte veces el agua procedente de las precipitaciones anuales en todo África y que podría aliviar la situación de más de 300 millones de africanos [9] que no disponen de agua potable.

Este proyecto se pensaba llevar a cabo junto con la Asociación AMAIF [10], que es una asociación humanitaria cuyo objetivo es la realización de proyectos que mejoren las condiciones de vida de los niños y sus familias en países subdesarrollados. Muchos de estos proyectos tienen como propósito el suministro de agua potable en zonas rurales necesitadas a través de la construcción de pozos. De esta forma, los conocimientos y recursos de los cuales dispone AMAIF hubiesen sido de gran utilidad para el desempeño del proyecto. Sin embargo, la sede de AMAIF que se encuentra en Burkina Faso sufrió este mismo año un robo y asalto del que, desafortunadamente, siguen en proceso de recuperación, por lo que ha sido necesario recurrir a otras alternativas.

3. Motivación

Este proyecto es fruto del propósito de resolver problemas que enfrentan a la sociedad de hoy en día. Como se ha resaltado en los apartados anteriores, el agua y los sistemas de saneamiento deben ir de la mano para conseguir el desarrollo del ser humano y por tanto, ambos son vitales para reducir la carga mundial de enfermedades y para mejorar la salud, la educación y la productividad económica de las poblaciones.

Un tema vinculado con la carencia de servicios de agua potable en países en vías de desarrollo y que es de suma importancia es la falta de agua potable y saneamiento adecuado en las escuelas. Se estima que más de 620 millones [11] de niños en todo el mundo siguen

asistiendo a escuelas que carecen de agua potable e instalaciones higiénicas de saneamiento, lo que les priva de un entorno saludable de aprendizaje y que, en el caso de las niñas, influye en gran medida en su escolarización cuando tienen el periodo.

Para el caso particular que concierne al proyecto, la inestabilidad política y los conflictos internos del Chad han impactado fuertemente a la infraestructura educativa del país, acrecentando graves problemas como son la escasez de docentes, las precarias condiciones higiénicas en las escuelas y la baja tasa de asistencia de niños, y en particular de las niñas. La tasa nacional de alfabetización es del 31,8% [12] entre la población adulta, y la situación resulta aún más alarmante entre las mujeres, ya que apenas el 12,8% [12] supera el analfabetismo.

Sabiendo que la educación es la clave para ayudar a los niños a escapar de la pobreza, el agua y el saneamiento son elementos imprescindibles para que los niños maximicen de forma segura su educación. De esta manera, desde la Fundación de Ingenieros de ICAI se quiere contribuir aportando un granito de arena a que niños que están en circunstancias desfavorables puedan ir, poco a poco, desarrollándose y acceder a servicios básicos.

CAPÍTULO II. Definición de un proyecto de cooperación

1. Definición

Definir o explicar lo que se entiende por “Proyecto de cooperación para el desarrollo” no es tarea fácil ya que se trata de proyectos muy versátiles, con características variadas y con áreas de trabajo diversas. Aunque haya multitud de definiciones para los proyectos de esta naturaleza, hay una cosa innegable, y es que una definición bien fundada de los proyectos de cooperación debe de contener los siguientes cuatro aspectos básicos:

- Conjunto de acciones centradas en un objetivo de desarrollo
- Situación geográfica y temporal de dichas acciones
- Alusión a los actores que intervienen en la puesta en marcha del proyecto
- Alusión al grupo o colectivo destinatario de las acciones, también denominados como beneficiarios

En vista de que la definición contemple estas cuatro vertientes, la agencia de cooperación alemana (GTZ) propone una definición completa y detallada, siendo ésta la siguiente:

“Se entiende por proyecto (de desarrollo) una tarea innovadora que tiene un objetivo definido, debiendo ser efectuada en un cierto periodo, en una zona geográfica delimitada y para un grupo de beneficiarios; solucionando de esta manera problemas específicos o mejorando una situación ... La tarea fundamental es capacitar a las personas e instituciones participantes para que ellas puedan continuar las labores de forma independiente y resolver por sí mismas los problemas que surjan después de concluir la fase de apoyo externo” [13].

Los proyectos de cooperación al desarrollo se caracterizan por estar encaminados desde su inicio por y para los objetivos del proyecto. Ha de dejarse de lado la idea de que el foco del proyecto se encuentra en la realización material del proyecto (obras, infraestructuras, edificaciones, etc.), y entender que la actividad proyectual es un medio empleado para asistir a la consecución del objetivo real del proyecto centrado en responder a una falta de desarrollo o potenciar el mismo.

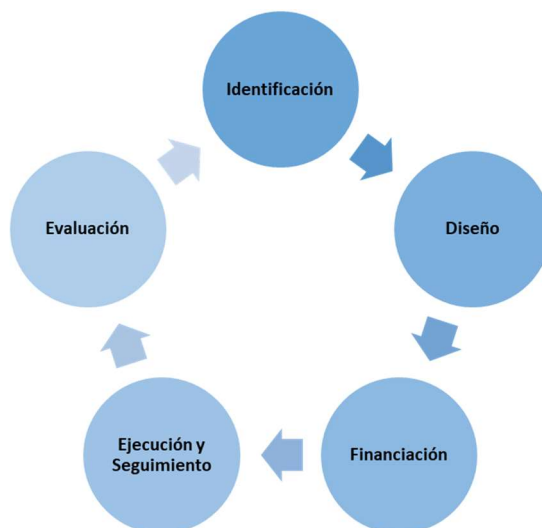
2. El ciclo de vida del proyecto

La planificación de proyectos es un elemento notablemente importante para la consecución de los objetivos establecidos, sobre todo en los proyectos de cooperación al desarrollo, en los que es de suma importancia definir los objetivos que se quieren alcanzar, determinar la manera en

la que se van a conseguir y gestionar los métodos organizativos de tal forma que se logre la relación recursos – resultados óptima, habida cuenta de los escasos recursos disponibles.

Los proyectos de cooperación al desarrollo se descomponen en una estructura cíclica por fases, con la que se consigue dividir un problema inicialmente complicado en una serie de problemas más fáciles de resolver. Se trata de fases que se van completando de forma consecutiva hasta lograr la consecución del objetivo general del proyecto. Estas fases están sujetas a ligeras modificaciones dependiendo de la metodología escogida para el proyecto. En general, las fases principales van desde la identificación del problema y necesidades que se desean paliar con la implementación del proyecto, el diseño en cuestión, la consecución de la financiación, la puesta en marcha y seguimiento de las acciones en el terreno local, hasta finalmente terminar con la valoración de los resultados obtenidos.

Ilustración 6. Ciclo de las fases principales de un proyecto de cooperación



3. Enfoque del Marco Lógico

Como se ha mencionado anteriormente, según la metodología escogida, se llevarán a cabo las fases de una forma u otra. Existen diferentes metodologías para la planificación de proyectos, de las cuales la más frecuente en el ámbito de la cooperación es la denominada “Enfoque del Marco Lógico” [14].

El Enfoque del Marco Lógico es una herramienta que tiene gran cabida en la planificación y la gestión de proyectos tanto de cooperación al desarrollo como de proyectos sociales. El EML apareció por primera vez en la década de los 60 [14] y desde entonces, lo incorporan la mayoría de las instituciones que intervienen en el ámbito de la cooperación al desarrollo.

3.1. Fase de identificación

Esta primera fase de identificación tiene por objeto realizar un análisis de la realidad del medio donde se va a implementar el proyecto de manera que queden determinadas las bases del mismo. La identificación permite especificar la naturaleza del problema, precisar las personas afectadas por el problema, determinar el estado que se pretende lograr y analizar la viabilidad de llevar a cabo ciertas actuaciones. En definitiva, el propósito de esta fase es hacer que el proyecto responda a la realidad, no la realidad al proyecto.

Ilustración 7. Fundamentos de la fase de identificación



3.2. Fase de diseño

Es en esta fase en la que el proyecto toma forma puesto que se procede a definir las acciones técnicas necesarias para la consecución del objetivo a partir del marco contextual generado en la fase de identificación. Un aspecto muy importante en este tipo de proyectos de cooperación al desarrollo es averiguar y valorar todos los factores que puedan afectar a las acciones que permitirían la ejecución del proyecto.

3.3. Fase de financiación

Para poder ejecutar el proyecto diseñado, es necesario conseguir recursos económicos externos, puesto que no es factible dentro de las capacidades de los actores locales y de los beneficiarios. Se establecerá un presupuesto general del proyecto, y, paralelamente, se procederá a diseñar un plan de financiación, en el que se buscarán las fuentes que pudiesen aportar los fondos necesarios.

3.4. Fase de ejecución y seguimiento

Como bien indica su nombre, esta fase consiste en la implementación de las actividades diseñadas y planificadas en las fases anteriores, por lo que tiene lugar en terreno local. Esta fase abarca todas las acciones necesarias para adaptar a la realidad el proyecto teórico diseñado en fases anteriores, en la que se encuentran algunas operaciones tales como la logística, organización de recursos humanos disponibles y protocolos necesarios que cumplir para que la ejecución del proyecto se desarrolle adecuadamente.

Durante el proceso de implementación de las tareas, se realiza un seguimiento de las mismas para conocer el estado en el que se encuentran. Para ello, se toma como referencia un diagrama Gantt previamente establecido que muy a menudo es sujeto a cambios.

3.5. Fase de evaluación

Esta etapa tiene lugar una vez que el proyecto ha finalizado y en la que se realiza un análisis crítico de los resultados obtenidos para examinar si el impacto del proyecto es el esperado y aprender de la experiencia para futuros proyectos. Algunos aspectos medibles por medio de este análisis son la eficiencia, la eficacia, el impacto, la viabilidad y la satisfacción de los beneficiarios del proyecto.

Una vez mencionadas las distintas fases que componen el ciclo de un proyecto de cooperación al desarrollo, se procederá a redactar los capítulos de esta memoria atendiendo a estas fases. Cabe notar que las fases a las que hace referencia esta memoria son todas aquellas previas a la ejecución del proyecto en cuestión. Por tanto, de aquí en adelante, se abarcarán las fases de identificación, diseño y financiación. Además, se identificará la gestión logística contemplada en la fase de ejecución y seguimiento del proyecto. Si bien la mayoría de las acciones llevadas a cabo en dicha fase tienen lugar en terreno local, la logística es una cuestión con carácter previo a la ejecución. Las etapas restantes hasta completar el ciclo del proyecto dependerán por completo de obtener la financiación requerida y que el proyecto sea ejecutado, objetivo final que se aspira lograr, pero que por el momento tendrá que esperar, debido a la situación actual de crisis sanitaria ocasionada por el coronavirus.

CAPÍTULO III. Fase de Identificación

Este capítulo busca contextualizar los aspectos que se desean mejorar con ayuda de la ejecución de este proyecto. En este tipo de proyectos de cooperación al desarrollo, los cuales se caracterizan por poseer una dimensión social muy profunda, resulta de suma importancia realizar un estudio no sólo de los aspectos técnicos que se van a tratar, sino también de los factores sociales del lugar en el que se persigue implantar el proyecto.

1. Contexto del país

El Chad, cuya capital es N'Djamena, tiene una superficie de 1.284.000 km², que lo convierte en el quinto país más extenso del continente Africano. El Chad no tiene litoral y comparte fronteras en el norte con Libia, en el este con Sudán, en el sur con la República Centroafricana, y finalmente, al oeste con Camerún, Nigeria y Níger. La población se estima en 11,04 millones de habitantes con una densidad de 8,6 habitantes por km² conforme a los resultados del censo de población realizado en el año 2009. De acuerdo a la tendencia poblacional que se contempla en estos últimos años, se prevé que esta población alcance los 19,34 millones de habitantes en 2025 y que ascendería a 44,21 millones en 2050 [15].

Ilustración 8. Países limítrofes con el Chad



1.1. Situación demográfica

La población rural representa el 78,1% de la población total del Chad, de la cual 50,6% son mujeres y otro 50,6% son jóvenes de menos de 15 años. El promedio anual de la tasa de

crecimiento intercensal es actualmente de 3,6% , incluidos los refugiados. Las personas casadas representan una parte mayoritaria de la sociedad , siendo esta de 63% . En su conjunto, los datos indican que un alto porcentaje de jóvenes viven en un contexto de vulnerabilidad social, con una tasa de desempleo de 5,7% de los cuales el 82% son hombres con una edad comprendida entre 15 y 30 años. Además, el Chad se caracteriza por ser uno de los países con mayor brecha de genero a nivel mundial, con un porcentaje del 58%. Esta discriminación de género, estrechamente vinculada a las limitaciones socioculturales presentes en el país, tiene lugar en múltiples contextos, tales como la alfabetización, el acceso a la escolaridad, el acceso a trabajos decentes y activos productivos (por ejemplo, la propiedad de las tierras). Desde el punto de vista cultural, la religión predominante es la musulmana (58,4%) seguida del cristianismo (34,6%) [16].

1.2. Perspectiva política

La reforma institucional llevada a cabo en el año 2018 instauró la Cuarta República y trajo consigo la modificación de la organización administrativa del país, la cual apuesta por un estado unitario y altamente descentralizado. Un estado Unitario Descentralizado se caracteriza por la presencia de múltiples instituciones dentro del estado las cuales gozan de jurídica propia, patrimonio propio y autonomía de gestión, por lo que el orden superior de gobierno generalmente sólo desempeña una supervisión sobre estas instituciones. En este sentido, el Chad se divide en un total de 23 provincias que a su vez se dividen en departamentos (107) y que de nuevo, se dividen en municipios (377) [15].

Según el índice de percepción de corrupción, el Chad ocupa el puesto 165 entre un total de 176 países [15]. Además, a pesar de la descentralización de la administración y de la gestión de asuntos públicos, la organización administrativa del país queda todavía considerablemente marcada por la unificación de ciertos servicios públicos en la capital, concretamente servicios sociales de carácter básico, como son el suministro de agua y el suministro de electricidad.

1.3. Perspectiva social

De acuerdo con el programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el Chad viene clasificado entre los 10 países más pobres del mundo en términos de desarrollo humano, ocupando el puesto 186 de 189 países [15] en el índice de desarrollo humano (IDH). Esta categorización se debe fundamentalmente a la escasa escolarización de niños en edad escolar y una esperanza de vida inferior a la media mundial y a la media en países africanos. Según el Instituto Nacional de Estadística, Estudios Económicos y Demográficos (INSEED) [17], servicio oficial de estadísticas del Chad:

- El porcentaje de la población que vive por debajo del umbral de pobreza es del 46,7%.
- La esperanza de vida al nacer es de 52,4 años.

- La tasa de escolarización de hombres es de 81% frente al 19% de las mujeres. No obstante, sólo el 46,7% de los hombres y el 28% de las mujeres consiguen terminar la educación de nivel primario.
- Según publica la UNESCO, la tasa de alfabetización del Chad es de 22,31%, dentro de la cual la tasa de alfabetización masculina representa el 31,33%, superior a la femenina que es del 13,96%.

El acceso a los servicios básicos sigue siendo limitado. El acceso a la electricidad se distribuye de manera muy desproporcional en todo el país. La proporción de hogares que utilizan esta fuente de iluminación es del 6,4% [18] y a pesar de que esta tasa se concentra mayoritariamente en la capital, los apagones son recurrentes y su tendencia es a la baja. Esto se debe principalmente al rápido crecimiento de la población y los importantes problemas de distribución presentes en el país que a pesar de la construcción de nuevas centrales eléctricas, empuja a que la tasa de acceso a la electricidad disminuya. Por otro parte, alrededor de la mitad de la población del Chad no tiene acceso al agua (52% en 2014) [18] sin ser esta potable. Exceptuando una pequeña red de agua corriente en la capital, la mayoría de los hogares siguen consumiendo agua extraída de pozos.

1.4. Perspectiva económica

La economía del Chad se ha basado por mucho tiempo en la agricultura y la ganadería hasta el 2003, año en el que comenzó la explotación del petróleo en el país. Aunque este recurso ha aportado un plus a la economía nacional que permitió un periodo de fuerte crecimiento hasta 2014 (13,7% en media anual) [15], en la actualidad, el sector petrolífero se mantiene estancado desde la bajada del precio del barril en 2014. La agricultura y la ganadería siguen siendo esenciales por lo que respecta al empleo, pues la agricultura ocupa, ella sola, el 80% de la población activa [16].

1.5. Perspectiva de seguridad

Desde 2009, el Chad ha recuperado su estabilidad política y de seguridad que, sin embargo, se ha visto afectada estos últimos años por la inseguridad generada en los países vecinos y el reciente aumento del terrorismo que se sitúa principalmente en la cuenca del lago Chad desde 2013. A esto se le suma el riesgo de continuas amenazas de conflictos esporádicos intercomunitarios. La persistencia de los riesgos de seguridad ocasionados por las incursiones de la secta Boko Haram (Estado Islámico en África Occidental) [15] obstaculiza cualquier perspectiva de crecimiento a corto plazo.

1.6. Contexto ambiental

El clima del Chad se caracteriza por la existencia de cuatro zonas bioclimáticas. La zona situada más al norte del país, en el Sáhara, recibe un promedio inferior a 200 mm de precipitaciones anuales por lo que sólo está ocupada por pequeños grupos nómadas ganaderos. La zona central del país, el Sahel, cuenta con entre 200 y 600 mm de precipitaciones al año. Por otra parte, se tiene la zona sur, denominada zona sudanesa, con un promedio de entre 600 y 1000 mm de lluvia. Por último, la zona suroeste en la zona de Guinea recibe una precipitación anual que fluctúa entre 1000 y 1200 mm, por lo que se trata de la zona en la que la vegetación abunda más [15].

En los últimos años, el país se ha visto enormemente afectado por el cambio climático. Las repetidas sequías (1973, 1984 y 2008), la disminución general de las precipitaciones y la deforestación, son algunas de las causas que han dado lugar a importantes cambios en los estándares ambientales de todo el país. La desecación progresiva del lago Chad constituye un riesgo especialmente preocupante para el bienestar social y económico de los chadianos.

1.7. Situación del acceso a los servicios de agua y saneamiento

La tasa de acceso a una fuente de agua mejorada se fijó en un 55,7% en 2017 y sólo el 25% de la población urbana disfruta de conexiones domiciliarias, pero que ni siquiera cumplen con los criterios básicos para asegurar un servicio de suministro seguro, ya sea en cuanto a la calidad del agua suministrada o a la continuidad del servicio. A esto se le suman las importantes desigualdades regionales ya que los hogares en los centros urbanos disponen de mejores condiciones de accesos que los hogares que se encuentran en zonas rurales. En este sentido, la mitad de las regiones tienen una tasa de acceso a un servicio básico inferior al 50%. De acuerdo con los datos nacionales disponibles, se sopesa que el 40% de las aldeas, dos tercios de los centros semiurbanos y uno de cada cinco centros urbanos no tiene suministro público a agua potable [18].

En cuanto a los servicios de saneamiento, un porcentaje mayoritario en todo el territorio no tiene acceso a ellos y prevalece la defecación al aire libre, que en este caso se estima que representa un 67% a nivel nacional y un 82% en las zonas rurales. A esto se le añade que únicamente el 6% de la población dispone de equipos básicos para lavarse las manos con agua y jabón y que el 80% de las escuelas primarias no tienen instalaciones básicas de saneamiento [18].

Otro aspecto sorprendente es que ninguna ciudad está equipada con una red de alcantarillado por lo que las aguas residuales terminan evacuándose directamente en el entorno natural sin ningún tipo de control ni tratamiento.

La organización institucional en la que se fundamenta la gestión del estado aleja notoriamente las responsabilidades del estado de la prestación de los servicios por medio del ministerio responsable de agua y saneamiento. El suministro público de agua urbano está gestionado por

la “Société Tchadienne des Eaux” (STE) que bajo un contrato de concesión con el estado, sigue siendo pública. Esta sociedad actúa en las 11 ciudades más grandes del país, de entre las cuales se encuentra la capital N’Djamena. En las pequeñas ciudades, el ministerio a cargo del suministro de agua delega la gestión de la misma a las Asociaciones de Usuarios del Agua (AUE), o bien, en algunos casos, la gestión se confía a una empresa privada, bajo un contrato de explotación. En zonas rurales, la gestión comunitaria de los puntos de agua por medio de comités de aldeas sigue prevaleciendo.

La carencia de medios y la ausencia de instrumentos adecuados de planificación y regulación dificultan las capacidades administrativas para incorporar mejoras en el sector. Esto conlleva a una falta de regulación en todo el territorio, sobre todo en la zonas rurales, en las que gobierna la falta de mecanismos para revisar la fijación de las tarifas para el suministro de agua.

El régimen tarifario establecido por la STE en los centros urbanos fija un precio de 430 FCFA/m³ [18] para un rango de consumo mensual entre 15 y 30 m³. Generalmente, en España, una familia compuesta por 5 miembros gasta una media de 27 m³ de agua mensual. Contemplando la posibilidad de que una familia en el Chad consuma esa misma cantidad de agua a pesar de la improbabilidad dada la precariedad de los recursos, se calcula que dicha familia debería pagar al mes 8.600 FCFA, lo que viene a ser 13,10€. Asumiendo que el sueldo mínimo en el Chad es de 60.000 FCFA (91,38€) y que la familia dispone de un único sueldo, situación muy habitual en la mayoría de los hogares del país, el consumo de agua supondría aproximadamente un 15%, lo que representa una proporción significativa del ingreso mensual. Esta situación es incluso peor en las zonas rurales, en las que no hay ningún tipo de regulación tarifaria por medio de las AUE (Asociaciones de Usuarios del Agua).

2. Análisis de problemas

La segunda etapa del enfoque de marco lógico (EML) consiste en identificar los aspectos desfavorables que este proyecto pretende paliar. Luego, se procederá a construir un diagrama donde quedarán expuestas las causas y consecuencias. Esto servirá para definir objetivos claros que llevarán, por su parte, hacia estrategias para poder cumplirlos. Esta técnica, denominada “árbol de problemas” está muy generalizada entre las instituciones que trabajan en proyectos de carácter social ya que permite hacer un estudio del problema central y determinar sus causas y efectos más sustanciales.

2.1. Problema central

El problema principal del colegio Saint François Xavier reside en unas condiciones sanitarias insuficientes en el colegio. Actualmente, el colegio dispone de 6 pozos de los cuales la mayoría son manuales, salvo uno, que cuenta con una bomba eléctrica que abastece un pequeño depósito de 2.000 litros, volumen significativamente escaso para el gran número de alumnos con el que cuenta la escuela. Además, la única manera que tienen en alimentar dicha bomba es poniendo

en marcha un pequeño generador de combustión, el cual viene acompañado del evidente problema del coste y la obtención del combustible. Por este motivo, la bomba se encuentra actualmente fuera de servicio. En definitiva, el colegio no cuenta con un suministro de agua adecuado, a lo que se le suma la ausencia de servicios de saneamiento.

2.2. Análisis de las causas del problema

A continuación, se exponen las causas principales, tanto directas como indirectas, que conllevan al problema planteado en el punto anterior.

- **Insuficiente conciencia sanitaria:** Escasa o nula educación sanitaria sobre la importancia para el desarrollo de buenos hábitos de higiene personal. En general, las escuelas no imparten contenido sobre la trascendencia de mantener unos buenos niveles de higiene.
- **Cobertura insuficiente del sistema de agua y saneamiento:** Déficit de recursos para la mejora del suministro de agua y la prestación de servicios de saneamiento.
- **Colapso de los sistemas existentes:** Pobre funcionamiento y falla de los sistemas de agua existentes, sobre todo, en zonas rurales debido a la falta de capacidad técnica, tecnológica y operativa local.
- **Debilidades en la institución gubernamental responsable:** Falta de capacidad institucional local, lo que conllevaba a una pésima cobertura del servicio público del agua tanto en zonas marginadas como en zonas urbanas. También se observa una falta de comunicación y coordinación entre autoridades locales y el estado central.
- **Debilidades en el diseño y construcción de infraestructuras sanitarias:** Escaso personal cualificado para la ejecución de infraestructuras hidráulicas y falta de conocimiento sobre la disponibilidad de tecnologías que pueden llevarse a lugares más aislados.
- **Mala administración del agua:** Pésima gestión del agua ocasionada fundamentalmente por la ausencia de servicio de la red pública en zonas semiurbanas y rurales, acrecentada por la falta de normas para el uso y mantenimiento del agua.

2.3. Análisis de los efectos del problema

En este apartado se analizan las consecuencias ocasionadas por el problema principal y que tienen un efecto negativo en el entorno.

- **Contaminación de fuentes de agua y faltas de prácticas higiénicas:** La falta de saneamiento, la escasez de agua, la calidad deficiente del agua y los malos hábitos de higiene son condiciones catastróficas para los niños de corta edad lo que supone una de las principales causas de la mortalidad de niños menores de cinco años.

- **Bajo rendimiento escolar:** Las condiciones sanitarias insuficientes en el colegio, perjudiciales para la salud de los niños, tienen una repercusión negativa directa en el bienestar de los niños que trae como consecuencia un bajo rendimiento escolar.
- **Abandono escolar:** El entorno físico y la limpieza de las instalaciones escolares afectan en tal medida a la salud de los niños que incluso ocasiona el abandono escolar.
- **Inequidad social:** Las desigualdades en el acceso al agua, amplía la brecha social más que evidente en el país, donde incluso los hogares más pobres de las zonas urbanas tienen mejor acceso a una fuente de agua que los hogares más ricos en zonas rurales.

3. Análisis de objetivos

Se procede a realizar un análisis de objetivos con la finalidad de identificar los resultados a los que se quiere llegar por medio de este proyecto para paliar los problemas expuestos en el apartado anterior. Para ello, también se realizará un diagrama en árbol, esta vez denominado, “árbol de objetivos” en el que poder visualizar los objetivos que se quieren alcanzar. Este árbol se construye entorno a un objetivo central que es “Mejorar las condiciones sanitarias del colegio para favorecer el desarrollo adecuado de los alumnos”. Es a través de este objetivo principal que se identificarán las relaciones medio – fin presentes en el proyecto. Los medios serán el inverso positivo de las causas previamente planteadas. Con lo cual, lo que antes era “insuficiente conciencia sanitaria”, ahora será “concienciar al colegio del buen uso del agua”, y así sucesivamente. Este apartado se centrará en detallar los fines, por lo que para más información sobre los medios véase el árbol de objetivos adjunto en el apartado de Anexos.

3.1. Análisis de fines

Los objetivos que recoge este proyecto están estrechamente vinculados con la estrategia WASH (Agua, Saneamiento e Higiene) [19] para la Agenda 2030 cuyo propósito es ayudar a poner en práctica los derechos de la infancia a la salud, la educación y la participación, dotando a las escuelas de agua potable, mejorando las instalaciones de saneamiento y ofreciendo educación sobre la higiene para promover comportamientos saludables.

- **Disposición de agua en cantidad y calidad para todos los alumnos:** El abastecimiento de agua debe de ser continuo y suficiente para el uso de todos los alumnos de la escuela. Estos usos incluyen agua para beber, higiene y aseo personal y preparación de alimentos en el comedor escolar. Debe de existir la posibilidad de utilizar las instalaciones independientemente de las condiciones climáticas y sería conveniente disponer de luz suficiente para que los niños puedan utilizar las instalaciones por la noche.
- **Disposición de un sistema de saneamiento seguro y digno prestando especial atención a las necesidades de las niñas:** Los retretes y los urinarios deben de garantizar privacidad, especialmente para las niñas ya que el estigma del ciclo menstrual provoca

que las niñas no vayan a la escuela durante su periodo. Incluso muchas de estas niñas dejan de asistir a la escuela debido a que a la falta de higiene y privacidad se le suma la vergüenza que les produce el sangrado.

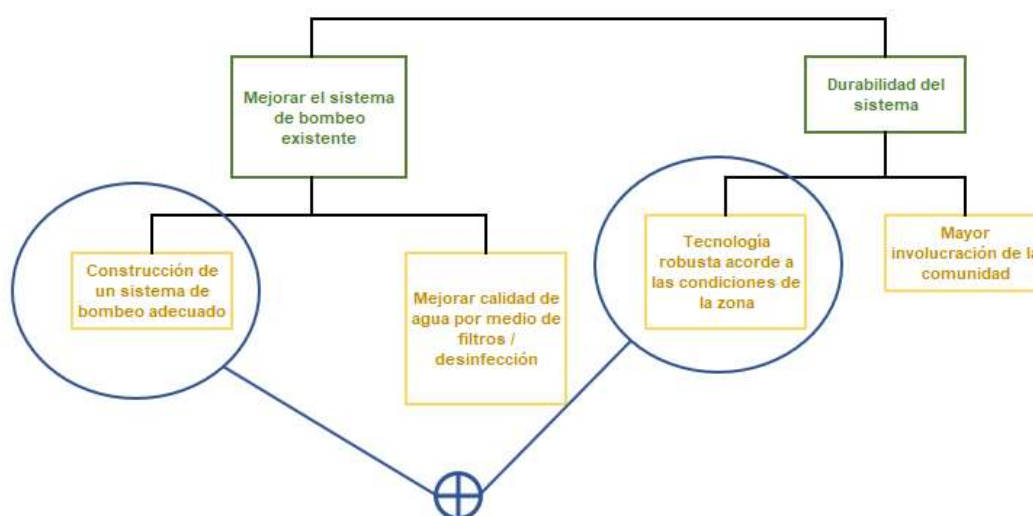
- **Adopción de hábitos de higiene adecuados a los alumnos:** Proporcionar los instrumentos necesarios para incorporar hábitos de higiene que permitan prevenir enfermedades e infecciones y que contribuyan así a mejorar las vidas de los niños.
- **Mejorar la salud de los alumnos, y, por extensión, la salud de sus familias:** La escuela puede convertirse en el punto de partida para mejorar los hábitos de higiene de toda la familia, ya que los niños compartirían en el hogar lo aprendido en el colegio.
- **Mejorar la calidad de aprendizaje de los alumnos:** Está comprobado que los alumnos en escuelas con buen acceso a servicios de agua y saneamiento tienen un rendimiento académico mayor en comparación con los alumnos de las escuelas que carecen de estas prestaciones. Muchos de estos niños pasan mucho tiempo buscando agua en las escuelas lo que reduce su tiempo de atención en el aprendizaje. Mejorar las infraestructuras de agua y saneamiento supone una línea de base para promover la asistencia escolar y mejorar los resultados de aprendizaje.

4. Selección de la estrategia

En este apartado, se analizan los medios planteados en el árbol de objetivos para finalmente escoger el más adecuado desde el punto de vista de las características del lugar a fin de que se alcance el objetivo principal.

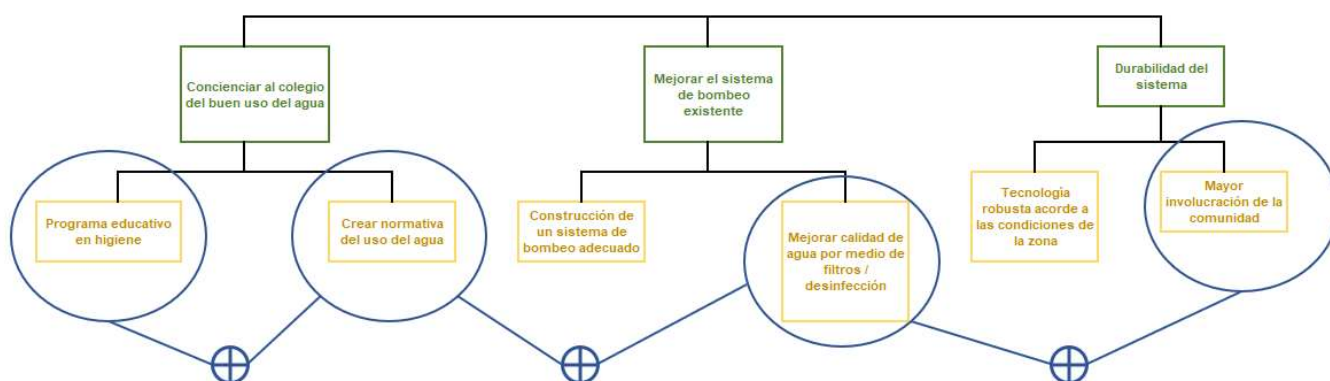
De entre los medios propuestos, los que están al alcance de nuestra mano son la mejora del sistema de bombeo existente por medio de la construcción de un sistema adecuado teniendo presentes las características propias del lugar.

Ilustración 9. Medios empleados para la consecución del objetivo principal



Otro aspecto muy interesante que considerar en proyectos futuros sería la creación de un programa educativo en higiene dentro de la escuela a fin de promover una buena higiene personal en el entorno. También cabría la posibilidad de desarrollar un plan que incluyese ciertas normas que fomentasen el correcto mantenimiento de las infraestructuras instaladas puesto que la durabilidad del sistema dependerá de la involucración y participación de la comunidad en su gestión y mantenimiento. Por último, se podría llevar a cabo la instalación de filtros y medios de desinfección para mejorar la calidad del agua extraída del pozo.

Ilustración 10. Medios que posiblemente se podrían emplear para la consecución de objetivos futuros



Con esto, se llega a la conclusión de que la instalación de un sistema de bombeo de agua, el cual se alimenta por una fuente de energía natural, el Sol, es un sistema óptimo para satisfacer las necesidades del colegio. Al cubrir una necesidad básica como es el acceso al agua potable, se pretende conseguir que los alumnos del colegio cuenten con un entorno más favorable en el que poder estudiar, aprender y maximizar el desarrollo de todo su potencial.

Se ha escogido un sistema de bombeo solar por presentar las siguientes características, muy acordes al lugar de implantación:

- Tecnología acorde con las condiciones climáticas del lugar
- Tecnología fácil de operar y conservar
- Tecnología de bajo coste de uso y de mantenimiento
- Es compatible con los medios y capacidades de la población para facilitar la participación de la misma
- Coste de inversión no excesivamente elevado

Se prevé construir un depósito de 30 m³ a una altura de 15 metros con el que se pueda llevar agua corriente a los baños, cocinas, enfermería, sala de profesores y fuentes, a fin de mejorar la calidad de aprendizaje de los alumnos en el colegio y contribuir a su mejor desarrollo. En el capítulo siguiente, orientado al diseño técnico del sistema, se determinarán las dimensiones exactas de todos los componentes requeridos para formar un sistema de bombeo solar.

En un primer momento, se previó que el culmen del proyecto fuese la implementación del mismo en terreno local. Sin embargo, este acontecimiento se ha visto aplazado indefinidamente a causa de la crisis sanitaria en la que nos hemos visto envueltos, ocasionada por el coronavirus. A este efecto, se vio con la necesidad de realizar un cambio de enfoque y con el que finalmente se ha perseguido cumplir los siguientes aspectos:

- Diseñar la parte técnica del sistema de abastecimiento de agua de forma detallada de manera que en un futuro, cuando se realice la ejecución real del proyecto, los únicos cambios que deban de realizarse se den durante la implantación del mismo debido a la casuística del lugar.
- Estudiar las distintas líneas de financiación de un proyecto social y definir el modelo de financiación más adecuado al que habría que recurrir en un futuro para este proyecto.
- Determinar el proceso logístico a seguir para transportar todos los elementos del sistema al lugar en cuestión.

Capítulo IV. Fase de Diseño

Introducción a los sistemas de bombeo solar

En este apartado se realiza un breve repaso de las distintas variantes de sistemas de bombeo solar existentes y se detallan los distintos elementos que los componen.

1. Los sistemas de bombeo solar

El bombeo de agua a través de la energía sustraída del sol es una aplicación de notable relevancia en la actualidad. Tiene, sobre todo, una gran utilidad para la generación de energía eléctrica en lugares remotos donde no se dispone de suministro de energía eléctrica convencional. Los sistemas de bombeo solar se caracterizan por su alta eficiencia y fiabilidad. También destaca el ahorro en los costes de mantenimiento debido a su larga duración y el mínimo mantenimiento requerido, a diferencia de otras alternativas como pueden ser los generadores eléctricos que utilizan combustibles fósiles. Esto último también conlleva a un mayor ahorro energético puesto que la no utilización de combustibles fósiles se traduce en una disminución de emisiones contaminantes a la atmósfera. Otra gran ventaja es que se trata de un sistema modular, por lo que pueden adecuarse perfectamente a las necesidades particulares de los usuarios. Además, cabe notar que estos sistemas son muy sencillos en su operación, por lo que su instalación supone un gran punto a favor en lugares apartados donde generalmente no se dispone de personal cualificado.

1.1. Tipos de sistemas de bombeo solar

Las instalaciones de bombeo solar suelen clasificarse según el suministro de agua y dependiendo si el suministro energético es solar o con apoyo (hibridado). No obstante, cada instalación puede tener sus propias particularidades, pudiendo encontrarse así más combinaciones de las que se citan a continuación.

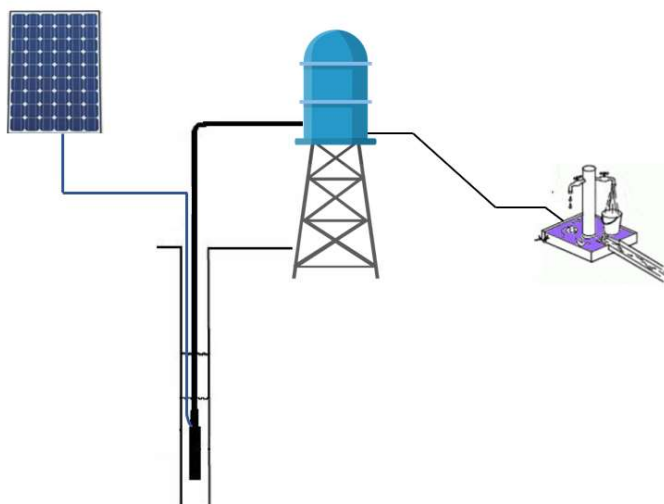
1.1.1. Clasificación por el suministro de agua

El bombeo solar puede suministrar agua a un depósito o embalse, o directamente al punto de consumo.

- **Suministro a depósito**

Se bombea agua hasta un depósito en altura para posteriormente aprovechar la propia presión de la altura para poder así suministrar el agua hasta los puntos de consumo. El depósito de acumulación permite, en primer lugar, que este tipo de configuración no se vea afectado por el inconveniente de tener presión y caudal variables, y, en segundo lugar, permite conseguir energía fuera de las horas de irradiación.

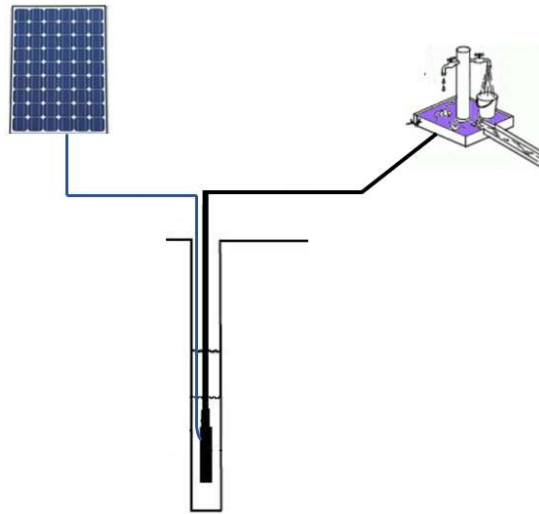
Ilustración 11. Suministro a depósito sistema solar



- **Suministro directo**

En este caso, el agua que se bombea del pozo se distribuye directamente al punto de consumo sin pasar por ningún depósito de acumulación. El inconveniente de este sistema es que debe de haber un control de presión que asegure estar dentro de un rango de funcionamiento, ya que una presión excesivamente alta podría causar problemas en los conductos. De igual manera, es necesario garantizar una presión mínima para que el agua pueda llegar a todos los puntos de consumo.

Ilustración 12. Suministro directo bombeo solar



1.1.2. Clasificación por el suministro de energía

La segunda forma de clasificar los sistemas de bombeo es a partir de la fuente de suministro de energía.

- **Sistema aislado**

Toda la energía que se emplea para el bombeo proviene de los módulos fotovoltaicos, independientemente de si se trata de suministro directo o a depósito. En el caso de que se combine sistema directo y aislado, será necesario diseñar el sistema en función de la presión y caudal que se quiera desplazar, comprobando que no existan sobretensiones y golpes de ariete que puedan dañar dicho sistema.

La gran ventaja que posee esta estructura es que no presentan costes adicionales de combustible ni electricidad.

- **Sistema híbrido**

Este sistema se combina con otra fuente de suministro eléctrico, y cuenta generalmente con el apoyo de un grupo electrógeno, de tal manera que cuando hay menor irradiancia solar, la caída de potencia que sufren los módulos fotovoltaicos se contrarresta con la otra fuente energética. De esta forma también se asegura que el sistema esté trabajando constantemente a potencia nominal, evitando así variaciones de potencia que pudiesen afectar al funcionamiento normal del sistema.

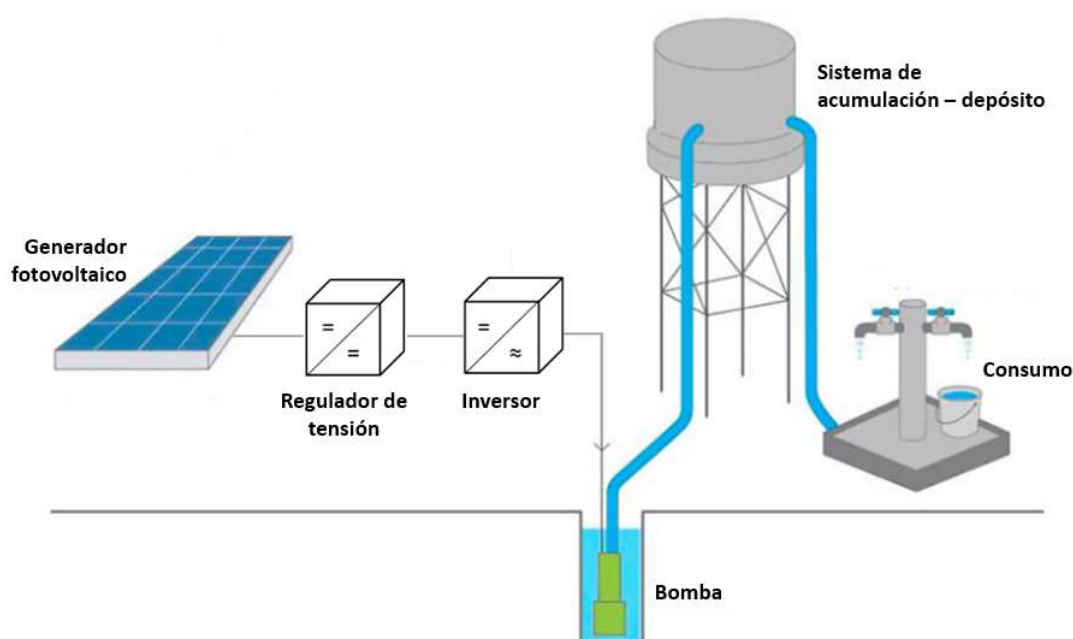
En el caso de este proyecto, se determina que la configuración más adecuada del sistema de bombeo solar que se quiere implementar es la compuesta por un suministro de agua a depósito y un suministro de energía híbrido. La motobomba que se prevé emplear para el bombeo de

agua será de potencia media con el fin de ahorrar en costes. Del mismo modo, los valores de presión a la salida de la bomba serán del mismo orden y por tanto, insuficientes para suministrar el agua a todos los puntos de consumo. Con lo cual, resulta imprescindible utilizar un depósito de agua que permita elevar la presión y garantizar el suministro de agua a toda la zona. En cuanto a la utilización de un sistema de acumulación, no resulta ser indispensable para el sistema de bombeo, si bien lo es para la instalación eléctrica del colegio, proyecto que se lleva a cabo en conjunto con este mismo. Por tanto, se ha decidido aprovechar este aspecto e incluir un sistema de acumulación para el sistema de bombeo solar. El sistema de apoyo será el formado por un conjunto de baterías, que tienen la función de garantizar un funcionamiento estable independientemente de las condiciones climatológicas, además de actuar como sistema de acondicionamiento entre el generador y la motobomba, evitando así picos de tensión.

2. Descripción de un sistema de bombeo fotovoltaico

Los elementos principales de un sistema de bombeo fotovoltaico son un generador fotovoltaico (FV), una motobomba, un sistema de tuberías, opcionalmente, un depósito de agua, y evidentemente, un pozo del que se extraiga el agua. También se puede incluir un sistema de acondicionamiento de potencia, como, por ejemplo, reguladores de carga DC/DC e inversores DC/AC. El regulador de carga DC/DC se emplea para disponer de una tensión regulada a su salida y limitar la corriente que se entrega, mientras que el inversor DC/AC suministra corriente alterna a la motobomba que opere en AC. Es de igual importancia utilizar un sensor de nivel en el depósito de acumulación para evitar la operación en vacío y que el sistema esté debidamente protegido.

Ilustración 13. Sistema de bombeo fotovoltaico



- **Bomba**

Las bombas que se pueden emplear en este tipo de sistemas se dividen, desde el punto de vista mecánico, en centrífugas y volumétricas (o desplazamiento positivo). A diferencia de las bombas comunes que están diseñadas para funcionar mediante una fuente de potencia constante, las bombas empleadas en sistemas fotovoltaicos se diseñan de tal manera que sean capaces de optimizar su punto de trabajo constantemente en función de la potencia de entrada disponible. Además, según la disposición de las bombas en la instalación, éstas pueden clasificarse como sumergibles, flotantes o de superficie. En este proyecto se empleará una bomba centrífuga sumergible puesto que es la que mejor se amolda al sistema que se quiere implementar. Una gran ventaja de las bombas centrífugas es que, por medio de su simplicidad, bajo coste, robustez y tolerancia a pequeños pares de arranque (a diferencia de las bombas volumétricas que necesitan un par de arranque alto), es capaz de bombear un volumen de caudal relativamente alto.

- **Acondicionamiento de potencia**

El sistema de acondicionamiento de potencia está formado por todos aquellos elementos que adaptan tensión y corriente variables de los módulos fotovoltaicos a valores constantes para poder alimentar a la bomba. Estos elementos son principalmente, inversores DC/AC, convertidores DC/DC y baterías.

- **Baterías**

El empleo de baterías en un sistema de bombeo solar tiene el cometido de fijar una tensión de trabajo procedente del generador fotovoltaico, de tal forma que el sistema pueda estar trabajando cerca del punto de máxima potencia independientemente del nivel de irradiancia que se tenga. Las baterías suministran de igual modo la corriente necesaria al motor, así como la corriente de arranque.

Por otra parte, las baterías permiten almacenar el exceso de energía durante las horas de sol para emplearlas en momentos de baja irradiancia. En caso de que no hubiese un sistema de baterías y la bomba fuese alimentada directamente por el generador fotovoltaico, sólo se podría suministrar agua durante las horas en las que se superase un cierto valor de irradiancia umbral.

- **Regulador de tensión**

La introducción de baterías requiere de un regulador de tensión para protegerlas tanto de sobrecargas como de sobredescargas. Estos reguladores DC/DC, también conocidos como reguladores MPPT (Maximum Power Point Tracking) tienen como propósito principal controlar el flujo de corriente generado por los paneles fotovoltaicos en el proceso de carga-descarga con la batería. Este tipo de regulador busca obtener la máxima potencia de los paneles solares,

llevándolos a su punto de trabajo óptimo por lo que las baterías se dimensionarán acordes a este punto para maximizar la transferencia de energía hasta la motobomba.

- **Inversor**

Por último, se tiene el inversor DC/AC que tiene la finalidad de transformar la corriente continua de salida del generador en corriente alterna para su utilización en motores AC. Los inversores pueden generar una salida de tensión monofásica o trifásica y suelen incorporar seguimiento del punto de máxima potencia, al igual que los reguladores MPPT. Otra de las características de los inversores es que varían la frecuencia de operación del motor, permitiendo así que la motobomba pueda operar a niveles inferiores de potencia, disminuir el umbral de arranque y maximizar las horas de trabajo.

- **Generador fotovoltaico**

El generador fotovoltaico transforma la energía solar en electricidad. Éste está formado por un conjunto de células fotovoltaicas conectadas eléctricamente que, a su vez, se materializan en forma de módulo fotovoltaico cuya configuración puede ser en serie o en paralelo hasta obtener la potencia deseada dentro del rango de operación en términos de voltaje y corriente. El generador fotovoltaico puede instalarse en una estructura fija o una estructura con seguimiento solar, aumentando la captación solar, y por consiguiente, también el volumen de caudal bombeado. No obstante, por motivos de simplicidad, se opta por instalar los módulos en una estructura fija.

- **Depósito de agua**

Se suele emplear un depósito de agua como sistema de acumulación para proporcionar la autonomía necesaria al sistema. Se dimensionará de forma correcta para que pueda almacenar todo el agua bombeado durante las horas de radiación solar. El depósito de agua se colocará a cierta altura con respecto a la zona de suministro con el fin de alcanzar la presión necesaria para distribuir el agua a los distintos puntos de consumo.

Ahora, se trata de buscar la configuración y combinación más óptima de estos elementos para aportar una solución acorde al escenario de las necesidades e intereses de los usuarios finales a los que va dirigido el sistema.

El sistema de bombeo fotovoltaico, independientemente de la configuración que se emplee, es un tipo de tecnología muy adecuada a las condiciones locales que se encuentran en países en vías de desarrollo, como lo es el Chad. De hecho, el bombeo solar en pequeña escala es una aplicación que tiene especial transcendencia en comunidades rurales donde no hay suministro de energía eléctrica convencional y en las que resulta haber un gran número de horas aprovechables de irradiación solar. Los sistemas de bombeo fotovoltaicos se caracterizan por su

bajo coste, su larga duración y mínimo mantenimiento, además de su fácil utilización por la población y su sostenibilidad. Por tanto, todos estos factores hacen que nos encontremos frente una tecnología muy apropiada que cumple con las premisas que nos permiten amoldarnos a las condiciones locales: Instalación robusta, sencilla de usar y que requiera poco o ningún mantenimiento, puesto que los usuarios van a ser poco cualificados y no van a contar con el apoyo continuado de técnicos especializados.

Dimensionado sistema de bombeo fotovoltaico

En este apartado se aborda el proceso completo llevado a cabo para dimensionar el sistema de bombeo fotovoltaico. Los tres pasos que se han seguido son:

- Evaluación de las condiciones hidráulicas de la zona e identificación de la energía hidráulica requerida.
- Estudio del recurso fotovoltaico de la zona.
- Determinación de los equipos principales y componentes secundarios del sistema.

3. Consideraciones previas

Los principales agentes que determinan la configuración de un sistema de bombeo fotovoltaico son:

- Las condiciones hidráulicas que vienen definidas por:
 - La Carga Dinámica Total (CDT)
 - El volumen de agua diario necesario
- Energía suministrada por el generador fotovoltaico y que depende de la radiación solar y las condiciones climatológicas de la zona.

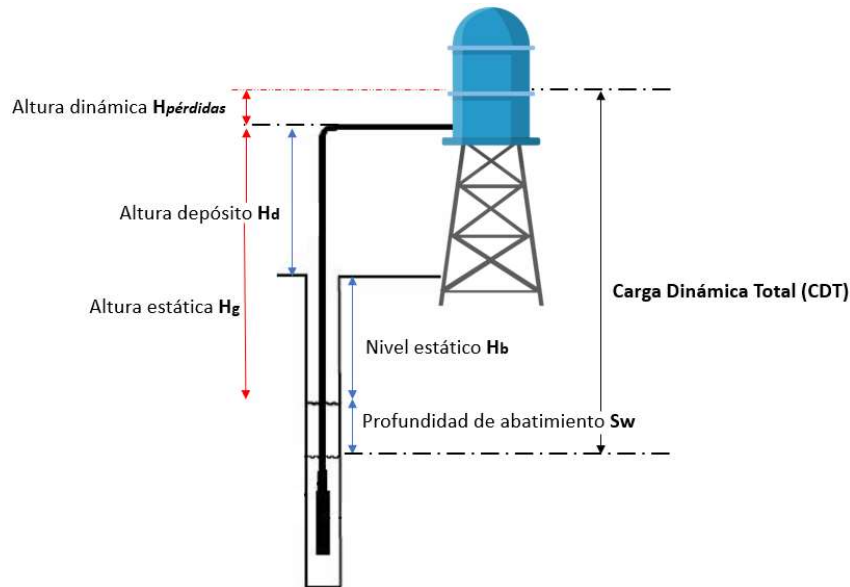
3.1. Determinación de las condiciones hidráulicas

3.1.1. Carga Dinámica Total (CDT)

La Carga Dinámica Total, también conocida como la altura hidráulica de bombeo, es la presión efectiva que debe vencer la bomba, y viene definida por la suma de la altura estática, la altura dinámica y el abatimiento del pozo:

$$CDT \text{ (Carga Dinámica Total)} = H_{p\acute{e}rdidas} + H_g + S_w$$

Ilustración 14. Carga Dinámica Total



3.1.1.1. Altura estática

La altura estática, también conocida como altura geométrica, H_g , es la distancia vertical desde el nivel espejo del agua en el pozo hasta la altura en la que se descarga el agua.

En nuestro caso, el depósito estará situado a 15 m por encima del nivel del suelo y tomando como base, información precedente del colegio, se prevé que la capa libre del agua se sitúe a una profundidad de 8 metros. Dejando un margen de seguridad de 3 metros de agua por encima de la bomba para evitar que ésta trabaje en seco, la bomba irá instalada a 11 metros de profundidad. Por tanto, se tiene:

$$H_g = H_b + H_d = 11 + 15 = 25 \text{ m}$$

Donde,

H_d es la altura depósito (m)

H_b es la altura bomba (m)

3.1.1.2. Abatimiento

Cuando se bombea agua, los pozos experimentan un fenómeno de abatimiento, S_w . Esto es, el descenso del nivel del agua con respecto al nivel de agua que se tiene en condiciones de reposo (nivel estático del agua). Esta diferencia de nivel varía en función del caudal bombeado y del tiempo de bombeo. La contribución del abatimiento al dimensionado del sistema de bombeo se

realiza con mediciones directas. Al no poderse realizar dichas mediciones, se realiza una estimación del valor del abatimiento. Sabiendo que:

- La instalación va a requerir de una bomba de potencia media (400-1000 Wp)
- En condiciones de reposo el nivel freático del agua se encuentra a 8 metros de profundidad, 3 por encima de la bomba.

Haciendo las consideraciones anteriores, se prevé que, en condiciones de funcionamiento, la capa libre de agua se sitúe a 1,5 metros sobre la bomba debido al abatimiento. Por tanto:

$$S_w = 1,5 \text{ m}$$

Donde,

S_w es el abatimiento (m)

3.1.1.3. Altura dinámica

Por último, se suman las pérdidas dinámicas, que en el caso de la tubería de impulsión de agua desde la bomba hasta el depósito se van a calcular como el 10% de la altura estática. Por lo que las pérdidas dinámicas tomaran el siguiente valor:

$$H_{p\acute{e}rdidas} = 10\% \cdot H_g = 0,1 \cdot 25 = 2,5 \text{ m}$$

Donde,

$H_{p\acute{e}rdidas}$ son las pérdidas dinámicas tubería de impulsión (m)

Finalmente, sumando todos los términos anteriores, se obtiene la altura hidráulica total que la bomba deberá vencer:

$$\text{CDT (Carga Dinámica Total)} = H_{p\acute{e}rdidas} + H_g + S_w = 25 + 2,5 + 1,5 = 29 \text{ m}$$

3.1.2. Caudal diario medio necesario

En primer lugar, se debe de determinar el volumen de agua diario medio necesario para satisfacer la demanda del colegio. Como no se tiene ninguna información precedente relacionada con este tema, se ha realizado una estimación del consumo de la siguiente manera. Primeramente, se ha medido el ancho y el largo de cada edificio en el que se valoraba que pudiese haber un punto de consumo. Estas medidas se han tomado de la vista en planta de los edificios mediante la herramienta Google Maps. De esta manera, teniendo una idea de los metros cuadrados que componen, por ejemplo, los servicios, se puede planificar una cierta

distribución de los puntos terminales. De igual modo, se ha decidido que, todos los edificios destinados a la impartición de clases tengan una fuente en cada extremo del edificio. En cuanto a la enfermería, se ha decidido disponer dos tipos de aparatos, un lavabo y un grifo que quede a media altura. Por otra parte, el comedor tendrá una fuente, y la cocina dispondrá de un grifo para el fregadero. La distribución de los edificios del colegio viene representada en la Ilustración 15. Del mismo modo, se adjunta la Tabla 1 en la que se refleja el tipo y cantidad de puntos de consumo por edificio.

Ilustración 15. Ubicación edificios del colegio



Tabla 1. Puntos de consumo edificios

EDIFICIO	TIPO DE CONSUMO	CANTIDAD
ESO		
Edif 1	fuelle	2
Edif 2	fuelle	2
Cocina y comedor		
Comedor	fuelle	1
Cocina	grifo cocina	1
Baños ESO		
Chicas	lavabo	2
	inodoro	4
	bidé	1
Chicos	lavabo	2
	urinario	3
	inodoro	1

EDIFICIO	TIPO DE CONSUMO	CANTIDAD
Enfermería		
Enfermería	lavabo	1
	grifo media altura	1
Secundaria		
Baño gimnasio	lavabo	2
	inodoro	2
	bidé	1
Edif Secundaria	fuelle	2
Primaria		
Edif 1	fuelle	2
Edif 2	fuelle	2
Edif 3	fuelle	2
Edif 4	fuelle	2

En segundo lugar, para determinar el caudal necesario en cada punto de consumo, se han tenido como referencia los caudales instantáneos mínimos que la instalación debe de suministrar según el tipo de punto de consumo que vienen recogidos en el Documento Básico HS Salubridad (Sección HS 4 Suministro de agua) [20]. En la Tabla 2, se muestran los valores de caudal instantáneo mínimo de los distintos aparatos que incluyen la instalación.

Tabla 2. Caudal instantáneo mínimo

Tipo de aparato	Caudal instantáneo mínimo de agua fría (L/s)
Grifo aislado (fuente)	0,15
Fregadero doméstico	0,2
Lavamanos	0,05
Inodoro	0,1
Bidé	0,1
Urinario con grifo temporizado	0,15

Por último, se ha estimado el tiempo de consumo diario y el número de alumnos que frecuentarían diariamente cada uno de estos puntos (tablas adjuntas). A falta de datos, se ha considerado que, los 1.500 alumnos del colegio se reparten de forma equitativa por cursos y por género. Se comprueba que la estimación del volumen de agua diario requerido por el colegio entra dentro del límite establecido por la capacidad máxima del depósito (30 m³), por lo que se

dimensionará, finalmente, con dicho caudal, sin necesidad de aplicar un coeficiente de minoración para ajustarse a las condiciones limitantes de la zona.

Tabla 3. Estimación consumo diario

Edificio	Tipo de consumo	Cantidad	L/s x punto de consumo	L/s total	Alumnos / punto_día	nº de veces_día	seg. grifo abierto_vez	L/día total
ESO								
Edif 1	fuelle	2	0,15	0,3	125	2	5	375
Edif 2	fuelle	2	0,15	0,3	125	2	5	375
Cocina y comedor								
Comedor	fuelle	1	0,15	0,15	1500	1	5	1125
Cocina	grifo cocina	1	0,2	0,2	1	1	600	120
Baños ESO								
Chicas	lavabo	2	0,05	0,1	375	3	5	562,5
	inodoro	4	0,1	0,4	187	3	10	2244
	bidé	1	0,1	0,1	750	3	5	1125
Chicos	lavabo	2	0,05	0,1	375	3	5	562,5
	urinario	3	0,15	0,45	250	3	10	3375
	inodoro	1	0,1	0,1	750	2	10	1500
Enfermería								
Enfermería	lavabo	1	0,1	0,1	500	1	5	250
	grifo media altura	1	0,1	0,1	500	1	5	250
Secundaria								
Baño gimnasio	lavabo	2	0,05	0,1	750	3	5	1125
	inodoro	2	0,1	0,2	750	3	10	4500
	bidé	1	0,1	0,1	750	3	5	1125
Edif Secundaria	fuelle	2	0,15	0,3	125	2	5	375
Primaria								
Edif 1	fuelle	2	0,15	0,3	93	2	5	279
Edif 2	fuelle	2	0,15	0,3	93	2	5	279
Edif 3	fuelle	2	0,15	0,3	93	2	5	279
Edif 4	fuelle	2	0,15	0,3	93	2	5	279
Total L / día								20.105

Tabla 4. Estimación número de alumnos

Estimación alumnos	
Secundaria y ESO	750
Chicos	375
Chicas	375
Primaria	750
Chicos	375
Chicas	375
Total	1500

3.2. Radiación solar disponible

El cálculo de la radiación solar disponible es determinante para conocer la potencia que se podrá extraer del generador fotovoltaico y, seguidamente, determinar las características que deberán tener el resto de los componentes del sistema.

Generalmente se utilizan los términos de irradiación e irradiancia para determinar la radiación solar disponible en una zona concreta. La irradiación (en $\text{W}\cdot\text{h}/\text{m}^2$) hace referencia a la energía incidente por unidad de superficie durante un determinado periodo de tiempo, mientras que la irradiancia (W/m^2) se define como la potencia instantánea recibida por unidad de superficie y unidad de tiempo. En el diseño de instalaciones fotovoltaicas, se emplea el concepto de número de horas solar pico (HSP) del lugar en el que se quiere instalar la planta. Este término representa las horas de sol disponibles a una hipotética irradiancia solar constante de $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ que nos permitirá así evaluar la energía que podrá ser extraída de la instalación.

Para ello, se extraen los datos medios mensuales de radiación solar de la base *PVGIS de JRC (European Commission)* [21]. En primer lugar, se calcula la radiación global sobre superficie horizontal y luego, se calcula la irradiancia incidente sobre una superficie inclinada, empezando por 10° hasta 90° . De esta forma, se determinará el ángulo de inclinación que optimice la incidencia de los rayos del sol ya que el generador se mantendrá en una posición fija. Se han empleado los datos del 2015 puesto que son la última actualización realizada por la base PVGIS. La radiación solar mensual viene expresada en $\text{kWh}/\text{m}^2/\text{día}$.

Tabla 5. Irradiancia incidente sobre una superficie inclinada

Radiación solar ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{día}$)	<i>Gdm(0)</i>	<i>Gdm(10)</i>	<i>Gdm(20)</i>	<i>Gdm(30)</i>	<i>Gdm(40)</i>	<i>Gdm(50)</i>	<i>Gdm(60)</i>	<i>Gdm(70)</i>	<i>Gdm(80)</i>	<i>Gdm(90)</i>	días /mes
Enero	189,92	203,47	212,29	215,99	214,33	207,26	194,88	177,49	155,58	129,76	31
Febrero	214,04	219,49	220,15	215,83	206,49	192,3	173,56	150,75	124,48	95,41	28
Marzo	225,32	222,01	213,76	200,77	183,15	161,32	135,94	107,79	77,62	44,79	31
Abril	217,18	208,07	194,58	177,09	155,78	131,59	105,21	77,54	49,43	33,37	30
Mayo	198,05	187,98	174,09	156,63	136,04	113,19	88,37	63,34	38,42	33,1	31
Junio	174,24	166,85	156,32	142,74	126,42	108,12	88,38	67,55	45,04	35,62	30
Julio	165,03	161,63	155,11	145,54	133,09	118,04	100,78	81,85	61,37	37,96	31
Agosto	185,43	187,12	184,88	178,64	168,47	154,55	137,23	116,92	94,1	69,25	31
Septiembre	198,45	208,53	213,95	214,41	209,76	200,03	185,4	166,25	143,09	116,59	30
Octubre	189,9	208,64	222,42	230,68	233,06	229,39	219,7	204,21	183,33	157,67	31
Noviembre	185,04	207,61	225,25	237,3	243,27	242,88	236,07	222,96	203,9	179,43	30
Diciembre	223,85	248,06	266,63	278,81	284,04	281,99	272,57	255,96	232,58	203,07	31

A continuación, se procede a dividir la radiación global media mensual diaria ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{día}$) entre los días del mes en cuestión. Este cálculo se realiza para cada mes y cada inclinación del módulo fotovoltaico comprendida entre 0° y 90° . De esta forma, se obtiene la cantidad de horas solares pico, durante las que, en principio, se podrá aprovechar una irradiación solar constante de $1000 \text{ W}/\text{m}^2$.

En primer lugar, se marca, para cada mes, el cociente más alto de entre las distintas inclinaciones. Luego, se escoge el valor mínimo, que corresponderá al mes más deficitario energéticamente para satisfacer la demanda de agua.

Tabla 6. Horas solares pico para cada mes del año

	Gdm(0)	Gdm(10)	Gdm(20)	Gdm(30)	Gdm(40)	Gdm(50)	Gdm(60)	Gdm(70)	Gdm(80)	Gdm(90)
Enero	6,13	6,56	6,85	6,97	6,91	6,69	6,29	5,73	5,02	4,19
Febrero	7,64	7,84	7,86	7,71	7,37	6,87	6,20	5,38	4,45	3,41
Marzo	7,27	7,16	6,90	6,48	5,91	5,20	4,39	3,48	2,50	1,44
Abril	7,24	6,94	6,49	5,90	5,19	4,39	3,51	2,58	1,65	1,11
Mayo	6,39	6,06	5,62	5,05	4,39	3,65	2,85	2,04	1,24	1,07
Junio	5,81	5,56	5,21	4,76	4,21	3,60	2,95	2,25	1,50	1,19
Julio	5,32	5,21	5,00	4,69	4,29	3,81	3,25	2,64	1,98	1,22
Agosto	5,98	6,04	5,96	5,76	5,43	4,99	4,43	3,77	3,04	2,23
Septiembre	6,62	6,95	7,13	7,15	6,99	6,67	6,18	5,54	4,77	3,89
Octubre	6,13	6,73	7,17	7,44	7,52	7,40	7,09	6,59	5,91	5,09
Noviembre	6,17	6,92	7,51	7,91	8,11	8,10	7,87	7,43	6,80	5,98
Diciembre	7,22	8,00	8,60	8,99	9,16	9,10	8,79	8,26	7,50	6,55

La inclinación óptima cambia según la estación del año. Se puede observar que en primavera y verano la inclinación recomendada para aprovechar la máxima irradiación solar es de 0º, mientras que, a medida que se va acercando el otoño y el invierno, la inclinación óptima llega a ser de 40º. A pesar de que en los meses con mayor radiación solar, se tiene un mayor aprovechamiento de la misma si se inclinan los módulos, éstos se dispondrán muy probablemente en horizontal, por una cuestión de simpleza a la hora de realizar trabajos de mantenimiento. El inconveniente en este caso es que, los paneles pueden acumular suciedad, produciendo efectos negativos en la producción del sistema. Para que el rendimiento se vea lo menos posible afectado por esta configuración, los módulos se colocarán con una inclinación de alrededor de 5º – 10º.

Se concluye entonces que la inclinación 0º es la configuración para la cual habrá que satisfacer las necesidades del colegio en el mes más crítico energéticamente hablando.

4. Componentes equipo de bombeo de agua

4.1. Bomba

Se han calculado unas necesidades hídricas de alrededor de 20 m³ diarios (más concretamente 20,105 m³/día). Suponiendo que la bomba estará funcionando una media de 6 horas diarias, resulta un caudal diario de:

$$\text{Caudal } Q(\text{m}^3/\text{h}) = \frac{20 \text{ m}^3}{6 \text{ horas}} = 3,33 \text{ m}^3/\text{h}$$

Por otro lado, en el apartado anterior se realizó el cálculo de la pérdida de carga que se produce en la instalación y que la bomba debe de vencer.

De todo lo anterior resultan los siguientes requerimientos que debe de cumplir la bomba para la instalación:

Tabla 7. Criterios equipo de bombeo

Criterios equipo de bombeo	
Caudal	3,33 m ³ /h
Altura hidráulica total	29 m

Con los anteriores valores, y haciendo uso de las curvas características que proporcionan los fabricantes, se escoge la bomba que mejor se adapte a dichas condiciones. Se ha acudido a *Grundfos* [22] como proveedor de la bomba debido a que se trata de uno de los líderes en la fabricación de bombas y sistemas de bombeo por todo el mundo y debido a que ofrece una gran variedad de soluciones para una misma necesidad.

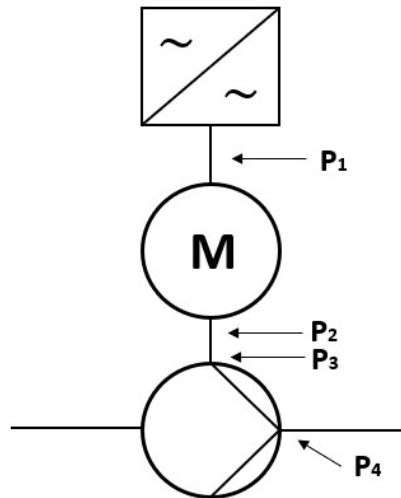
Se ha buscado seleccionar una bomba que proporcionase una buena calidad, que cubriese las prestaciones necesarias y que se adaptase al entorno en el que se iba a instalar, a un precio que no fuese excesivamente alto. El resultado es el que se muestra a continuación, cuyas características principales son las siguientes:

Tabla 8. Características motobomba SQ 5-25 Grundfos

SQ 5-25 GRUNDFOS	
Datos eléctricos	
Potencia de entrada – P ₁	1,02 kW
Potencia nominal de salida – P ₂	0,7 kW
Frecuencia	50 Hz
Tensión nominal	1 x 200 -240 V
Intensidad nominal	5,4 A
Instalación	
Salida de bomba	Rp 1 ½
Diámetro de la bomba	74 mm
Diámetro mínimo de la perforación	76 mm
Peso bruto	5,2 kg

Cabe destacar que, el fabricante proporciona los valores nominales de dos potencias distintas, P₁ definida como potencia de entrada, y P₂, que es la potencia de salida de la bomba. En la Ilustración 16 que se muestra a continuación, vienen reflejadas las distintas potencias a lo largo de las distintas etapas de la motobomba:

Ilustración 16. Etapas de la motobomba



Donde,

- P_1 es la potencia inducida total al sistema de bombeo.
- P_2 es la potencia que proviene del motor, solicitada por la bomba.
- P_3 es el efecto inducido en la bomba, y, mayoritariamente P_2 , puesto que ésta última está acoplada directamente al motor.
- P_4 es la potencia hidráulica, es decir $Q \times H$.

La diferencia entre P_2 (o P_3) y P_4 es debida al rendimiento que tiene la bomba, distinto a la unidad.

4.1.1. Punto de funcionamiento de la bomba

A continuación, se presenta la Tabla 9 en la que recogen los valores que caracterizan el punto de funcionamiento de la bomba.

Tabla 9. Punto de funcionamiento de la bomba

Punto de funcionamiento de la bomba	
Potencia de entrada - P_1 (W)	728 W
Potencia requerida en el punto de trabajo - P_2 (W)	508,4 W
Caudal Q (m ³ /h)	3,639 m ³ /h
Altura de bombeo (m)	29 m
Rendimiento (%)	39,50%

El punto de funcionamiento de la bomba es suficientemente razonable puesto que se preveía una potencia requerida por la bomba de ese orden y el rendimiento de las bombas sumergibles es típicamente 40%. Como se ha explicado antes, se observa una diferencia entre la potencia demandada por el punto de trabajo de la bomba y la potencia solicitada en bornes del motor.

Esta diferencia es fundamentalmente debida al rendimiento del motor, que, según el fabricante tiene un valor de alrededor del 70%.

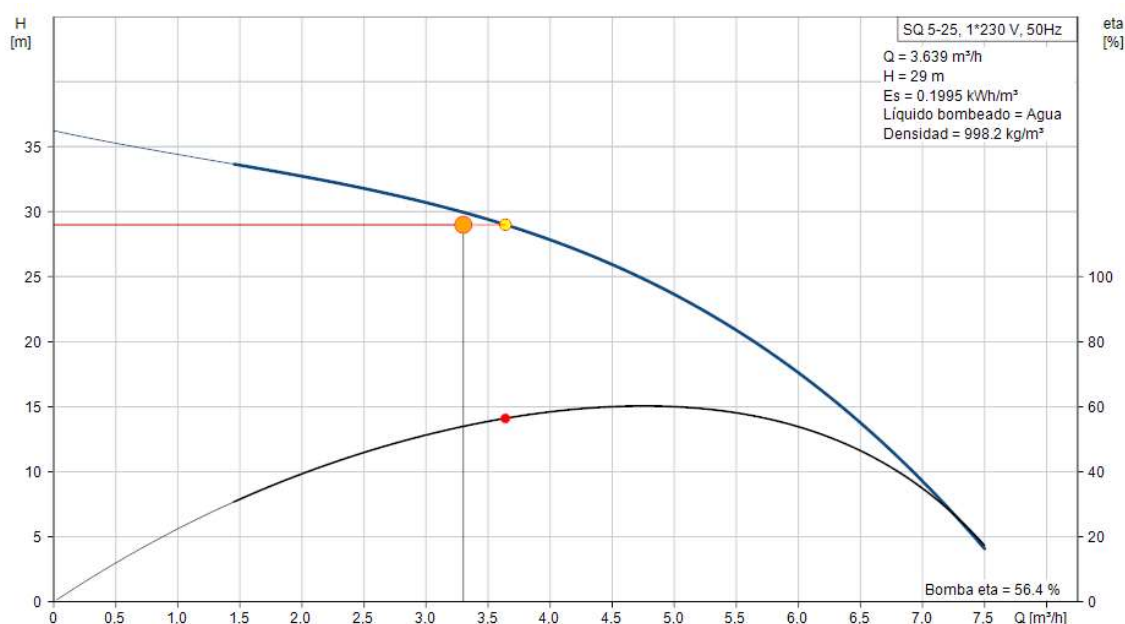
Cabe destacar que, a pesar de que las bombas de corriente continua permiten una instalación más sencilla, sin necesidad de disponer de inversor, se ha decidido emplear una bomba que funcione en corriente alterna. Esto se debe a que se busca fundamentalmente el acoplo entre el sistema solar de bombeo y el de la instalación eléctrica con el objetivo principal de reducir costes. Para ello, se ha decidido considerar la bomba como una carga más de la instalación eléctrica. Dicho esto, la antepenúltima etapa que se tiene del recorrido del cableado antes de que éste pase finalmente a alimentar cada carga, es la conversión de corriente continua a alterna en el inversor. Buscando siempre la configuración más sencilla de cara al mantenimiento de la instalación a futuro, se ha decidido no separar la energía que proviene de los módulos hasta pasar el inversor y que por tanto, se distribuya a todas las cargas con un sistema monofásico.

Por contra, se aclara que, en el caso de disponer de una bomba de corriente continua, será necesario realizar una división del circuito eléctrico a la salida de las baterías. Por una parte, se tendrá el circuito que irá al inversor para transformar la energía en electricidad monofásica y que se empleará para abastecer el suministro eléctrico de la escuela. Por el otro lado, se tendrá otro circuito independiente que irá directamente a alimentar la bomba en corriente continua.

4.1.2. Curvas características de la bomba

A continuación, se muestran las curvas características de la bomba seleccionada.

Ilustración 17. Curva característica de la bomba SQ 5 -25



Donde,

- El punto naranja corresponde con los valores de partida con los que se ha dimensionado la bomba, $Q = 3,33 \text{ m}^3/\text{h}$ y $H = 29 \text{ m}$.
- El punto amarillo establece el caudal que puede impulsar la bomba a través de su curva característica fijando la altura que ésta debe vencer, $Q = 3,64 \text{ m}^3/\text{h}$.
- El punto rojo indica el rendimiento que tendrá la bomba en el punto de trabajo, $\eta = 56,4\%$. No confundir con el rendimiento total del conjunto motobomba, siendo éste finalmente de $\eta = 39,5\%$.

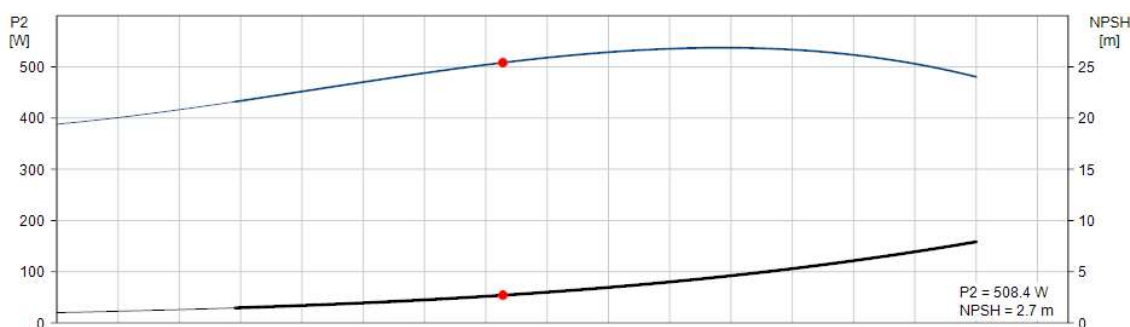
Otra de las curvas a las que hay que prestar atención es la curva NPSH.

La NPSH (Net Positive Suction Head), también conocida como ANPA (Altura Neta Positiva en la Aspiración) es un parámetro importante en el diseño de un circuito de bombeo ya que sirve para determinar la cercanía de la instalación a la cavitación. El término cavitación se refiere al proceso de burbujas de vaporización que se forman en el líquido que se mueve a través de la bomba y que, a largo plazo, causan daños y erosión de las piezas de la bomba, reduciendo el rendimiento de la bomba. Es por ello, que resulta imprescindible evitar la cavitación, y esto se consigue si se dispone de suficiente NPSH.

Esta curva muestra la presión de entrada mínima, expresada en metros, necesaria para que la bomba bombee según su curva característica teórica y el líquido bombeado no se evapore, de modo que se evite cualquier fenómeno de cavitación en el interior de la bomba.

La representación de la curva NPSH para esta bomba en particular tiene la siguiente forma:

Ilustración 18. Curva NPSH bomba SQ 5 - 25



Donde,

- La curva azul representa la potencia requerida por la bomba en función del punto de trabajo. En este caso, la potencia $P_2 = 508,4 \text{ W}$.
- La curva negra indica el valor NPSH necesario en el punto de trabajo, siendo éste $\text{NPSH} = 2,7 \text{ m}$.

El riesgo de cavitación en bombas sumergibles es generalmente bajo. No obstante, se debe de comprobar el valor NPSH de la bomba en su punto de funcionamiento. El valor NPSH es, de forma análoga, el nivel de agua mínimo por encima de la entrada de la bomba, para que no se produzca la evaporación del agua. La inmersión mínima de la entrada de la bomba en metros puede determinarse con la siguiente expresión:

$$\text{NPSH (m)} - 10 \text{ (m)}$$

Por tanto, la bomba deberá de sumergirse a una profundidad de al menos:

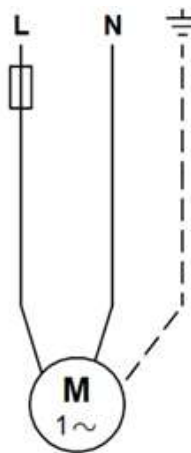
$$\text{NPSH (m)} - 10 \text{ (m)} = |2,7 \text{ m} - 10 \text{ m}| = 7,3 \text{ m}$$

En un apartado de condiciones hidráulicas, se mencionó que se preveía instalar la bomba a una profundidad de 11 metros, por lo que la selección de la bomba se da por correcta.

4.1.3. Conexionado bomba seleccionada

El esquema de conexión de la bomba a la red aislada es la siguiente:

Ilustración 19. Esquema de conexión de la bomba



Según las indicaciones del fabricante, la bomba incorpora un arrancador, por lo que se puede conectar directamente a la red.

Es necesario disponer de una válvula de no retorno en el tramo que va desde la bomba hasta el depósito. Sin embargo, la salida de la bomba ya incluye una internamente, por lo que no será necesario instalarla en el exterior. Este tipo de válvula, también conocida como válvula unidireccional, se emplean principalmente en sistemas de bombeo, para evitar que la bomba trabaje en vacío.

4.2. Tubería de impulsión

La tubería de impulsión desde la bomba hasta el depósito se calcula de manera que se explica a continuación.

En primer lugar, se comprueba que la velocidad del fluido que circule por la tubería no exceda la velocidad recomendable. Se delimitará a 3 m/s ya que una velocidad superior puede producir grandes pérdidas de carga por fricción.

La sección de la tubería ascendente de la bomba está condicionada por el diámetro de salida del modelo de bomba seleccionado, siendo éste de 74 mm. La salida de la bomba es una rosca R 1 ½, que corresponde a un diámetro de 75 mm.

Del mismo modo, el caudal que fluirá dentro de la tubería viene determinado por el punto de trabajo de la bomba, que es, $Q = 3,64 \text{ m}^3/\text{h}$.

Finalmente, la velocidad por la tubería vendrá dado por:

$$Q = v \times S \rightarrow v = \frac{Q}{S}$$

Donde,

Q es el caudal que circula por la tubería, en m^3/h .

v es la velocidad interior por la tubería, en m/s.

S es la sección interior de la tubería, en m^2 .

Por tanto,

$Q = 3,64 \text{ m}^3/\text{h}$

$D = 75 \text{ mm}$

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{3,64 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}}{\pi \cdot \frac{0,075^2}{4}} = 0,229 \text{ m/s}$$

De esta forma se comprueba que la velocidad límite no se alcanza.

También es necesario comprobar que la tubería que se vaya a escoger resista la máxima presión prevista en la instalación. Este valor de presión tendrá lugar cuando el caudal sea nulo, es decir, en el arranque y parada de la bomba y en este punto, la presión máxima esperada será de 36 m.c.a (véase Ilustración 17. Curva característica de la bomba SQ 5 -25).

Las tuberías vienen definidas por su diámetro exterior e interior y su presión nominal (PN), que es la presión hidráulica máxima que el componente será capaz de resistir. Por tanto, en el

momento de escoger la tubería de impulsión, se deberá de entrar a los catálogos de los fabricante con un diámetro de 75 mm y una presión nominal mínima de 36 m.c.a.

En cuanto al material de las tuberías que se van a emplear, tanto para la tubería de impulsión, como para el conjunto de tuberías que formen la red de distribución, se va a utilizar el polietileno (PE). De entre los distintos tipos de tuberías de plástico, el PE es el segundo tipo de plástico más usado en tuberías, después del PVC. Las tuberías de plástico son ligeras, simples y se caracterizan por sus buenas propiedades a la hora de transportar fluidos. La mayoría de la instalación se realizará con tuberías PE puesto que su proceso de instalación es muy sencillo y liviano. Estas tuberías pueden seccionarse con un simple cúter y permiten acoplamiento tanto del mismo material, como de latón, lo que simplifica la búsqueda de fittings para establecer la red de consumo. Sin embargo, las tuberías de plástico que conformarán la red de desagüe están previstas a que sean de PVC, puesto que sus características físicas y mecánicas lo convierten en el material idóneo para este fin. En este caso, será necesario utilizar acoplamiento del mismo material.

Finalmente, se debe de determinar las pérdidas dinámicas a lo largo de la tubería para comprobar la suposición que se hizo inicialmente, en la que se consideró que las pérdidas dinámicas suponían un 10% de la altura total estática ($10\% \cdot H_g = 0,1 \cdot 25 = 2,5$ m). Para ello, se va a emplear la fórmula de Manning:

$$J = \frac{V^2 \cdot \eta^2}{R_h^{4/3}}$$

Donde,

V es la velocidad, en m/s

η es el coeficiente de rozamiento interno, que del PE puede considerarse 0,008

R_h es el radio hidráulico de superficie mojada, S_m/P_m

S_m es la superficie mojada a sección llena

P_m es el perímetro mojado a sección llena

Sustituyendo valores en la fórmula, se tiene:

$$S_m = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,075^2}{4} = 0,0044 \text{ m}^2$$

$$P_m = \pi \cdot D = \pi \cdot 0,075 = 0,2356 \text{ m}$$

$$R_h = S_m / P_m = 0,0187 \text{ m}$$

$$J = \frac{V^2 \cdot \eta^2}{R_h^{4/3}} = \frac{0,229^2 \cdot 0,008^2}{0,00495} = 6,774 \cdot 10^{-4} \text{ mm}$$

Este número representa las pérdidas de carga lineales por metro de tubería, por lo que para determinar la pérdida de carga total a lo largo de toda la tubería, es necesario precisar la longitud del tramo de tubería hasta el depósito. Se estima la distancia que deberá de recorrer la tubería en función del tramo. Para determinar las pérdidas dinámicas totales, se deben de sumar las pérdidas localizadas del tramo, debido a los accesorios en el recorrido y que se estimarán aumentando un 10% la longitud total.

Inmersión de la bomba (m)	11 m
Distancia de la tubería a nivel del suelo (m)	0,5 m
Distancia estimada hasta depósito (m)	3 m
Altura hasta base del depósito (m)	15 m
Longitud total de tubería (m)	29,5 m
Pérdidas localizadas (m)	2,95 m

Finalmente, la pérdida de carga a lo largo de la tubería es:

$$\text{Pérdidas de carga} = 6,774 \cdot 10^{-4} \text{ mm} \cdot (29,5 + 2,95) = \mathbf{0,022 \text{ m}}$$

Las pérdidas dinámicas son muy inferiores a las previstas por lo que la altura hidráulica total con la que se ha dimensionado la bomba se considera correcta. Además, en las instalaciones de bombeo se recomienda que las pérdidas hidráulicas no superen el 10% de la altura hidráulica de bombeo, preferentemente un 2%. En este caso, se cumple holgadamente, como se muestra en el siguiente cálculo:

$$2\% \cdot \text{Altura hidráulica total} = 2\% \cdot 29 \text{ metros} = 0,58 \text{ m} \gg 0,022 \text{ m}$$

4.3. Unidad de control de la bomba

La bomba debe de combinarse con una unidad de control que permita, como bien indica su nombre, controlar la bomba. La unidad de control indica una serie de fallos de entre los que se encuentran: sobrevoltaje, bajo voltaje, funcionamiento en seco, sobrecarga, etc. Esta unidad también permite utilizar sensores externos, mediante los cuales se reciben datos externos y la unidad de control se encarga de controlar el funcionamiento de acuerdo con los datos recibidos.

Se hará uso de esta función para implementar un interruptor de nivel del tanque y que así, se reciba una señal de alarma en el caso de que se encuentre lleno. Para ello, la unidad incluye un relé que entrará en funcionamiento cuando se superen los límites de la alarma y permitirá desconectar la bomba. Se escogerá la unidad de control CU 300 suministrada por Grundfos, cuyas características vienen recogidas en la Tabla 10.

Ilustración 20. Unidad de control CU 300 Grundfos

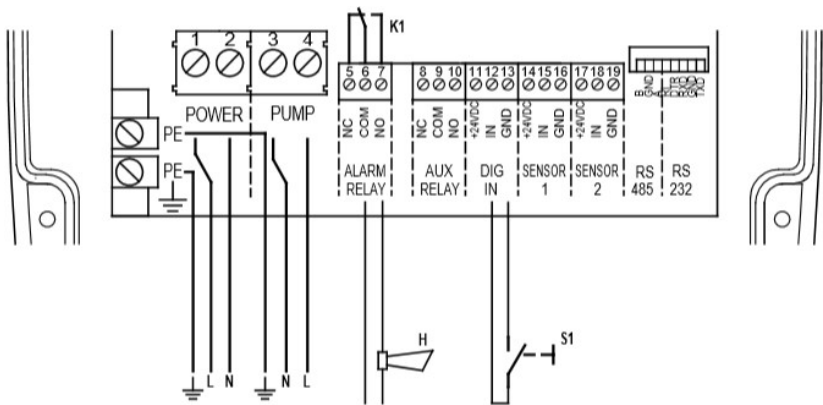


Tabla 10. Características Unidad de Control CU 300 - Grundfos

Unidad de Control CU 300	
Frecuencia de red	50/60 Hz
Tensión nominal	1 x 100 – 240 V
Intensidad Nominal	12,0 A
Peso	2 kg

También se muestra el esquema de conexión, que viene a ser el siguiente:

Ilustración 21. Esquema de conexión Unidad de Control



Donde,

- El suministro de red se hará mediante los terminales 1, 2 y PE. Se conectarán los terminales 1 y 2 a la fase y una de las entradas de PE al neutro del suministro de red aislada. La sección máxima de dichos cables será de 6 mm².
- El suministro a la bomba se realizará mediante los terminales 3, 4 y PE. Igual que antes, los terminales 3 y 4 se conectarán a la fase mientras que el terminal PE restante se conectará al neutro de la bomba. La sección máxima será igualmente de 6 mm².
- El sensor de nivel del tanque se conectará a una de las entradas para sensores de las que dispone la unidad. Estas entradas estarán ligadas al relé interno de señal de fallo que se pondrá en marcha cuando se superen los límites de alarma.

5. Componentes de la instalación fotovoltaica

5.1. Generador fotovoltaico

5.1.1. Dimensionado para abastecer el consumo de la bomba

El cálculo del número de módulos fotovoltaicos necesarios para satisfacer la demanda va a realizarse mediante el cálculo del consumo energético de la bomba. Este término hace referencia a la potencia hidráulica finalmente necesaria ($Q \times H$) que garantizará un determinado caudal a cierta altura de impulsión, considerando todas las pérdidas del proceso. Para ello, se calculará inicialmente la potencia pico suministrada al motor de la bomba para comparar dicho valor con el que viene dado por el fabricante y comprobar que, efectivamente es correcto. Luego, multiplicando dicho valor por las horas estimadas que estará la bomba funcionando, se obtiene el consumo energético diario, en kWh.

$$\text{Potencia a la entrada del motor de la bomba} - P_1 \text{ (kW)} = \frac{Q \cdot H}{367 \cdot \eta}$$

Donde,

Q es el caudal suministrado por la bomba, en m³/h

H es la altura de impulsión, en m

η es el rendimiento final de la bomba, incluyendo el rendimiento mecánico del motor

De la información extraída de las curvas de funcionamiento, se recuerda que el régimen de trabajo para una altura de impulsión de 29 metros es el siguiente:

Caudal Q	3,639 m ³ /h
Altura de bombeo	29 m
Rendimiento	39,50%

Con estos valores, sustituyéndolos en la ecuación anterior, se tiene el siguiente consumo:

$$P(\text{kW}) = \frac{Q \cdot H}{367 \cdot \eta} = \frac{3,639 \cdot 29}{367 \cdot 0,395} = \mathbf{0,728 \text{ kW}}$$

Se comprueba, ciertamente, que la potencia P_1 calculada coincide con la aportada por el fabricante de la bomba.

Como la instalación de bombeo está prevista que funcione una media de 6 horas diarias, el consumo energético estimado diario (C_{ed}) es finalmente de:

$$C_{ed} = 0,728 \text{ kW} \cdot 6 \text{ horas} = \mathbf{4,368 \text{ kWh}}$$

Una vez que calculado el consumo energético diario se procede a determinar el número de módulos fotovoltaicos necesarios para satisfacer la demanda eléctrica y las condiciones de Q y H requeridas. La expresión empleada es la siguiente:

$$N_{mod} = \frac{C_{ed}}{P_p \cdot HSP \cdot PR}$$

Donde,

C_{ed} es el consumo estimado diario de energía, obtenido anteriormente.

P_p es la potencia pico del módulo escogido para este proyecto.

HSP es el valor de las horas de sol pico del mes de dimensionado.

PR es el "Performance Ratio" que determina la eficiencia de la instalación en condiciones reales de trabajo y del que se hablará a continuación.

En cuanto a los módulos escogidos, éstos se tratan de módulos de policristalinos con una potencia pico de 405 W. La razón por la cual se ha escogido un módulo con una potencia superior a la que generalmente se emplea, típicamente de unos 200 W, es fundamentalmente porque, al unir el sistema de bombeo solar y la instalación eléctrica, se necesita, evidentemente una gran cantidad de energía. El espacio existente para disponer los módulos es escaso, siendo éste el techado del edificio de dirección cuyas dimensiones son 15 metros de largo y 9 metros de ancho.

La única forma de adecuar la energía requerida para abastecer la demanda dentro del espacio disponible es aumentar la potencia pico generada por cada módulo. Realizando un estudio del

área disponible en la cubierta del edificio y las dimensiones de varios módulos de distintas potencias pico, se concluye que la solución óptima está compuesta por 20 módulos con las siguientes prestaciones y configuración. Más adelante, se detallará cómo se ha llegado a dicho número de módulos. A continuación, se muestra una vista en planta de la cubierta del edificio en el que se incorporarían los módulos y una posible disposición de éstos.

Ilustración 22. Disposición de los módulos en el techado del edificio de dirección



Los datos eléctricos de los módulos que se usarán para dimensionar el resto de la instalación son los siguientes:

Tabla 11. Características placa Canadian Solar 405 W

Placa Policristalina Hiku Canadian Solar	
Potencia pico módulo	405 W
Tensión a máxima potencia V_{MP}	38,9 V
Corriente a máxima potencia I_{MP}	10,42 A
Voltaje en circuito abierto V_{OC}	47,4 V
Corriente en cortocircuito I_{SC}	10,98 A

En cuanto al coeficiente PR (Performance Ratio) o rendimiento energético de la instalación, valores típicos son, en sistemas con inversor, $PR \approx 0,7$, mientras que en sistemas con inversor y batería se considera típicamente un $PR \approx 0,6$. A efectos de cálculo y por simplicidad, está totalmente generalizado el uso de estos valores en el cálculo de estas instalaciones.

Por lo que, sustituyendo valores, en la expresión mostrada anteriormente, que servía para el cálculo del número de módulos fotovoltaicos necesarios, resultará siendo:

$$N_{mod} = \frac{C_{ed}}{P_p \cdot HSP \cdot PR} = \frac{4368 \text{ Wh}}{405 \cdot 5,32 \cdot 0,6} = 3,4 \rightarrow 3$$

De entre los 20 módulos que constituyen el sistema de generación, 3 módulos aportarán la potencia necesaria para cubrir la demanda de energía solicitada por la bomba.

Al tratarse de una instalación conjunta, en la que la motobomba se considera como una carga más, se van a mostrar los cálculos realizados para llegar al número de módulos requeridos para hacer frente al consumo total de energía del colegio.

5.1.2. Dimensionado para abastecer el consumo de la instalación completa

5.1.2.1. Consumo energético diario requerido

Para determinar la potencia necesaria requerida en el generador fotovoltaico, se han realizado dos estudios en paralelo. Por un lado, se tiene la potencia necesaria que deberá de suministrar la red aislada a la motobomba para que ésta opera en el punto que le permita cubrir la estimación de consumo de agua diario (como ya se ha documentado en el apartado anterior). Por otra parte, se ha llevado a cabo un estudio de todas las cargas eléctricas que se tendrán en las aulas del colegio. No obstante, este estudio queda fuera del alcance de este proyecto y viene indicado en el proyecto *“Instalación eléctrica de un colegio en Chad”* realizado por Pablo Merino, que acompaña al presente proyecto.

La siguiente tabla recoge el consumo de todos los elementos, para los que también se ha estimado el tiempo de utilización diaria. Así pues, sumando cargas, se llega al consumo energético total del colegio, en Wh/día.

Tabla 12. Consumo energético total del colegio

<i>Elemento</i>	<i>Potencia</i>	<i>Horas de utilización diarias</i>	<i>Energía / día (Wh/día)</i>
Iluminación	3524	5	17620
Tomas de fuerza	1587	5	7935
Bomba hidráulica	728	6	4368
Ventiladores	90	5	450
Total			30373

A partir de ahora, todos los equipos que se vayan a escoger y que componen el sistema de red aislada (regulador, baterías e inversor) se dimensionan de acuerdo al consumo energético total del colegio (en el que se incluye la motobomba). A pesar de que sólo se ha llevado a la práctica

la búsqueda de componentes que dispongan de los datos eléctricos necesarios para hacer frente a la instalación completa, esto no quita que, si se quisiese llevar a cabo la instalación de bombeo solar de manera independiente, se realicen los mismos cálculos que se desarrollan en estos próximos apartados.

5.1.2.2. Rendimiento global de la instalación

El consumo energético que se ha obtenido anteriormente corresponde a la demanda de energía sin considerar pérdidas. Sin embargo, el rendimiento de la instalación se verá afectado por los rendimientos de los distintos componentes que la conforman y la energía que finalmente podrá ser aprovechable, será menor que la calculada. Esta serie de factores provocan pérdidas en el rendimiento global, lo que conlleva a que la energía generada por el grupo de módulos sea superior a la que finalmente consuman las cargas.

Estas pérdidas se asocian con una serie de coeficientes que nos permiten calcular el rendimiento global de la instalación, aproximándolo mediante la siguiente fórmula:

$$R = (1 - k_b - k_i - k_r - k_v) \cdot (1 - k_a \cdot \frac{N}{P_d})$$

Donde,

k_b es el coeficiente de pérdidas por rendimiento de las baterías.

k_i es el coeficiente de pérdidas por rendimiento del inversor.

k_r es el coeficiente de pérdidas por rendimiento del regulador.

k_v es el coeficiente de pérdidas varias.

k_a es el coeficiente de pérdida por autodescarga diaria de las baterías.

P_d es la profundidad máxima de descarga de las baterías.

N son los días de autonomías de las baterías.

Los factores de pérdidas incluidos en la fórmula representan el valor inverso del rendimiento del componente en cuestión. El coeficiente k_v se incluye para tener en cuenta otras pérdidas, como pueden ser las que se producen en los cables por el efecto Joule o la energía que se pierde en forma de calor. Por otro lado se tiene la profundidad máxima de descarga de las baterías y el número de días de autonomía que se vaya a considerar ya que estos dos factores también van a influir en el rendimiento global de la instalación. En este caso, se ha considerado una profundidad de descarga del 70% y un único día de autonomía. Típicamente, se suele dejar un 20% de la batería sin descargar para garantizar así la vida útil del dispositivo. En cuanto a la elección de días de autonomía del sistema, se ha considerado el mínimo número de días puesto que no es habitual tener días desfavorables de insolación por abundante nubosidad. Otro factor que ha influido en esta decisión es el gran desembolso que supone aumentar el número de baterías ya que éstas suponen un peso mayoritario en el presupuesto de la instalación.

A continuación se muestran los valores típicos que se van a emplear como coeficientes de pérdidas:

Tabla 13. Valores escogidos como coeficientes de pérdidas

Coeficiente	Valores típicos	Valor escogido
k_b	0,05: Sistemas que no demanden descargas intensas 0,1: Sistemas con descargas profundas	0,05
k_i	0,05: Inversores trabajando en régimen óptimo 0,1: lejos del óptimo	0,07
k_r	0,05 – 0,15 como valores de referencia	0,02
k_v	0,05 – 0,10 como valores de referencia	0,05
k_a	0,002: Baterías sin mantenimiento 0,005: Baterías estacionarias 0,012: Baterías de alta autodescarga	0,05

Sustituyendo estos valores en la fórmula, se obtiene un rendimiento global que resultará valer lo siguiente:

$$R = (1 - 0,05 - 0,07 - 0,02 - 0,05) \cdot (1 - 0,05 \cdot \frac{1}{0,7}) = 0,752$$

Con este rendimiento, se calcula la energía necesaria en bornes de los módulos que deberá ser igual o superior a:

$$\text{Energía diaria necesaria generada por los módulos} = \frac{30.373 \text{ Wh / día}}{0,752} = 40.788,68 \text{ Wh/día}$$

5.1.2.3. Determinar tensión de trabajo

Antes de todo, se debe de fijar la tensión a la que trabajará la instalación. Por norma general, se suele emplear, 12, 24 o 48 V dependiendo de la potencia total que se tenga. En este caso, el consumo de potencia del colegio es relativamente grande, por lo que se opta por trabajar a una tensión de 48 V. Todos los elementos que se integren en la instalación deberán tener una tensión nominal de este valor.

5.1.2.4. Número de módulos fotovoltaicos

Como bien se ha mencionado antes, la cantidad de módulos fotovoltaicos necesarios para abastecer la demanda de energía es de 20 módulos cuyas características vienen reflejadas en la Tabla 11. A continuación, se justifican los cálculos realizados para llegar a dicho número.

Al tratarse de un panel con una potencia pico de 405 W y dimensionando con el mes más desfavorable de irradiación solar, con 5,32 HSP, se tiene que, la energía generada diaria por módulo, en Wh, es de:

$$\text{Energía_módulo} = P_p \cdot \text{HSP} = 405 \cdot 5,32 = \mathbf{2154,21 \text{ Wh}}$$

Por tanto, el número de módulos necesarios para satisfacer la energía diaria será:

$$\frac{\text{Energía diaria necesaria}}{\text{Energía_módulo}} = \frac{40.788,68 \text{ Wh/día}}{2154,21 \text{ Wh/día}} = 18,9 \rightarrow 20 \text{ módulos}$$

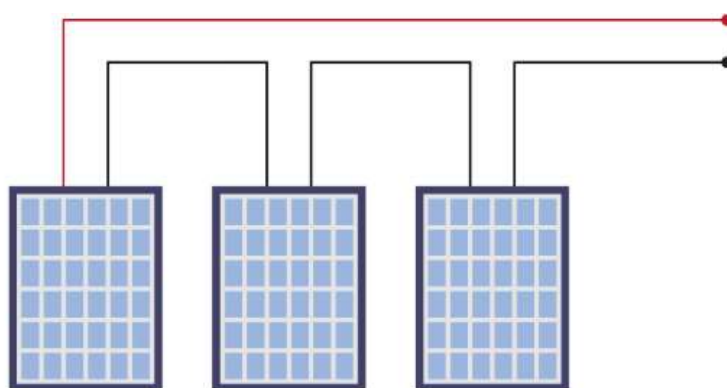
Se observa que, la manera de calcular el número total de módulos es muy similar a la que se ha empleado para determinar el número de módulos que generan la energía necesaria para abastecer la bomba hidráulica, con la salvedad de que, el rendimiento PR empleado en este último caso es del 60%, mientras que el rendimiento global para el dimensionado de la instalación completa ronda el 70%. La razón por la cual se han calculado estas dos situaciones con rendimientos distintos es porque se quería reflejar la forma en la que típicamente se calcula el número de módulos para una instalación de bombeo solar, en la que, generalmente se considera un *performance ratio* del 60% cuando se tienen baterías e inversor.

Una vez que se tiene el número de módulos que conformarán la instalación, se procede a determinar la configuración de la misma, definiendo las asociaciones entre módulos. A continuación se explican las dos formas de conectar módulos solares: en serie o en paralelo.

5.1.2.5. Conexión en serie

Se conecta el terminal positivo del primer módulo con el negativo del siguiente de tal manera que se consigue sumar tensión y mantener intensidad. A la asociación de módulos en serie se le llama string. El conexionado viene representado en la Ilustración 23.

Ilustración 23. Conexión en serie de módulos



En el momento en el que se escoja el regulador de la instalación, será necesario considerar la suma de tensiones de todos los módulos conectados en serie. Asimismo, la tensión máxima admitida por el regulador deberá de ser superior a la tensión máxima proporcionada por el string en su punto de máxima potencia. De forma análoga, el regulador tendrá que ser capaz de resistir el máximo valor de tensión que pudiese aparecer en los extremos del módulo en circunstancias particulares en las que no hubiese ninguna carga conectada al mismo.

5.1.2.6. Conexión en paralelo

Para realizar la conexión de módulos en paralelo se emplea un componente adicional, al que se le conoce como repartidor de corriente (véase Ilustración 24). Este aparato se encarga de unificar todos los cables del mismo polo provenientes de los módulos que se quieran conectar en paralelo. A partir del repartidor, se sacarán dos cables (1 positivo y 1 negativo) con los que se irá hacia el regulador de carga. Estos cables se dimensionarán en función de la corriente que vaya a circular por ellos. Del mismo modo, el repartidor de corriente se seleccionará dependiendo de la máxima corriente en paralelo a la salida.

Ilustración 24. Conexión en paralelo repartidor de corriente

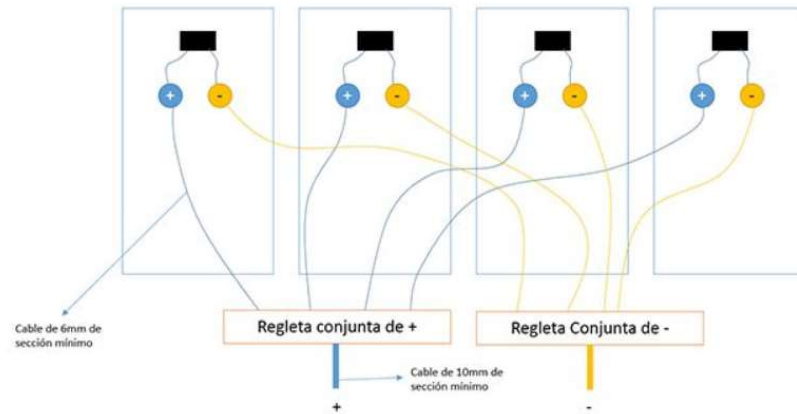
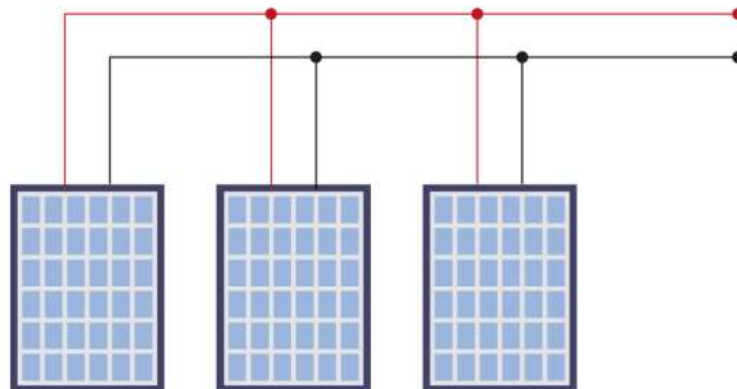


Ilustración 25. Repartidor de corriente



Como ya es de esperar, la conexión en paralelo no incrementa la tensión de salida y únicamente suma intensidades. Dicho de otra forma, se va sumando la intensidad de cada string (asociaciones en serie), para terminar la intensidad total del conjunto de módulos. Al igual que se ha explicado para la conexión en serie, los reguladores están diseñados para soportar una corriente máxima de entrada por lo que el regulador se escogerá para que sea capaz de resistir dicha corriente. La máxima corriente que se podrá registrar entre bornes del panel será la de cortocircuito, cuando no haya resistencia, o lo que es lo mismo, cuando no se tenga ninguna carga conectada. A continuación se muestra un esquema del conexionado en paralelo:

Ilustración 26. Conexión en paralelo de módulos



5.1.2.7. Configuración de los módulos fotovoltaicos

Sabiendo que, se tiene una tensión en el punto de máxima potencia del módulo, V_{MP} , de 38,9V, resulta que el número de módulos necesarios que habrá que disponer en serie para alcanzar la tensión nominal de trabajo del sistema, que es de 48 V, vendrá dada por la siguiente expresión:

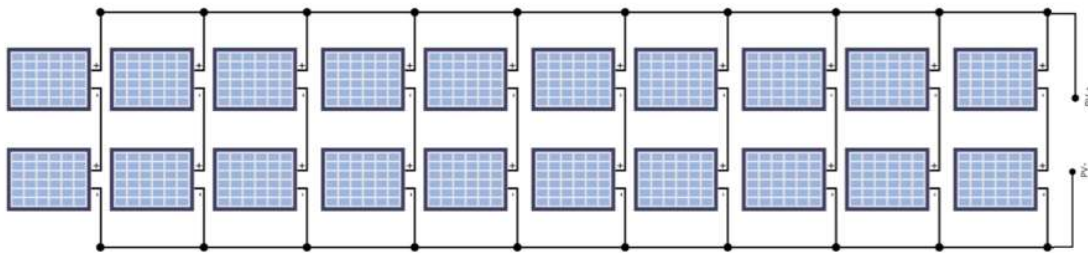
$$N_{serie} = \frac{48 V}{V_{MP}} = \frac{48}{38,9} = 1,23 \rightarrow \mathbf{2 \text{ módulos en serie}}$$

En cuanto al número de paneles que se dispondrán en paralelo, se calcula mediante la expresión:

$$N_{paralelo} = \frac{N_{módulos,total}}{N_{serie}} = \frac{20}{2} = \mathbf{10 \text{ módulos en paralelo}}$$

Como se aprecia en la Ilustración 27, los módulos se instalarán asociando en paralelo 10 strings de 2 módulos en serie cada uno.

Ilustración 27. Configuración de los módulos fotovoltaicos



Finalmente, se comprueba que, la potencia total generada por dicha configuración es mayor que la demanda:

$$\text{Potencia total generada} = N_{módulos,total} \cdot \text{Energía_módulo} = 20 \cdot 2154,21 = 43.084,16 \text{ Wh/día}$$

$$\mathbf{Potencia \text{ total generada} > Consumo \text{ energético diario}} \rightarrow 43.084,16 \text{ Wh/día} > 40.788,68 \text{ Wh/día}$$

5.2. Dimensionado del regulador

Para seleccionar el regulador de carga es necesario calcular la tensión y corriente máxima que deberá de soportar a la entrada el propio regulador. Estas tensiones y corrientes máximas provienen directamente de los módulos fotovoltaicos, en función de la configuración previamente establecida.

Las tensiones y corrientes máximas a la salida de este campo fotovoltaico resultan valer lo siguiente:

Tabla 14. Valores parámetros a la salida del campo fotovoltaico

$V_{MP_total} = 38,9 \cdot 2 = 77,8 \text{ V}$
$I_{MP_total} = 10,42 \cdot 10 = 104,2 \text{ A}$
$V_{OC_total} = 47,4 \cdot 2 = 94,8 \text{ V}$
$I_{SC_total} = 10,98 \cdot 10 = 109,8 \text{ A}$
$P_{MP_total} = 405 \cdot 20 = 8100 \text{ W}$

En la Tabla 14 también viene reflejada la potencia máxima a la salida del campo fotovoltaico, siendo ésta la suma de la potencia pico generada por cada módulo.

Estos parámetros a la entrada del regulador determinarán las características del regulador que escoger. El regulador seleccionado deberá ser capaz de regular la máxima intensidad que pueda proceder de los módulos fotovoltaicos de la instalación con el fin de cargar las baterías de una manera estable, evitando sobrecargas y sobredescargas, aumentando así la vida útil de las mismas. Por tanto, para dimensionar el regulador, se empleará la corriente de cortocircuito I_{SC_total} por ser la situación más desfavorable. La intensidad de salida a las baterías siempre será igual o inferior a ésta, ya que es la máxima corriente que puede generar el campo fotovoltaico.

Teniendo una I_{SC_total} con valor 109,8 A, se deberá de asegurar que se elige un regulador con una intensidad de entrada igual o superior a 109,8 A.

Otro aspecto a tener en cuenta es, asegurar que se mantiene la tensión de trabajo. Como se eligió un sistema que trabajase a 48 V, tanto el regulador como la batería, tendrán una tensión en el punto de trabajo de 48 V.

Como el regulador es un elemento fundamental en las instalaciones fotovoltaicas con sistema de baterías, se tiene una gran variedad de reguladores de carga en el mercado. La ficha técnica de estos aparatos está generalmente muy estandarizada e incluye normalmente los parámetros de salida del módulo para el que el regulador en cuestión es factible. Así pues, se opta por un regulador de la marca *Victron Energy* [23] por su reconocimiento y fiabilidad en cuanto a la fabricación de reguladores de carga. El regulador escogido tiene concretamente, las características recogidas en la siguiente tabla:

Tabla 15. Características regulador de carga Victron 150/85

Regulador de carga Victron 150/85 VE.Can	
Voltaje en circuito abierto V_{OC} de FV	150 V
Máxima corriente de carga	85 A
Corriente en cortocircuito I_{SC}	70 A
Tensión nominal	48 V
Potencia FV nominal a 48 V	4900 W

Como se puede observar, la potencia máxima que puede entrar al regulador desde los módulos fotovoltaicos es de 4900W, mientras que el campo fotovoltaico genera un total de 8100W. Es evidente que, será necesario disponer de más de un regulador en la instalación para cumplir con la restricción de potencia máxima que le llega a un regulador. Se llega a la conclusión de que será necesario instalar 2 reguladores ($8100 \text{ W} / 4900 \text{ W} \approx 2$ reguladores).

La generación proveniente del campo fotovoltaico se dividirá en dos circuitos independientes y cada uno de ellos se conectará a la entrada de uno de los dos reguladores de los que dispone la instalación. Con respecto a los valores calculados a la salida del campo fotovoltaico (Tabla 14), los valores de tensión se mantendrán igual a la entrada del regulador, mientras que los valores de corriente se reducirán a la mitad (Tabla 16). Ahora, cada regulador, tendrá que hacerse cargo de la generación proveniente de una configuración compuesta por 5 módulos dispuestos en paralelo y 2 módulos en serie. La función del regulador será estabilizar la tensión de entrada a 48V para así poder pasar a cargar el sistema de baterías.

Tabla 16. Valores parámetros a la entrada de cada regulador

$I_{MP_FV} = 10,42 \cdot 5 = 52,1 \text{ A}$
$V_{OC_FV} = 47,4 \cdot 2 = 94,8 \text{ V}$
$I_{SC_FV} = 10,98 \cdot 5 = 54,9 \text{ A}$
$P_{MP_FV} = 405 \cdot 10 = 4050 \text{ W}$

Finalmente, se comprueba que dichos valores no sobrepasen los datos eléctricos suministrados por el fabricante del regulador.

Tabla 17. Comprobación parámetros a la entrada del regulador

Salida módulos	Ficha técnica regulador	Comprobación
$I_{MP_FV} = 52,1 \text{ A}$	$I_{Carga_regulador} = 85 \text{ A}$	$I_{Carga_regulador} > I_{MP_FV}$
$V_{OC_FV} = 94,8 \text{ V}$	$V_{OC_regulador} = 150 \text{ V}$	$V_{OC_regulador} > V_{OC_FV}$
$I_{SC_FV} = 54,9 \text{ A}$	$I_{SC_regulador} = 70 \text{ A}$	$I_{SC_regulador} > I_{SC_FV}$
$P_{MP_FV} = 4050 \text{ W}$	$P_{N_regulador} = 4900 \text{ W}$	$P_{N_regulador} > P_{MP_FV}$

En cuanto a la conexión del regulador, éste se coloca entre el campo fotovoltaico y el campo de baterías. Como se puede observar en la Ilustración 28, el regulador cuenta con dos entradas, una para el sistema de baterías y otra para el campo fotovoltaico cuyo flujo de energía tenga que controlar. Ambas entradas tienen dos terminales, uno positivo y otro negativo.

Ilustración 28. Regulador de carga Victron 150/85



5.3. Dimensionado de las baterías

Las baterías proporcionan energía a la instalación durante periodos en los que hay baja luminosidad o cuando se tiene pensado utilizar la instalación por la noche, cuando no hay luz solar. No es un elemento obligatorio en lo que respecta a la instalación de bombeo, pero si lo es para la instalación eléctrica del colegio, que está fundamentalmente diseñada para suministrar luz a las aulas para que, aquellos niños que no tienen oportunidad de asistir a clase por la mañana lo puedan hacer por la tarde. En cuanto al sistema de bombeo, éste se ha dimensionado para que el depósito pueda suministrar el agua necesaria durante las horas que no haya sol, ya que será capaz de almacenar la cantidad de agua requerida para abastecer el consumo del colegio durante un día completo. Se recuerda que, la bomba se dimensionó estimando un

periodo de funcionamiento de la misma de 6 horas con las que será capaz de bombear todo el agua necesaria para satisfacer la demanda del colegio durante todo el día.

Generalmente, se evita tener que instalar un sistema de baterías en proyectos humanitarios debido a su elevado coste. De hecho, el uso de baterías es considerablemente más caro que almacenar agua en un depósito.

Una ventaja de los sistemas de acumulación en las instalaciones de bombeo es que, actúan como sistema de acondicionamiento entre el generador, es decir, el campo fotovoltaico, y el conjunto motobomba, evitando así variaciones desproporcionadas de tensión.

Como se ha explicado, a pesar de que el uso de baterías de acumulación no es obligatorio, se ha decidido disponer una serie de baterías, buscando el mínimo coste posible y considerando unas prestaciones básicas, como es un solo día de autonomía, para así dotar a la instalación de cierta autosuficiencia en el caso de fallo del recurso solar o por utilización de otros equipos que se pudiesen conectar al generador en un futuro. Otra razón por la cual se ha optado por introducir un sistema de acumulación es porque no supone un gran coste adicional en el presupuesto total de la instalación, se recuerda que ésta se compone de la instalación eléctrica del colegio y un sistema de bombeo solar. Puesto que las baterías son de obligada instalación para dotar al colegio de electricidad durante la tarde y la noche, se ha querido aprovechar la capacidad de éstas para que también fuesen capaces de dotar de suministro de agua en el caso de que se produjesen circunstancias especiales.

El número de baterías necesarias se calculará a partir de la capacidad total requerida del conjunto de las baterías, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{Capacidad (Ah)} = \frac{\text{Consumo diario} \cdot \text{días de autonomía}}{P_d \cdot V_{\text{sistema}}}$$

Donde,

P_d es la profundidad de descarga de la batería.

V_{sistema} es la tensión de trabajo del sistema, en este caso, 48 V.

La energía diaria consumida por el colegio se ha calculado en apartados anteriores, se recuerda que ésta es de 40.788,68 Wh/día. Además, se ha establecido un único día de autosuficiencia buscando minimizar costes y ajustando el alcance del proyecto a las necesidades reales de la población.

En cuanto a la vida útil de las baterías, ésta se mide por el número de ciclos de carga y descarga al que podrá ser sometida la batería a una determinada profundidad de descarga (hasta que su capacidad caiga por debajo del 80% de su capacidad nominal).

El tiempo de vida de las baterías está directamente relacionada con la profundidad habitual de descarga de la misma. Como se verá más adelante, el fabricante de la batería provee información sobre la durabilidad del modelo en función de la profundidad de descarga mediante una curva que relaciona ambas variables.

Dicho esto, existen dos modelos de baterías distintos que se caracterizan por tener diferente profundidad de descarga. Estas dos posibilidades son:

- Descargas superficiales: descargas de aproximadamente el 20% de su capacidad nominal.
- Descargas profundas: descargas que van del 60% al 80% de la capacidad nominal.

En instalaciones de energía solar aisladas, se emplean generalmente las baterías preparadas para descarga profunda debido a que suelen soportar el consumo durante varios días. Si bien este motivo no atañe la instalación que se está diseñando, ya que se ha considerado un sólo día de autonomía, disminuir la capacidad de descarga tiene una repercusión directa en el coste de las baterías (a menor capacidad de descarga, mayor número de baterías). Siguiendo la filosofía de minimizar costes, se ha buscado fijar la profundidad de descarga a un nivel ligeramente superior al que se suele emplear. Las baterías generalmente admiten una profundidad de descarga de hasta el 80%, pero llegar a estos valores hace que disminuya la vida útil de las baterías. Un valor típico utilizado de descarga es el 60%, aunque en este proyecto se considerará un valor ligeramente superior, el 70%.

En este proyecto se emplean baterías estacionarias, principalmente porque están preparadas para descarga profunda, que es lo que se busca. Este tipo de batería destaca de entre los demás tipos de baterías por tener una vida útil más larga ya que soportan muchos más ciclos de carga que cualquier otra batería convencional.

Sustituyendo números en la expresión, se tiene:

$$\text{Capacidad (Ah)} = \frac{40.788,68 \text{ Wh/día} \cdot 1 \text{ día}}{0,7 \cdot 48 \text{ V}} = 1213,95 \text{ Ah}$$

Viendo que la capacidad necesaria de la batería es considerablemente alta y que la tensión requerida es igualmente elevada, no será evidente encontrar una batería que cumpla con ambas características a la vez. Por ello, se opta por emplear un banco de baterías que consta de 8 unidades, cada una de ellas de 6V y una capacidad de 600 Ah. El fabricante suministra estas baterías en un pack de 8 unidades, ya conectadas en serie, por lo que la tensión que se tiene a la salida es de 48V. Para conseguir la capacidad de almacenamiento deseada, se asociarán en paralelo tantos packs sean necesarios:

$$\frac{\text{Capacidad necesaria (Ah)}}{\text{Capacidad banco de baterías (Ah)}} = \frac{1213,95 \text{ Ah}}{600 \text{ Ah}} = 2,02 \rightarrow 2 \text{ bancos de baterías}$$

Lo teóricamente correcto sería coger la cantidad de baterías inmediatamente superior al valor calculado. Sin embargo, la capacidad de almacenamiento que se ha instalado está sobredimensionada puesto que se ha considerado la autosuficiencia de la instalación de bombeo, y, como se ha expuesto anteriormente, no era necesario. Además, el principal motivo por el cual se ha decidido mantener 2 bancos de baterías en vez de 3, es que, supone un coste muy elevado del que se puede prescindir.

Como bien se ha mencionado antes, las baterías que se han escogido son de tipo estacionarias. Dentro de esta clase de baterías existen dos tipologías principales: OPzS y OPzV, y la diferencia básica radica en que las baterías OPzS requieren de mantenimiento periódico, mientras que las baterías OPzV no necesitan de ningún mantenimiento ya que permanecen completamente selladas.

A pesar de que por cuestiones de simplicidad se debe de evitar elementos que requieran de mantenimiento, debido a que existe un importante déficit de personas experimentadas por la zona, se decide finalmente emplear baterías OPzS por cuestiones de coste. Esto se debe a que las baterías estacionarias OPzS son considerablemente más baratas que las OPzV, costando estas últimas el doble, o incluso el triple, que las OPzS.

Pese a que se requiere de mantenimiento periódico, éste es sencillo y se trata simplemente de realizar una pequeña revisión del electrolito interno y de rellenar con agua destilada. Las pautas y periodicidad del mantenimiento vienen indicadas por el fabricante. No se prevé tener dificultades en encontrar agua destilada en el Chad y hasta la fecha, el colegio cuenta con una persona que se encarga de llevar un mantenimiento periódico de las instalaciones, por lo que sería a dicha persona a la que se le asignaría esta tarea.

A continuación, se muestran los datos técnicos del banco de baterías que vienen indicados en la ficha técnica del fabricante.

Tabla 18. Características del banco de baterías

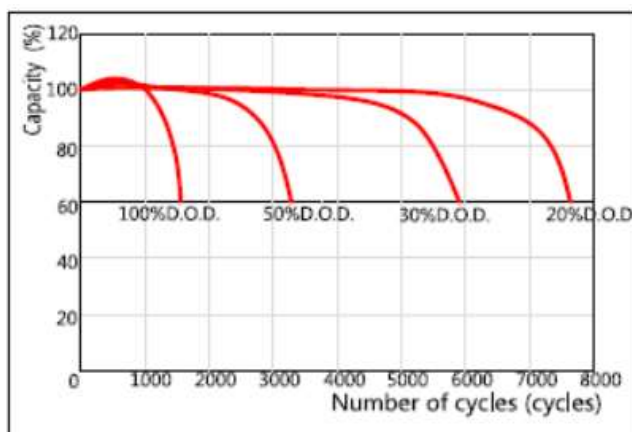
Ultracell UZS600	
Tensión nominal	6 V
Capacidad nominal	600 Ah
Banco de 8 baterías Ultracell UZS600	
Tensión nominal	48 V
Capacidad nominal	600 Ah

Ilustración 29. Banco de baterías seleccionado



Como se mencionó con anterioridad, la durabilidad de la batería está directamente relacionada con la profundidad de descarga de la misma. En la siguiente curva, proporcionada por el fabricante, se puede observar la durabilidad del modelo en función de la profundidad a la que se vaya a descargar la batería.

Ilustración 30. Profundidad de descarga banco de baterías seleccionado



Como se puede observar, para una profundidad de descarga del 70%, este modelo (batería del tipo OPzS) ofrece alrededor de 2000 ciclos de descarga. Esto prueba que las baterías estacionarias admiten más ciclos con una profundidad menor. Resulta una gran ventaja en comparación con otro tipo de batería, como pueden ser las AGM o GEL que llegan a ofrecer unos 900 ciclos como máximo, para el mismo valor de profundidad.

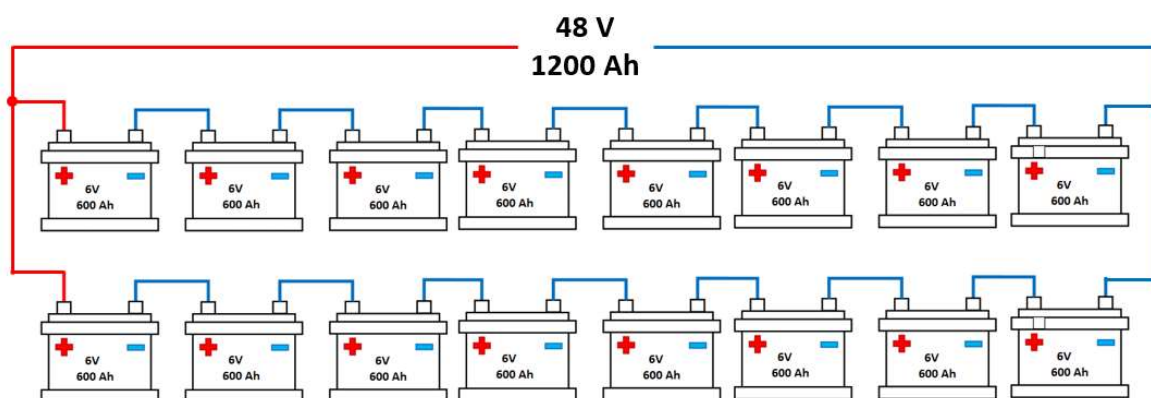
5.3.1. Conexión de las baterías

En cuanto a la conexión de las baterías, para conseguir un banco de baterías de 1200 Ah a 48 V, se conectarán tal y como se muestra en la Ilustración 31. Para conseguir la tensión del sistema

de 48 V, se asocian en serie 8 baterías (también llamados vasos, cuando forman parte de una batería de mayores dimensiones). Como ya se había dicho antes, estos 8 vasos vendrán en un pack suministrado por el fabricante. Esta agrupación en serie no modifica la capacidad del conjunto total, que es de 600 Ah y 48 V. Para conseguir el doble de capacidad (conforme a las necesidades requeridas), se conectan dos de estos packs en paralelo.

Como se puede observar en la Ilustración 31, la asociación en serie se realizará conectando el borne negativo de un vaso, con el positivo del siguiente, y así sucesivamente. En cambio, la conexión en paralelo se hará uniendo los dos positivos de los vasos extremos por un lado y los negativos por otro.

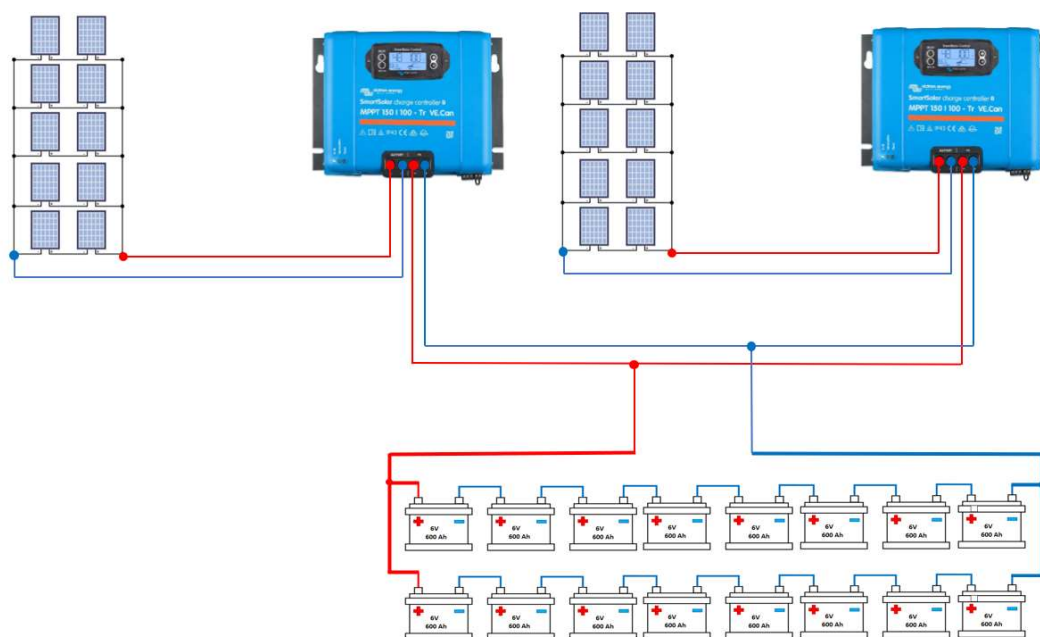
Ilustración 31. Configuración conexión banco de baterías



5.3.2. Conexión de las baterías con los reguladores

Por último, se muestra la manera en la que los reguladores estarán conectados al sistema de baterías. Se recuerda que, el campo fotovoltaico de entrada a cada regulador se estableció en 5 series de 2 módulos en paralelo. Estos circuitos independientes deberán de volver a unificarse antes de entrar en el sistema de baterías. Al igual que se hizo para unificar el polo positivo y negativo de los módulos, se empleará un repartidor de corriente que permitirá ensamblar los 4 cables (2 positivos y 2 negativos) de ambos reguladores, en un único par de cables (1 positivo y 1 negativo).

Ilustración 32. Conexión baterías - reguladores



5.4. Dimensionado del Inversor

El inversor es un elemento imprescindible cuando las cargas a las que se va a alimentar son de corriente alterna puesto que la corriente de salida de los módulos es continua. La ventaja de alimentar las cargas en alterna es que el inversor mantiene la tensión y la frecuencia en un valor constante, evitando así sobrecargas que pudiesen dañar a los elementos del sistema.

La tensión de entrada del inversor se corresponderá con la fijada para la instalación, es decir, 48V. Un parámetro fundamental en este tipo de aparatos es su rendimiento que indica las pérdidas que se producen en la transformación de energía continua a alterna. Los valores de rendimiento suelen oscilar entre el 90% y 96%, por lo que habrá que asegurar que el rendimiento del inversor escogido se encuentre dentro de este rango.

A la hora de dimensionar el inversor, se tendrá en cuenta la suma de potencia que demandan todas las cargas de la instalación que se desean alimentar simultáneamente en un momento determinado. Además, se considerará un 20% de margen de seguridad para asegurar que se suministra la energía requerida.

Con esta potencia, se entrará a los catálogos de fabricantes de inversores en los que viene reflejada la potencia máxima de abastecimiento en un instante dado de los mismos.

Además, los inversores proporcionan un pico de potencia del doble de su capacidad, para hacer frente a los picos de arranque de los aparatos con motor, puesto que en ocasiones demandan hasta 4 veces más de la potencia nominal prevista. Este dato viene recogido en las fichas técnicas de los inversores proporcionadas por el fabricante. En esta instalación, el único elemento con

motor es la bomba hidráulica y ésta incorpora un arrancador suave, por lo que no debería de haber problemas en cuanto a picos de arranque. En este caso, no se sobredimensionará la potencia de la bomba, ya que, como se ha mencionado antes, los inversores cumplen con la exigencia de admitir demandas instantáneas de potencia mayores del 150% de su potencia nominal.

Otra dato que tener en cuenta, es el tipo de red que se está buscando a la salida del inversor. En el caso de esta instalación, es suficiente con una red monofásica que proporcione una tensión de 230 V.

Dicho esto, se procede a analizar la potencia total de los consumos para poder así entrar en catálogos de fabricantes de inversores. Se prioriza un inversor de la marca Victron, pues habiendo ya escogido dos reguladores de dicha marca, es habitual obtener descuentos cuando se recurre a un mismo fabricante para distintos componentes.

En la Tabla 19 se recogen las potencias de los distintos consumos estimados, ya habiéndoles aplicado un factor de simultaneidad y un factor de utilización para aproximarse lo máximo posible al consumo real del colegio (consumos pormenorizados en el proyecto “*Instalación eléctrica de un colegio en Chad*” realizado por Pablo Merino).

Tabla 19. Potencias estimadas de consumo

Elemento	Potencia
Iluminación	3524
Tomas de fuerza	1587
Bomba hidráulica	728
Ventiladores	90
Total	5929

A esta potencia total resultante, se le aplica el factor de seguridad mencionado anteriormente:

$$P_{inversor} = 5929 \cdot 1,2 = 7114,8 \text{ W}$$

Teniendo esta potencia, se escoge un inversor con las siguientes características:

Tabla 20. Características inversor Victron Quattro 10.000 VA 48 V

Inversor cargador Victron Quattro 10000 VA 48 V	
Rango tensión de entrada (VCC)	38 – 66 V
Tensión de salida (VCA)	230 V
Potencia continua de salida a 25°C	8.000 W
Potencia continua de salida a 40°C	6.500 W
Pico de potencia	20.000 W
Eficiencia máxima	96%

Como se puede observar, las altas temperaturas tienen un efecto importante en la transformación de energía del inversor. Mientras que a una temperatura ambiente de 25°C, el inversor es capaz de proporcionar una potencia de salida de 8.000W, este valor se ve considerablemente reducido si se alcanza una temperatura exterior de 40°C. En el Chad se pueden llegar a alcanzar temperaturas muy elevadas, de alrededor de 45°C, por lo que, según las indicaciones de la ficha técnica, el inversor no cubriría la potencia calculada. A continuación, se explican los motivos por los cuales se mantiene este inversor pese a no alcanzar la potencia máxima requerida en ciertas condiciones de temperatura.

Para empezar, las cargas de consumo se dividen en 3 grupos principales, que son, iluminación, tomas de fuerza y dispositivos. En esta última sección, se encuentra la bomba hidráulica y el ventilador que tendrá como función refrigerar los componentes de la instalación fotovoltaica para que no se alcancen temperaturas que lleguen a ocasionar daños irreparables en los mismos. Para calcular la potencia del inversor, se toma el momento más desfavorable del día, en el que hay más posibilidades de que se encuentren todos los grupos principales de consumo en funcionamiento. Este momento del día es por la noche debido a que las cargas de iluminación se encuentran activas, representando el mayor consumo de la instalación. No obstante, por la noche se prevén alcanzar temperaturas máximas de 30°C por lo que se estima que el inversor podrá proporcionar una potencia de salida de alrededor de 7000W. Pese a que este valor sigue siendo inferior a la potencia máxima calculada, también se prevé que el consumo de la bomba esté inactivo durante la noche, habiéndose ésta dimensionado para bombear el caudal diario requerido con la luz diurna disponible (el excedente se almacena en el depósito).

Durante el día, se podrá llegar a alcanzar temperaturas de hasta 50°C en la habitación donde se dispondrán los componentes de la instalación. En este caso, lo más acertado sería sustraer la potencia de iluminación y tomar como potencia máxima la siguiente:

$$P_{\text{inversor_día}} = P_{\text{tomas de fuerza}} + P_{\text{ventilador}} + P_{\text{bomba}} = 1587 + 90 + 728 = 2.405 \text{ kW}$$

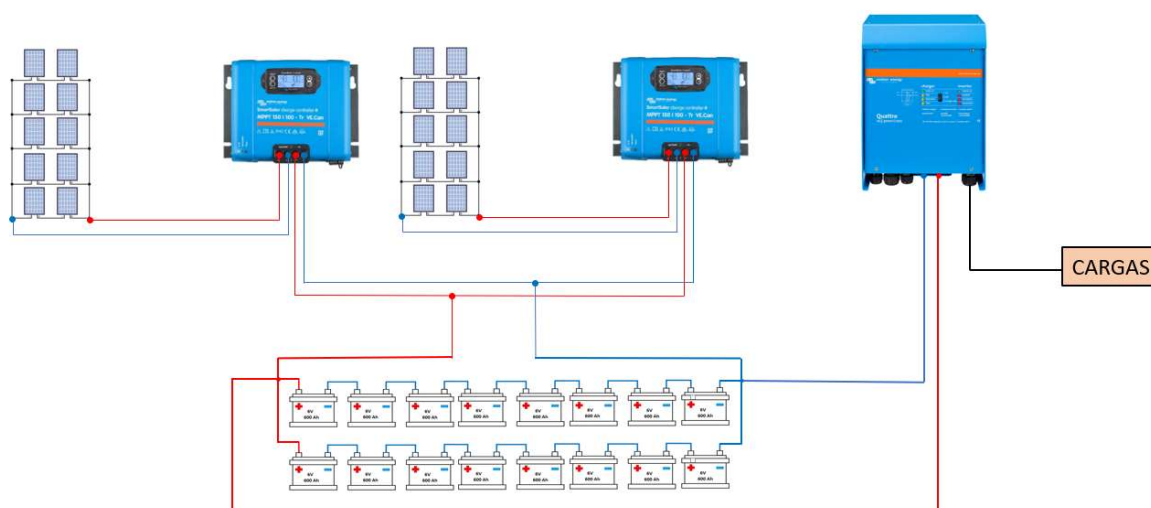
Con esto se comprueba que, a máxima temperatura, el inversor cubrirá las necesidades demandadas.

Cabe destacar que, el inversor escogido incluye en su interior un cargador de baterías. Esto se debe a que, los inversores de elevadas potencias que se ofrecen en el mercado vienen típicamente combinados con un cargador de baterías para mejorar las prestaciones de su uso en viviendas. En estos casos, se requiere de una fuente de energía que pueda utilizarse de manera continuada y el cargador de baterías permite disponer de una fuente de energía de apoyo mediante la conexión de un grupo electrógeno o incluso de la red eléctrica. Cuando la tensión de las baterías se encuentra por debajo de un límite establecido por el usuario, el cargador pone en marcha el generador eléctrico auxiliar. De este modo, se dispone de total autonomía en la instalación ante cualquier tipo de situación y es por esta razón por la cual estos inversores son los más solicitados en el mercado y de los que más oferta hay para su uso en sistemas fotovoltaicos solares con grandes prestaciones, como es el caso de este proyecto.

Hoy por hoy, esta funcionalidad adicional con la que cuenta el inversor no podría utilizarse en la instalación ya que no se dispone de un grupo electrógeno seguro que se pueda conectar. No obstante, en un futuro, esta función podría ser relevante si se contase con un grupo electrógeno fiable o incluso, si se llegase a electrificar la zona. En este caso, se podría conseguir una mayor independencia de la instalación capaz de mezclar dos fuentes diferentes de energía para lograr un sistema aislado sin cortes de energía.

El conexionado completo de la instalación es el siguiente:

Ilustración 33. Conexión entre componentes de la instalación



La salida del inversor se conecta directamente a las cargas de consumo. Además, el inversor se conecta a la salida de las baterías ya que se encarga de controlar que éstas no se descarguen en exceso.

Existen casos en los que la salida del regulador puede conectarse al inversor, pero, habrá que asegurar que el regulador soporta la carga de la potencia total del suministro eléctrico de los receptores en alterna. Por consiguiente, la intensidad máxima a la que deberá hacer frente el regulador a su salida deberá ser igual a la que soporta el inversor, y esta intensidad suele ser muy elevada. Esto supone que el regulador aumente considerablemente de precio o incluso, que no se llegue a encontrar reguladores con corrientes tan elevadas en el mercado. Por estos motivos, sólo es recomendable conectar el inversor directamente al regulador en instalaciones en alterna de poca potencia.

Al tratarse de una instalación que solicita una elevada cantidad de potencia, la configuración que mejor se adapta es la del inversor conectado directamente a la batería. En este caso, el regulador sólo tendrá que soportar la intensidad máxima de los módulos fotovoltaicos.

Todos los componentes de la instalación se alojan en un cuarto del edificio de dirección, en cuyo tejado se recuerda que se ubicarán los módulos fotovoltaicos. En este cuarto se instalará un cuadro principal en el cual se incluirán todas las protecciones necesarias para proteger los equipos. Se asegurará de que haya una correcta ventilación, por ello se ha considerado el consumo de un ventilado. Dicho cuarto también posibilita que los aparatos estén alejados de la luz solar directa, evitando así temperaturas extremas que puedan dañar el funcionamiento de los mismos.

6. Configuración de la red aislada

6.1. Conductores

El cableado de la instalación fotovoltaica deberá de cumplir con la normativa eléctrica vigente, minimizando las caídas de tensión. Además, el cable utilizado para alimentar la bomba sumergible deberá ser apropiado para tal fin. La protección del tipo de cable escogido deberá ser tal que resista las duras condiciones meteorológicas que se puedan tener (resistencia a impactos, temperaturas extremas, radiación solar ultravioleta...) ya que la calidad del material empleado de los cables condicionará también al correcto funcionamiento de los aparatos a los que alimentan.

Por ello, se van a emplear conductores de cobre con aislamiento XLPE que posee estas características: (i) servicio permanente de 90°C y (ii) cortocircuito de menos de 5 segundos hasta 250°C según la ITC-BT-07. Como se puede intuir, la principal ventaja que presentan estos cables con aislamiento XLPE (aislados en polietileno reticulado) es el aumento de la temperatura máxima de servicio (90°C frente a 70°C para PVC). Esto lleva a que el conductor será capaz de transportar mayor intensidad de corriente para una misma sección. Del mismo modo, permite tener una corriente de cortocircuito más elevada.

Los conductores eléctricos que se emplearán en la instalación serán de cobre por ser mejor conductor eléctrico que cualquier otro metal, por ofrecer mayor facilidad en el uso de soldaduras y empalmes y, finalmente, por requerir de mantenimiento preventivo y correctivo con menor periodicidad.

Estos conductores serán de tipo RZ1-K 0.6/1 kV y estarán dispuestos en el interior de un tubo de protección flexible conforme a la UNE-EN 50086-2-3 si estos se encuentran en el exterior, mientras que si los conductores están enterrados se asegurará que estos tubos cumplen la UNE-EN-50086-2-4.

Se escoge este tipo de conductor por su disponibilidad en el mercado y por su relevancia en este tipo de instalaciones. Destaca por su baja emisión de humos y gases corrosivos y por su adecuación en instalaciones tanto interiores como exteriores.

El dimensionado de los conductores se hará de tal manera que, en primer lugar, se cumpla el criterio de corriente máxima, para luego comprobar que la caída de tensión se encuentra dentro del rango admisible. En el caso de que no se cumpla el criterio de máxima caída de tensión, se procederá a aumentar la sección de los conductores.

Los cables se dimensionan conforme a lo estipulado en la instrucción ITC-BT-19 del REBT en lo relativo a corriente máxima y caída de tensión admisible.

6.1.1. Criterio de corriente máxima

Según el apartado 7-712 de la UNE 60364 que recoge los requisitos para sistemas de alimentación fotovoltaica (FV), el cable en cuestión debe de presentar una intensidad máxima admisible un 25% mayor que la máxima intensidad que puede darse en dicho tramo (corriente de cortocircuito).

$$I_o \geq 1.25 \cdot I_{max}$$

De igual forma, se deberá de comprobar que la temperatura del conductor del cobre no excede los 90°C.

$$T = T_0 + (T_{max} - T_0) \cdot \left(\frac{I}{I_{max}} \right)^2$$

Donde,

T es la temperatura del cable (°C)

T_0 es la temperatura ambiente (°C)

T_{max} es la temperatura máxima admisible del aislamiento (°C)

I es la intensidad a máxima potencia que circula por el conductor (A)

I_{max} es la intensidad máxima admisible por el conductor (A)

6.1.2. Criterio de máxima caída de tensión

El conductor deberá cumplir también el valor máximo de caída de tensión establecida en el tramo de cableado que se está dimensionando.

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot \rho_{\theta}}{\frac{\Delta V(\%)}{100} \cdot V}$$

Donde,

L es la longitud del conductor (m)

I es la intensidad máxima de cálculo que recorre al conductor (A). Esta corriente hace referencia a la prevista en el punto de funcionamiento habitual del circuito.

V es la tensión a máxima potencia (V). De nuevo, es tensión en el punto de operación habitual del circuito.

ΔV es la caída de tensión máxima admisible (V)

ρ_{θ} es la resistividad a temperatura del conductor (mm^2/m)

La resistividad del conductor se calcula con la siguiente fórmula:

$$\rho_{\theta} = \rho_{20^{\circ}C} \cdot (1 + \alpha \cdot (\theta - 20))$$

Donde:

$$\rho_{20^{\circ}C_{cobre}} = 0,0172$$

$$\alpha_{cobre} = 0,00393$$

θ = Temperatura del conductor ($^{\circ}C$), previamente calculada.

En cuanto a los valores de caída de tensión máxima en valor porcentual, la ITC-BT-40 (Instalaciones generadoras de Baja Tensión) dicta que la caída de tensión entre el generador y el punto de interconexión a la instalación interior no debe de ser superior al 1,5%. A su vez, el IDAE (Pliego de Condiciones Técnicas para instalaciones de energía solar fotovoltaica) fija unos valores de caída de tensión máxima admisible recomendables según el subsistema a analizar:

Tabla 21. Valores de caída de tensión recomendables

Subsistema	Caída de tensión máxima recomendada
Módulos – Regulador	1%
Regulador – Baterías	0.5%
Baterías – Inversor	1%
Inversor – Cargas	1.5%

Serán estos valores los que se tomarán a la hora de dimensionar el cableado.

Como bien se ha ido recordado a lo largo de este documento, el sistema de bombeo solar que se lleva a cabo en este trabajo se diseña de forma conjunta con el proyecto de la instalación eléctrica del colegio.

Como bien se había visto en el apartado en el que se dimensionan los elementos de la instalación fotovoltaica, se decidió considerar a la motobomba como una carga más que tener en cuenta en la instalación eléctrica. Por tanto, los cables del conjunto módulos – regulador – baterías – inversor se dimensionarán para que sean capaces de transportar la suma de potencias requeridas para cada receptor conectado a dicha línea.

Los tramos que se deben de dimensionar son los siguientes:

Tabla 22. Tramos de la instalación a dimensionar

Cableado		
Inicio	Final	
String	Caja de protecciones fusibles	
Caja de protecciones fusibles	Repartidor de corriente	
Repartidor de corriente	Cuadro principal CC	Tramo 1
		Tramo 2
Cuadro principal	Regulador	
Regulador	Conector	
Conector	Batería	
Batería	Inversor	
Inversor	Cuadro principal CA	
Cuadro Principal CA - Unidad de control	Bomba	Tramo 1
		Tramo 2
		Tramo 3

Los tramos de cables en corriente continua estarán compuestos por dos conductores activos (positivo y negativo) mientras que los tramos de cables en corriente alterna constarán de un conductor activo (la fase) más el neutro.

Además, se dispondrá de un conductor de protección en ambos sistemas (continua y alterna) que tendrá como función asegurar la protección y seguridad de la propia instalación. Este cable servirá para conectar todas las masas metálicas de la instalación con el sistema de tierra (detallado en el apartado de protecciones) con la finalidad de evitar que aparezcan diferencias de potenciales peligrosas, además de garantizar la descarga a tierra de corrientes de defecto.

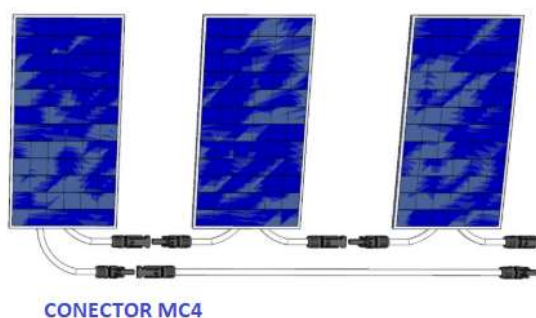
Antes de pasar a calcular las secciones de los cables, se procede a detallar algunos de los tramos de conexionado que posiblemente llevan a mayor confusión. No obstante, más adelante, se muestra un esquema del conexionado de la instalación completa (véase Ilustración 38 o apartado de Planos).

6.2. Conexionado de los circuitos

6.2.1. Interconexión entre módulos fotovoltaicos

La interconexión entre los distintos módulos conectados en serie se hará según viene indicado en las especificaciones de los módulos. Éstos disponen de dos cajas de conexión estancas, preparadas para ubicarse al intemperie, situadas en los dos laterales del módulo, por las que salen de cada una de ellas uno de los polos de cableado. Los cables tienen 4 mm² de sección y ya vienen con conectores de tipo MC4 en sus extremos que facilitan la conexión en serie de los paneles. Estos módulos pueden solicitarse con una longitud de cable de 1,4 metros por lo que no será necesario recurrir a más cable.

Ilustración 34. Conexionado entre módulos fotovoltaicos

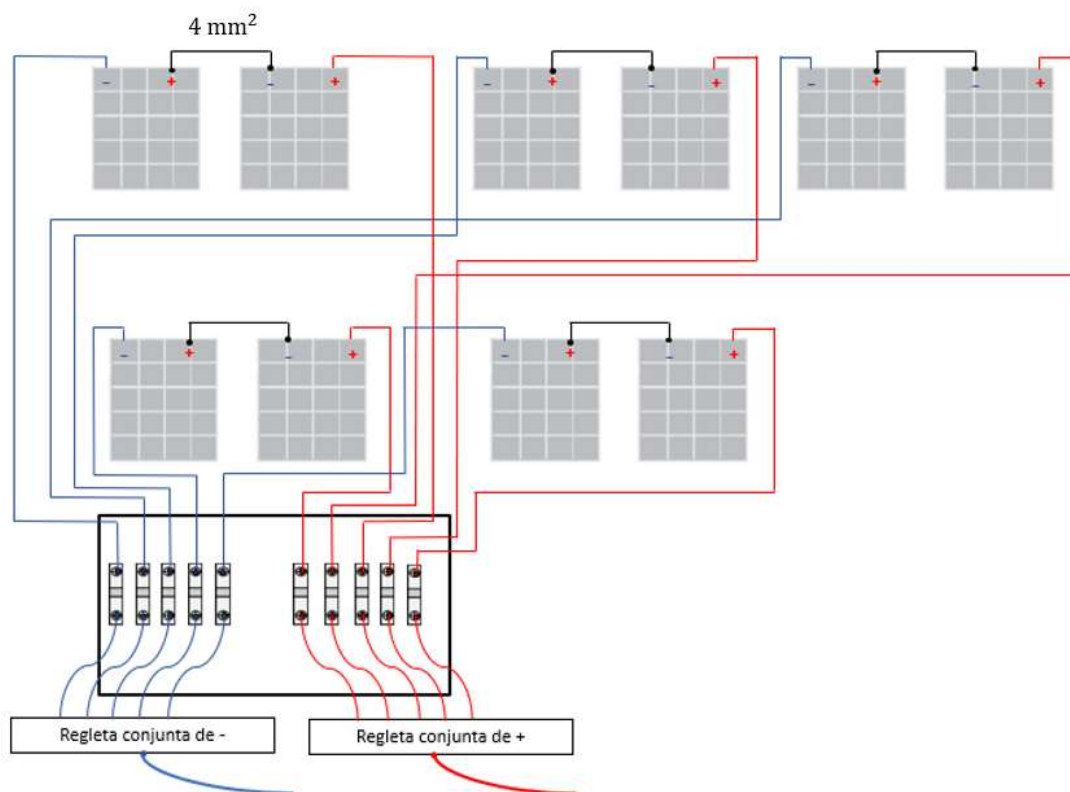


6.2.2. Conexión strings – caja de protecciones de fusibles

Este tramo transcurre entre la salida de cada uno de los strings (compuesto por 2 módulos en serie) que componen un subgrupo fotovoltaico (5 strings de 2 módulos en serie) y la caja de protecciones donde se alojan los fusibles encargados de proteger cada uno de estos ramales por separado. Por tanto, se instalarán en total 2 cajas de protecciones cercanas a cada subgrupo. A cada caja llegarán 10 conductores, 5 correspondientes a los polos positivos de cada string y otros 5 correspondientes a los polos negativos, por lo que cada conductor irá protegido por un

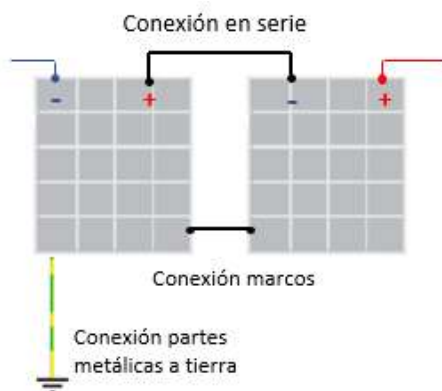
fusible distinto. A la salida de la caja de fusibles, se empleará un repartidor de corriente que se encargará de unificar los cables del mismo polo. A partir del repartidor, se sacarán dos conductores (1 positivo y 1 negativo) por cada subgrupo, con los que se irá hacia el regulador de carga correspondiente.

Ilustración 35. Conexión strings - caja de protecciones



Las partes metálicas del soporte de los módulos de cada subcampo fotovoltaico irán interconectadas mediante un conductor de protección que irá agrupado en un mismo cable multiconductor con los conductores activos de cada subcampo. Estos cables bajarán por la pared vertical del edificio hasta llegar al cuadro principal de protecciones situado en el cuarto donde se alojan los demás componentes de la instalación.

Ilustración 36. Conexión a tierra partes metálicas de los módulos



6.2.3. Conexión al cuadro principal de continua

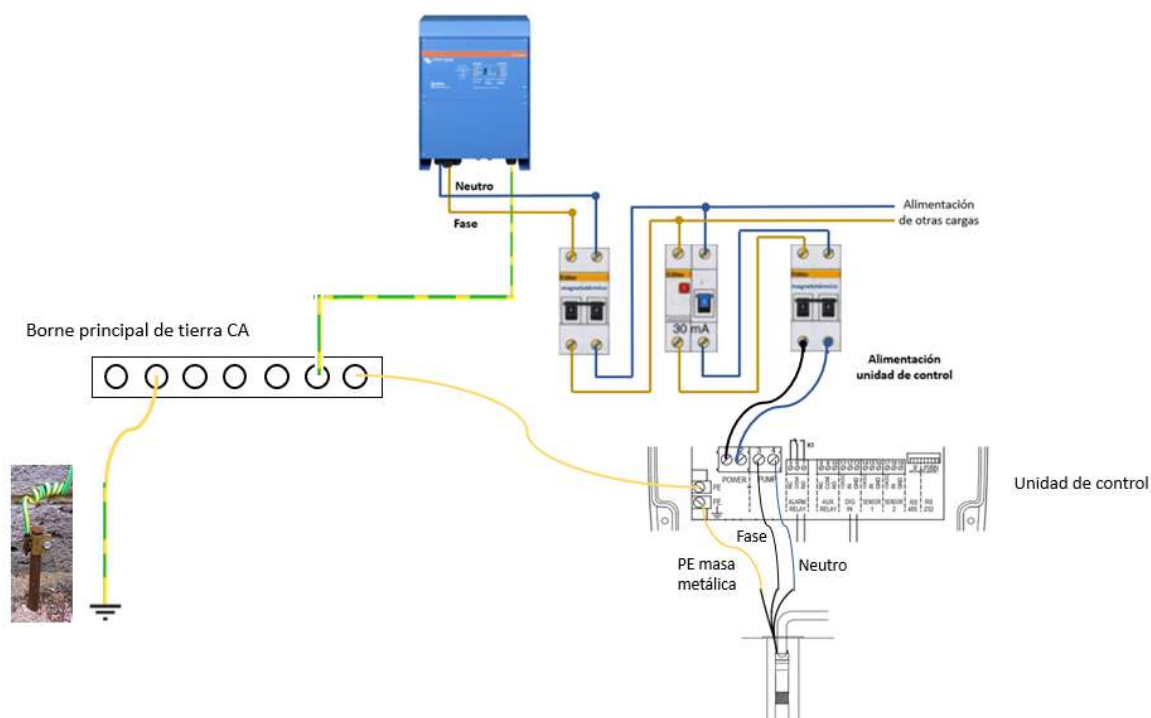
Este tramo transcurre entre la salida del repartidor de corriente hasta el cuadro principal de continua en el que se alojan los elementos de protección de los componentes en continua. El cuadro recibe cuatro conductores activos, dos de polaridad positiva y dos de polaridad negativa, procedentes del generador fotovoltaico, además de los dos conductores de protección. El cuadro se empotrará a la pared, para que el cuarto donde se alojan los dispositivos esté lo más recogido y protegido posible. Del cuadro saldrán 4 conectores que irán a alimentar a los reguladores.

6.2.4. Conexión inversor – cuadro de protecciones de corriente alterna

El cuadro de protecciones de corriente alterna irá empotrado a la pared, igual que lo hace el cuadro de continua. Estarán dispuestos uno al lado del otro. El cuadro recibirá dos conductores (fase y neutro) procedentes de la salida del inversor, además del conductor de protección que se enlazará al punto en común de tierra dispuesto en el cuadro y que enlazará con la puesta a tierra de corriente alterna.

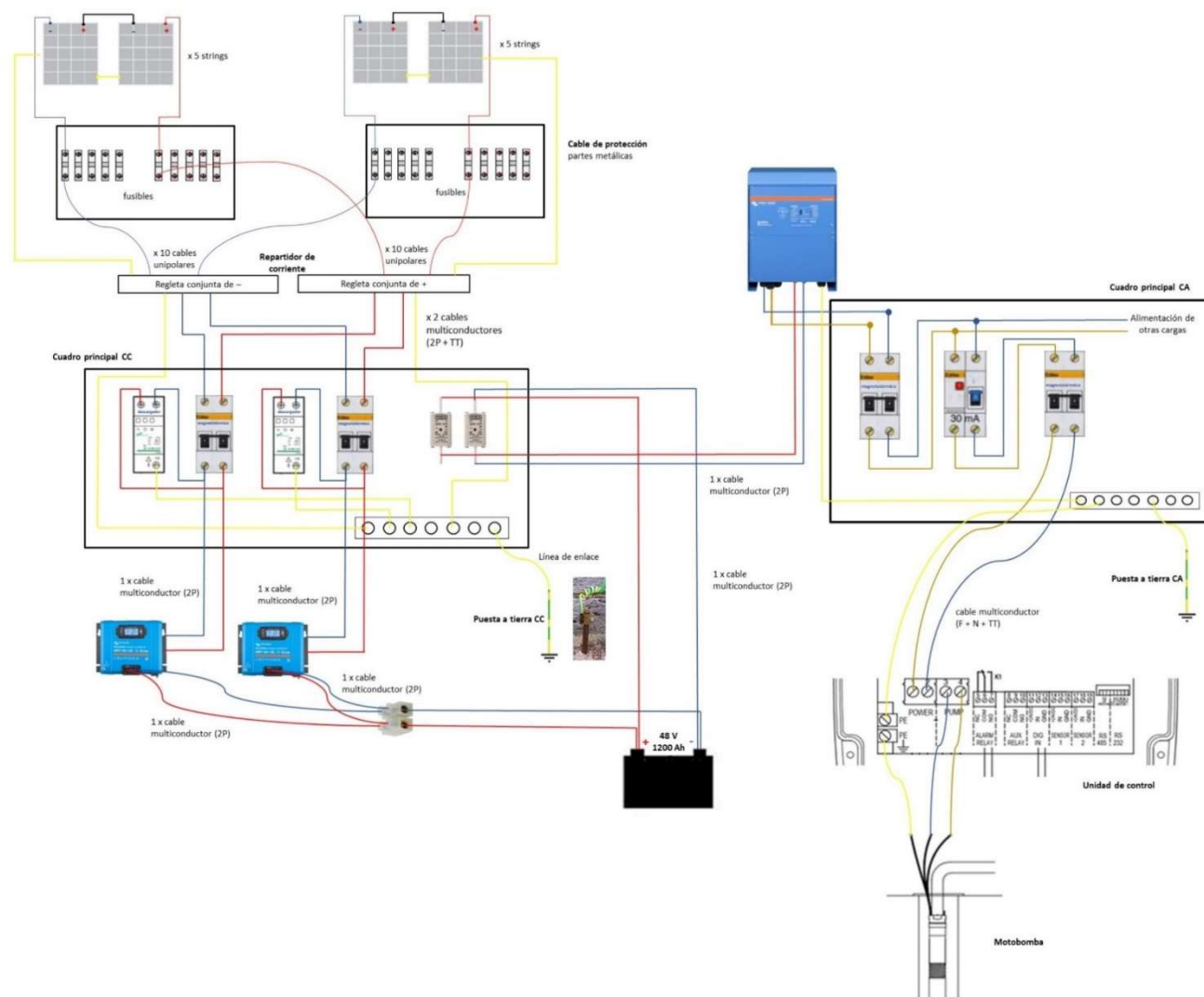
La línea de alimentación de la motobomba que sale del cuadro se dirigirá a alimentar a la unidad de control de la misma, a la que se le llevará el conductor de la fase y la tierra (tomada del bornero de puesta a tierra) que parten desde la salida del magnetotérmico asignado a la motobomba.

Ilustración 37. Conexión hasta alimentación de la motobomba



A continuación, se adjunta un esquema en el que viene representado el conexionado de la instalación completa.

Ilustración 38. Conexionado sistema solar fotovoltaico



6.3. Cálculo cableado corriente continua

A modo de ejemplo, se van a explicar los pasos que se han seguido para calcular la sección de los conductores que van desde el repartidor de corriente hasta los reguladores (pasando por el cuadro principal de protecciones). Para los demás tramos, se deberá de seguir el mismo procedimiento.

Se recuerda que, al tener la instalación dos reguladores, cada uno estará alimentado por 5 strings que constan de 2 módulos en serie. Las dos líneas serán idénticas y finalizarán en el cuarto de dirección donde se encuentran los reguladores, además de todos los demás componentes de la instalación.

Las condiciones de la instalación que influirán en el cálculo de este conexionado son las siguientes:

- Tipo de cable: cobre XLPE
- Temperatura ambiente: 50°C
- Tipo de montaje: se tiene un montaje mixto
 - Montaje tipo C: para el tramo en el que el conductor está al aire, éste irá protegido dentro de un tubo flexible para evitar daños mecánicos.
 - Montaje tipo B1: para el tramo que discurre desde el tejado al cuadro principal (y luego al regulador), en el que el conductor irá empotrado bajo tubo en pared.

6.3.1. Cálculo de sección por intensidad máxima admisible

Como se ha precisado antes, el cable deberá de soportar el 125% de la intensidad máxima que pueda pasar por el cable, siendo ésta la intensidad de cortocircuito del string. Esta corriente ya se calculó y resultaba valer 54,9 A.

$$I_o = 1,25 \cdot I_{sc_{FV}} = 1,25 \cdot 54,9 = \mathbf{68,625\ A}$$

Con este valor, se entra a la tabla de intensidades máximas admisibles según los diferentes tipos de cable y los métodos de instalación de referencia (UNE-HD 60.364-5-52).

Tabla 23. Intensidades admisibles para cables con conductores de cobre, no enterrados. Temperatura ambiente 40°C en el aire

A1		PVC 3	PVC 2				XLPE 3	XLPE 2											
A2	PVC 3	PVC 2			XLPE 3		XLPE 2												
B1				PVC 3	PVC 2					XLPE 3					XLPE 2				
B2			PVC 3	PVC 2				XLPE 3		XLPE 2									
C						PVC 3				PVC 2			XLPE 3				XLPE 2		
E							PVC 3					PVC 2				XLPE 3		XLPE 2	
F										PVC 3					PVC 2		XLPE 3	XLPE 2	XLPE 2
1	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	9a	9b	10a	10b	11	12	13	
Sección mm ²																			
Cobre																			
1,5	11	11,5	12,5	13,5	14	14,5	15,5	16	16,5	17	17,5	19	20	20	20	21	23	—	
2,5	15	15,5	17	18	19	20	20	21	22	23	24	26	27	26	28	30	32	—	
4	20	20	22	24	25	26	28	29	30	31	32	34	36	36	38	40	44	—	
6	25	26	29	31	32	34	36	37	39	40	41	44	46	46	49	52	57	—	
10	33	36	40	43	45	46	49	52	54	54	57	60	63	65	68	72	78	—	
16	45	48	53	59	61	63	66	69	72	73	77	81	85	87	91	97	104	—	
25	59	63	69	77	80	82	86	87	91	95	100	103	108	110	115	122	135	146	
35	—	—	—	95	100	101	106	109	114	119	124	127	133	137	143	153	168	182	
50	—	—	—	116	121	122	128	133	139	145	151	155	162	167	174	188	204	220	
70	—	—	—	148	155	155	162	170	178	185	193	199	208	214	223	243	262	282	
95	—	—	—	180	188	187	196	207	216	224	234	241	252	259	271	298	320	343	
120	—	—	—	207	217	216	226	240	251	260	272	280	293	301	314	350	373	397	
150	—	—	—	—	—	247	259	276	289	299	313	322	337	343	359	401	430	458	
185	—	—	—	—	—	281	294	314	329	341	356	368	385	391	409	460	493	523	
240	—	—	—	—	—	330	345	368	385	401	419	435	455	468	489	545	583	617	

Tramo aéreo $I_{\text{max,admisible}} (16 \text{ mm}^2, 2 \times \text{XLPE}) = 97 \text{ A}$

Tramo empotrado $I_{\text{max,admisible}} (16 \text{ mm}^2, 2 \times \text{XLPE}) = 91 \text{ A}$

Sin embargo, a esta intensidad máxima se le deben de aplicar los factores de corrección pertinentes y estos son:

- Por **acción solar**: ya que la temperatura del aire considerada para el cálculo es de 50°C frente a los 40°C para los cuales está calculada la corriente máxima en la citada norma UNE. En la UNE-HD 60.364-5-52 aparecen factores por temperatura ambiente distinta a 40°C:

Tabla 24. Factor de corrección por temperatura para cables no enterrados

Tª terreno (°C)	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Tª servicio 90 °C	1,27	1,22	1,16	1,14	1,10	1,05	1,00	0,93	0,90	0,84	0,77
Tª servicio 70 °C	1,41	1,35	1,29	1,22	1,15	1,08	1,00	0,91	0,81	0,71	0,58

Según la Tabla 24, el factor de corrección para una temperatura de 50°C y teniendo un cable con aislamiento XLPE (temperatura de servicio de 90°C) resulta ser 0,90.

- Por **agrupamiento de cables multiconductores**: en una misma envoltente se tendrán 2 cables multiconductores, cada uno de ellos con dos conductores activos (Tabla .52.3 UNE-HD 60.364-5-52).

Tabla 25. Factores de reducción para agrupamiento de varios circuitos

PUNTO	DISPOSICIÓN	NÚMERO DE CIRCUITOS O CABLES MULTICONDUCTORES									INSTALACIÓN TIPO
		1	2	3	4	6	9	12	16	20	
1	Agrupados al aire, en una superficie, empotrados o en el interior de una envoltente.	1,0	0,80	0,70	0,70	0,55	0,50	0,45	0,40	0,40	AaF
2	Capa única sobre los muros o los suelos o bandejas no perforadas.	1,00	0,85	0,80	0,75	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	C
3	Capa única fijada al techo.	0,95	0,80	0,70	0,70	0,65	0,60	0,60	0,60	0,60	
4	Capa única sobre bandejas perforadas horizontales o verticales.	1,0	0,90	0,80	0,75	0,75	0,70	0,70	0,70	0,70	EyF
5	Capa única sobre escaleras de cables, abrazaderas, soportes, bridas de amarre, etc.	1,0	0,85	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	

Aplicando los factores, se tiene:

Tramo aéreo $I_{\max, \text{admisible}} (16 \text{ mm}^2, 2 \times \text{XLPE}) = 97 \text{ A} \cdot 0,90 \cdot 0,80 = 69,84 \text{ A} > 68,625 \text{ A}$

Tramo empotrado $I_{\max, \text{admisible}} (16 \text{ mm}^2, 2 \times \text{XLPE}) = 91 \text{ A} \cdot 0,90 \cdot 0,80 = 65,52 \text{ A} < 68,625 \text{ A}$

Se comprueba que el tramo empotrado no cumple, por lo que se debe de aumentar la sección del cable. Además, se puede observar que el valor de la corriente máxima admisible después de aplicar los factores en el tramo aéreo es muy próximo a la que posiblemente circule por el cable, por lo que también se considera un motivo por el que hay que aumentar la sección.

La solución que finalmente queda es:

Tramo aéreo $I_{\max, \text{admisible}} (25 \text{ mm}^2, 2 \times \text{XLPE}) = 122 \text{ A} \cdot 0,90 \cdot 0,80 = 87,84 \text{ A} > 68,625 \text{ A}$

Tramo empotrado $I_{\max, \text{admisible}} (25 \text{ mm}^2, 2 \times \text{XLPE}) = 115 \text{ A} \cdot 0,90 \cdot 0,80 = 82,80 \text{ A} > 68,625 \text{ A}$

A continuación, se procede a comprobar que la temperatura en el cable debida a la intensidad que proporciona el módulo a máxima potencia (I_{mp_FV}) no excede la temperatura de servicio del aislamiento XLPE.

Mientras que la sección del cable se calcula con la intensidad de cortocircuito, dándose ésta en situaciones puntuales, la comprobación de la temperatura del cable se realiza con la intensidad entregada por los módulos cuando éstos se encuentran trabajando a potencia nominal.

Tramo aéreo
$$T = T_0 + (T_{max} - T_0) \cdot \left(\frac{I}{I_{max}} \right)^2 = 20 + (90 - 20) \cdot \left(\frac{52,1}{87,84} \right)^2 = 44,626 < 90^\circ C$$

Tramo empotrado
$$T = T_0 + (T_{max} - T_0) \cdot \left(\frac{I}{I_{max}} \right)^2 = 20 + (90 - 20) \cdot \left(\frac{52,1}{82,80} \right)^2 = 47,715 < 90^\circ C$$

Se concluye que un conductor de sección 25 mm² es válido para ambos tramos ya que se cumple la intensidad máxima admisible, viéndose que el tramo empotrado es más restrictivo que el aéreo ya que dispone de menor intensidad admisible para el mismo valor de sección.

6.3.2. Cálculo de sección por caída de tensión

A continuación, se debe de comprobar que la sección obtenida previamente garantiza una caída de tensión límite. Sabiendo que la IDAE establece una caída de tensión máxima entre módulos y regulador de 1% y que se prevé que la longitud más desfavorable de la línea sea de 2,4 metros para el tramo 1 y 4,8 metros para el tramo 2 (incluido un factor de seguridad de 20%), se obtiene la siguiente sección:

Tramo aéreo	$\rho_\theta = \rho_{20^\circ C} \cdot (1 + \alpha \cdot (\theta - 20)) = 0,0172 \cdot (1 + 0,00393 \cdot (44,626 - 20)) = 0,0189 \text{ mm}^2/m$
	$S = \frac{2 \cdot L \cdot I_{mp} \cdot \rho_\theta}{\frac{\Delta V(\%)}{100} \cdot V_{mp}} = \frac{2 \cdot 2,4 \cdot 52,1 \cdot 0,0191}{\frac{1}{100} \cdot 77,8} \approx 10 \text{ mm}^2$
Tramo empotrado	$\rho_\theta = \rho_{20^\circ C} \cdot (1 + \alpha \cdot (\theta - 20)) = 0,0172 \cdot (1 + 0,00393 \cdot (47,715 - 20)) = 0,0191 \text{ mm}^2/m$
	$S = \frac{2 \cdot L \cdot I_{mp} \cdot \rho_\theta}{\frac{\Delta V(\%)}{100} \cdot V_{mp}} = \frac{2 \cdot 4,8 \cdot 52,1 \cdot 0,0193}{\frac{1}{100} \cdot 77,8} \approx 16 \text{ mm}^2$

De nuevo, la corriente y tensión máxima que atraviesa el cable corresponden al punto de trabajo en el que los módulos se encuentran operando a máxima potencia. Como se puede ver, se elige la sección normalizada inmediatamente superior al valor obtenido.

Finalmente, se escoge la sección más desfavorable obtenida con ambos criterios. Por tanto, se obtiene una sección mínima de cable de 25 mm² para unir cada grupo de módulos con su correspondiente regulador.

Para calcular las secciones de los conductores de los demás tramos de la instalación se seguirán los mismo pasos que se han detallado previamente. Cabe destacar que el tramo en alterna, circuito que tiene como punto de inicio el inversor y termina alimentando la bomba, constará únicamente de un conductor activo, siendo éste la fase, y un conductor de protección, el neutro.

Como ya se ha mencionado, los dispositivos de la instalación (reguladores, baterías, inversor y unidad de control de la bomba) se encontrarán en el interior del edificio de dirección. Al tratarse de un cuarto de pequeñas dimensiones, todos ellos irán dispuestos unos al lado de otros. No obstante, se mantendrá una distancia de seguridad entorno a medio metro entre componentes consecutivos, para evitar que los gases que desprenden las baterías dañen los demás dispositivos y circuitos. La distancia de cable entre aparatos será relativamente corta, por lo que aplicando la fórmula de máxima caída de tensión, se obtendrá una sección considerablemente pequeña. Se deberá de tener en cuenta que, en ningún caso, se recomienda emplear secciones inferiores a 4 mm². En este aspecto, son muchos los fabricantes que ya indican en las especificaciones del componente la sección mínima del cable a emplear.

6.4. Cálculo cableado corriente alterna: Cuadro principal alterna – bomba

Puesto que el caso que mayoritariamente ocupa este proyecto es el de la instalación de bombeo solar, se considera importante detallar la configuración del cableado de alimentación de la bomba sumergible.

La salida del inversor se dirigirá al cuadro principal de alterna, en el que se alojan las protecciones de las cargas que alimentar. Desde ahí, la línea de alimentación de la bomba se conectará a la unidad de control de la misma, para finalmente terminar alimentando a la bomba que se encuentra sumergida bajo tierra. A la salida de la unidad de control, los conductores discurrirán bajo tubo, a ras del suelo, anclados a la pared mediante abrazaderas, en la bajada al terreno. Luego, irán enterrados bajo tubo a 0,50 metros desde el cuarto de equipos hasta la camisa de la motobomba, bajando por el pozo hasta llegar a los terminales de alimentación de la misma, que se encuentran a 11 metros de profundidad.

Se destacan tres modos de instalación distintos, siendo estos:

- **Tramo 1:** Bajada al terreno desde la unidad de control. Este montaje será de tipo B2 ya que se trata de cables multiconductores alojados en tubos sobre la pared. La norma de aplicación será la UNE-HD 60.364-5-52, recogida en la sección 19 de la ITC-BT.
- **Tramo 2:** Discurre desde la salida del edificio hasta el lugar de perforación del pozo. Los conductores irán enterrados bajo tubo a una profundidad de 0,50 metros. El cálculo de sección de los conductores en este tramo se hará conforme a la ITC-BT-07 (Redes

Subterráneas en Baja Tensión) con la salvedad de que se deberá de aplicar un factor de corrección por resistividad del terreno y temperatura del terreno distintas a la estándar (1,5 K·m/W y 25°C, respectivamente). También se deberá de tener en cuenta que los conductores de cobre empleados en esta instalación no podrán tener una sección inferior a 6 mm² de acuerdo con lo establecido por la ITC-BT-07. La norma aplicada en este tramo es la UNE 211435 ya que se trata de cables enterrados.

- **Tramo 3:** Bajada por el pozo, los conductores irán sumergidos en agua hasta llegar a la bomba. Habrá que asegurar que los conductores empleados son adecuados para alimentar motores eléctricos sumergibles en agua. En este caso en particular, la norma UNE-HD 60.364-5-52 que es la que recoge la ITC-BT-19 y es la que se ha estado aplicando hasta ahora, no recoge intensidades máximas admisibles para el modo de instalación de conductores de bombas sumergibles. Por ello, la sección se calculará según viene en la ficha técnica de especificaciones de la propia bomba, proporcionado por su fabricante, *Grundfos*, en la que se indica que se emplee el método de caída de tensión máxima.

Los conductores empleados en estos tramos seguirán siendo del tipo RZ1 – K con aislamiento XLPE y una tensión asignada 0,6/1 kV.

Para el tramo 1 y 2, como se ha visto en el ejemplo anterior, se procede, en primer lugar, a calcular la sección por intensidad máxima admisible y luego, por caída de tensión máxima.

6.4.1. Cálculo de sección para el tramo motobomba

El conductor deberá de soportar la intensidad máxima que puede llegar a consumir la bomba a máxima potencia, siendo ésta 5,2 A. Esta corriente se incrementará en un 125% a la temperatura de régimen permanente para aplicar la fórmula de máxima corriente admisible, y resulta valer:

$$I_o = 1,25 \cdot I_{m\acute{a}x_bomba} = 1,25 \cdot 5,2 = 6,5 \text{ A}$$

Para determinar la intensidad máxima admisible por el conductor, se emplean las tablas relevantes para cada modo de instalación. Como se ha especificado anteriormente, para el tramo 1, se recurre a la Tabla 23 a la que también se acoge el circuito previamente calculado (módulos – regulador). En cambio, para el tramo 2, se empleará la tabla atribuida al cálculo de secciones para conductores enterrados, cuyo contenido está basada en la UNE 211435 (Tabla 26).

Tabla 26. UNE 211435 Intensidad máxima admisible para cables de tipo XZ1 de 0,6/1 kV

Sección mm ²	Directamente soterrados (1)	En tubular soterrada (2)	Al aire, protegido del sol (1)
ALUMINIO			
25	35	82	88
50	135	115	125
95	200	175	200
150	260	230	290
240	340	305	390
COBRE			
25	125	105	115
50	185	155	185
95	260	225	285
150	340	300	390
240	445	400	540

Tramo 1	UNE-HD 60.364-5-52	$I_{\max, \text{admisible}}(\text{B2,2xXLPE}) > I_o \rightarrow$
		$I_{\max, \text{admisible}}(4 \text{ mm}^2) = 32 \text{ A} > 6,5 \text{ A}$
Tramo 2	UNE 211435	$I_{\max, \text{admisible}}(\text{En tubo soterrado, cobre}) > I_o \rightarrow$
		$I_{\max, \text{admisible}}(25 \text{ mm}^2) = 105 \text{ A} > 6,5 \text{ A}$

Como se puede observar, existe una considerable diferencia entre la sección requerida para el tramo que discurre por la superficie del cuarto y el tramo que va soterrado hasta el pozo. Si uno se atuviese a la UNE 211435, la sección mínima permitida del conductor debería ser de 25 mm². Sin embargo, parece excesivo emplear una sección de estas dimensiones, diseñadas para soportar corrientes de hasta 105 A, cuando en realidad, circularán corrientes del orden de los 5 amperios. Por ello, se decide que, dadas las características de este proyecto, lo más adecuado sea emplear una sección máxima de 6 mm² para este tramo. Estas secciones llegan a soportar intensidades de hasta 70 amperios, más que suficiente para atender a las necesidades de la instalación. Por defecto, se coge la intensidad máxima soportada por un cable de 6 mm² con aislamiento XLPE indicada en la norma UNE 20435, anterior a la que se está empleado.

Una vez determinadas las secciones mínimas requeridas, se procede a aplicar factores de corrección para el tramo 2. En tal caso, se aplicará un factor de corrección por resistividad térmica del terreno distinta a 1,5 K·m/W, otros dos factores de corrección por temperatura del terreno y del ambiente distinta de 25°C y, por último, un factor de corrección por soterrar los conductores a una profundidad inferior a 0,7 m. A continuación, se indican las correcciones aplicadas y las fuentes de donde se han obtenido.

Tabla 27. Correcciones aplicadas para el tramo enterrado hasta la motobomba

Temperatura ambiente 45°C	0,83	Tabla A.52 UNE 211435-5-523
Temperatura terreno 40°C	0,88	Tabla A.5 UNE 211435
Resistividad térmica terreno 2 K·m/W Cables instalados en tubos soterrados	0,93	Tabla A.6 UNE 211435
Profundidad instalación 0,5 m en tubo	1,03	Tabla A.7 UNE 211435

Para establecer el valor de la resistividad térmica del terreno, se hace uso de la Tabla 28 asociada a la ITC-BT-19 para seleccionar la resistividad más conveniente, en función de la descripción de terreno que se asemeje más al de la zona.

Tabla 28. Resistividad térmica del terreno en función de su naturaleza y humedad

Resistividad térmica del terreno (K.m/W)	Naturaleza del terreno y grado de humedad
0,40	Inundado
0,50	Muy húmedo
0,70	Húmedo
0,85	Poco húmedo
1,00	Seco
1,20	Arcilloso muy seco
1,50	Arenoso muy seco
2,00	De piedra arenisca
2,50	De piedra caliza
3,00	De piedra granítica

Sustituyendo valores en las fórmulas correspondientes al criterio de máxima intensidad admisible y máxima caída de tensión y siguiendo los mismos pasos que para el caso anterior, se obtienen los siguientes valores de sección:

Tabla 29. Valor sección recorrido hasta motobomba

	Sección (mm²)	
	Criterio máxima intensidad	Criterio caída de tensión
Tramo 1	4	4
Tramo 2	6	6
Tramo 3		4

La sección mínima a utilizar por ser el valor más desfavorable obtenido sería 6 mm².

En los demás tramos de corriente alterna, se ha calculado la corriente que circula por el tramo en cuestión a partir de la potencia. Como se trata de líneas monofásicas, la fórmula empleada ha sido la siguiente:

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi}$$

Donde,

I es la intensidad empleada para calcular la sección del tramo (A).

U es la tensión del tramo (V).

$\cos \varphi$ es el factor de potencia. Se tomará como valor 0,9, a excepción del circuito de la motobomba, que por indicaciones del fabricante se toma el valor 1.

A continuación, se adjunta una tabla en la que viene reflejada la sección asignada a cada tramo de la instalación (véase con más detalla el apartado Anexos).

Tabla 30. Composición de los cables según el tramo de la instalación

Cableado			Composición del cable (mm2)
Inicio	Final		
String	Caja de protecciones fusibles		20 x (1x6) + TT
Caja de protecciones fusibles	Repartidor de corriente		20 x (1x6)
Repartidor de corriente	Cuadro principal CC	Tramo 1	2 x (2x25) + TT
		Tramo 2	
Cuadro principal	Regulador		2 x (2x16)
Regulador	Conector		2 x (2x16)
Conector	Batería		1 x (2x35)
Batería	Inversor		1 x (2x70)
Inversor	Cuadro principal CA		1 x (1x6 + 1x6) + TT
Cuadro Principal CA	Unidad de control - Bomba	Tramo 1	1 x (1x6 + 1x6) + TT
		Tramo 2	
		Tramo 3	

7. Protecciones

Como en toda instalación eléctrica, se instalarán protecciones eléctricas con el fin de garantizar la seguridad de las personas y evitar daños en los componentes eléctricos.

Según el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red (IDEA), se debe de garantizar que:

- Todas las instalaciones con tensiones nominales superiores a 48 voltios contarán con una toma de tierra a la que estará conectada, como mínimo, la estructura soporte del generador y los marcos metálicos de los módulos.
- El sistema de protecciones asegurará la protección de las personas frente a contactos directos e indirectos.
- La instalación estará protegida frente a cortocircuitos, sobrecargas y sobretensiones.

7.1. Conductores de protección

Como ya se ha mencionado, la instalación dispondrá de un cable adicional, además de los cables activos, que será el cable de protección. Se recuerda que este cable se emplea para conectar las masas metálicas de la instalación con el sistema de puesta a tierra con el fin de evitar diferencias de potencial y descargar a tierra posibles corrientes de defecto que apareciesen en la instalación.

Este cable será del mismo material que los conductores activos utilizados en la instalación, por lo que será de cobre. Para determinar la sección del conductor de protección se aplica lo indicado en la norma UNE-HD 60.364-5-54, en la que se incluye una tabla que fija la sección mínima del conductor de protección en función de la sección de los conductores activos.

Tabla 31. Relación entre conductores de protección y activos según norma UNE – HD 60.364-5-54

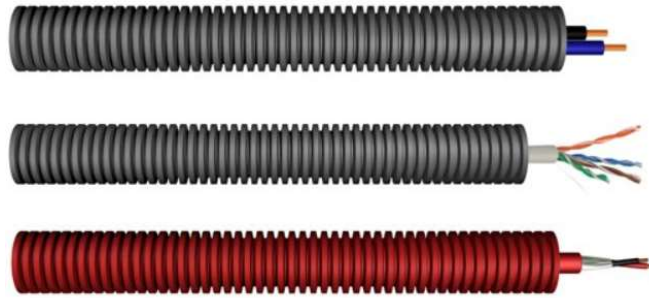
Secciones de los conductores de fase o polares de la instalación (mm ²)	Secciones mínimas de los conductores de protección (mm ²)
$S \leq 16$	$S (*)$
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$S/2$

7.2. Tubos protectores

De acuerdo con la ITC-BT-24, será necesario proteger a las personas de contactos directos con partes activas de los materiales y de los equipos, considerando partes activas los conductores bajo tensión en funcionamiento normal. Las partes activas se recubrirán por medio de un aislamiento apropiado, que sea capaz de mantener su propiedades a lo largo del tiempo y que limite la corriente de contacto a un valor no superior a 1 mA. Para ello, en prácticamente todos los tramos de cableado, los conductores irán introducidos en envoltentes, más concretamente tubos de PVC corrugados ya que se utilizan muy a menudo en las instalaciones eléctricas, además de ser muy asequibles. La misión principal de estos tubos es proteger a los conductores de cualquier daño o desgaste externo, además de contribuir a una configuración más ordenada del cableado de la instalación.

La sección de estos tubos viene determinada por la ITC-BT-21 del REBT (Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión) en la que vienen recogidos los diámetros exteriores mínimos de estos tubos en función del tipo de instalación y sección de conductores del circuito.

Ilustración 39. Tubos de PVC corrugados para protección contra contactos directos



7.3. Elementos de protección en la instalación

7.3.1. Fusibles

Los fusibles protegen a la instalación contra picos excesivos de corriente. Este dispositivo, constituido por un filamento con bajo punto de fusión, se coloca en el punto de la instalación que se quiera proteger. Cuando la intensidad de corriente que circula por dicho tramo supere un determinado valor, el fusible se fundirá, por efecto Joule. Las características básicas con las que se escoge el fusible son:

- **Tensión nominal:** tensión para la que se prevé su funcionamiento. Generalmente, los valores típicos que se encuentran en el mercado son muy superiores a la tensión máxima que se produce en la instalación.
- **Intensidad nominal:** intensidad que soporta el dispositivo indefinidamente sin suponer ningún deterioro. Se determina en función de la corriente máxima que vaya a circular por el circuito.
- **Poder de corte:** máxima corriente que puede cortar el fusible. Más adelante se detalla cómo se calcula.

Ilustración 40. Distintos tipos de fusibles



7.3.2. Magnetotérmico de protección para líneas

A continuación, se explicará el funcionamiento del magnetotérmico y las principales características que tener en cuenta a la hora de dimensionarlo.

Este elemento protege, en primer lugar, contra sobrecargas, lo que quiere decir que, en caso de que circule una corriente mayor a la nominal, el elemento salte, y evite un sobrecalentamiento de los elementos de la línea. En segundo lugar, el magnetotérmico protege frente a cortocircuitos. Este tipo de defecto surge cuando dos conductores de distinta polaridad se ponen en contacto, sin aislamiento de por medio, lo que ocasiona la circulación de una corriente muy superior a la nominal, del orden de los kA. El magnetotérmico detectará esta corriente y abrirá el circuito en un periodo suficientemente corto para que no provoque daños sobre los equipos ni sobre las personas. Este tipo de protección puede emplearse tanto en circuitos de continua como de alterna.

Ilustración 41. Magnetotérmico

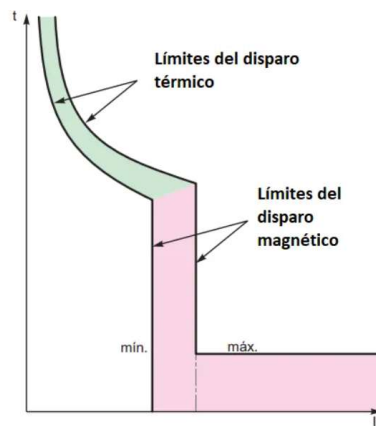


Como su nombre indica, el dispositivo utiliza dos tipos de sistema para hacer frente a fallos eléctricos, siendo estos, el magnético y el térmico.

Por un lado, el sistema magnético saltará en caso de que se produzca un cortocircuito aguas abajo del aparato en cuestión. El tiempo de respuesta de este disparo vendrá determinado por la curva de disparo del magnetotérmico. Según las necesidades de la instalación eléctrica se escogerá una curva u otra. Esto se explica con más detalle más adelante.

Por otro lado, se tiene el disparo térmico que, en este caso, abrirá el circuito en caso de encontrarnos con una sobrecarga que persiste en el tiempo.

Ilustración 42. Salto magnético y salto térmico de un magnetotérmico



Los magnetotérmicos se caracterizan por:

- Número de polos
- Intensidad nominal
- Curva de disparo
- Poder de corte

7.3.2.1. Número de polos

El número de polos vendrá dado por el número de fases que haya que proteger. Se persigue proteger la integridad del circuito, fases y neutro, por lo que en el circuito de alterna se dispondrá de un magnetotérmico tetrapolar o de cuatro polos (3 fases + neutro) y para el circuito en continua se empleará un magnetotérmico de 2 polos (1 fase + neutro).

7.3.2.2. Intensidad nominal

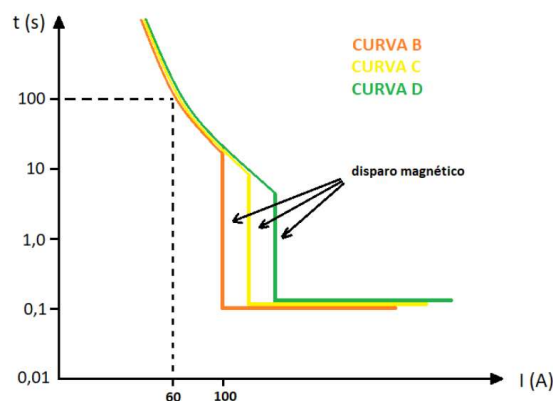
La intensidad nominal del magnetotérmico es la intensidad máxima que no se debería de superar en funcionamiento normal. En caso de que se sobrepasase dicho umbral de intensidad, el magnetotérmico se encargaría de abrir el circuito como se ha visto anteriormente. Además, se deberá de comprobar que en ningún caso se excede la corriente máxima que el cable puede soportar, así como tampoco debe de superar la intensidad máxima de funcionamiento del equipo en cuestión que se está protegiendo.

7.3.2.3. Curva de disparo

Las diferentes curvas de disparo vienen clasificadas en función de la intensidad a la que salta el magnetotérmico en 0,1 segundo (Ilustración 43). Según la norma UNE-EN 60898, las curvas más frecuentes son:

- **Curva A:** entre $2I_n$ y $3I_n$, que quiere decir que, salta en 0,1 segundo cuando la intensidad que lo atraviesa está entre 2 y 3 veces la nominal. Este tipo de curva no tiene prácticamente aplicación en electricidad.
- **Curva B:** entre $3I_n$ y $5I_n$. Se utilizan generalmente para protección de generadores y grandes longitudes de cable.
- **Curva C:** entre $5I_n$ y $10I_n$. Son los más comunes y se emplean para todo tipo de uso general.
- **Curva D:** entre $10I_n$ y $20I_n$. Reservado para receptores con fuertes puntas de arranque como motores.

Ilustración 43. Curvas de disparo de un magnetotérmico



7.3.2.4. Poder de corte

El poder de corte, como bien indica su nombre, es la capacidad de corte en cuanto intensidad del magnetotérmico en cuestión. Entre los magnetotérmicos que se pueden encontrar en el mercado, se escogerá aquel con un poder de corte normalizado inmediatamente superior a la corriente de cortocircuito que se tenga, para que el dispositivo sea así capaz de abrir el circuito e impedir el paso de dicha corriente.

7.3.3. Descargadores de sobretensiones

Al estar el generador fotovoltaico instalado a la intemperie, se pueden inducir sobre él sobretensiones de origen atmosférico, es decir, caída de rayos. Estos provocan tensiones mucho

mayores que la tensión nominal de los equipos lo que puede llegar a dañarlos en función de la magnitud de la sobretensión, así como la duración de ésta. El objetivo de estos elementos de protección es el de absorber este exceso de tensión descargándolo a tierra mediante una corriente elevada.

Este elemento se utilizará, por tanto, en la parte de continua de la instalación.

Ilustración 44. Descargador de sobretensión



El descargador de sobretensiones, también denominado varistor, funciona de la siguiente manera: en funcionamiento normal (tensión aplicada baja), un varistor se comporta como una resistencia muy grande, por lo que, el efecto de la circulación de una corriente relativamente pequeña es despreciable, y no influye en la operación de la instalación. Sin embargo, el comportamiento es inverso cuando la tensión aplicada supera un cierto valor umbral. En ese momento, el varistor se comporta como una resistencia muy pequeña que implica la circulación de una corriente muy elevada y lo que permite descargar este exceso de tensión a tierra a través del dispositivo.

Los parámetros característicos del varistor que vienen dados en los catálogos de los fabricantes son:

- **Intensidad máxima**: máxima intensidad que puede derivar el dispositivo en una única ocasión sin deteriorarse.
- **Intensidad nominal**: intensidad que puede derivar el dispositivo en 20 ocasiones sin deteriorarse.
- **Tensión residual**: tensión que aparece en los extremos del dispositivo cuando se está derivando corriente a tierra.
- **Nivel de protección**: tensión que aparece en los extremos del dispositivo cuando se está derivando la intensidad nominal.

7.3.4. Interruptor diferencial

El interruptor diferencial es un elemento de protección sensible a corrientes diferenciales residuales. Su principio de funcionalidad se basa en medir la diferencia entre las corrientes salientes y entrantes de la instalación receptora, desconectando el circuito cuando la medida

sobrepasa los valores estándares. Puesto que se necesita que las corrientes de entrada y salida sean diferentes, para que esto ocurra, debe de existir una pérdida de corriente a tierra en la instalación. Con esto, se concluye que diferencial y puesta a tierra son complementarios y habrá que incluir ambos elementos en la instalación. En la situación inversa, en la que no exista puesta a tierra, la masa metálica quedará aislada de tierra y no se conectará a ella hasta que la persona la toque y la conecte a tierra a través de su cuerpo. La persona recibirá la corriente de fuga hasta que el interruptor actúe y abra el circuito.

Este elemento de protección se instalará en la parte alterna de la instalación.

Ilustración 45. Interruptor diferencial



Los interruptores diferenciales de la instalación se escogerán según sus características:

- **Intensidad nominal**: calibre que puede soportar el diferencial.
- **Corriente diferencial nominal**: intensidad de disparo. Sensibilidad que garantiza la apertura del circuito.

Para seleccionar el diferencial de la instalación se comprobará que la intensidad nominal sea mayor que la que circula por la línea. En cuanto a la sensibilidad del elemento, se tomará como referencia la que se emplea en instalaciones de vivienda, donde los diferenciales suelen tener una sensibilidad de 30 mA.

7.4. Dimensionado magnetotérmicos y fusibles

Atendiendo a la ITC-BT-22 del REBT, los dispositivos que se emplean para la protección de la instalación contra sobrecargas ya sean magnetotérmicos o fusibles, deben de cumplir las siguientes condiciones:

$$1. \quad I_b \leq I_n \leq I_z$$

Donde,

I_b es la máxima corriente que circula por el circuito.

I_n es la intensidad nominal del dispositivo de protección, es decir, el calibre asignado. Este es el valor a determinar.

I_z es la máxima intensidad admisible por el conductor, determinada en el dimensionado del cableado. En el caso de que se hubiesen aplicado factores de corrección con arreglo a las condiciones consideradas como tipo, se emplea la nueva intensidad máxima admisible.

$$2. \quad I_2 \leq 1,45 \cdot I_z$$

Donde,

I_2 es la corriente que asegura la actuación efectiva del dispositivo de protección. Para el caso de la protección por magnetotérmico no es necesario comprobar esta segunda condición ya que $I_2 = 1,45 \cdot I_z$, y por tanto, siempre se cumple.

En el caso de la protección mediante fusibles, el valor de I_2 se calcula de la siguiente manera:

$$I_2 = 1,60 \cdot I_n$$

Siendo I_2 la intensidad de fusión del filamento del fusible en 5 segundos.

También se deberá de comprobar que el poder de corte del dispositivo de protección es superior a la máxima corriente de cortocircuito esperada en el punto de la línea donde se instale el elemento. La guía técnica de aplicación del REBT, propone un método simplificado para el cálculo de las corrientes de cortocircuito, en el que no es necesario conocer la impedancia del circuito. La fórmula es la siguiente:

$$I_{cc} = k * \frac{S}{\sqrt{t}}$$

Donde,

k es una constante en función del conductor, para aislamiento XLPE resulta valer 143.

S es la sección del conductor en mm².

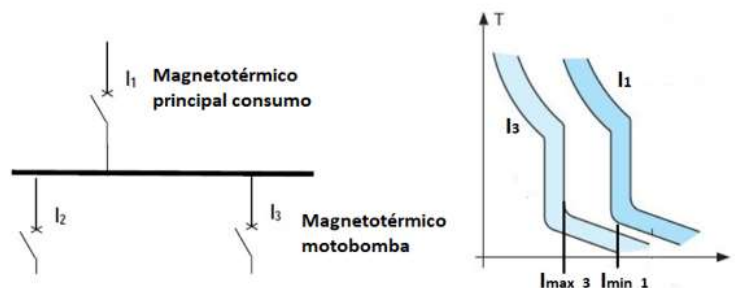
t es la duración del cortocircuito en segundos. Se establece una duración de cortocircuito de 5 segundos puesto que este es el tiempo máximo que puede mantenerse en funcionamiento un conductor a temperatura máxima en caso de cortocircuito.

Se deberá de cumplir que:

$$Pdc \geq I_{cc_max}$$

- **Curva de disparo:** para calcular la curva que le correspondería al magnetotérmico en cuestión se aplica la ecuación $I_{arr}/I_{calibre}$. Se escoge la curva inmediatamente superior a dicho valor.
- **Número de polos:** representa el número de cables que corta el magnetotérmico. En ambos sistemas (continua y alterna), serán de tipo bipolar, lo que significa que cortan 2 polos, fase y neutro en alterna, positivo y negativo en continua.
- **Selectividad:** la selectividad permite que, en caso de producirse un defecto, la incidencia se limite de ser posible a la parte afectada de la instalación. La selectividad consigue que se dispare el magnetotérmico que se encuentre más cerca aguas arriba de donde se ha producido el defecto. Para calcularla, se tendrá en cuenta las regulaciones máxima y mínima de cada magnetotérmico (rango de cantidad de veces de intensidad nominal para el que opera el magnetotérmico, determinado por la curva de disparo).

Ilustración 46. Selectividad en magnetotérmicos



Por tanto, para que haya selectividad se deberá cumplir que $I_{1_min} \geq I_{3_max}$.

7.5. Protecciones corriente continua

Esta sección comprende las protecciones necesarias entre el campo fotovoltaico y el inversor.

7.5.1. Caja de protecciones intemperie – fusibles

La aparición de un cortocircuito en un único string, no es peligroso para el generador fotovoltaico, ya que dicha corriente está limitada a un valor muy próximo a la corriente máxima de operación normal de los módulos. Sin embargo, se recomienda disponer de algún elemento que proteja los módulos de sobreintensidades puesto que cuando se produce un cortocircuito en uno de los strings, cabe la posibilidad de que aparezca una corriente de retorno procedente

de los demás strings, y que, en el caso de tener más de dos strings (como es el caso de esta instalación), de lugar a una corriente mayor a la admitida por el string. Para evitar daños, se emplearán fusibles para proteger los 10 strings que tiene la instalación, instalando un fusible por cada rama. Se asegurará que se dispone de repuestos una vez dejada a punto la instalación, porque, como ya se mencionó antes, el gran inconveniente de los fusibles es que obligan a tener un surtido de recambio para cuando se funden.

Para evitar efectos perjudiciales en este posible caso, se incluirán fusibles de tipo gPV por ser de uso específico para instalaciones fotovoltaicas. Tanto el conductor positivo como negativo de cada string llevará un fusible.

Se instalarán fusibles para cada conductor (positivo y negativo) de cada rama (string). Como la configuración del generador fotovoltaico consta de 10 ramas en paralelo, se contará finalmente con 20 fusibles. Para ello, se decide disponer de 2 cajas de conexiones capaces de alojar 10 fusibles cada una de ellas. A cada una de estas cajas de protecciones irán conectadas 5 ramas cuya agrupación será la línea de alimentación de un regulador.

Estas cajas de conexiones con fusibles de string irán fuera del cuadro principal. Además de esto, se plantea colocarlas al intemperie, en el tejado donde se encontrarán los módulos. En el mercado se ofrecen cajas de protecciones destinadas a ubicarse en el exterior, y por tanto, diseñadas para confrontar condiciones meteorológicas adversas. Éstas generalmente se atornillan al soporte en el cual se instalan los módulos. La ventaja de ubicar este elemento en un emplazamiento distinto al del cuarto de equipo es reducir considerablemente la carga térmica de los componentes internos ya que los fusibles suelen emitir un calor residual al entorno.

7.5.2. Cuadro principal de protecciones de CC

- **Magnetotérmicos**

Los elementos de la instalación que trabajan en corriente continua deben de estar protegidos contra intensidades elevadas originadas por sobrecargas o cortocircuitos. Éstas ocurren cuando existe un valor excesivo de intensidad ocasionado por una demanda excesiva de carga o un defecto de aislamiento.

Los dispositivos de protección contra sobrecargas pueden ser, o bien fusibles, o bien interruptores automáticos, también conocidos como magnetotérmicos. En cuanto a las protecciones instaladas en el cuadro, se han escogido magnetotérmicos como elemento de protección.

Se decide emplear magnetotérmicos en vez de fusibles por algunas desventajas que éstos presentan frente a los fusibles. Estas son, principalmente:

- La alta sensibilidad de los fusibles se vuelve una desventaja en instalaciones con picos regulares como vienen a ser las instalaciones FV, en las que los fusibles pueden alcanzar su punto de ruptura con frecuencia.
- Los fusibles han de reemplazarse por unos nuevos cuando saltan, lo que supone una desventaja si no se disponen de ellos en el momento.

En el caso de esta instalación, se instalará un magnetotérmico por cada subcampo fotovoltaico que alimenta un regulador, protegiendo a los componentes aguas abajo de la instalación de una posible sobrecarga proveniente de la configuración de 5 strings de 2 módulos en serie.

- **Descargador de sobretensiones**

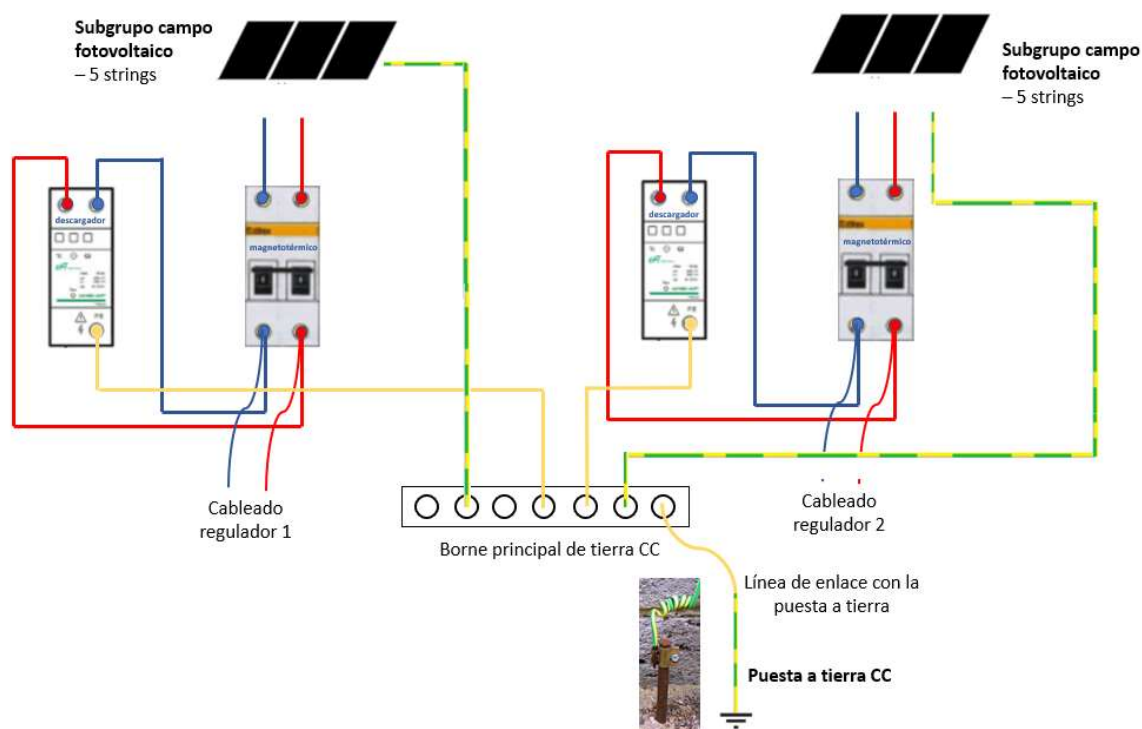
Las instalaciones fotovoltaicas se caracterizan por estar expuestas a descargas atmosféricas que traen consigo sobretensiones transitorias considerables. Por ello, se emplea un descargador de sobretensiones para proteger a la instalación de estas sobretensiones puntuales que pueden llegar a reducir su rendimiento y su vida útil. Este elemento de protección descargará a tierra los picos de tensión transitorios y evitará que éstos se transmitan a través de los cables de la instalación.

Se decide emplear un modelo de Clase II, siendo éstos los que típicamente se destinan a la protección de redes fotovoltaicas expuestas a descargas atmosféricas indirectas que se producen a una determinada distancia de la instalación. Debido a la muy elevada capacidad de los modelos de Clase I, se suele asignar su uso en localizaciones donde el riesgo de impacto directo por un rayo es máximo.

Las características del aparato deberán de ajustarse a las necesidades de la instalación. Para ello, se tendrá en cuenta la tensión más desfavorable que pueda producirse en el generador fotovoltaico y se escogerá un descargador que soporte dicha tensión. Esta tensión máxima se presenta cuando los módulos operan en condiciones de circuito abierto y como la configuración de la instalación consta de dos módulos en serie, V_{oc_max} resulta valer 94,8V.

Al igual que para el caso del magnetotérmico, se instalarán 2 descargadores, uno a la salida de cada subcampo. El descargador, por su parte, protege contra picos de voltaje excesivos principalmente por la caída de rayos. Este elemento actúa derivando el exceso de voltaje en la línea de paneles a tierra.

Ilustración 47. Conexión magnetotérmicos y descargadores en el cuadro principal de CC

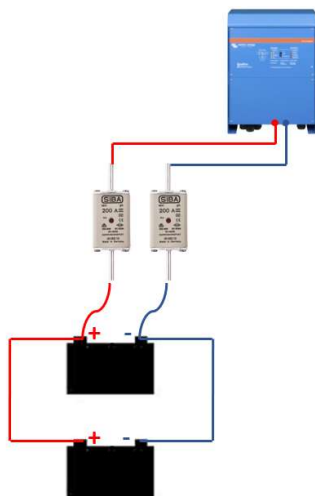


Como se puede ver en la Ilustración 47, tanto los conductores de protección de cada subcampo, como la derivación a tierra de ambos descargadores de sobretensión se enlazarán con el bornero principal de tierra dispuesto en el cuadro principal. Este punto de puesta a tierra podrá sencillamente ser una regleta de conexiones de varios polos y de hasta 35 mm² para así poder hacer la línea de enlace con la puesta a tierra mediante un conductor desnudo de cobre de dicha sección.

- **Fusibles**

Pese a que sea improbable, en el caso de conectar cargas con una potencia superior a la potencia del inversor, podría fundir el fusible interno del inversor. En un estado de cortocircuito, con la protección interna del inversor inactiva, se podría incluso llegar a dañar las baterías. Por ello, se decide colocar un fusible por polo entre la conexión del banco de baterías e inversor, para proteger ambos componentes frente a picos de corriente excesivos.

Ilustración 48. Conexión fusibles entre banco de baterías e inversor



7.6. Protecciones en corriente alterna

7.6.1. Cuadro principal de protecciones de CA

Al igual que la parte de corriente continua, la red de corriente alterna de la instalación tendrá las protecciones pertinentes. Se dispondrán interruptores magnetotérmicos cuya función será proteger a los inversores contra las posibles sobrecargas que puedan aparecer en el lado de las cargas de consumo. Además, se colocarán interruptores diferenciales cuya finalidad principal será proteger a las personas frente a contactos de las partes activas de la instalación, de tal forma que, si se produce un defecto a tierra, el interruptor actúa de forma inmediata, desconectando la instalación, sin dar tiempo a que la persona entre en contacto con el defecto.

En las instalaciones eléctricas convencionales, se coloca generalmente un interruptor magnetotérmico para cada circuito con el fin de, no sólo proteger dicho circuito de sobrecargas, pero también de separar los distintos circuitos de la instalación. Los interruptores diferenciales, por su parte, suelen situarse aguas arriba de un grupo de circuitos protegidos por interruptores magnetotérmicos.

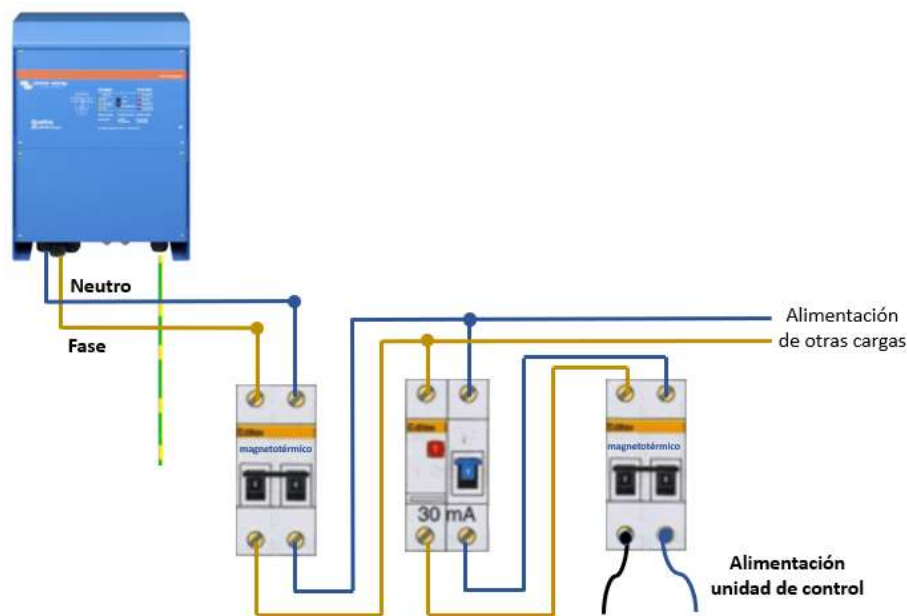
En el cuadro de alterna de esta instalación, concretamente, se tendrá un interruptor magnetotérmico principal cuya misión será cortar la corriente de todos los circuitos aguas abajo a la vez. De este magnetotérmico principal colgará un magnetotérmico para cada circuito.

El tramo de corriente alterna que se contempla en este proyecto es el que se tiene desde el inversor hasta la motobomba. Las protecciones asignadas a este tramo son un magnetotérmico y un interruptor de alimentación, que, en el caso de detectar una fuga corriente en dicho circuito, el interruptor diferencial desconectará este circuito de la alimentación, sin que los demás circuitos se vean afectados.

El magnetotérmico se escogerá siguiendo los mismos cálculos que se han detallado previamente para el caso de continua.

La elección del interruptor diferencial se hará en función de su intensidad nominal. Ésta deberá de ser igual o mayor que el calibre del interruptor magnetotérmico al que siga (no tiene capacidad de corte por lo que se respalda con un magnetotérmico de mayor corriente nominal). La sensibilidad del diferencial es el valor de la intensidad de desequilibrio para la cual se acciona el diferencial, siendo la sensibilidad de uso general, cuyo valor resulta ser 30 mA, la que se decidió aplicar en este proyecto.

Ilustración 49. Protecciones cuadro principal de CA



A continuación, se adjuntan unas tablas resumen en las que vienen recogidas las características principales de cada elemento de protección escogido, tanto para el lado de continua como el de alterna (véase con más detalle el apartado de Anexos).

Tabla 32. Características fusibles instalación eléctrica

FUSIBLE					
Proteccion	Fabricante	Modelo	Voltaje nominal	Calibre (A)	PdC (kA)
Fusibles strings	DF Electric	10x38 mm gPV	1000	16	30
Fusibles batería - inversor	DF Electric	NH gPV	1000	200	30

Tabla 33. Características magnetotérmicos instalación eléctrica

MAGNETOTÉRMICO						
Protección	Fabricante	Calibre (A)	Voltaje nominal	Polos	Curva	PdC (kA)
Magnetotérmico regulador 1	Legrand	63	400 Vdc	2P	B	25
Magnetotérmico regulador 2	Legrand	63	400 Vdc	2P	B	25
Magnetotérmico principal CA	Legrand	40	230 Vac	1P + N	B	10
Magnetotérmico motobomba	Legrand	6	230 Vac	1P + N	B	10

Tabla 34. Características descargadores de sobretensiones instalación eléctrica

DESCARGADOR DE SOBRETENSIONES				
Protección	Fabricante	Voltaje nominal (Vdc)	Clase de protección	Corriente máxima de descarga (kA)
Descargador subcampo fotovoltaico 1	Britec Electric	1500	Tpo 2, Clase II	40
Descargador subcampo fotovoltaico 2	Britec Electric	1500	Tpo 2, Clase II	40

Tabla 35. Características interruptor diferencia circuito motobomba

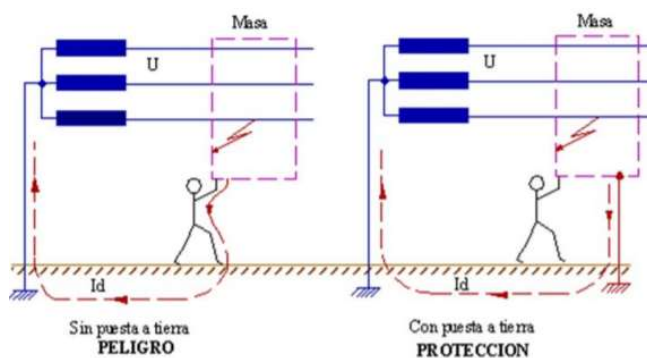
INTERRUPTOR DIFERENCIAL						
Protección	Fabricante	Calibre	Voltaje nominal (Vac)	Polos	Pdc (kA)	Sensibilidad (mA)
Diferencial circuito motobomba	MAXGE Electric	40	230	1P+N	10	30

7.7. Puesta a tierra

El objetivo de la puesta a tierra de la instalación eléctrica es proteger, tanto a las personas como a los equipos, de posibles corrientes de defecto que puedan aparecer, en otras palabras, la aparición de corrientes indeseadas que no deberían de existir. La finalidad de la puesta a tierra reside en que, si existiera una corriente de fuga, ésta sea conducida de forma natural a tierra. Un ejemplo de este tipo de daños es la corriente de defecto fase-masa. Esta corriente circula desde la fase de la línea hasta la masa, es decir, componente metálico que en funcionamiento normal no toma tensión, dando lugar a tensiones de contacto peligrosas para las personas.

La ilustración que se muestra a continuación ilustra el defecto fase-masa y su efecto en dos situaciones opuestas: cuando la instalación está protegida y cuando no lo está.

Ilustración 50. Corriente de defecto fase - masa

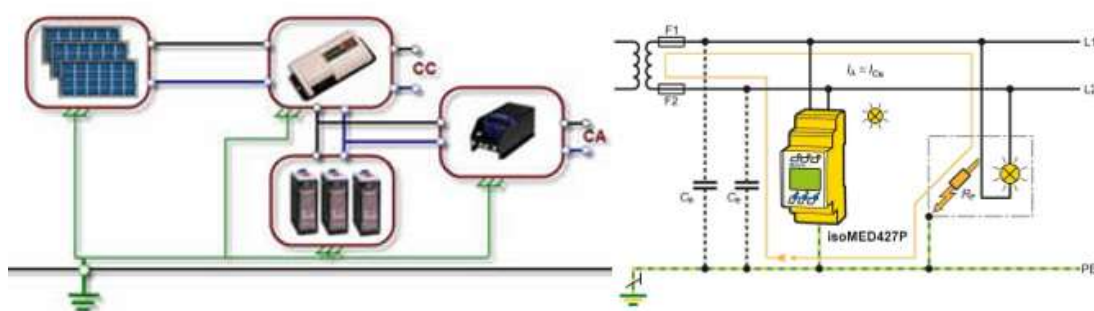


La Ilustración 50 pone en manifiesto la necesidad de proteger las instalaciones con sistemas de puesta a tierra.

Existen múltiples esquemas de conexión a tierra de una instalación. Para el lado de corriente continua se va a emplear el sistema tipo IT, mientras que para el lado de corriente alterna, se optará por el sistema más genérico, siendo este el sistema TT. A continuación, se van a explicar los motivos de esta decisión.

El sistema IT por el que se ha optado para el circuito CC tiene la característica de que todos los conductores activos de la instalación se encuentran aislados de tierra al contrario de todas las masas metálicas, las cuales sí habría que poner a tierra. Este tipo de sistema tiene la gran ventaja de que no existe riesgo eléctrico debido a contactos directos o indirectos.

Ilustración 51. Sistema IT



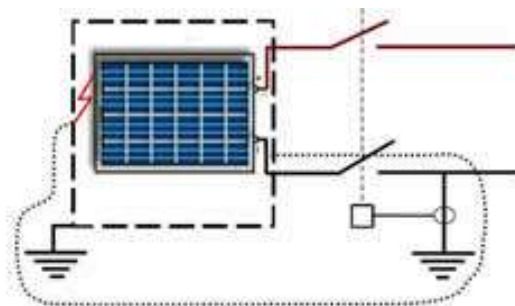
Un primer defecto no genera tensiones de contacto peligrosas ya que, al no haber ningún conductor activo de baja impedancia conectado a tierra, en caso de contacto a masa, no circulará una elevada corriente de fallo. Sin embargo, no ocurre lo mismo cuando se produce un segundo defecto. En este caso, la corriente de defecto cerraría el bucle a través del conductor de protección, provocando un cortocircuito entre fases, lo que presenta un serio riesgo para las personas. Por este motivo, los sistemas con un esquema de conexión IT, requerirán de:

- Dispositivos que eliminen la elevada intensidad de la segunda falta, ya sean magnetotérmicos, fusibles, etc. Todos ellos estarán dotados de aislamiento de Clase II, el cual comporta medidas de seguridad complementarias, tales como el doble aislamiento. Con esto, se logra que un fallo no pueda dar lugar a tensiones peligrosas.
- Establecer la equipotencialidad de todas las masas para que, en caso de que se produzca un defecto y haya contacto indirecto con una masa, se asegure la seguridad de las personas, poniendo la instalación en cortocircuito y resultando en una tensión nula.

Como se ha mencionado anteriormente, un primer defecto en una instalación con esquema IT no es peligroso, por lo que no se requiere de un interruptor de desconexión ante faltas. Lo cierto es que, una de las principales razones por las que se configura el sistema en un esquema IT para el lado de continua es porque no es viable emplear un sistema de protección basado en el interruptor diferencial para proteger la parte de la instalación comprendida entre el generador y el regulador. Como se puede observar en la Ilustración 52, en el caso de que el interruptor

diferencial se activase y abriese el circuito, nos encontraríamos frente a la posibilidad peligrosa de dejar a los paneles trabajando en vacío, que es cuando mayor tensión aportan a sus bornes.

Ilustración 52. Módulos trabajando en vacío en caso de defecto en un sistema TT

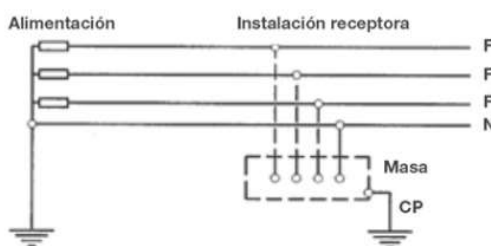


A diferencia del circuito en continua, para el tramo en AC se seguirá el esquema de distribución TT. Teóricamente, en este tipo de esquema, tanto las masas de los equipos como el neutro van a tierra mediante electrodos distintos. Pero, en el caso de esta instalación, las masas de los equipos serán los únicos elemento puestos a tierra físicamente. Esto es así porque el inversor escogido dispone de un relé de puesta a tierra que automáticamente conecta la salida de neutro a la carcasa.

El esquema TT hace que la impedancia de bucle tenga un valor superior al que se tiene en el esquema IT, lo que supone la aparición de corrientes de defecto muy inferiores.

Se emplea este tipo de configuración por ser la más utilizada en las redes de distribución de Baja Tensión y porque, a diferencia del tramo en CC, no se tiene ninguna dificultad técnica en emplear un dispositivo diferencial que corte la instalación cuando se detecte una corriente de defecto.

Ilustración 53. Sistema TT



La pica de puesta a tierra del tramo CA se colocará separada de la pica de puesta a tierra de CC para evitar que se cierre una corriente de defecto entre los dos electrodos.

7.7.1. Dimensionado puesta a tierra

Atendiendo a la ITC-BT-24 que tiene por objeto establecer las condiciones técnicas que deben de reunir los sistemas de puesta a tierra, ambos esquemas deberán de satisfacer la siguiente condición:

$$R_T \cdot I_d \leq U_L$$

Siendo,

R_T es la suma de las resistencias de toma de tierra y de los conductores de protección de las masas.

I_d es la corriente de defecto en caso de un primer defecto.

U_L es la tensión de contacto límite (50V o 24V según los casos). En este proyecto se recurre a los 24V por ser el valor asignado a localizaciones húmedas.

7.7.1.1. Puesta a tierra corriente continua

Aplicando un sistema IT se consigue una seguridad análoga a la que se logra con un interruptor diferencial. Para establecer este tipo de sistema, se requiere que la resistencia de aislamiento entre el generador y la tierra sea lo suficientemente elevada como para que la corriente de derivación tenga un valor máximo de 100 mA. Si bien esta condición suele cumplirse ya que las resistencias de los generadores son generalmente del orden de los megaohmios.

Se procede a determinar la resistencia máxima de puesta a tierra sustituyendo valores en la expresión anterior:

$$R_{T_max} = \frac{U_L}{I_d} = \frac{24 V}{100 mA} = 240 \Omega$$

Para calcular la resistencia de los elementos que conformarán la resistencia de puesta a tierra, es necesario determinar la resistividad del terreno del lugar.

Ya que se carece de datos fiables sobre el valor de la resistividad del terreno en cuestión, teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas de la zona que condicionan la naturaleza del terreno, se hace uso de la Tabla 36. Valores medios aproximados de la resistividad en función del terreno asociada a la ITC-BT-18 para seleccionar la resistividad más conveniente.

Tabla 36. Valores medios aproximados de la resistividad en función del terreno

Naturaleza del terreno	Valor medio de la resistividad Ohm.m
Terrenos cultivables y fértiles, terraplenes compactos y húmedos	50
Terraplenes cultivables poco fértiles y otros terraplenes	500
Suelos pedregosos desnudos, arenas secas permeables	3.000

De acuerdo a la tabla anterior, se considera una resistividad de cálculo de 500 $\Omega \cdot m/W$.

Como sistema de puesta a tierra, se opta por un electrodo combinado el cual está formado por 4 picas y un anillo de cobre. La configuración será como sigue:

- Anillo de cobre rectangular dispuesto alrededor del edificio de dirección donde se ubican los componentes de la instalación. Por norma general, se trata de un conductor de cobre desnudo de 35 mm² ya que es la sección mínima permitida para conductores de cobre y en esta instalación, en concreto, irá enterrado a una profundidad nunca inferior a 0,50 metros, de acuerdo con la ITC-BT-18. Sabiendo que las dimensiones del edificio son de 15,7 metros de largo y 9,04 metros de ancho y que se dejará una separación de al menos medio metro entre la pared del edificio y la puesta a tierra, se estima que la longitud total del anillo de cobre será de 58,16 metros.
- Se emplearán 4 picas verticales que conformarán las esquinas del anillo de cobre y que servirán para disminuir el valor de la toma de tierra. Las picas normalizadas más habituales suelen tener 2 metros de longitud y un diámetro de 14 mm.

Las fórmulas para estimar la resistencia de tierra en función de las características del electrodo son las siguientes:

Tabla 37. Fórmulas resistencia de tierra en función de las características del electrodo

Electrodo	Resistencia de tierra en ohm
Pica vertical	$R_{pica} = \rho/L$
Conductor enterrado horizontalmente	$R_{cond} = 2 \rho/L$

Donde,

ρ es la resistividad del terreno ($\Omega \cdot m$)

L es la longitud de la pica o del conductor (m)

La resistencia de tierra para cada tipo de electrodo resulta valer lo siguiente:

Pica vertical	$R_{pica} = \rho/L = \frac{500 \Omega \cdot m/W}{2 m} = 250 \Omega$
Conductor enterrado horizontalmente	$R_{cond} = 2 \rho/L = \frac{2 \cdot 500 \Omega \cdot m/W}{58,16} = 17,19 \Omega$

La resistencia resultante del electrodo combinado de puesta a tierra se obtiene calculando la resistencia equivalente de los electrodos implicados, conectados en paralelo:

$$R_{total} = \frac{1}{\frac{1}{R_{pica}} + \frac{1}{R_{pica}} + \frac{1}{R_{pica}} + \frac{1}{R_{pica}} + \frac{1}{R_{cond}}} = 13,48 \Omega$$

Se comprueba que:

$$R_{total} \leq R_{T_max}$$

La resistencia total de la configuración de puesta a tierra es inferior a la máxima admisible previamente calculada, por lo que se concluye que dicha configuración para la red de corriente continua es correcta.

Se recuerda que, todos estos conductores de protección se agrupan en el bornero de puesta a tierra dispuesto en el cuadro principal. Desde ahí, partirá una línea de enlace con la puesta a tierra de 35 mm² de sección.

7.7.1.2. Puesta a tierra corriente alterna

Como se ha mencionado previamente, las tierras del lado de continua y de alterna estarán separadas y serán independientes una de la otra. Por este motivo, se instalará un segundo bornero de puesta a tierra en el cuadro principal que únicamente emplearán las cargas de la red de alterna. Todas las partes metálicas de los elementos de corriente alterna, así como el neutro de las cargas irán unidos a esta tierra de protección. En el caso de la red de alterna de esta instalación, se ha decidido utilizar interruptores diferenciales con una sensibilidad de 30 mA, por lo que el valor máximo de una posible corriente de derivación será también de 30 mA. De nuevo, considerando que no pueden producirse tensiones de contacto superiores a 24V, se obtiene una resistencia máxima de tierra de:

$$R_{T_max} = \frac{U_L}{I_d} = \frac{24 V}{30 mA} = 800 \Omega$$

En este caso, será suficiente con disponer de dos picas unidas por un conductor de cobre desnudo. Se tendrá en cuenta que estas dos picas deberán estar a una distancia mínima entre ellas igual al doble de su longitud.

La resistencia de tierra para cada tipo de electrodo resulta valer lo siguiente:

Pica vertical	$R_{pica} = \rho/L = \frac{500 \, \Omega \cdot \text{m/W}}{2 \, \text{m}} = 250 \, \Omega$
Conductor enterrado horizontalmente	$R_{cond} = 2 \, \rho/L = \frac{2 \cdot 500 \, \Omega \cdot \text{m/W}}{4,8} = 208,33 \, \Omega$

La resistencia resultante del electrodo combinado de puesta a tierra se obtiene calculando la resistencia equivalente de los electrodos implicados, conectados en paralelo:

$$R_{total} = \frac{1}{\frac{1}{R_{pica}} + \frac{1}{R_{pica}} + \frac{1}{R_{cond}}} = 78,125 \, \Omega$$

Se comprueba que:

$$R_{total} \leq R_{T_max}$$

La resistencia total de la configuración de puesta a tierra es inferior a la máxima admisible previamente calculada, por lo que se concluye que dicha configuración para la red de corriente continua es correcta.

Al igual que en la puesta a tierra en continua, los conductores de protección se concentran en el bornero de puesta a tierra en el cuadro principal de alterna, que será el punto de enlace con las picas de puesta a tierra.

Dimensionado red de distribución de agua

A continuación, se detalla todo el proceso desarrollado para realizar el dimensionado completo de la red de distribución de agua que permitirá abastecer aquellos puntos de consumo en el colegio, determinados en el capítulo anterior. Los pasos que se han seguido son los siguientes:

- Diseño de la red de distribución: recorrido, diámetros y pérdidas de carga.
- Elección de accesorios para realizar la configuración entre tubos.
- Configuración detallada de los puntos de consumo.

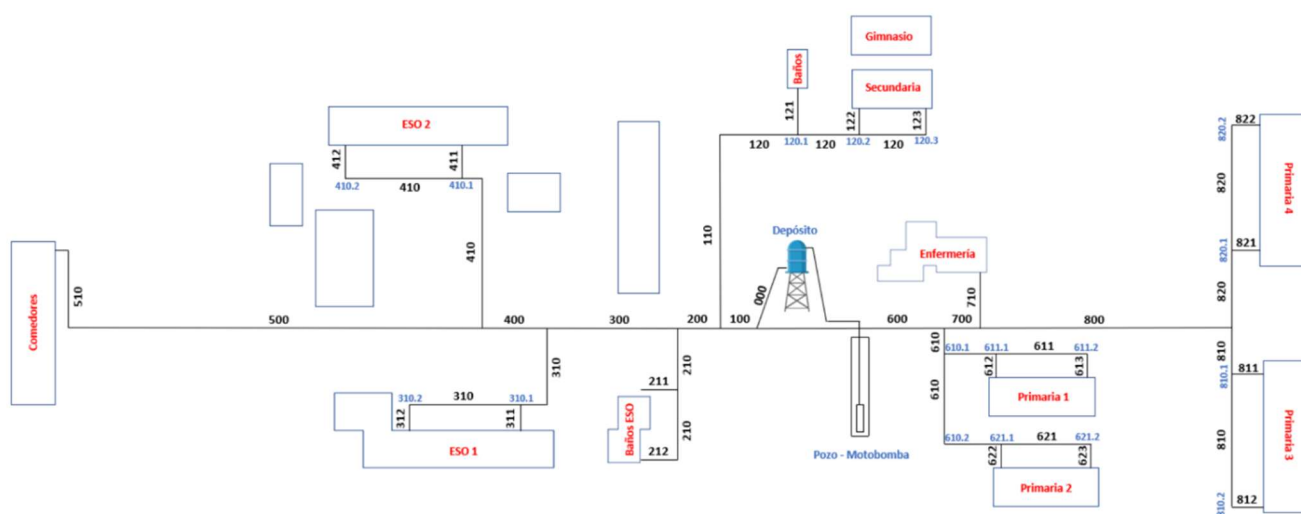
8. Configuración puntos de abastecimiento

Los tipos de redes de suministro de agua se dividen según su forma, siendo éstas: redes abiertas, redes malladas y redes mixtas. Manteniendo la línea que se ha seguido hasta ahora, en la que se ha buscado simplicidad, coste razonable y adecuación a la morfología de la zona, la red más aconsejable para este estudio es la de tipo abierto.

Una red abierta o ramificada es aquella que va uniendo diferentes puntos de consumo con una única tubería principal.

Ya conociendo la cantidad de agua necesaria en el colegio y el caudal de consumo determinado para cada punto en particular, se presenta una vista en planta del complejo en la que se representa la disposición de dichos puntos de abastecimiento, al igual que las múltiples derivaciones que se tienen para llegar a cada uno de estos puntos.

Ilustración 54. Disposición puntos de abastecimiento



Como se puede observar en la Ilustración 54 (véase también en el apartado de Planos), la red constará de una tubería principal, de la cual saldrán ramales que terminarán finalmente en derivaciones. De aquí en adelante, los tramos estarán numerados según aparece en la Ilustración 54. Cabe comentar que la ubicación del pozo no se conoce con exactitud por lo que en la ilustración se representa una posible localización tanto del pozo como del depósito que se ha escogido de forma estratégica. Ambos elementos se encuentran situados próximos el uno del otro con el fin de que el montaje de la tubería de impulsión sea lo más sencilla posible, además de garantizar pérdidas mínimas de un punto a otro. Siguiendo la línea de este último argumento, se dispone el depósito de agua en el centro del complejo con intento de homogenizar las pérdidas en los puntos finales de consumo.

En relación con la configuración de la red de tuberías, el paso de tuberías principales a tuberías secundarias se hará mediante accesorios de empalme adecuados. También se dispondrán válvulas de paso para cortar el suministro en caso de reparación.

Cabe comentar que se realizan varias modificaciones en cuanto a la cantidad de puntos de consumo que se consideraron en un primer momento. Por ejemplo, las tomas de agua contempladas en los baños no pueden instalarse todavía debido a la falta de una red de desagüe adecuada. Todos los cambios realizados se exponen detalladamente más adelante. Pese a estas modificaciones, las dimensiones de la red se calcularán con las características inicialmente planteadas para que, en un futuro, cuando sea posible la construcción de dichos puntos, se pueda aprovechar la red de distribución instalada.

Tabla 38. Caudales establecidos para cada tramo de la red de distribución

100 - Tramo 1	
Baño gimnasio	0,0004
Secundaria	0,0003
ESO1	0,0003
ESO2	0,0003
Baños ESO	0,00125
Comedores	0,00035
Total Q (m³/s)	0,0029
110 - Ramal 1	
Baños gimnasio	0,0004
Secundaria	0,0003
Total Q (m³/s)	0,0007
120 - Ramal 2	
Baños gimnasio	0,0004
Secundaria	0,0003
Total Q (m³/s)	0,0007
121 - Derivación 1	
Baños gimnasio	0,0004
Total Q (m³/s)	0,0004
122 - Derivación 2	
Secundaria - Fuente 1	0,00015
Total Q (m³/s)	0,00015
123 - Derivación 3	
Secundaria - Fuente 2	0,00015
Total Q (m³/s)	0,00015

200 - Tramo 2	
Baños ESO	0,00125
ESO 1	0,0003
ESO 2	0,0003
Comedores	0,00035
Total Q (m³/s)	0,0022
210 - Ramal 1	
Baños ESO	0,00125
Total Q (m³/s)	0,00125
211 - Derivación 1	
Fuente exterior baños	0,00015
Total Q (m³/s)	0,00015
212 - Derivación 2	
Toma bidé	0,0001
Total Q (m³/s)	0,0001
300 - Tramo 3	
ESO 1	0,0003
ESO 2	0,0003
Comedores	0,00035
Total Q (m³/s)	0,00095
310 - Ramal 1	
ESO 1	0,0003
Total Q (m³/s)	0,0003
311 - Derivación 1	
ESO 1 - Fuente 1	0,00015
Total Q (m³/s)	0,00015
312 - Derivación 2	
ESO 1 - Fuente 2	0,00015
Total Q (m³/s)	0,00015

400 - Tramo 4	
ESO 2	0,0003
Comedores	0,00035
Total Q (m³/s)	0,00065
410 - Ramal 1	
ESO 2	0,0003
Total Q (m³/s)	0,0003
411 - Derivación 1	
ESO 2 - Fuente 1	0,00015
Total Q (m³/s)	0,00015
412 - Derivación 2	
ESO 2 - Fuente 2	0,00015
Total Q (m³/s)	0,00015
500 - Tramo 5	
Comedores	0,00035
Total Q (m³/s)	0,00035
510 - Ramal 1	
Comedores	0,00035
Total Q (m³/s)	0,00035

600 - Tramo 6	
Primaria 1	0,0003
Primaria 2	0,0003
Primaria 3	0,0003
Primaria 4	0,0003
Enfermería	0,0002
Total Q (m³/s)	0,0014
610 - Ramal 1	
Primaria 1	0,0003
Primaria 2	0,0003
Total Q (m³/s)	0,0006
611 - Derivación 1	
Primaria 1	0,0003
Total Q (m³/s)	0,0003
612 - Derivación 2	
Primaria 1 - Fuente 1	0,00015
Total Q (m³/s)	0,00015
613 - Derivación 3	
Primaria 1 - Fuente 2	0,00015
Total Q (m³/s)	0,00015
621 - Derivación 1	
Primaria 2	0,0003
Total Q (m³/s)	0,0003
622 - Derivación 2	
Primaria 2 - Fuente 1	0,00015
Total Q (m³/s)	0,00015
623 - Derivación 3	
Primaria 2 - Fuente 2	0,00015
Total Q (m³/s)	0,00015

700 - Tramo 7	
Primaria 3	0,0003
Primaria 4	0,0003
Enfermería	0,0002
Total Q (m³/s)	0,0008
710 - Ramal 1	
Enfermería	0,0002
Total Q (m³/s)	0,0002
800 - Tramo 8	
Primaria 3	0,0003
Primaria 4	0,0003
Total Q (m³/s)	0,0006
810 - Ramal 1	
Primaria 3	0,0003
Total Q (m³/s)	0,0003
811 - Derivación 1	
Primaria 3 - Fuente 1	0,00015
Total Q (m³/s)	0,00015
812 - Derivación 2	
Primaria 3 - Fuente 2	0,00015
Total Q (m³/s)	0,00015
820 - Ramal 2	
Primaria 4	0,0003
Total Q (m³/s)	0,0003
821 - Derivación 1	
Primaria 4 - Fuente 1	0,00015
Total Q (m³/s)	0,00015
822 - Derivación 2	
Primaria 4 - Fuente 2	0,00015
Total Q (m³/s)	0,00015

9. Parámetros de diseño de la red de distribución

9.1. Velocidad

Para el diseño de sistemas de tuberías, un aspecto importante que tener en cuenta es la velocidad a la que circulará el fluido por el interior de las conducciones. En el caso de fluidos incompresibles, la velocidad viene determinada por el caudal y el diámetro interno del conducto en cuestión, y, para cada fluido, se tiene un valor máximo de velocidad que no se recomienda sobrepasar, porque, de lo contrario, pueden ocasionarse deterioros en la red de tuberías. Por el contrario, si la velocidad es excesivamente baja, pueden resultar en sedimentos inaceptables.

Ciertamente, se recomienda que la velocidad de cálculo para las tuberías termoplásticas esté comprendida entre 0,50 y 3,50 m/s.

9.2. Diámetro tubería

En primer lugar, se calcula el diámetro de las tuberías, habiendo previamente definido la velocidad del fluido y el caudal por dicho tramo.

$$v = \frac{Q}{S} \rightarrow v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2}$$

Donde,

v es la velocidad (m/s)

Q es el caudal (m³/s)

D es el diámetro de la tuberías (m)

Despejando el diámetro de la ecuación anterior:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}}$$

Sustituyendo en dicha ecuación, los valores del caso más desfavorable de cada tramo, es decir, por el caudal pico y por la velocidad máxima estimada, se obtiene el diámetro interno de tubería en el tramo en cuestión.

Los diámetros normalizados a los que hacen referencia los catálogos de los fabricantes de tubería son diámetros externos. Es por esto por lo que también proporcionan la información del espesor de la tubería, para que así sea posible de calcular el diámetro interno y compararlo con el calculado teóricamente.

$$D_{i,normalizado} = D_{e,normalizado} - 2 \cdot \text{espesor}$$

Donde,

$D_{i,normalizado}$ es el diámetro interno normalizado de la tubería (mm)

$D_{e,normalizado}$ es el diámetro externo normalizado de la tubería (mm)

El diámetro señalado en el catálogo se dará por válido si éste es mayor que el obtenido en los cálculos.

Una vez que se tiene determinado el diámetro comercial de la tubería, se calcula de nuevo la velocidad a la que circulará el fluido por la tubería, asegurando que dicha velocidad se mantiene en el rango de velocidades determinado inicialmente.

Aplicando estas fórmulas, los diámetros de tubería obtenidos para cada tramo son los que se muestran en la Tabla 39. Cabe destacar que los últimos tramos que conducen a las tomas de agua tienen un diámetro de 20 mm, a pesar de que se podría emplear un tubo de menor diámetro. Se ha escogido un diámetro de tales dimensiones porque los fabricantes de tuberías de polietileno no suelen trabajar con diámetros inferiores a 20 mm. Sin embargo, se comprueba que, a pesar de disponer de un diámetro superior al obtenido teóricamente, se sigue cumpliendo la condición de velocidad mínima inicialmente impuesta. En el caso de que la velocidad del fluido circulando por la tubería fuese ligeramente inferior a la acordada, no supondría ningún problema de gravedad, tan sólo el agua llegaría más tarde de lo esperado al abrir el grifo.

Tabla 39. Diámetros tuberías para cada tramo de la red

Tubería	Q (m³/s)	Ø (mm)	espesor (mm)	Ø int (mm)	Ø ext (mm)	v real (m/s)
000	0,0043	60,41	6,8	61,4	75	1,452
100	0,00290	49,61	5,8	51,4	63	1,398
110	0,00070	24,38	3,0	26,0	32	1,318
120	0,00070	24,38	2,3	20,4	25	2,142
121	0,00040	18,43	2,3	20,4	25	1,224
122	0,00015	11,28	2,0	16,0	20	0,746
123	0,00015	11,28	2,0	16,0	20	0,746
200	0,00220	43,21	4,6	40,8	50	1,683
210	0,00125	32,57	3,0	26,0	32	2,354
211	0,00015	11,28	2,0	16,0	20	0,746
212	0,00010	9,21	2,0	16,0	20	0,497
300	0,00095	28,40	3,7	32,6	40	1,138
310	0,00030	15,96	2,0	16,0	20	1,492
311	0,00015	11,28	2,0	16,0	20	0,746
312	0,00015	11,28	2,0	16,0	20	0,746
400	0,00065	23,49	3,0	26,0	32	1,224
410	0,00030	15,96	2,0	16,0	20	1,492
411	0,00015	11,28	2,0	16,0	20	0,746
412	0,00015	11,28	2,0	16,0	20	0,746
500	0,00035	17,24	3,0	26,0	32	0,659
510	0,00035	17,24	2,0	16,0	20	1,741
600	0,00140	34,47	4,6	40,8	50	1,071
610	0,00060	22,57	2,3	20,4	25	1,836
611	0,00030	15,96	2,0	16,0	20	1,492
612	0,00015	11,28	2,0	16,0	20	0,746
613	0,00015	11,28	2,0	16,0	20	0,746
621	0,00030	15,96	2,0	16,0	20	1,492
622	0,00015	11,28	2,0	16,0	20	0,746
623	0,00015	11,28	2,0	16,0	20	0,746
700	0,00080	26,06	3,0	26,0	32	1,507
710	0,00020	13,03	2,0	16,0	20	0,995
800	0,00060	22,57	3,0	26,0	32	1,130
810	0,00030	15,96	2,0	16,0	20	1,492
811	0,00015	11,28	2,0	16,0	20	0,746
812	0,00015	11,28	2,0	16,0	20	0,746
820	0,00030	15,96	2,0	16,0	20	1,492
821	0,00015	11,28	2,0	16,0	20	0,746
822	0,00015	11,28	2,0	16,0	20	0,746

9.3. Pérdidas de carga

En el diseño de cualquier sistema de suministro de agua, es necesario calcular las pérdidas de presión desde el origen de la instalación, en este caso, el depósito de almacenaje de agua, hasta cada punto final de consumo.

9.3.1. Pérdidas de carga continuas

Las pérdidas de carga continuas o por rozamiento representan la caída de presión debido a la fricción que el líquido experimenta cuando circula por una tubería. Estas pérdidas de carga dependen de la rugosidad del material del tubo y de las características de la corriente (régimen laminar o turbulento), cuyo efecto en las pérdidas viene expresado mediante el coeficiente de fricción, f . De igual modo, las pérdidas de carga dependen de la longitud de la tubería y de su diámetro.

La ecuación que se emplea para evaluar el efecto de los factores que inciden en la pérdida de energía en una tubería es la ecuación de Darcy-Weisbach. Se ha escogido esta expresión puesto que tiene la ventaja de poderse aplicar a todo tipo de flujo hidráulico (laminar, transicional y turbulento).

La forma general de la ecuación de Darcy-Weisbach es:

$$h_c = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Donde,

h_c son las pérdidas de carga continuas (m.c.a)

f es el factor de fricción de Darcy (adimensional)

L es la longitud de tubería (m)

v es la velocidad media del fluido (m/s)

D es el diámetro hidráulico de la tubería (m)

g es la aceleración de la gravedad (m/s²)

Esta fórmula proviene de la ecuación de Bernoulli que se aplica en la dinámica de fluidos para describir el comportamiento de un fluido en un volumen de control definido bajo condiciones variantes y la cual tiene la siguiente forma:

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_c$$

Donde,

V es la velocidad del fluido en la sección considerada (m/s)

ρ es la densidad del fluido, en este caso del agua (kg/m³)

$\frac{P}{\rho g}$ presión en el punto indicado (m.c.a)

g es la aceleración de la gravedad (m/s²)

Los subíndices 1 y 2 indican los valores para el inicio y el final del volumen de control. En el caso de la red de distribución de este proyecto, si 1 hace referencia al inicio de un tramo y 2 al final de ese mismo tramo, suponiendo que la velocidad no varía porque se mantiene el diámetro y que no hay desniveles entre dichos puntos, se tiene:

$$\frac{P_{final}}{\rho \cdot g} = \frac{P_{inicial}}{\rho \cdot g} - h_c$$

Esta fórmula será la que se aplique para conocer la presión residual en los puntos de consumo.

9.3.2. Pérdidas de carga secundarias

En el caso de que se tengan otro tipo de accesorios a lo largo del recorrido del sistema de tuberías, como codos y válvulas, la pérdida de carga de estos elementos también debe de considerarse.

Generalmente, las pérdidas de carga continuas resultan mayores que las pérdidas debidas a las singularidades de una tubería, conocidas como pérdidas de carga secundarias. Cuando éstas últimas suponen menos del 5% de la pérdida de carga total, es habitual despreciarlas.

Las pérdidas secundarias se determinan de manera experimental y se expresan en función de un coeficiente empírico, conocido como K .

$$h_s = K \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Donde,

h_s son las cargas de pérdida secundarias (m.c.a)

K es un coeficiente que depende del tipo de accesorio.

Otra forma de considerar las pérdidas localizadas es empleando el método de la longitud equivalente de conducción, no siendo este totalmente exacto, pero, es completamente válido a efectos de estimar pérdidas.

Este método consiste en expresar el tramo en forma de una longitud virtual equivalente (L_e), con la que se consigue evaluar la pérdida de carga que supone una singularidad en términos de metros de tubería recta.

A efectos prácticos, es muy habitual suponer que las pérdidas secundarias h_s resulten ser del orden del 5 al 20% de las pérdidas de carga continuas. El valor dentro de ese rango se escoge en función de la cantidad de singularidades que se tenga en la instalación.

9.3.3. Factor de fricción

Como se ha mencionado anteriormente, el factor de fricción, f , varía de acuerdo con los parámetros de la tubería (rugosidad y diámetro) y del tipo de flujo, laminar o turbulento, que se caracteriza mediante el número de Reynolds (Re). Será, por tanto, necesario calcular dicho número para averiguar el régimen del flujo, y se calcula como:

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

Donde,

ρ es la densidad del fluido, en este caso del agua (kg/m^3)

V es la velocidad del agua en el interior de la tubería (m/s)

μ es la viscosidad dinámica del agua ($\text{kg/m} \cdot \text{s}$)

D es el diámetro interior de la tubería (m)

El número de Reynolds permite relacionar las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas presentes en un fluido. En los casos en los que las fuerzas predominantes son las viscosas, el fluido discurre de forma laminar por la tubería, dando lugar a valores de Reynolds bajos. Por el contrario, cuando las fuerzas de inercia predominan sobre las viscosas y la importancia de la rugosidad es patente, el fluido se encuentra bajo régimen turbulento, traduciéndose en valores de Reynolds altos.

Para el caso del agua, se determina una franja del número de Reynolds en la que se puede situar el fluido cuando circula por un conducto o tubería. En función del valor del número de Reynolds se tienen tres zonas distintas:

- $Re < 2300$: Régimen laminar
- $2300 < Re < 4000$: Transición
- $Re > 4000$: Régimen turbulento

Es necesario conocer el régimen en el que se encuentra el flujo que circula a través de la tubería dado que es lo que indica la forma en la que se debe de calcular el coeficiente de fricción (f).

Asimismo, para un número de Reynolds, Re , inferior a 2300, ya que se considera que el fluido presenta un régimen de flujo laminar, el factor de fricción f , se expresa aplicando la fórmula de Poiseuille:

$$f = \frac{64}{Re}$$

Por el contrario, si el fluido se encuentra en régimen turbulento o en la zona de transición hacia dicho régimen, la ecuación más usada para calcular el factor de fricción es la Ecuación de Colebrook-White, que toma la forma:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

Donde,

Re es el número de Reynolds

ε/D es la rugosidad relativa

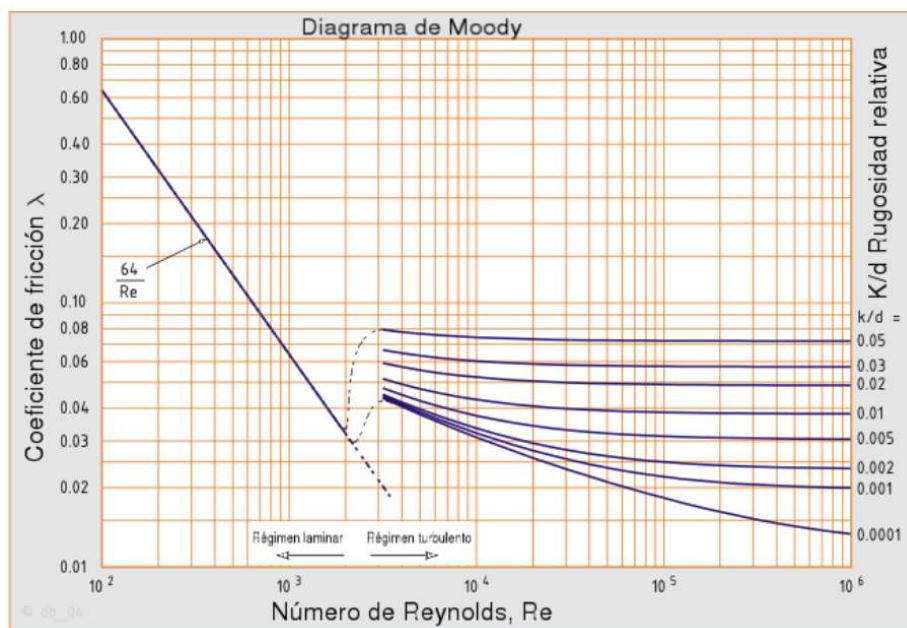
f es el factor de fricción

Por su parte, la rugosidad relativa (ε/D) se toma en función de la rugosidad absoluta (ε) del material de la tubería y de su diámetro interno (D).

9.3.4. Diagrama Moody

Otra manera de calcular el factor de fricción f es empleando el diagrama de Moody (1944), el cual permite determinar el coeficiente de fricción f mediante método gráfico a partir de Re y ε/D . Como se puede observar en la Ilustración 55, se trata de una representación $\log - \log$ del factor de fricción f frente a Re , entrando al diagrama mediante el parámetro ε/D . Del mismo modo, se distinguen cinco zonas, correspondientes a los distintos regímenes hidráulicos.

Ilustración 55. Diagrama de Moody para determinar el factor de fricción



Aplicando las fórmulas explicadas en este apartado, se calculará finalmente la pérdida de carga total de cada tramo que forma el circuito. Con esto, se comprobará que la presión disponible en cada punto de consumo es superior al valor mínimo recomendable. El Documento Básico de Suministro de Agua HS4 indica que la presión mínima debe de ser superior a 100 kPa, que es lo mismo que 10,2 m.c.a. Este dato se tomará únicamente como referencia. La red de distribución propuesta en este proyecto está sujeta a las condiciones y posibilidades del lugar en el que se va a implantar por lo que puede suponer modificaciones en este aspecto. En los casos en los que se obtenga una presión en el punto de consumo inferior a 100 kPa, se asegurará que dicha presión es de al menos 50 kPa, siendo ésta la presión mínima a la que opera la grifería que se quiere instalar. Si no se cumpliera dicha restricción, se deberá de aumentar el diámetro de la tubería, para así reducir la velocidad que repercutirá en pérdidas de carga inferiores.

A la presión inicial disponible se le deberá de descontar la pérdida de presión por rozamiento y por los accesorios provistos en el recorrido del tramo. En el caso de que hubiese desniveles entre los dos puntos extremos del recorrido, atendiendo a la ecuación de Bernoulli, se deberá de considerar la diferencia de altura a la que está situada el punto de consumo con respecto al origen ($z_1 - z_2$). Por ello, se deberá de considerar la altura a la que se encuentra el punto inicial, que corresponderá a la cota a la que se encuentra el nivel del agua en el depósito.

10. Depósito de almacenamiento de agua

Como ya se mencionó con anterioridad, las dimensiones del tanque están determinadas según la capacidad de almacenamiento necesaria, que se basa en las necesidades hidráulicas estimadas del colegio.

El depósito se instalará lo más cerca posible del pozo de bombeo con el fin de disminuir las pérdidas en el recorrido de impulsión del agua.

Para que el depósito sea capaz de distribuir el agua a los puntos de consumo, es necesario que el depósito se encuentra a una altura suficiente. Es por ello por lo que se escoge una altura de al menos 15 metros.

Habiendo determinado un caudal diario necesario de 21 m³/día, se concluye que un depósito con un volumen de 30 m³ de agua es suficiente para albergar toda la cantidad de agua necesaria. El depósito tendría incluso capacidad suficiente como para almacenar y abastecer al colegio en el caso de que la bomba no funcionase.

Conociendo las necesidades básicas requeridas, se acudió a varios fabricantes para escoger el tanque que mejor se acogiese a estas características con el fin de tener unas dimensiones de referencia. Se subraya que no es viable transportar un depósito de estas características hasta el Chad por lo que se plantea que la única forma factible de instalar un depósito en el Chad es adquirirlo en algún país vecino, presumiblemente Camerún, para luego trasladarlo hasta el punto de destino. Se escoge Camerún en lugar de otro país fronterizo puesto que se prevé mayor facilidad en encontrar este tipo de bien en dicho país. Se considera que Camerún es uno de los mayores proveedores de bienes y servicios regional ya que se trata del país de paso del 93% [24] del tráfico de mercancías de África Central, convirtiéndolo en una de las fuerzas impulsoras de la región.

Con esto, se acude a la empresa *AguaDep Casariche* [25] con la única finalidad de tener una base de referencia en la que apoyarse para hacer los cálculos pertinentes en el sistema de distribución, porque, como se verá más adelante, se requiere de la altura del depósito.

De entre todos los depósitos disponibles, el más apropiado para esta instalación sería un depósito vertical con patas metálicas, cuyas características del tanque serían:

Tabla 40. Características principales del depósito de agua

Diámetro	2450 mm
Altura depósito	6800 mm
Altura base metálica	15 m
Capacidad total	30.000 L

Ilustración 56. Depósito de agua proveedor AguaDep Casariche



Se considera que, tanto la capacidad de bombeo como la de almacenamiento es tal que, entre dos días consecutivos, la probabilidad de tener agua almacenada del día anterior es muy elevada. Por tanto, se prevé mayormente que, al empezar el día, el agua tenga una cierta altura en el depósito.

Con una altura del depósito de 6,8 metros, se considera que la cota máxima a la que se podrá encontrar el agua en el depósito es de 6 metros. Si se le suma a esta cota, la altura de la base metálica del tanque, se obtiene la presión máxima que puede tener la tubería de distribución a la salida del depósito, que será de 21 metros (6 metros nivel de agua en el tanque + 15 metros desde la base de las patas metálicas). Evidentemente, esta presión se verá reducida a medida que el nivel de agua en el depósito disminuya.

11. Cálculo pérdidas de carga en la red

Una vez calculados velocidad, diámetro y factor de fricción, se pasará a calcular las pérdidas de carga en cada tramo, y, por tanto, será en este paso en el que se comprobará que la presión residual en el punto de abastecimiento no es excesivamente pequeña. Esta presión variará significativamente en función del nivel de agua que se tenga a la salida del depósito, por lo que será necesario estudiar dos casos, uno con el depósito completamente lleno, que se ha determinado en 6 metros, y otro, en el que el agua en el interior del depósito se encuentra a una altura inferior, que se ha fijado en 3 metros.

En este apartado se muestra la Tabla 41, en la que vienen indicados los valores de presión en los puntos de consumo tanto para la situación en la que el depósito se encuentra lleno como para el caso en el que el nivel de agua del depósito es bajo. Como se puede observar, en ambas situaciones, la presión en todos los puntos es superior a la mínima establecida de 50 kPa, si bien cuando el depósito se encuentra lleno, la presión más baja obtenida es ligeramente inferior a 100 kPa. Esto se debe a que se tienen varios tramos de larga distancia lo que supone un impacto significativo en las pérdidas de carga y que queda notablemente reflejado a medida que el depósito va disminuyendo su nivel de agua.

Como se puede contemplar, se ha procedido a calcular las pérdidas de carga a lo largo del recorrido correspondiente hasta llegar al punto final en el que se encuentra la toma de agua instalada.

La longitud de los tramos se ha determinado con la ayuda de AUTOCAD, acotando las distancias entre los puntos pertinentes de un mapa de la zona obtenido a través de Google Maps. Para mayor detalle véase el apartado de Planos. Cabe añadir que, para quedar del lado de la seguridad, se ha introducido un margen de seguridad en las mediciones de las distancias de las tuberías, el cual se ha establecido en un 20%. En cuanto a las pérdidas secundarias, se evalúan en forma de una longitud virtual equivalente (L_e), que resulta ser un 10% superior a la longitud medida inicialmente (ya habiendo aplicado el factor de seguridad).

El fluido realiza distintos recorridos, compuestos por varios tramos de tuberías de distinto diámetro, para los que se ha calculado sus correspondientes pérdidas de carga, hasta alcanzar la presión final del punto de consumo en cuestión. Los cambios de dirección del fluido vienen expresados por el subíndice que acompaña la numeración de las tuberías (Ilustración 54 adjuntada al inicio de este capítulo).

Tabla 41. Cálculo pérdidas de carga y presión final residual red de distribución de agua

Punto final	Q (m³/h)	Ø ext (mm)	Ø int (mm)	L (m)	L _{eq101} (m)	v (m/s)	Número de Reynolds	Régimen	factor de fricción f	Pérdidas de carga totales (mca)	Presión inicial depósito lleno (mca)	Presión final depósito lleno (mca)	Presión inicial depósito nivel bajo (mca)	Presión final depósito nivel bajo (mca)	Presión final depósito lleno (kPa)	Presión final depósito nivel bajo (kPa)
100	10,44	63	51,40	6,60	7,26	1,40	71499	Turbulento	0,0194	0,27	21,00	20,73	18,00	17,73	208,25	173,83
110	2,52	32	26,00	48,47	53,31	1,32	34119	Turbulento	0,0230	4,17	20,73	16,56	17,73	13,56	162,37	132,95
120.1	2,52	25	20,40	10,12	11,13	2,14	43484	Turbulento	0,0218	2,78	16,56	13,78	13,56	10,78	135,11	105,69
121	1,44	25	20,40	14,88	16,37	1,22	24848	Turbulento	0,0247	1,52	13,78	12,26	10,78	9,26	120,24	90,82
Baño gimnasio															120,24	90,82
120.2	1,08	25	20,40	7,62	8,38	0,92	18636	Turbulento	0,0265	0,47	13,78	13,31	10,78	10,31	130,52	101,10
Secundaria Fuente 1															130,52	101,10
120.3	0,54	25	20,40	21,20	23,32	0,46	9318	Turbulento	0,0316	0,39	13,31	12,92	10,31	9,92	126,72	97,30
Secundaria Fuente 2															126,72	97,30
200	7,92	50	40,80	3,92	4,32	1,68	68333	Turbulento	0,0197	0,30	20,73	20,43	17,73	17,43	200,30	170,88
210	4,50	32	26,00	30,65	33,71	2,35	60926	Turbulento	0,0202	7,41	20,43	13,02	17,43	10,02	127,64	98,22
Baños ESO															127,64	98,22
300	3,42	40	32,60	21,82	24,00	1,14	36929	Turbulento	0,0225	1,09	20,43	19,33	17,43	16,33	189,57	160,15
310.1	1,08	20	16,00	17,42	19,17	1,49	23761	Turbulento	0,0250	3,40	19,33	15,93	16,33	12,93	156,19	126,77
ESO 1 Fuente 1															156,19	126,77
310.2	0,54	20	16,00	38,88	42,77	0,75	11881	Turbulento	0,0297	2,25	15,93	13,68	12,93	10,68	134,13	104,71
ESO 1 Fuente 2															134,13	104,71
400	2,34	32	26,00	4,75	5,23	1,22	31682	Turbulento	0,0211	0,12	19,33	19,21	15,93	15,81	188,38	155,00
410.1	1,08	20	16,00	39,02	42,93	1,49	23761	Turbulento	0,0250	7,62	19,21	11,59	15,81	8,18	113,62	80,24
ESO 2 Fuente 1															113,62	80,24
410.2	0,54	20	16,00	39,06	42,97	0,75	11881	Turbulento	0,0297	2,26	11,59	9,33	8,18	5,92	91,45	58,07
ESO 2 Fuente 2															91,45	58,07
500	1,26	32	26,00	174,40	191,84	0,66	17059	Turbulento	0,0270	4,41	19,21	14,80	15,81	11,39	145,11	111,73
510	1,26	20	16,00	15,76	17,33	1,74	27721	Turbulento	0,0242	4,04	14,80	10,75	11,39	7,35	105,46	72,08
Comedor															105,46	72,08
600	5,04	50	40,80	29,89	32,88	1,07	43484	Turbulento	0,0217	1,02	21,00	19,98	18,00	16,98	195,91	166,49
610.1	2,16	25	20,40	13,01	14,31	1,84	37272	Turbulento	0,0226	2,72	19,98	17,26	16,98	14,26	169,26	139,84
611.1	1,08	20	16,00	4,80	5,28	1,49	23761	Turbulento	0,0250	0,94	17,26	16,32	14,26	13,32	160,06	130,64
Primaria 1 Fuente 1															160,06	130,64
611.2	0,54	20	16,00	23,05	25,36	0,75	11881	Turbulento	0,0297	1,33	16,32	14,99	13,32	11,99	146,98	117,57
Primaria 1 Fuente 2															146,98	117,57
610.2	1,08	25	20,40	25,01	27,51	0,92	18636	Turbulento	0,0265	1,53	17,26	15,73	14,26	12,73	154,21	124,79
621.1	1,08	20	16,00	6,00	6,60	1,49	23761	Turbulento	0,0250	1,17	15,73	14,55	12,73	11,55	142,71	113,29
Primaria 2 Fuente 1															142,71	113,29
621.2	0,54	20	16,00	24,48	26,93	0,75	11881	Turbulento	0,0297	1,42	14,55	13,14	11,55	10,14	128,82	99,40
Primaria 2 Fuente 2															99,40	66,55
700	2,88	32	26,00	4,61	5,07	1,51	38993	Turbulento	0,0223	0,50	19,98	19,47	16,98	16,47	190,98	161,56
710	0,72	20	16,00	7,86	8,65	0,99	15841	Turbulento	0,0276	0,75	19,47	18,72	16,47	15,72	183,60	154,18
Enfermería															183,60	154,18
800	2,16	32	26,00	63,76	70,13	1,13	29244	Turbulento	0,0238	4,17	19,47	15,30	16,47	12,30	150,05	120,64
810.1	1,08	20	16,00	12,24	13,46	1,49	23761	Turbulento	0,0250	2,39	15,30	12,91	12,30	9,91	126,61	97,19
Primaria 3 Fuente 1															126,61	97,19
810.2	0,54	20	16,00	28,88	31,77	0,75	11881	Turbulento	0,0297	1,67	12,91	11,24	9,91	8,24	110,22	80,80
Primaria 3 Fuente 2															110,22	80,80
820.1	1,08	20	16,00	8,04	8,84	1,49	23761	Turbulento	0,0250	1,57	15,30	13,73	12,30	10,73	134,65	105,23
Primaria 4 Fuente 1															134,65	105,23
820.2	0,54	20	16,00	28,28	31,11	0,75	11881	Turbulento	0,0297	1,64	13,73	12,09	10,73	9,09	118,60	89,18
Primaria 4 Fuente 2															118,60	89,18

12. Material tuberías de distribución

El criterio principal que influye en la elección del material de las tuberías es el coste. Al igual que la tubería de impulsión de la bomba, las tuberías de la red de distribución que se seleccionan serán de PE debido a la asequibilidad y accesibilidad de este tipo de tuberías en el mercado, tanto dentro como fuera de España. Se deberá de asegurar que las tuberías escogidas cumplen con los criterios de presión y temperatura que se vayan a tener en la instalación.

13. Configuración red de distribución

La determinación del caudal diario requerido para abastecer los distintos puntos de consumo establecidos se enfocó pensando en un futuro en el que se dispusiese de una red de alcantarillado a la que poder conducir las aguas residuales.

En este proyecto, se plantea una posible solución de red de suministro de agua a todos estos puntos y que se pueda implementar en el momento en el que se disponga de una red de desagüe adecuada a la que verter todos los residuos.

En ausencia de una red de evacuación apropiada, este proyecto trata la puesta en marcha de la construcción de aquellos puntos de consumo que no necesitan una infraestructura de desagüe. Asimismo, se llega a la siguiente configuración:

- **Edificio de aulas:** Las fuentes de consumo determinadas para cada edificio se situarán en el exterior del edificio e irán empotradas en un muro, construido con materiales disponibles de la zona. La tubería principal del sector en cuestión transcurrirá enterrada hasta llegar al soporte del muro, momento en el que se realiza la derivación.
- **Comedores:** Con respecto a la idea inicial de disponer de dos puntos de consumo internos en el edificio, se decide seguir la misma línea de diseño que en los edificios de aulas y se instalará una fuente en el exterior que proporcionará agua para aclarar los platos después de comer, además de poder emplearse para beber agua.
- **Baños:** En ausencia de medios para evacuar las aguas residuales se opta por sistemas de disposición de excretas por medio de pozos sépticos. Actualmente, el colegio dispone de letrinas de fosa simple, tal y como se muestra en la Ilustración 57, pero permanecen cerradas debido al mal uso y a la falta de limpieza que se les ha dado.

Ilustración 57. Letrina de fosa simple



Se pretende buscar una solución que mejora estas condiciones y de unos resultados más adecuados. Para ello, se decide empezar construyendo una letrina en cada caseta, ya construidas, para valorar el desempeño obtenido a lo largo de un cierto tiempo. El suministro de agua de los demás puntos considerados en los baños se dejará planteado, pero no se llevará a cabo, a excepción del bidé que se quiere incluir en el aseo de niñas para que tengan un espacio en el que asearse. En este caso, el desagüe de este elemento se conectará con la tubería que une la letrina con el pozo séptico.

- **Enfermería:** Los dos puntos de consumo considerados en este edificio se reducirán a uno, y éste consistirá en un lavabo dispuesto en el interior del edificio. Se requerirá de un sistema más complejo puesto que es necesario buscar una forma de introducir y evacuar el agua al exterior. Se plantean dos alternativas para el suministro y la descarga del agua: o bien se realiza un agujero en la pared vertical del edificio para hacer pasar las tuberías, o bien se realiza una zanja transversal que transcurra entre el interior y exterior del edificio para colocar las tuberías. La tubería de desagüe descargará directamente al exterior. A diferencia de las aguas negras (provenientes de las letrinas), las aguas grises (provenientes del uso doméstico) no son peligrosas para la salud o el medio ambiente.

En el apartado que sigue, se van a exponer los distintos componentes y fittings, o lo que es lo mismo, accesorios que permiten realizar las conexiones entre los distintos segmentos de tuberías a unir en la instalación.

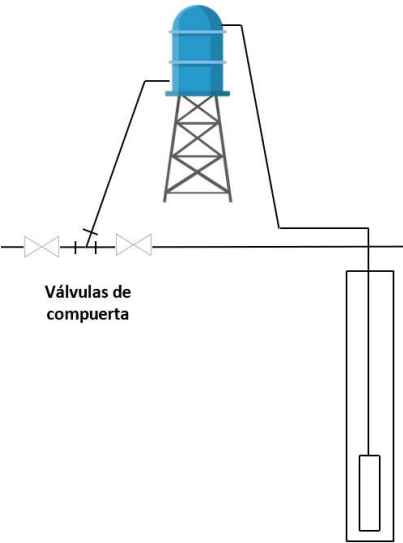
14. Elementos de conducción

- **Válvula de compuerta**

Se dispondrá una válvula de compuerta a cada lado de la tubería principal de la red. Las válvulas irán preferiblemente enterradas para evitar los posibles deterioros ocasionados debido a la exposición al exterior ya que se trata de una zona de continuo tránsito. Por esta misma razón, los huecos excavados para introducir las válvulas irán cubiertos por una losa, o cualquier elemento similar.

La red está configurada de tal forma que permite dividir la distribución de agua en dos sectores, de modo que si se necesita cortar el suministro de agua de uno de los sectores debido a una avería aguas abajo en esa zona en particular, el otro sector no se vea afectado y pueda disponer de agua.

Ilustración 58. Ubicación válvulas de compuerta en la red



Las válvulas de compuerta constan de una compuerta o una cuchilla, accionadas por un vástago para abrir o cerrar el paso del agua.

No es aconsejable instalar este tipo de válvulas cerca de lugares en los que es habitual abrir y cerrar el flujo del agua, por ejemplo, grifos, puesto que se trata de un proceso lento y la fricción podría dañar al dispositivo. Por eso, se recomienda colocar la válvula de compuerta lo más próximo posible a la salida de la fuente de agua principal.

Ilustración 59. Válvula de compuerta y brida de unión



La válvula de compuerta irá unida a la tubería principal mediante una brida de acoplamiento que se atornillará a la válvula de compuerta.

A continuación, se muestra una tabla en la que se indica la dimensión de la válvulas y los tramos de tubería principal en los que se instalarán.

Tabla 42. Características válvula de compuerta

Tubería principal	Elementos	Dimensiones
100, 600	Válvula de compuerta con volante (x2)	63 mm

- **Válvula de bola**

Se dispondrá una llave de paso antes de las tomas de agua exteriores para regular su paso de agua. Se escoge este tipo de válvula debido a que son relativamente económicas de construir y mantener. Además, son las válvulas más comunes en el servicio de agua en viviendas y permiten emplearse con grandes volúmenes de agua. Tiene también la gran ventaja de que para una tubería de gran diámetro, son mucho más pequeñas que su equivalente en otro tipo de válvulas.

La válvula de bola se compone de una bola taladrada de lado a lado, que abre, cierra u obstruye de forma parcial el flujo. Cuando la válvula se encuentra cerrada, la bola bloquea completamente la línea, mientras que cuando está abierta, la bola se encuentra en paralelo al flujo de agua.

Otra gran ventaja de estas válvulas es que son capaces de resistir grandes caídas de presión a través de la válvula, aunque no se prevé que la diferencia de presión sea muy alta en esta instalación.

Ilustración 60. Válvula de bola



En cuanto a los puntos de consumo interiores, se instalará una llave de escuadra que son las que habitualmente se emplean en las viviendas.

- **Uniones roscadas**

La unión de tuberías se hará mediante accesorios enroscados ya que se trata del proceso de instalación más sencillo. Además, se puede encontrar una gran variedad de accesorios de este tipo a un precio muy asequible. La instalación puede complementarse con la ayuda de selladores externos como puede ser, cinta de teflón, aunque, generalmente, suele estar más orientado a la instalación de tuberías de multicapa. No obstante, es un elemento auxiliar que en caso de utilizarse, contribuye a garantizar una mayor estanqueidad.

Para determinar si una rosca es macho o hembra, se realiza una comprobación visual. Las piezas roscadas macho disponen de una rosca externa, mientras que las piezas roscadas hembra tienen una rosca interna. Sin embargo, existe una gran variedad de conexiones que incluyen ambos tipos de roscas.

Ilustración 61. Tipos de uniones roscadas



La conexión roscada del accesorio se escogerá en función del tipo de rosca que tenga el otro elemento al que se le deba unir. También se deberá prestar atención al diámetro nominal de los elementos. La presión nominal máxima que pueden soportar los elementos no es determinante en su elección, ya que en esta instalación, se tienen presiones considerablemente bajas con respecto a las presiones nominales que ofrecen estos elementos en el mercado.

El material de estos accesorios en la unión de tuberías de polietileno (PE) podrá ser latón y/o polietileno.

- **Collarín de derivación**

Se emplearán collarines de derivación cuando se realicen derivaciones en la tubería principal y el diámetro del tramo secundario sea inferior al diámetro normalizado consecutivo de la tubería principal. Este elemento es de tipo abrazadera partida en dos mitades, que se acoplan en la parte inferior y superior de la tubería respectivamente, para luego atornillarlas y permitir el apriete. Además, será necesario perforar dicho tubo principal, para que por la terminación del soporte superior, circule el fluido al tramo de derivación. Esta terminación suele ser roscada de tipo hembra, por lo que se deberá de buscar un accesorio roscado de tipo macho para acoplar la tubería de derivación. Este accesorio tendrá un extremo roscado al cuerpo del collarín de derivación, adaptado a sus características y dimensiones, mientras que el extremo opuesto se introducirá a compresión en la tubería del tramo de derivación.

Ilustración 62. Collarín de derivación



- **Uniones en T**

La unión T es un accesorio diseñado para unir tuberías, el cual permite dividir el flujo en hasta tres tramos de tubería independientes. Este accesorio puede emplearse tanto en la unión de tuberías de mismo diámetro como en la unión de tuberías de diferente diámetro, en cuyo caso, el accesorio incorporaría un reductor para tubos.

En el caso de esta instalación, este tipo de accesorio se empleará principalmente para unir tuberías de distinto diámetro, concretamente, para realizar la unión con los ramales que van directamente al punto de consumo, y en cuyo caso, los cabezales principales son los tramos.

Ilustración 63. Unión en T



Tanto la tubería central como la derivación se introducen en el accesorio a compresión.

- **Codos**

Los codos son accesorios de forma curva que se emplean para cambiar la dirección del flujo de las líneas. En esta instalación, la mayoría de los codos que se utilizan tienen una segunda función y será la de realizar una conexión con una tubería de diámetro inferior, por lo que se necesitará un codo que disponga de un acoplo reductor.

Ilustración 64. Codo y acoplo reductor



En estos casos, el extremo acoplado a la tubería principal irá a compresión, mientras que para realizar el enlace con la derivación será necesario disponer de un accesorio adicional roscado según el tipo de rosca que se tenga. En el ejemplo que se muestra en la Ilustración 64, se necesitará un enlace macho para hacer el acoplo con el cuerpo del codo ya que la rosca de dicho elemento es hembra.

14.1. Listado de accesorios de conducción de la red

En el apartado de Planos de esta memoria, se incluye el diagrama de Tuberías e Instrumentación (P&ID) de la red de distribución propuesta. En él, vienen representados de forma esquemática los instrumentos y tuberías que se emplearán para el montaje de la instalación. A continuación, se presenta una tabla en la que vienen recogidos los distintos accesorios, su nomenclatura para poder localizarlos en el plano, sus dimensiones y finalmente, también se indica la tubería desde la que parte cada elemento.

Tabla 43. Listado de accesorios de conducción

Tubería	Tipo de unión	Nomenclatura	Dimensiones
000	Codo 45º	CG - 000 - 75	75 x 75 mm
000	Derivación T 45º reducida	TG - 000 - 75	75 - 63 mm - 45º
100	Collarín de derivación	CD - 100 - 63	63 mm - 1"
110	Enlace mixto rosca macho	RM - 110 - 32	32 mm - 1"
110	Codo rosca hembra	CH - 110 - 32	32 mm - ¾"
120	Enlace mixto rosca macho	RM - 120 - 25	25 mm - ¾"
120	T bocas iguales	T - 120 - 25	25 x 25 x 25 mm
121	Codo rosca hembra	CH - 121 - 25	25 mm - ½"
121	Enlace mixto rosca macho	RM - 121 - 20	20 mm - ½"
120	T reducida de compresión	TR - 120 - 20	25 x 20 x 25 mm
120	Codo rosca hembra	CH - 120 - 25	25 mm - ½"
123	Enlace mixto rosca macho	RM - 123 - 20	20 mm - ½"
200	Enlace reducido	R - 200 - 50	63 x 50 mm
200	Collarín de derivación	CD - 200 - 50	50 mm - ¾"
210	Enlace mixto rosca macho	RM - 210 - 32	32 mm - ¾"
210	T reducida de compresión	TR - 210 - 20	32 x 20 x 32 mm
211	Codo de compresión	C - 211 - 20	20 x 20 mm
210	Codo rosca hembra	CH - 210 - 32	32 mm - ½"
212	Enlace mixto rosca macho	RM - 212 - 20	20 mm - ½"
212	Codo de compresión	C - 212 - 20	20 x 20 mm
300	Enlace recto reducido	R - 300 - 40	50 x 40 mm
300	Enlace recto reducido	R - 300 - 32	40 x 32 mm
300	Collarín de derivación	CD - 300 - 32	32 mm - ½"
310	Enlace mixto rosca macho	RM - 310 - 20	20 mm - ½"
310	Codo de compresión (x2)	C - 310 - 20	20 x 20 mm
310	T bocas iguales	T - 310 - 20	20 x 20 x 20 mm
400	T reducida de compresión	TR - 400 - 20	32 x 20 x 32 mm
410	Codo de compresión (x2)	C - 410 - 20	20 x 20 mm
410	T bocas iguales	T - 410 - 20	20 x 20 x 20 mm
500	Codo rosca hembra	CH - 500 - 32	32 mm - ½"
510	Enlace mixto rosca macho	RM - 510 - 20	20 mm - ½"
510	Codo de compresión	C - 500 - 20	20 x 20 mm
600	Enlace recto reducido	R - 600 - 50	63 x 50 mm
600	Collarín de derivación	CD - 600 - 50	50 mm - ¾"
610	Enlace mixto rosca macho	RM - 610 - 25	25 mm - ¾"
610	T reducida de compresión	TR - 610 - 20	25 x 20 x 25 mm
611	T bocas iguales	T - 611 - 20	20 x 20 x 20 mm
611	Codo de compresión	C - 611 - 20	20 x 20 mm
610	Codo rosca hembra	CH - 610 - 25	25 mm - ½"
621	Enlace mixto rosca macho	RM - 621 - 20	20 mm - ½"
621	T bocas iguales	T - 621 - 20	20 x 20 x 20 mm
621	Codo de compresión	C - 621 - 20	20 x 20 mm
700	Enlace recto reducido	R - 700 - 32	50 x 32 mm
700	T reducida de compresión	TR - 700 - 20	32 x 20 x 32 mm
710	Codo de compresión	C - 710 - 20	20 x 20 mm
800	Enlace recto reducido	R - 800 - 20	32 x 20 mm
800	T bocas iguales	T - 800 - 20	20 x 20 x 20 mm
810	T bocas iguales	T - 810 - 20	20 x 20 x 20 mm
810	Codo de compresión	C - 810 - 20	20 x 20 mm
820	T bocas iguales	T - 820 - 20	20 x 20 x 20 mm
820	Codo de compresión	C - 820 - 20	20 x 20 mm

Leyenda	
CD	Collarín derivación
CG	C inclinado
CH	Codo rosca hembra
C	Codo enlace compresión
R	Enlace reducido
RM	Rosca macho
T	T bocas iguales
TH	T rosca hembra
TG	T inclinada
TR	T reducida

15. Puntos de consumo

15.1. Fuentes exteriores

Como ya se ha mencionado, las fuentes de consumo se situarán en el exterior del edificio e irán empotradas en un muro, construido con materiales disponibles de la zona.

En cuanto a los grifos de los puntos de consumo, se decide emplear grifos de tipo temporizado con el fin de evitar un dispendio excesivo de agua, por el simple hecho de que los niños se puedan olvidar de cerrar el grifo tras haberlo utilizado.

Uno de los principales objetivos cuando se desarrolla un proyecto de esta naturaleza, es sensibilizar a la población, de tal forma que los niños lleguen a tomar conciencia de la importancia del agua. Ciertamente, la responsabilidad del buen uso de las instalaciones cae mayormente sobre ellos debido a que son los principales beneficiarios del proyecto.

Ilustración 65. Grifo frontal empleado en las fuentes exteriores



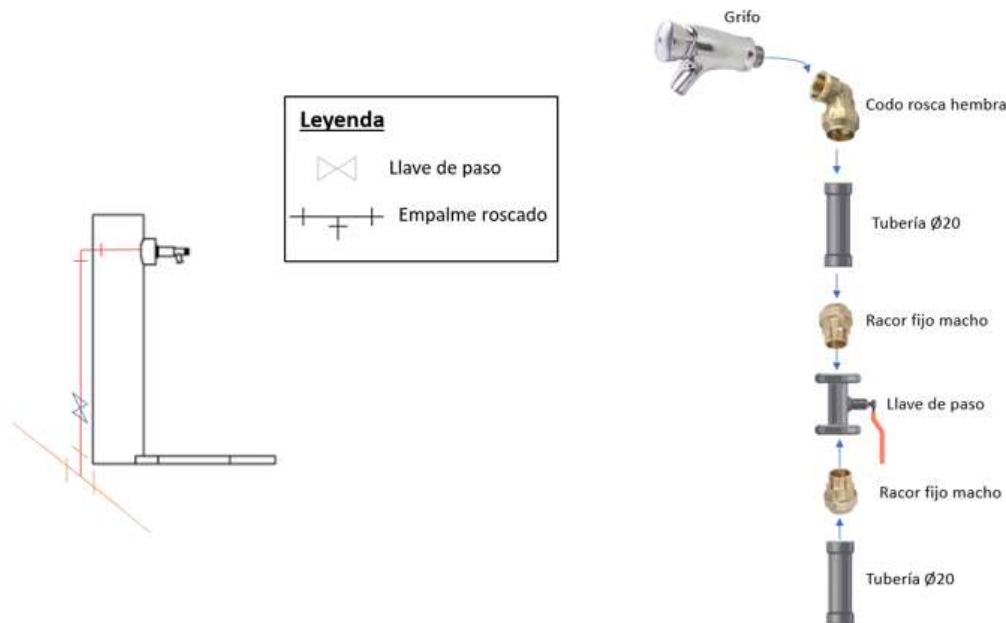
Los grifos empleados en los puntos de la instalación serán como el mostrado en la Ilustración 65. Se empleará un codo de latón forjado para facilitar la conexión del grifo con la tubería de alimentación. Por tanto, el codo deberá disponer de una conexión hembra para servir al grifo, mientras que el extremo inferior se introducirá a compresión en la tubería en cuestión.

También se necesitará de un elemento que facilite la conexión de la llave de paso a la tubería. Como se dispone de una válvula con sus dos extremos tipo hembra, se dispondrá de dos rosca macho que permitan por un lado, roscar uno de sus extremos a la válvula, y por otro lado, conectar la tubería a través de un enlace a compresión.

La parte aérea de subida al grifo irá abrochada al muro mediante abrazaderas y a la que se le incluirá la llave de paso del punto de consumo al inicio de su recorrido.

En la Ilustración 66 se muestra la disposición de los elementos en la fuente. Se recuerda que la tubería principal irá enterrada bajo a tierra, a una profundidad de al menos 30 cm para evitar en mayor medida posibles daños.

Ilustración 66. Disposición elementos de la fuente exterior



Seguidamente, se muestra la Tabla 44 en la que se incluyen los elementos previamente mencionados, sus dimensiones y un listado de las derivaciones en las que se instalarán.

Tabla 44. Características accesorios de las fuentes exteriores

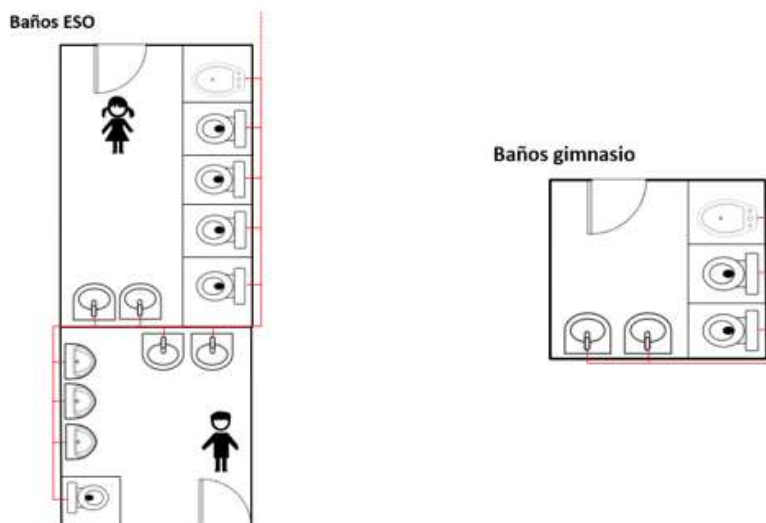
Derivaciones	Elementos	Dimensiones
122, 123, 211, 311, 312, 411, 412, 500,	Grifo frontal temporizado rosca macho	½"
612, 613, 622, 623,	Codo rosca hembra	20 mm - ½"
811, 812, 821, 822	Válvula esfera roscada hembra - hembra	½"
	Enlace válvula - tubería: racor fijo macho	20 mm - ½"

15.2. Baños - Letrinas

Como resultado de la problemática que ocasionan las letrinas actuales del colegio, se plantea una posible solución en la construcción de letrinas que se puedan adecuar de mejor forma a las características y posibilidades de la zona. En todo momento, se pretende buscar la solución más adecuada para mitigar los efectos adversos causados por una mala implementación de estos sistemas.

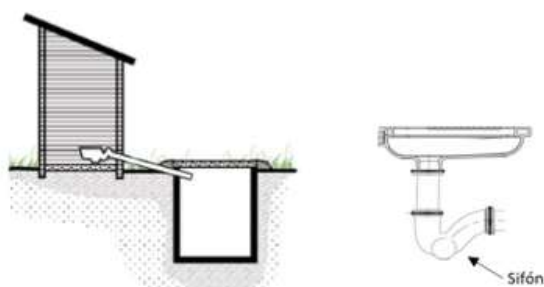
La disposición de los aparatos sanitarios que inicialmente se pensó en caso de disponer de una infraestructura hidráulica adecuada queda reflejada en la Ilustración 67.

Ilustración 67. Configuración inicial baños colegio



En vista a mejorar el sistema de fosa simple del que el colegio actualmente dispone y con el que no se ha obtenido un resultado satisfactorio, se busca una alternativa con la que principalmente mejorar las condiciones higiénicas del lugar. Por ello, se plantea construir un sistema de letrinas de arrastre hidráulico en el que es necesario emplear agua. Este sistema no sólo contribuirá a la implementación apropiada de un sistema de saneamiento, sino que también se prevé que favorezca al proceso de educación sanitaria, sobre todo en el lavado de manos después de hacer uso del servicio.

Ilustración 68. Letrina de arrastre hidráulico



La letrina de arrastre hidráulico se caracteriza por disponer de un sifón que actúa como cierre hidráulico para impedir el paso de insectos y olores del pozo séptico en el que descargan las excretas.

En este tipo de letrina, el pozo se sitúa a una cierta distancia de la caseta, a diferencia de las letrinas de fosa simple en las que el hoyo se encuentra bajo la letrina. Generalmente, se necesitan de 2 a 4 litros de agua para el arrastre [26], cantidad de la cual se dispone gracias a la instalación de bombeo que también se desarrolla en este proyecto. La red de desagüe y la letrina irán conectados por una tubería que habrá que colocar con una cierta pendiente.

Los aparatos sanitarios que se podrán utilizar en este sistema serán del tipo turco o tipo taza, ambos dotados de un sifón para la formación del sello hidráulico. Es fundamental que el aparato sanitario se encuentre herméticamente unido a la losa del piso del cubículo para impedir la salida de malos olores o la entrada de insectos. Además, la taza contará con una tapa para cubrirla que ayudará a evitar malos olores y posibles ingresos de insectos al hoyo.

Ilustración 69. Aparato sanitario tipo turco



Como se ha mencionado anteriormente, se decide construir una letrina de arrastre hidráulico en cada caseta disponible, es decir, una letrina para los baños de la ESO, y otra para los baños del gimnasio.

La letrina de los baños de la ESO se reservará para el uso de las niñas, mientras que la zona para los niños de esa misma caseta permanecerá cerrada. Por esto, el baño del gimnasio se habilitará con una letrina para que los niños puedan utilizarla. Se ha decidido excavar un pozo por caseta con el fin de reducir la carga contaminante del terreno por sector. Ambas casetas mantienen una buena distancia de seguridad ya que se encuentran a una distancia de alrededor de 80 metros.

Ilustración 70. Distancia entre casetas

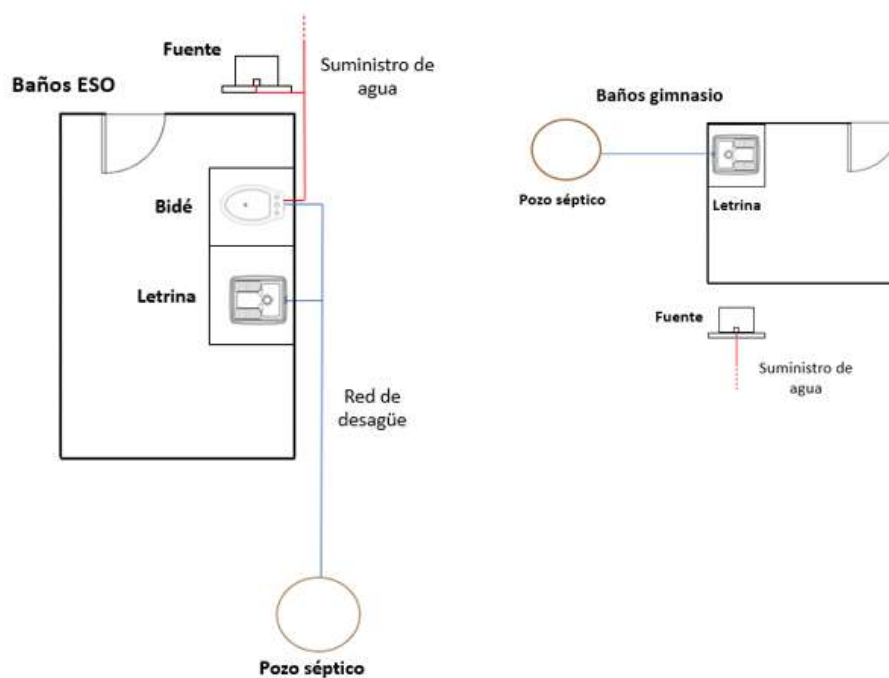


El cubículo en el que se encuentra la letrina también contará con una cubeta que se rellenará de agua para vaciarla en la taza luego de haberla usado. Para ello, se instalará una fuente en el exterior, próxima a los baños en la que los alumnos puedan llenar la cubeta antes de usar la letrina. Esta fuente se instalará a una distancia razonable del pozo séptico para evitar cualquier posible contaminación del agua.

El montaje de la fuente exterior se realizará del mismo modo que se ha detallado para las fuentes dispuestas en el exterior de los edificios donde se imparten las clases.

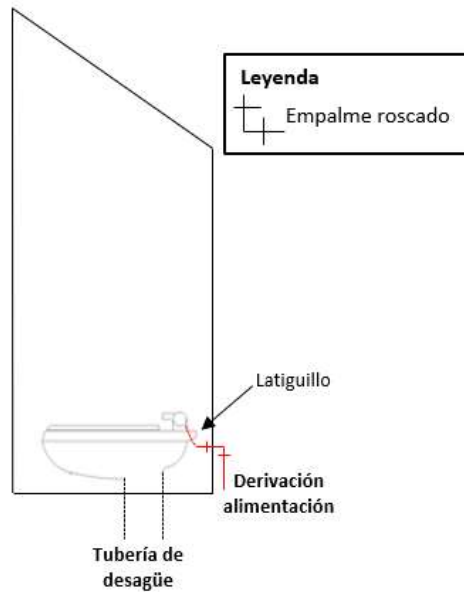
A continuación se muestra una vista en planta de la instalación.

Ilustración 71. Vista en planta instalación de saneamiento baños



Además, como se puede observar en la Ilustración 71, el baño de las niñas incluirá un bidé que se alimentará de agua a través de un ramal derivado de la tubería principal (Ilustración 72).

Ilustración 72. Instalación bidé baños ESO



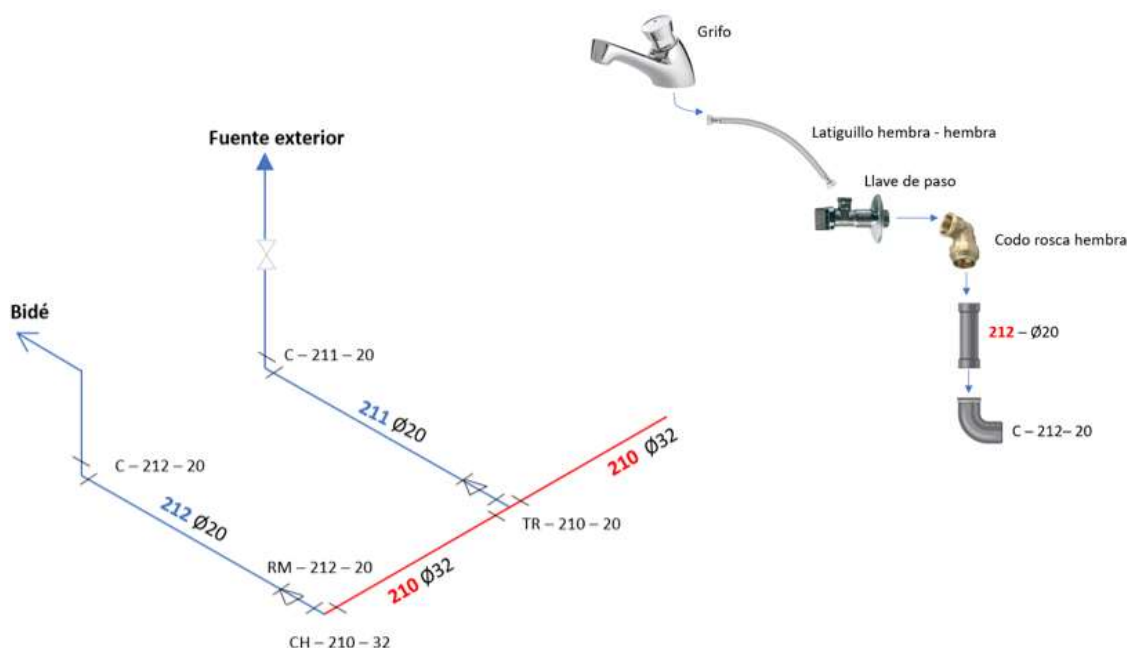
Se realizará un agujero en la pared para introducir la tubería de derivación y se necesitará de un latiguillo para realizar el montaje con la grifería de alimentación. El latiguillo se escogerá en función del tipo de conexión del grifo y al ser de tipo macho, se necesitará un latiguillo con al menos un extremo hembra. El latiguillo irá apoyado en la pared del cubículo a través de la llave de paso que se enroscará a la pared. Le seguirá un codo a compresión que permitirá hacer el acoplo con la tubería de derivación.

A continuación, se mencionan los accesorios necesarios para instalar la grifería del bidé y sus correspondientes dimensiones. También se adjunta la Ilustración 73, en la que se representa gráficamente el recorrido de las tuberías de derivación que van a la fuente exterior y a la toma del bidé.

Tabla 45. Características accesorios grifería bidé

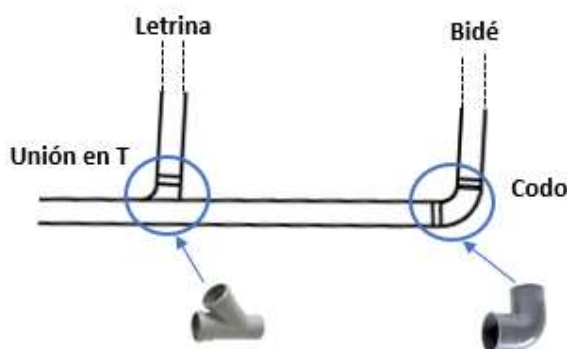
Derivaciones	Elementos	Dimensiones
212	Grifo temporizado rosca macho	$\frac{1}{2}''$
	Latiguillo hembra - hembra	$\frac{1}{2}'' - \frac{3}{8}''$
	Llave de escuadra macho - macho	$\frac{3}{8}'' - \frac{1}{2}''$
	Codo rosca hembra	20 mm - $\frac{1}{2}''$

Ilustración 73. Configuración toma del bidé y recorrido de las tuberías de derivación



El bidé compartirá su tubería de desagüe con la letrina para evacuar conjuntamente las aguas residuales al pozo séptico. Estas tuberías serán de PVC, material empleado para las redes de desagüe, y se unirán mediante un accesorio en T como el que se muestra en la Ilustración 74. De acuerdo con las indicaciones en las guías para el montaje de estas letrinas, se recomienda que el conducto de evacuación de las aguas residuales no sea inferior a 100 mm de diámetro. Los accesorios tendrán las dimensiones requeridas para que se adecúen a tuberías de estas dimensiones. El acoplo entre accesorios y tuberías se realizará con la ayuda de un adhesivo soldador indicado para las uniones de tuberías de tipo PVC.

Ilustración 74. Unión tubería de desagüe



Disponer de una letrina no garantiza que no haya contaminación. Si bien este sistema de letrinas ofrece mayor estanqueidad que el que hay actualmente, no se debe olvidar que un mantenimiento periódico de los baños es imprescindible para prorrogar en el tiempo la vida útil

de las letrinas. Por ello, se recomienda realizar una limpieza de la losa de la letrina al menos una vez por semana por medio de un cepillo y agua.

15.2.1. Ubicación del pozo séptico

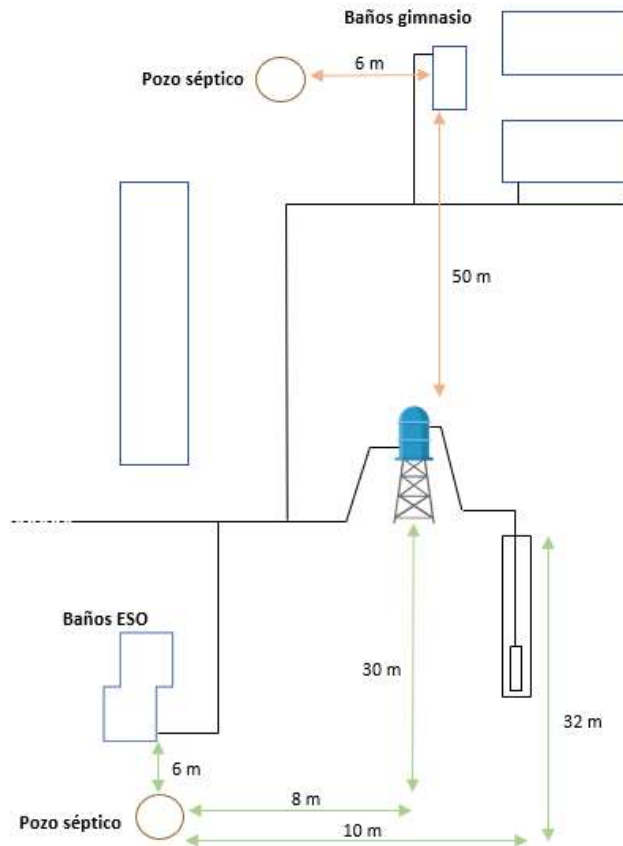
Es fundamental que la ubicación del pozo se decida en función de las fuentes naturales de agua puesto que si no se ubica correctamente puede llegar a contaminar el nivel freático aguas abajo. Esto se debe de tener principalmente en cuenta cuando el depósito de excretas se encuentre bajo suelo, como es el caso de este proyecto. Por lo tanto, se asegurará que dicho depósito no alcanza el nivel freático. Se recuerda que el este término hace referencia a la cota más alta alcanza por la capa superior del agua subterránea.

Ilustración 75. Ubicación de letrinas con respecto a pozos existentes



Para evitar que la letrina contamina las fuentes de agua cercanas se deben de respetar las distancias mínimas. Se recomienda que, la fosa en la que descarguen las excretas se sitúe a al menos 5 metros de cualquier edificio o terreno utilizable por personas. Además, de acuerdo a las distancias exigidas y que conciernen a este proyecto, se deberá de mantener una distancia de al menos 8 metros del depósito de agua y de 20 metros del pozo [26].

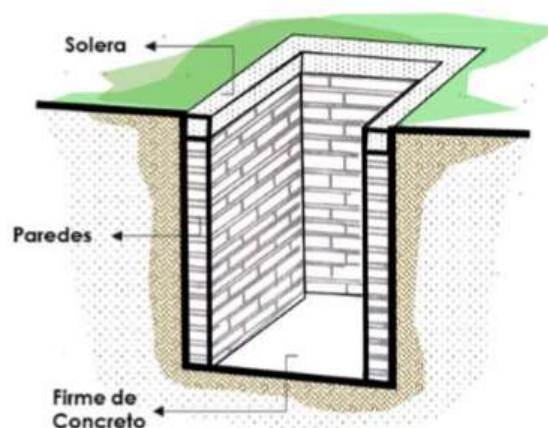
Ilustración 76. Distancias entre pozo séptico y fuentes de agua



Una vez que las materias fecales se encuentren en el pozo, éstas irán digiriéndose biológicamente, reduciendo el volumen acumulado en el pozo. El pozo estará recubierto por una losa para evitar accidentes ya que se trata de una zona transitada.

Es imprescindible que las paredes del hoyo que sirva de depósito estén recubiertas por bloques de cemento, ladrillos, o cualquier otro tipo de material sólido que haya por la zona. De esta manera, se evitará que el lixiviado filtre en el terreno.

Ilustración 77. Recubrimiento de las paredes del pozo



Cuando se observe que la letrina sobrepasa el 75% de la altura del pozo [26] se deberá de clausurar y excavar otro en paralelo, manteniendo una distancia de al menos tres metros entre los dos. Se aprovechará la infraestructura de los baños en los que se encuentra la letrina, moviendo las tuberías de descarga hacia el nuevo pozo.

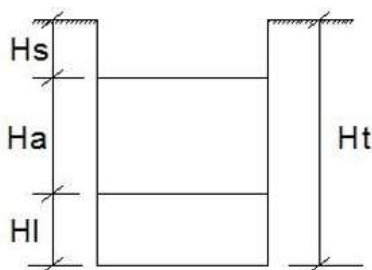
Una vez clausurado el pozo, se deberá dejar los sólidos fecales reposar durante al menos 6 meses para que finalicen su proceso de descomposición. Posteriormente, se rellenará con una capa de cal y sobre ella, tierra para nivelar el suelo del terreno. Hecho esto, se podrá, por ejemplo, plantar vegetación sobre el lugar del hoyo.

15.2.2.Determinación hoyo del pozo séptico

El hoyo se diseña con una tasa de producción de lodos de 0,05 a 0,06 m³/ habitante al año y se determina la altura total del pozo considerando las siguientes cotas:

- H_t es la altura total del pozo (m)
- H_l es la altura de la capa del lodo (m)
- H_a es la altura que ocupa el líquido sobre el nivel del lodo (m)
- H_s es una altura adicional de seguridad (m)

Ilustración 78. Altura total del pozo



La altura ocupada por la capa del lodo se determina con la siguiente expresión:

$$H_l = \frac{N \cdot T_1 \cdot t}{A}$$

Donde,

N es el número de usuarios que utilizan la letrina

T_1 es la tasa de producción de lodo (m³/ habitante al año)

t es la vida útil de la letrina (años)

A es el área de la sección transversal del hoyo (m²)

Por otra parte, la altura que ocupe el líquido en el pozo vendrá dada por la siguiente fórmula:

$$H_a = \frac{N \cdot T_a}{P \cdot T_i}$$

Donde,

N es el número de usuarios que utilizan la letrina

T_i es la tasa de infiltración del suelo (L/m² al día). En su defecto, se emplea la Tabla 46 para determinar su valor. P es el perímetro de la sección transversal del hoyo (m)

T_a es la tasa de aporte de líquido (L/habitante al día), que se determina mediante la siguiente fórmula:

$$T_a = n \cdot v + v_e$$

Donde,

n es el número de veces que la letrina es ocupada por cada usuario durante el día

v es el volumen de agua que se arroja a la letrina después de cada uso (L)

v_e volumen de orina aportado por cada usuario durante las horas lectivas. Se cogerá un valor promedio de 1 L.

Tabla 46. Tasa de infiltración según el tipo de suelo

TIPO DE SUELO	TASA DE INFILTRACIÓN (lt/m ² -día)
SUELOS DE BUENA PERMEABILIDAD	
• Arena	50
• Limo arenosos, limos	30
• Limos o arcillosos porosos	20
SUELOS DE BAJA PERMEABILIDAD	
• Limos o arcillas compactas	10

A falta de datos para determinar de forma sólida el tipo de suelo de la zona, se considerará una permeabilidad media que corresponde a una tasa de infiltración de 30 L/m² al día.

Dicho esto, los valores de cada parámetro se han escogido acorde con las características y posibilidades del colegio. Por ejemplo, se ha determinado que el número de niños que puedan utilizar cada letrina al día sea de 250 personas, cuando la ocupación del colegio es de 1500 alumnos. Este número se ha visto reducido en el cálculo de las dimensiones del pozo para adaptarlas a las limitaciones que presenta el lugar. Se ha determinado un diámetro del pozo de 3 metros puesto que se cree que es una magnitud adecuada y asequible, si bien a mayor diámetro, mayor número de niños podrán hacer uso de la letrina. Ante todo, los valores han sido seleccionados para obtener una altura total del pozo no superior al nivel freático (capa a la que se empieza a encontrar agua).

Tabla 47. Valores parámetros para el cálculo de la profundidad del hoyo

Parámetro	Valor
$\emptyset$: Diámetro pozo	3 m
N: número de usuarios	250 personas
T_1 : tasa de lodo	0,05 m ³ / habitante al año
t: vida útil de la letrina	2 años
T_i : tasa de infiltración	30 L/m ² al día
n: veces que se ocupa la letrina / día	1 vez
v: volumen de agua arrojada después del uso	2 L
v_e : volumen de orina / usuario	1 L

Sustituyendo dichos valores en las fórmulas planteadas anteriormente, se obtiene el siguiente resultado:

Tabla 48. Resultados obtenidos cálculo profundidad hoyo

H_t : altura total del pozo	6,49 m
H_l : altura de la capa del lodo	3,54 m
H_a : altura que ocupa el líquido	2,65 m
H_s : altura adicional de seguridad	0,3 m

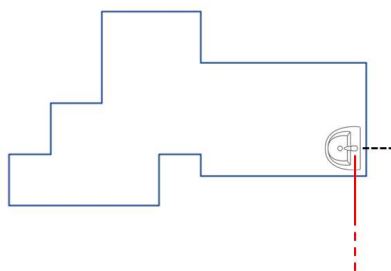
Así pues, se concluye que, construyendo un pozo de un diámetro de 3 metros, se aseguran las características deseadas y se comprueba que la altura total del pozo a excavar es inferior al nivel freático que se había establecido en 8 metros.

15.3. Enfermería

La toma de agua que se quiere instalar en el interior del edificio de enfermería necesitará de un lavabo que recoja el agua sobrante para luego descargarlo al exterior. Como se mencionó anteriormente, las tuberías de suministro y descarga de agua se podrán introducir en el interior del edificio de dos formas distintas: o bien se hacen pasar las tuberías por la pared a través de un agujero, o bien se introducen por debajo del nivel de la pared mediante una zanja transversal. La manera de realizar la instalación se decidirá una vez que se esté en el lugar, en función de las condiciones y características del edificio.

A continuación, se muestra la vista en planta de una posible disposición del lavabo (en rojo, la tubería de alimentación y en negro, la tubería de desagüe).

Ilustración 79. Disposición del lavabo en el edificio de enfermería



Con respecto a la grifería del lavabo, se realizará el montaje tal y como se explicó para el caso del bidé y que se muestra de nuevo en la Ilustración 80. También se adjunta la Tabla 49 con las dimensiones de estos elementos.

Ilustración 80. Configuración toma grifo enfermería

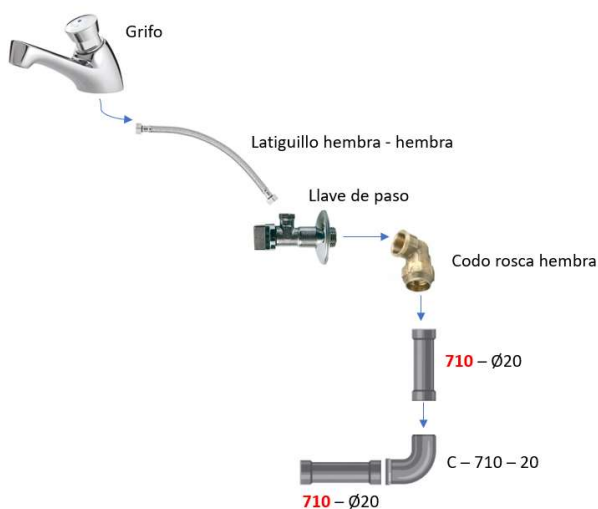
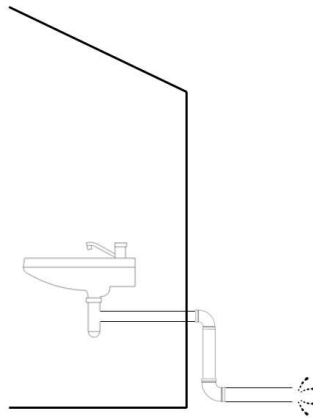


Tabla 49. Características accesorios grifo enfermería

Derivaciones	Elementos	Dimensiones
212	Grifo temporizado rosca macho	$\frac{1}{2}$ "
	Latiguillo hembra - hembra	$\frac{1}{2}$ " - $\frac{3}{8}$ "
	Llave de escuadra macho - macho	$\frac{3}{8}$ " - $\frac{1}{2}$ "
	Codo rosca hembra	20 mm - $\frac{1}{2}$ "

Por otro lado, la conexión del lavabo con la tubería de desagüe se realizará mediante un sifón, que, pese a no ser indispensable en este caso (no se prevé malos olores, ni obstrucciones en la canalización), será el accesorio de unión entre ambos elementos. Se necesitarán codos para hacer cambios de dirección en la tubería por la cual se evacuará el agua, tal y como se muestra en la Ilustración 81. Como se mencionó anteriormente, tanto la tubería de desagüe como los accesorios, serán de PVC.

Ilustración 81. Tubería de desagüe grifo lavabo enfermería



CAPÍTULO V. Fase de Financiación

1. Introducción

Las organizaciones no lucrativas conforman un entramado de organizaciones cuyo objetivo es la consecución de actividades caracterizadas por su pluralismo, si bien todas ellas se mueven por un factor común, siendo éste la voluntad de incidir en colectivos sociales vulnerables y buscar soluciones que mejoren su calidad de vida. En definitiva, todas ellas abogan por un mismo lema que bien podría ser “Juntos podemos hacer un mundo más justo”. La búsqueda de financiación para cubrir las necesidades de los colectivos que así lo requieren suele ser notablemente compleja. Una organización sin ánimo de lucro no puede ser administrada como una empresa y trae generalmente consigo una gran cantidad de problemas, puesto que no existe un modelo que pueda ser reproducido por todas, sino que cada organización debe buscar su propia estrategia de financiación según sus características. En cuanto a estas estrategias, suelen ser de lo más variadas. Por consiguiente, este apartado se centrará en realizar un estudio de las fuentes de financiación más habituales, para luego así, decidir la que más se adecúe al proyecto en cuestión.

2. Análisis D.A.F.O

El punto de partida para el diagnóstico de la fuente de financiación más apropiada será la elaboración de una matriz DAFO que permitirá construir un análisis estratégico para cada vía de financiación. Este proceso posibilitará fijar las principales debilidades y fortalezas, oportunidades y amenazas, a la par que permitirá extraer conclusiones de cara a asignar prioridad a las líneas de financiación.

A continuación, se realiza un breve repaso de lo que consiste el análisis DAFO. Aunque se suele explicar y emplear en un contexto de beneficio empresarial, también se trata de una técnica muy extendida en el Tercer Sector como ayuda para formular intervenciones sociales o en este caso, como método de evaluación de las distintas vertientes de financiación.

El análisis DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades) [27] también denominado SWOT, por sus siglas en inglés, es una técnica desarrollada por Albert S. Humphrey durante los años 60 y 70 a fin de que las empresas la empleasen dentro de su planificación corporativa.

El análisis DAFO es una herramienta que permite “radiografiar” el desempeño del objeto de estudio, pudiendo este ser una empresa, una organización, incluso una persona, en un momento puntual en el tiempo. El propósito final de este análisis consiste en identificar las ventajas competitivas y emplearlas como línea de base en la toma de decisiones estratégicas.

El análisis consiste, en primer lugar, en un análisis interno que incluye la determinación de las fortalezas y debilidades, por lo que al ser aspectos internos de la organización, es posible actuar directamente sobre ellas. En segundo lugar, se tiene un análisis externo que comprende la identificación de oportunidades y amenazas externas, por lo que sólo se puede intervenir sobre ellas por medio de cambios realizados en los aspectos internos.

Fortalezas: Son las capacidades peculiares y singulares con las que cuenta la empresa y que la colocan en una posición relativa superior para competir con respecto a la competencia. Algunas de las preguntas que pueden ayudar a hacer un buen análisis de fortalezas son las siguientes:

- ¿Cuál es el punto fuerte de la organización?
- ¿Qué elementos dentro de la organización destacan de entre la competencia?
- ¿Se dispone de un capital humano cualificado?
- ¿Se aprovechan al máximo los recursos disponibles?

Debilidades: Hacen referencia a aquellos aspectos que causan una posición desventajada frente a la competencia. Supone una barrera para el desarrollo de la organización. El análisis responde a estas preguntas, entre otras:

- ¿Cuáles son los puntos débiles de la organización?
- ¿Qué factores intensifican los aspectos vulnerables de la organización?
- ¿Qué le falta a la organización para mejorar?
- ¿Qué capacidades son mejorables para promover el desarrollo?

Oportunidades: Son aquellos elementos del entorno que resultan favorables para el proyecto o la empresa. A continuación, se formulan algunas preguntas que pueden ayudar a encontrar factores de este tipo:

- ¿Hay circunstancias del entorno exterior que puedan aprovecharse?
- ¿Qué cambios tecnológicos podrían beneficiar?
- ¿Qué aspectos externos pueden ayudar a conseguir los objetivos marcados?
- ¿Se están tomando las acciones adecuadas para hacerse con esas oportunidades?

Amenazas: Son aquellos riesgos que proceden del entorno y ponen freno al progreso de la empresa o el proyecto. Pueden incluso representar fuerzas que obstaculicen la permanencia de la organización en el terreno competitivo. Algunas preguntas para identificar amenazas son:

- ¿Cuál es la situación política, social y económica del entorno donde se prevé desarrollar el proyecto o una nueva idea de negocio?
- ¿Cuál es la situación actual del sector?
- ¿Qué hace la competencia que los pone en una posición privilegiada?
- ¿Qué factores externos dificultan el logro de los objetivos marcados?

3. Financiación no lucrativa

La financiación no lucrativa supone junto al capital social prestado por los voluntarios uno de los bienes más importantes para las ONGs o para los proyectos sociales. Dichos fondos no sólo ayudan en la consecución del proyecto, sino que permiten la remuneración a trabajadores especializados para poder llevar a cabo el desarrollo del proyecto y conseguir la máxima eficiencia, creando así, el mayor impacto posible.

Los métodos para la captación de fondos pueden ser de lo más variados. De entre todos ellos, se van a estudiar los más habituales y significativos. Para cada una de estas vías de financiación se ha realizado un DAFO por medio del cual se han señalado sus debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades. Ninguno de ellos es mejor que otro. Cada organización escoge la fuente de financiación que considera más adecuada y que mayores recaudaciones podría reportar tomando en consideración aspectos tales como los conocimientos técnicos o los recursos económicos que requieren, la adecuación a su cultura interna, etc.

La repercusión social de la causa por la que lucha la organización también puede ser un factor a tener en cuenta a la hora de escoger la fuente de financiación. Así pues, una organización que defienda un movimiento poco conocido tendrá mayor dificultad en encontrar simpatizantes que quieran contribuir a dicha causa.

Si bien existe una gran variedad de fuentes de financiación, se distinguen sin duda dos vías principales.

Por un lado, se tiene la financiación pública que generalmente se concede a través de subvenciones llevadas a cabo por diferentes cuerpos entre las cuales se encuentran administraciones locales, regionales estatales o incluso internacionales.

Por otro lado, tenemos la financiación privada, cuyos ingresos pueden provenir de cuotas o aportaciones de socios, ingresos derivados de actividades de carácter comercial, o incluso, ingresos de patrimonio. Dicha financiación se encuentra en auge debido a que cada vez son más las empresas que se encuentran dispuestas a colaborar en proyectos sociales.

Cabe añadir que las entidades tienden a escoger una vía de financiación u otra en función de su tamaño. Las organizaciones no gubernamentales (ONG) se clasifican en cinco categorías siendo éstas, las micro organizaciones (con un presupuesto anual inferior a los 300.000 euros), las de pequeño tamaño (entre 300.000 y 1 millón de euros), las entidades medianas (entre 1 y 5 millones de euros), las entidades de gran tamaño (entre 5 y 25 millones) y por último, las entidades denominadas como muy grandes (más de 25 millones de euros) [28].

Así pues, las entidades micro, las organizaciones pequeñas y curiosamente, las entidades muy grandes, tienden a acceder a la financiación privada. En cambio, las medianas y las grandes se inclinan a menudo por una fuente de ingresos pública. Esta constatación se apoya en los datos recogidos del informe de la Fundación Lealtad de 2015 [28], basado en el estudio de los datos de 222 ONGs españolas que tienen una antigüedad media de 25 años. En el caso que ocupa este proyecto, que es el de una entidad micro, el informe indica que, en el año 2016, la financiación privada supuso un 65% de los ingresos de estas ONGs, mientras que el 35% restante procedía

de la financiación pública. Eso se debe, principalmente, a la menor capacidad de diversificación de los ingresos de la que disponen las ONGs de pequeño tamaño.

Ante la situación de emergencia sanitaria provocada por la COVID-19 en la que se está viendo envuelta todo el mundo, se cree conveniente señalar que ésta tendrá una repercusión significativa en el momento de poner en marcha el proyecto definitivamente. Uno de los puntos esenciales para la implementación del proyecto es el plan de financiación, del que se espera que pueda llevarse a cabo por otro grupo de alumnos, quienes retomarán el proyecto y se centrarán en la implantación práctica del proyecto.

El panorama actual derivará en una crisis económica en la que las organizaciones no gubernamentales sufrirán en mayor medida sus consecuencias. Presumiblemente, los fondos públicos destinados a proyectos de impacto social disminuirán, por lo que se prevé que las ONGs que dependen en mayor medida de esta fuente de ingreso experimentarán de forma más marcada los efectos de esta crisis venidera. En cambio, se prevé que, las entidades pequeñas así como las muy grandes que se financian mayoritariamente a través de vías privadas, sean capaces de lidiar mejor el impacto de la crisis económica. Esto se explica, en parte, porque se puede seguir contando con el apoyo de voluntarios. Cuando aumentan las necesidades sociales y más personas se encuentran en situación de vulnerabilidad, la sociedad se sensibiliza. Sin embargo, la disminución de los salarios de muchas familias repercutirá en una menor recaudación de fondos.

A continuación, se exponen los DAFOs de las distintas líneas de financiación estudiadas, tanto públicas como privadas, con el fin de escoger la vía que mejor se amolde a las características del proyecto.

3.1. Financiación pública

Esta financiación depende directamente de los presupuestos públicos, los cuales variarán en función de los años. Como se ha mencionado en el punto anterior, la tendencia venidera, potenciada por la COVID-19 describe una reducción de los fondos dedicados a las convocatorias para financiar proyectos sociales y esto supone un problema puesto que se reducen los fondos para una oferta de proyectos extensa.

De entre las distintas opciones que ofrece la financiación pública, el mecanismo de financiación que atañe a este proyecto son las subvenciones que convoca la Administración Pública. Las subvenciones generalmente suponen un capital con una finalidad de inversión muy medida, por lo que aquellas organizaciones que accedan a estas subvenciones tendrán que justificar el gasto ante el cuerpo administrativo que concede dicha subvención.

Para poder acceder a las convocatorias públicas es necesario cumplir unos requisitos mínimos obligatorios para que el proyecto pueda ser evaluado, así como otros que puntuarán para tomar la decisión final con respecto a la adjudicación de los fondos públicos.

El proyecto deberá de estar sujeto al cumplimiento de los criterios de valoración previamente determinados en las bases reguladoras de la convocatoria para poder optar en la adjudicación de los fondos públicos. Además de las cláusulas obligatorias a las que hay que atenerse, se tienen una serie de factores que puntuarán positivamente e influirán en la comparación de las solicitudes presentadas y la consecución final del capital.

3.1.1. Convocatoria pública

Tabla 50: Análisis DAFO: Convocatoria pública.

Debilidades	Amenazas
• Alto tiempo de justificación • Dinero finalista • Identificación de convocatorias • Alta preparación de personal • Pérdida de la esencia del proyecto que inicialmente se desea realizar	• Alta competencia • Sujeto a factores externos, por ejemplo, políticos • Retraso de la financiación • Fondo variable de acuerdo con los presupuestos aprobados
Fortalezas	Oportunidades
• Financiación puntual • Precio fijo	• Aval para terceros

• Debilidades

Se elabora el proyecto de acuerdo a la convocatoria publicada, y no al revés, lo que implica que el desarrollo del proyecto se verá considerablemente condicionado por la convocatoria. Esto supone que si finalmente se consigue la subvención, el proyecto que inicialmente se planteaba llevar a cabo pierda cierta parte de su esencia puesto que es de obligatorio cumplimiento que los objetivos del proyecto estén completamente alineados con lo requerido por la subvención.

Esta forma de funcionar da como resultado que el dinero al que se termine optando sea de carácter finalista, lo que viene a ser un dinero que está destinado a unos gastos muy concretos, no pudiéndose emplear por ejemplo en otras actividades que puedan requerir más de estos fondos.

Otro aspecto muy importante a tener en cuenta es la cohesión entre el proyecto en cuestión y la convocatoria de subvención a la que se quiere recurrir, lo que conduce a una importante complejidad de gestión. Para conseguir cumplimentar las fases del proceso de manera correcta y obtener así una buena puntuación en la convocatoria, es necesario un capital humano con buena preparación, lo que supone una dificultad de encontrar, además de un desembolso económico del que la ONG puede que no disponga.

Además, es necesario estar en constante búsqueda de convocatorias que se adecuen a las características del proyecto que se quiere financiar lo que resulta en actividades costosas y que pueden prorrogarse en el tiempo mucho más de lo previsto.

- **Amenazas**

La participación en convocatorias públicas suele estar caracterizada por un alto índice de competitividad. Generalmente, se presentan una gran cantidad de solicitudes de subvención a cada convocatoria, por lo que nuevamente se destaca la importancia de cumplir con los requisitos, para incrementar las posibilidades de concesión del fondo al proyecto.

Otro factor externo que influye negativamente en la obtención del capital es el que viene determinado por motivos políticos. En este caso, el reparto de presupuestos acordado por la administración pública para destinarlos a proyectos de impacto social, así como la tardanza en aprobar dichos presupuestos implica planificar con anticipación los gastos del proyecto ya que el presupuesto inicial podría estar sujeto a cambios, recibiendo finalmente una cantidad menor de la esperada. No obstante, una vez aprobados los presupuestos y distribuidos los fondos disponibles, el fondo suscrito al proyecto en cuestión estará exento de cualquier modificación.

La aceptación y evaluación de los proyectos llevada a cabo por la comisión que decide el reparto final de los fondos puede durar largos periodos de tiempo, por lo que es una vía de financiación desaconsejable si se requiere del capital antes de una fecha dada.

- **Fortalezas**

Este tipo de convocatorias supone una financiación puntual que puede ser solicitada para un proyecto en particular, por lo que va muy en línea con la aportación ocasional necesaria para llevar a cabo este proyecto.

Como se ha mencionado anteriormente, el precio de adjudicación al proyecto es fijo por lo que se tiene certidumbre del nivel de ingresos antes de la puesta en marcha del proyecto.

- **Oportunidades**

Conseguir financiación a partir de una convocatoria pública supone un aval para terceros puesto que el proyecto demuestra que cumple con unos requisitos y unos estándares de calidad profesionales. Así pues, a la hora de solicitar financiación por otra vía, o incluso repetir con este tipo de financiación habiendo ganado experiencia previa a través de otra convocatoria, posiciona a la entidad en condiciones ventajosas respecto a los competidores.

3.2. Financiación privada

Como su propio nombre indica, en esta financiación no lucrativa se encuentran involucradas personas o entidades privadas.

Una gran parte de la financiación privada proviene de empresas privadas que, de más en más optan por involucrarse en la transformación social. Estas empresas realizan un tipo de aportación destinada a actividades recurrentes o proyectos concretos. Esta tendencia ha ido tomando forma paulatinamente desde la década de 1990, con la llegada del concepto de Responsabilidad Social Corporativa (RSC), el cual ha ido atrayendo cada vez más la atención del sector empresarial.

Dentro de este apartado nos encontramos con varios tipos de financiación privada.

3.2.1. Convocatoria privada

La convocatoria privada es semejante a la convocatoria pública a excepción que los fondos son entregados por empresas privadas o fundaciones.

Los fondos de subvención privada son muy similares a los fondos públicos previamente vistos, con el rasgo distintivo de que el sector privado ofrece mayor flexibilidad. Cada entidad privada puede convocar y actuar con más libertad, adecuando las características de la empresa a la colaboración que se desee realizar.

Tabla 51: Análisis DAFO: Convocatoria privada.

Debilidades	Amenazas
• Alto tiempo de justificación • Dinero finalista • Alta preparación de personal • Poco margen de actuación; proyecto sujeto a bases estrictas	• Alta competencia • Fondo variable de acuerdo con la situación económica de la entidad privada
Fortalezas	Oportunidades
• Financiación puntual • Mayor flexibilidad en comparación con las convocatorias públicas	• Creación de relaciones institucionales con la entidad • Consecución de respaldo y soporte institucional • Reconocimiento para terceros

• Debilidades

Al igual que para el caso de las subvenciones públicas, las convocatorias privadas suponen la cumplimentación de documentación generalmente compleja por lo que se requiere de una estructura administrativa experimentada y alta preparación del capital humano para ajustarse a los requisitos formales exigidos y poder así participar en la consecución de los fondos. También se debe de realizar un seguimiento estricto de la ejecución del proyecto, además de la justificación y conclusión de dichas ayudas. Estas restricciones, por tanto, implican una pérdida de autonomía financiera, no pudiendo reasignar libremente los fondos recibidos, tratándose, nuevamente, de un dinero finalista.

De nuevo, los proyectos deben ajustarse a unas actividades concretas que realizar, ya que la financiación se destina a unas acciones concretas que vienen prefijadas en las bases de la convocatoria. Esto resulta en que los autores del proyecto dispongan de poco margen para maniobrar como deseen.

• Amenazas

Lo mismo que sucede en las convocatorias públicas, la competencia en este tipo de financiación es alta. Generalmente, las ONGs de mayor tamaño son las que en mayor porcentaje obtienen

financiación privada en la publicación de convocatorias ya que disponen de una cultura global de gestión de la que no disponen las ONGs de menor tamaño.

Los fondos estarán sujetos a la cantidad que quiera conceder la entidad privada y éstos pueden variar de un año a otro. Normalmente, los fondos destinados a proyectos con impacto social se fijan en función de la situación económica de la entidad.

- **Fortalezas**

Una de las fortalezas de las convocatorias privadas, al igual que lo es para las convocatorias públicas, es que se otorga una financiación puntual, que no tiene continuidad en el tiempo y responde a una motivación esporádica, rasgo que se adapta muy bien a las necesidades financieras de este proyecto.

Como se ha mencionado antes, las convocatorias privadas son muy similares a las públicas con la peculiaridad de que tienen un carácter más flexible, lo que permite que los autores del proyecto tengan cierto margen de actuación.

- **Oportunidades**

Una de las oportunidades fundamentales de esta forma de financiación es la creación de relaciones institucionales con la entidad, lo que puede remitir en una posible fuente más cómoda y segura a la que acceder para la financiación de proyectos futuros, frente a otras fórmulas de financiación más inestables.

A pesar de que la financiación a través de subvenciones implica la pérdida de autonomía financiera para la ONG, se dispone de mayor respaldo institucional. Esto puede suponer una gran ventaja, sobre todo en proyectos de cooperación al desarrollo, en el que el éxito es generalmente incierto y podría verse amortiguado a través de vías de financiación que ofrezcan mayor soporte institucional.

En vista de las estrictas bases para poder participar en estas convocatorias y el riguroso análisis de los proyectos presentados, conseguir previamente una convocatoria en este sector supone un reconocimiento para terceros y una cierta notoriedad en el Tercer Sector.

3.2.2. Convenios de colaboración

Una fórmula de financiación muy habitual entre entes privados y ONGs es la de los convenios de colaboración, que consiste, generalmente, en aportar fondos para contribuir a la financiación de una causa o de una actividad concreta. Por un lado, la empresa utiliza este tipo de acción para vincularse a causas con reconocimiento social que le permitan aumentar su alcance ético. No se descarta que este tipo de actuación se lleve a cabo por parte de la empresa como fines publicitarios con el fin de percibir un aumento en la venta de sus productos. De ahí que nazca el denominado *marketing con causa*, una de las fórmulas más comunes de esta vía de financiación, que consiste en destinar un porcentaje de las ventas de alguno de los productos que ofrece la empresa para un proyecto social concreto de la ONG con la que se ha firmado el convenio. Otra

forma habitual de ver este tipo de financiación es cuando se anima a los trabajadores de la empresa a realizar donaciones particulares a una ONG en concreto.

Por otro lado, a través de este modelo de financiación, la ONG captará, no sólo los recursos económicos necesarios, sino que también conseguirá visibilidad ante otros aliados potenciales.

Tabla 52: Análisis DAFO: Convenio de colaboración.

Debilidades	Amenazas
• Alta preparación de personal • Trabajo previo exhaustivo en la búsqueda de una empresa con la estrategia alineada con los valores de la organización	• Ruptura o interrupción del convenio por parte de la empresa • Escasa regularidad de los fondos • Riesgo de vincularse con una empresa poco ética
Fortalezas	Oportunidades
• Financiación no finalista • No es necesaria la monitorización ni identificación de convocatorias • Condiciones del convenio negociables lo que aporta cierta flexibilidad	• Creación y conservación de relaciones institucionales con la entidad • Consecución de respaldo y soporte institucional • Estabilidad generada por alianzas a largo plazo • Predisposición a realizar otros proyectos de colaboración • Campaña publicitaria gratuita por medio de la entidad

• Debilidades

Al igual que las fuentes de financiación previamente estudiadas se requiere de un capital humano preparado para llevar a cabo las relaciones y negociaciones institucionales requeridas. Un paso previo a las relaciones administrativas y que también supone una debilidad, es que se precisa de un trabajo de búsqueda exhaustivo hasta finalmente dar con una empresa cuya estrategia RSC se adecúe a las actividades y a los valores sociales promovidos por la ONG.

• Amenazas

Del mismo modo que ocurre con las subvenciones públicas y privadas, se establece un vínculo de dependencia con la entidad, pudiendo ello ser perjudicial para la ONG. Una de estas limitaciones a la colaboración es el riesgo que comporta la ruptura o interrupción del convenio por parte de la empresa ya que generalmente es un modelo de financiación con poca regulación legal. No existe una norma habilitante específica, con lo cual, la seguridad jurídica es habitualmente limitada.

Otra clara amenaza es la escasa regularidad de los fondos, que no sólo proviene de la imprevisibilidad del volumen de las ventas, sino también la incertidumbre de cómo y cuándo se reciba la aportación de la entidad.

Otra amenaza, esta vez, desde un punto de vista moral, es el riesgo existente de vincularse con una empresa cuyas acciones sean de dudosa ética que pudiesen desvirtuar la credibilidad y la identidad de la ONG.

- **Fortalezas**

Una fortaleza por la que se caracteriza esta vía de financiación es la menor pérdida de autonomía con respecto a las fuentes previamente estudiadas ya que la cuantía de los fondos se suele negociar de antemano antes de la firma del contrato. Con lo cual, la aportación no resulta ser finalista.

Los convenios de colaboración admiten mayor flexibilidad puesto que no consisten en procesos con bases reguladas que cumplir. Esto se traduce en un ahorro de tiempo y de capital humano puesto que ya no es necesaria la monitorización ni identificación de convocatorias, que tan imprescindible es en las subvenciones.

Otra gran fortaleza de las colaboraciones es que permiten una negociación previa en la que la ONG tiene la posibilidad de definir claramente las posiciones de partida. Esto le permite no desviar su atención de las actividades a las que sirve de manera tan abrupta, como suele pasar en los tipos de financiación finalista.

- **Oportunidades**

Una de las oportunidades más importantes que aportan las colaboraciones es el aumento de canales de distribución y acceso a destinatarios gracias a los contactos que se forjan a lo largo del convenio. Otra oportunidad que va en línea con esta última es la estabilidad que se crea a largo plazo gracias a la red de contactos formada a la que se podría recurrir en el caso de querer financiar otros proyectos.

Del mismo modo que ocurre para la subvención privada, se cuenta con mayor respaldo y soporte institucional. Como bien se comentó anteriormente, esto puede suponer un punto muy a favor en proyectos de cooperación al desarrollo en los que los factores de riesgo son notables.

A raíz de los conocimientos y el know-how adquiridos durante la alianza, cabe la posibilidad de que la empresa esté predispuesta a llevar acabo nuevos productos o proyectos de colaboración.

Por último, se consigue un servicio publicitario gratuito a través del patrocinador que permite mejorar la visibilidad y credibilidad ante los clientes de la organización, y en particular, ante aliados potenciales.

3.2.3. Crowdfunding

El crowdfunding es un tipo de financiación colectiva que se realiza a través de una plataforma online donde personas o instituciones apoyan proyectos por medio de aportaciones económicas voluntarias. El modo de operar es muy sencillo: se impulsa el proyecto a través de distintos canales de comunicación con el objetivo de dar la máxima visibilidad al proyecto para que luego los usuarios decidan deliberadamente si contribuir económicamente al proyecto. Son siempre

los usuarios quienes de forma voluntaria deciden aportar la cantidad de capital que consideran oportuno.

De entre los distintos tipos de crowdfunding existentes, el que se aborda en este proyecto es el denominado crowdfunding de donación, cuyas aportaciones se caracterizan por ser íntegramente emocionales.

Tabla 53: Análisis DAFO: Crowdfunding.

Debilidades	Amenazas
• El tiempo necesario para llevar a cabo la campaña promocional • El capital humano necesario para la ejecución de una campaña promocional efectiva • Buen manejo de las redes sociales y de los medios de comunicación	• Exceso y diversidad de ofertas de proyectos en la plataforma • Ningún panorama legal que respalde a la organización • Crisis económica ocasionada por el coronavirus
Fortalezas	Oportunidades
• Flexibilidad para apoyar tanto a entidades como a proyectos concretos • Dinero de carácter no finalista • El único intermediario es la plataforma, sin necesidad de recurrir a procesos complicados y largos • Diversificación del riesgo: la recaudación no depende de una sola persona • Sin límite en cuanto a cantidad de proyectos y cobertura • Capacidad de percibir una gran cantidad de capital por medio de pequeñas aportaciones	• Generación de un vínculo sentimental entre donante y organización y sensación de pertenencia a la misma • Generación de interés que posibilita un aumento de las aportaciones • Retroalimentación, alta probabilidad de que los mismos donantes se sensibilicen por otro proyectos de la organización • Herramienta de publicidad • Aumento de la participación en redes sociales y plataformas online

• Debilidades

A pesar de que las plataformas online sirven para dotar de visibilidad a los proyectos se requiere de una buena campaña de comunicación para dar a conocer el proyecto de manera eficiente. No se debe de olvidar que, en términos generales, conseguir una campaña de éxito requiere mucho trabajo, sobre todo, una inversión en términos de tiempo considerable. Tampoco se debe de descuidar la importancia de las redes sociales ya que al tratarse de un movimiento completamente digital, gran parte de su difusión se realizará a través de medios sociales, lo cual viene a decir que se precisa de un amplio conocimiento de su uso para infundir el mayor impacto posible.

Otra debilidad del crowdfunding, pero menos habitual, es la comisión por su uso. Por norma general, estas plataformas suelen cobrar un porcentaje del dinero que se recaude. No obstante, existen varias plataformas para proyectos solidarios en las que no se aplican comisiones.

- **Amenazas**

La principal amenaza que supone generar una campaña de crowdfunding es la dura competencia a la que se enfrenta el proyecto debido a los innumerables proyectos en marcha en cualquier plataforma. De ahí que sea fundamental contar con una buena red de contactos que estén dispuestos a ayudar a que el proyecto ruede, aportando y alentando a que otros conocidos lo hagan.

A diferencia de las subvenciones y los convenios de colaboración que ofrecen el respaldo de una institución reconocida, no existe un panorama legal claro para este tipo de financiación.

Otra amenaza que perjudicará significativamente la actividad de las ONGs es la crisis económica ocasionada por el COVID-19, que inevitablemente afectará a cualquier fuente de ingresos de capitales.

- **Fortalezas**

El crowdfunding se caracteriza por ser una fuente de financiación flexible y sencilla con la que dar a conocer y financiar proyectos.

La plataforma permite apoyar tanto a entidades como a proyectos en particular. Con lo cual, las organizaciones pueden emplear este tipo de financiación como sustento económico, para responder a los costes indirectos derivados del funcionamiento de la ONG.

A través del crowdfunding, se encuentra una vía directa para conseguir la financiación necesaria mediante la cual el promotor del proyecto se ahorra todos los esfuerzos requeridos en encontrar y convencer a los financiadores tradicionales y que habitualmente conllevan procesos complicados y largos.

Otra fortaleza del crowdfunding es que la recaudación no depende de una sola persona, sino que irá acumulándose a partir de pequeñas aportaciones de donantes individuales por lo que disminuye el riesgo de fracaso.

Por último, no existe ningún límite en cuanto a la cantidad de proyectos que se pueden financiar o incluso si se quiere aumentar su cobertura en un momento dado.

- **Oportunidades**

Una de las oportunidades principales del crowdfunding es la creación de un trato más cercano con aquellas personas que deciden aportar una donación al proyecto. En el caso de que el proyecto tenga éxito, la sensación de pertenencia al mismo aumentará lo que contribuirá a reforzar el vínculo sentimental generado entre el donante y la organización.

Esta fidelización aumenta las probabilidades de que las aportaciones se mantengan en el tiempo puesto que los donantes se mueven por el carácter social del proyecto, a diferencia de otros tipos de crowdfunding en los que personas hacen una aportación porque les interesa recibir el producto para el cual el promotor se encuentra recaudando dinero.

Otro aspecto muy interesante, es que se trata de una fuente de financiación que se retroalimenta. En línea con las aportaciones periódicas y mantenidas que se pueden conseguir

mediante el crowdfunding, es fácil pensar que estos mismos donantes se sensibilicen por otros proyectos solidarios en los que también terminen colaborando.

Otra oportunidad significativa es que puede emplearse como herramienta de publicidad ya que a medida que la gente se anime a colaborar en la financiación del proyecto, probablemente se suscite un interés general y aumenten las donaciones.

Por último, esta fuente de financiación se encuentra en auge ya que la población cada vez participa de manera más activa en redes sociales por lo que resultará más fácil encontrar a personas interesados a través de estos medios y que finalmente donen a una plataforma online.

3.2.4. Cuota de socios

Esta fuente de financiación consiste en aportaciones puntuales o periódicas realizadas por socios o simpatizantes.

Los aspectos determinantes para que este tipo de financiación funcione es la visibilidad y credibilidad de la entidad. Una de las maneras que las ONGs tienen para reforzar esta faceta es emitir regularmente informes sobre los temas en los que se encuentra implicada. Esto contribuye no sólo a generar noticias y aumentar la reputación de la entidad, sino que también ayuda a ganar credibilidad, lo cual es fundamental para fidelizar donantes.

La diferencia entre el simpatizante que dona puntualmente y las cuotas de asociados es que en este último existe cierto compromiso ético entre el socio y la organización. Mientras que el socio realiza entregas periódicas, el donante escogerá el momento en el que realizar la aportación, además de su cuantía, sin que la organización lo demande.

En este apartado se abarca exclusivamente la financiación a través de la cuota de socios, concretamente las cuotas a partir de donaciones por medio de las cuales el socio ayuda económicamente sin involucrarse directamente en el desarrollo de la actividad.

Tabla 54: Análisis DAFO: Cuota de socios.

Debilidades	Amenazas
• Campaña de comunicación compleja • Necesario un buen sistema administrativo que procese con agilidad toda la información • Recursos humanos y económicos limitados • Fuente de financiación rentable a largo plazo	• Mercado muy competitivo • Pérdida de socios en el caso de que haya un escándalo o crisis dentro de la organización
Fortalezas	Oportunidades
• Fuente de ingresos estable y predecible • Independencia económica y administrativa • Dinero no finalista	• Amplio apoyo social con el que demostrar que la organización es representativa • Posibilidad de recurrir a ventas cruzadas • Creación de una red de personas con intereses semejantes

• Debilidades

La principal debilidad es el esfuerzo en tiempo y preparación que supone realizar una buena campaña de comunicación para atraer y mantener a los socios. Es imprescindible contar con un buen plan de medios para transmitir el mensaje de la organización y está comprobado que, en la medida que se personalizan los comunicados, aumenta la efectividad de los canales. Sin embargo, el coste por impacto de estos mensajes más personalizados resulta elevado para la mayoría de las organizaciones de pequeño tamaño.

En segundo lugar, se requiere de un buen sistema administrativo que sea capaz, no sólo, de procesar con agilidad todas las aportaciones que se reciben periódicamente, sino que también cuente con una buena base de datos que consiga gestionar altas y bajas de los socios con eficiencia. Con ello, también se puede recoger información de marketing que sirve de base para las acciones de captación de donantes. En definitiva, la organización tiene que estar preparada para responder a la gestión compleja que acompaña a este tipo de fuente.

Otra debilidad destacable es que se trata de una fuente de financiación equiparable a una carrera de fondo. Ésta suele ser rentable a largo plazo, cuando se consigue un número de socios suficientemente alto, con el que la organización empieza a percibir cierto beneficio. Con lo cual, no resulta ser una fuente de financiación adecuada si se requiera de los fondos en una fecha a corto plazo.

• Amenazas

La principal amenaza de esta fuente de financiación es la competitividad existente por conseguir donativos y afiliaciones. En este contexto competitivo, la necesidad de contar con un buen marketing de captación se convierte en la mejor arma para sobrevivir a la competencia y seguir

creciendo. Como bien se había mencionado antes, estas acciones resultan muy costosas, sobre todo, para organizaciones de pequeño tamaño, ya que requieren de recursos humanos y económicos de los que probablemente no dispone. Es por este motivo por el que, generalmente, son las ONGs de gran tamaño las que consiguen un porcentaje mayoritario de simpatizantes. Si bien una buena gestión de la comunicación es fundamental, no todas las organizaciones tienen la suerte de poder acceder a ella.

Otra amenaza, pero más inusual, es la pérdida de socios en el caso de que haya un escándalo o crisis dentro de la organización. Acciones de este tipo supondrían un gran revés para la organización que debilitaría significativamente la credibilidad e imagen de la entidad, y, en consecuencia, su posición financiera por medio de los socios.

- **Fortalezas**

En primer lugar, constituye una fuente de ingresos estable y predecible. Los donantes satisfacen unas cuotas periódicas por tiempo indefinido, lo que da lugar a una fuente de financiación permanente. Esta estabilidad se debe al compromiso de los miembros afiliados a la organización, que tienden por lo general a ser leales. Además, esta tendencia de fidelidad permite realizar pronósticos muy ajustados sobre los ingresos que se obtendrán, lo que a su vez facilita analizar la viabilidad de proyectos a largo plazo.

Otra gran fortaleza de este tipo de financiación es la independencia económica y administrativa que proporciona. La organización recibe los fondos de una base de donantes individuales, sin condiciones, teniendo plena libertad para actuar y decidir en qué gastar las aportaciones, siempre y cuando se trabaje de acuerdo con los valores de la entidad. En definitiva, el dinero no es finalista.

- **Oportunidades**

Pese al alto grado de competencia que existe en el entorno, la cuota de socios supone una fuente de notoriedad importante. Además de contar con una base financiera sólida, se consigue un amplio apoyo social que permite demostrar que la organización es representativa. Esto es un aspecto mayormente sustancial para contactar con aliados potenciales para futuras financiaciones.

Otra oportunidad que se tiene al disponer de una base de simpatizantes con tendencia a ser fieles es la posibilidad de recurrir a las ventas cruzadas (también llamada cross-selling) con los socios. Esta técnica consiste en vender productos que se complementen entre sí, con lo cual, se aumenta la probabilidad de que el socio termine comprando dos productos en vez de uno sólo. La apuesta por las ventas cruzadas será más potente cuanto mejor se conozca al socio dado que se tienen más posibilidades de ofrecerle algo que verdaderamente le interese. De ahí la importancia de contar con una buena estrategia de comunicación con los socios.

Por último, se contempla la creación de una red de personas con intereses semejantes, que pudiesen servir a la comunidad de manera voluntaria y qué mejor que localizarlos entre las personas que han mostrado un alto nivel de compromiso realizando previamente una donación.

3.2.5. Venta de productos

La venta de productos, también conocida como merchandising, es otra manera de financiación por medio de la cual se venden productos relacionados con la entidad sin ánimo de lucro o relativas al proyecto.

Esta vía de financiación no debería de tomarse como una única vía de financiación puesto que generalmente no consigue la financiación necesaria. Por esta razón, este tipo de financiación se le deberá otorgar un tratamiento secundario o complementario.

Un ejemplo de financiación por medio de la venta de productos sería la venta de pulseras realizadas con materiales propios del lugar donde se va a realizar el proyecto.

Tabla 55: Análisis DAFO: Venta de productos.

Debilidades	Amenazas
• Generalmente se requiere de un desembolso de capital inicial. Sin embargo, se puede reducir el riesgo llevando a cabo una prevent del producto • Formulación de estrategias de marketing • Necesidad de recurrir a personas cualificadas para el desarrollo de una red comercial concurrente • Esfuerzo en términos de tiempo y coste en la búsqueda y elección de proveedores	• Alta competencia: mercado saturado de ofertas
Fortalezas	Oportunidades
• Mayor alcance mediante la diversificación de productos • Dinero no finalista	• Alta participación de la sociedad en redes sociales por medio de las cuales publicitarse • Tendencia en alza de compras online • Escalabilidad de la venta de productos

• Debilidades

Una de las debilidades que se pueden encontrar es que la venta de productos probablemente requiera de un desembolso inicial. Sin embargo, se puede adoptar un servicio de preventa por medio del cual se podrá extraer información específica para estudiar la aceptación del producto y así disminuir el riesgo que va unido a la venta del producto.

Es necesario la formulación de estrategias de marketing con el fin de que la campaña de venta sea lo más eficiente posible. Con este tipo de estrategias se estudiará, por ejemplo, el potencial de las fechas especiales en las que la inversión sea mayor. Otra estrategia es la publicidad

estacional en función del producto ofrecido, que al igual que antes, garantiza mejores resultados. Viendo la importancia de llevar a cabo un análisis de marketing, probablemente sea necesario recurrir a personas con experiencia en este campo para que desarrollen una red comercial concurrente.

Otra debilidad notable es el esfuerzo en términos de tiempo y coste en la búsqueda y elección de proveedores para la realización de los productos que se desean vender. En el caso de que se realicen productos artesanales en el lugar donde se presta la ayuda, aparecerían en escena los costos logísticos entre el país de origen y el de destino.

- **Amenazas**

La principal amenaza es la existencia de una alta competencia entre las ONGs, incluso fuera del Tercer Sector, en la venta de estos productos. Esta fuente de financiación se mueve en un entorno que exige imaginación y técnicas de marketing cada vez más sofisticadas para hacerse un hueco en un mercado saturado de ofertas.

- **Fortalezas**

La principal fortaleza por la que se caracteriza esta fuente de financiación es que, generalmente, realizando pequeños cambios al producto base se pueden alcanzar diferentes públicos. Se trata de actuar de manera estratégica, centrando los esfuerzos en aquellos públicos que puedan reportar a la organización mayores garantías de éxito. Un ejemplo de aplicación sería preparar una oferta de productos diversificada durante las temporadas de mayor venta. A medida que se vaya potenciando una mayor variedad de diseños y tamaños de un mismo producto, en mejor posición se encontrará la organización para adaptarse a cualquier demanda y ocasión.

Otra fortaleza de la venta de productos solidarios es que se trata de un dinero que no es de carácter finalista. Con lo cual, la organización tendrá total libertad para destinar parte de la cuantía recaudada a los costes indirectos derivados de la gestión que posibilitan la consecución de los objetivos.

- **Oportunidades**

Una oportunidad muy significativa para potenciar la venta de productos es beneficiarse de la explosión de redes sociales estos últimos años. La sociedad se encuentra cada vez más activa en redes sociales por lo que se puede aprovechar esta tendencia para que las redes sociales sean el principal medio publicitario de los productos y se convierta en una ventana a las realidades sociales que impulse a un mayor número de personas a donar.

Análogamente, se puede sacar provecho de la tendencia en alza de las compras online para crear un ecommerce mediante el cual vender la oferta de productos.

Por último, si la organización ya dispone de una red comercial sólida en la que tiene uno o varios productos en venta, le resultará más fácil crear nuevos productos con los que escalar el modelo de financiación, generando sinergias entre los distintos productos.

3.2.6. Organización de eventos

La organización de eventos solidarios es una vía de financiación por medio de la cual organizaciones no lucrativas recaudan fondos para apoyar un objetivo social determinado. También cabe la posibilidad de que se organicen eventos con el fin de prestar apoyo a la entidad en general, sin ningún propósito particular. En definitiva, el objetivo de los eventos solidarios es sensibilizar a otras personas sobre realidades sociales actuales y recaudar fondos con el fin de llevar a cabo proyecto de cooperación al desarrollo. La organización de eventos también se considera una herramienta muy útil para dar visibilidad a la organización en cuestión. Existe una gran variedad de eventos, desde pequeños eventos fáciles de organizar, como puede ser una cena benéfica, hasta grandes eventos que pueden congregar a un gran número de personas.

Tabla 56: Análisis DAFO: Organización de eventos.

Debilidades	Amenazas
• Se requiere de tiempo y trabajo en organizar el evento • Se requiere de una amplia difusión para rentabilizar el evento • Necesaria una planificación minuciosa • Estudio del público al que se dirige el evento	• Riesgo de no cubrir los costes e incurrir en pérdidas económicas • Riesgo de cancelación del evento por incumplimiento contractual de cualquiera de los proveedores
Fortalezas	Oportunidades
• Dinero de carácter no finalista • Financiación puntual	• Mayor representatividad de la organización • Aumento de la reputación de la organización en caso de éxito del evento • Oportunidad para sensibilizar al público con los objetivos de la organización • Buena ocasión para realizar venta de productos

• Debilidades

Una debilidad muy apreciable es que a mayor tamaño del evento organizado, mayor será el esfuerzo de organización y de producción requerido. Es fundamental disponer de una planificación minuciosa puesto que será probablemente la que determine el éxito del evento. Esto requiere tiempo y esfuerzo, además de un equipo diverso que esté dispuesto a colaborar y aportar ideas para sacar el máximo partido al evento.

En función del objetivo marcado, un evento se adaptará mejor que otro, por lo que es muy importante determinar el público al que se dirige la actividad del evento. Nuevamente, esto requiere tiempo y esfuerzo.

La difusión juega un papel fundamental en este tipo de financiación. De nada sirve organizar un evento si no se hace eco a través de los medios de comunicación. Esta cuestión se convierte en una debilidad para todas aquellas organizaciones de pequeño tamaño que no disponen de recursos suficientes para elaborar una campaña publicitaria de gran alcance.

- **Amenazas**

Otro aspecto fundamental de la organización de eventos es la importancia de incluir una estimación de los ingresos, así como los costes de la actividad. Pese al esfuerzo añadido que esto supone en la planificación para tener un mayor control del evento, siempre queda cierto riesgo de no cubrir costes e incurrir en pérdidas económicas, tal y como se explica a continuación.

Los eventos solidarios suelen tener un alto componente de riesgo puesto que su éxito depende del número de personas que consiga atraer. A veces ocurren imprevistos que no se habían valorado inicialmente y suponen un efecto decisivo en la participación del evento, como por ejemplo, mal tiempo para una actividad al aire libre, conflicto de fechas con eventos locales o nacionales, etc.

Otra amenaza, aunque menos probable, es el riesgo de un posible incumplimiento contractual por parte de algún proveedor para la ejecución del evento, que podría conllevar incluso a la cancelación del evento. Esta situación repercutiría significativamente sobre la imagen de la organización, pudiendo llegar a perder simpatizantes.

- **Fortalezas**

El dinero no es finalista, con lo cual, se podrá administrar de la manera que se estime oportuna y parte de los fondos recaudados podrá destinarse a sufragar los costes económicos directos de la organización del evento.

La financiación a través de eventos solidarios es uno de los modelos más adecuados para proyectos particulares. La organización de un evento solidario termina siendo una forma muy efectiva para lograr que la gente se sienta identificada con el tema social concreto abordado en el proyecto e incentivar las donaciones.

- **Oportunidades**

Al margen del mayor o menor potencial económico adquirido por medio del evento, un aspecto muy valioso por el que se caracterizan los eventos es que posibilitan un contacto directo con un público simpatizante que contribuye a aumentar la base social de la organización y su representatividad.

Si el evento consigue tener una repercusión social notable, se conseguirá mejorar la reputación de la organización, punto muy favorable para la captación de futuros potenciales aliados.

El evento puede ser una buena ocasión para realizar venta de productos y obtener así una recaudación suplementaria. Sobre todo, si los productos tienen una relación directa con el evento y estos sirven como recuerdo de la experiencia vivida, la probabilidad de que la gente que haya acudido al evento se anime a realizar una donación adicional es alta.

3.2.7. Herencias y legados solidarios

Los legados solidarios son una vía de financiación por medio de la cual las personas que lo deseen pueden dejar en su testamento una herencia a nombre de una ONG. Existen un sinnúmero de formas mediante las cuales realizar la donación: una cantidad de dinero, un porcentaje sobre el valor del patrimonio, un bien inmueble, obras de arte, etc. También cabe la opción de donar a más de una organización, señalando previamente el porcentaje asignado a cada parte. Aunque en España no se tiene la costumbre de realizar legados solidarios, sí que tiene lugar en otros países tales como Inglaterra, Australia o Estados Unidos, en los que la herencia solidaria representa una de las mayores fuentes de financiación de las ONGs.

Tabla 57: Análisis DAFO: Herencia y legados solidarios.

Debilidades	Amenazas
• No aporta una estabilidad económica sólida debido a la alta incertidumbre que rodea a esta vía de financiación • Transmisión compleja y gestión administrativa tediosa • Pueden surgir problemas cuando se trata de un bien legado de carácter compartido	• Práctica poco regular en España • Alta competencia fruto de la poca oferta
Fortalezas	Oportunidades
• Esta financiación goza de deducciones fiscales • Cualquier bien, tangible o intangible, puede ser de ayuda • Dinero de carácter no finalista • Alto valor económico de ciertos bienes legados	• Aumento de los porcentajes de deducción para donaciones desde enero de 2020

• Debilidades

Los legados solidarios no aportan una estabilidad económica sólida en el tiempo a diferencia de otras fuentes de financiación, como la cuota de socios y el apadrinamiento, que consisten en aportaciones periódicas. La incertidumbre que rodea a esta figura de financiación es alta puesto que no se tiene certeza de cuando se adquirirá el legado.

A diferencia de otras alternativas de financiación más sencillas, los legados solidarios llevan consigo una tramitación compleja y una gestión administrativa tediosa.

• Amenazas

La principal amenaza es la falta de conocimiento que se tiene sobre esta vía de financiación, además de la poca costumbre que se tiene en España en hacer este tipo de testamento, lo que dificulta enormemente el poder desarrollar este método de financiación.

Una clara amenaza es la alta competencia en el ámbito de los legados solidarios, fruto de la poca oferta. Con lo cual, los pocos que se deciden a realizar un legado solidario acostumbran a recurrir a las ONGs de gran tamaño, que al final son las que gozan de mayor notoriedad en el Tercer Sector.

- **Fortalezas**

Una de las principales fortalezas es que las aportaciones y donaciones realizadas a las entidades disfrutan de diversas deducciones, de modo que ayuda a que un mayor número de personas se animen a realizar esta práctica.

Otra fortaleza de esta vía de financiación pero en la que se entreve una cierta debilidad es que, cualquier bien, ya sea tangible o intangible, puede servir. Todo aquello capaz de generar valor puede ser sujeto de donación a través del legado. Esto puede derivar en un inconveniente en el caso de que se trate de una herencia de carácter compartido puesto que podría conllevar a rencillas entre las partes.

Otra gran fortaleza es que se trata de bienes de carácter no finalista por lo que la organización beneficiaria de dichos bienes dispondrá de total libertad para gastar los fondos en lo que considere oportuno.

Por norma general, los bienes legados suponen un alto valor económico, con lo cual, la probabilidad de que la organización acceda a una gran cantidad de capital en un espacio de tiempo reducido es alta.

- **Oportunidades**

Como bien se han mencionado anteriormente, las aportaciones y donaciones disfrutan de una serie de deducciones. Desde enero de 2020, esta faceta de los legados se ve reforzada por el aumento en los porcentajes de dichas deducciones para las donaciones. De acuerdo a lo indicado en el Boletín Oficial del Estado (BOE), actualmente, se deducen hasta un 80% para aportaciones realizadas de hasta 150 euros, aumentándose así en 5 puntos. Para las donaciones que superan esa cantidad, la deducción pasa a ser del 35%, cuando hasta ahora era del 30%.

3.2.8. Apadrinamiento

El apadrinamiento es una manera de financiación muy extendida entre las ONGs, en la que los donantes realizan una contribución constante a una persona, por lo general, a un niño. Cada vez son más las ONGs que recurren a este método de financiación puesto que propicia la creación de un vínculo personal y emocional muy fuerte entre el destinatario y el transmisor de la ayuda, fomentando que el donante termine fidelizándose con la organización. La fórmula de apadrinamiento como método de financiación consiste en una contribución periódica del padrino por medio de la cual se financian proyectos que mejorarán no sólo la vida del niño, sino también la de su familia y comunidad.

Tabla 58: Análisis DAFO: Apadrinamiento.

Debilidades	Amenazas
• Dificultad en captar padrinos a media y gran escala • Necesario una buena estrategia a través de los medios de comunicación • Altos costes administrativos y contables • Dinero finalista	• La crisis económica ocasionada por el coronavirus reducirá la recaudación de fondos • Alta competencia en el contexto de campañas publicitarias
Fortalezas	Oportunidades
• Estabilidad económica en el tiempo • Fidelización de los donantes • Creación de una base social dedicada	• Participación masiva en redes sociales y medios de comunicación online

- **Debilidades**

Una de las debilidades más notables es la dificultad de captar padrinos a media y gran escala. A los padrinos se les pide, generalmente, una mayor involucración, a diferencia de otros modelos de financiación, sin ir más lejos, las cuotas de socio, habida cuenta de que la base del apadrinamiento está no sólo en mejorar las condiciones de vida de los niños, sino que también convertirse en su apoyo afectivo y emocional.

Se necesita, por tanto, de una buena estrategia de captación de padrinos a través de los medios de comunicación en sus diversos canales con el fin de darse a conocer y llegar al máximo número de personas posible. La creación de campañas publicitarias de sensibilización que fomenten la vinculación de nuevas personas a la organización supone un gran reto para las entidades no lucrativas, sobre todo las de pequeño tamaño, dado que disponen de recursos limitados para la gestión de estos aspectos.

Otra razón por la cual este método de financiación trae consigo altos costes administrativos y contables es la gestión más compleja que conlleva. Con vistas a potenciar el vínculo sentimental entre padrino y apadrinado, son muchas las organizaciones que ofrecen servicios de correspondencia postal lo que conlleva a un aumento de los costes habida cuenta de los obstáculos encontrados en zonas rurales caracterizadas por la falta de infraestructuras adecuadas.

Por último, se trata de un dinero finalista por lo que la recaudación no podrá destinarse para hacer frente a costes indirectos ocasionados por la ejecución del proyecto. Las donaciones de

los padrinos se destinarán íntegramente a las actividades de los proyectos que benefician a los niños apadrinados.

- **Amenazas**

El fuerte impacto del coronavirus sobre la economía mundial supondrá una disminución de los ingresos en las familias, por lo que el comportamiento social también se verá afectado, y por tanto, la parte destinada a la colaboración.

Otra amenaza muy significativa es la fuerte competencia entre ONGs en el sentido del incremento de campañas publicitarias, pudiendo incluso llegar a saturarse. Son muchas las organizaciones que se asocian a empresas para rentabilizar la imagen en campañas publicitarias, por lo que habitualmente son las grandes organizaciones quienes salen con éxito de estas campañas.

- **Fortalezas**

Una de las fortalezas de este tipo de financiación es que insta a la estabilidad económica en el tiempo por tratarse de aportaciones periódicas.

Además, se trata de uno de los modelos de financiación que más fideliza a los donantes, por no decir el que más. Por medio del apadrinamiento se forja un vínculo afectivo profundo, difícil de romper. Esto conlleva a la creación de una base social con gran apego a la organización que podría estar rápidamente dispuesta a donar en proyectos futuros.

- **Oportunidades**

La oportunidad más destacada para el apadrinamiento como método de financiación y que ya se ha mencionado en el estudio de otras fuentes, es sacar ventaja de la participación masiva en redes sociales y de los medios de comunicación online para hacer llegar la información del proyecto a un mayor número de personas de una manera ágil, eficiente y eficaz.

4. Financiación del proyecto

Una vez estudiados los diferentes tipos de financiación no lucrativa se ha considerado que las vías más adecuadas para la financiación de este proyecto son la organización de eventos y el crowdfunding.

La organización de eventos supone una financiación puntual que se adapta bien al proyecto. Además, este tipo de financiación puede crear sinergias con la campaña de crowdfunding ya que se puede utilizar no sólo como evento para recaudar fondos sino también como estrategia de comunicación para entablar un contacto más cercano con aquellas personas que hayan mostrado un interés previo donando en la campaña de crowdfunding. Naturalmente, también da la oportunidad de captar nuevos donantes que se animen a contribuir en la campaña una vez vivida la experiencia del evento.

Por su parte, la campaña de crowdfunding también permite fomentar la comunicación y la promoción online. Otro aspecto interesante que hace a este tipo de financiación encajar adecuadamente con el proyecto que se quiere llevar a cabo es que generalmente, la recaudación se consigue a partir de pequeñas donaciones de muchas personas. De esta manera, se consigue diversificar el riesgo puesto que la recaudación de los fondos ya no depende exclusivamente de una persona o entidad. A esta ventaja se le añade que la motivación del donante es altruista, lo que estimula la creación de un vínculo de cercanía con la causa, que en muchos casos deriva en la fidelización de los donantes, sobre todo cuando se consigue el objetivo marcado y la ejecución del proyecto es un éxito. Este hecho podría incluso abrir una nueva línea de financiación ya que aumentaría la probabilidad de que estos donantes se animasen a convertirse en socios de la organización, contribuyendo con donaciones de carácter recurrente.

4.1. Financiación por vías clásicas

Llegados a este punto, se cree conveniente realizar una estimación de lo que se podría conseguir a través de cada línea de financiación escogida con el fin de asegurar que se costeará la inversión requerida para la consecución de los dos proyectos que se desean poner en marcha en el colegio Saint François Xavier: abastecimiento de agua e instalación eléctrica.

Para ello, se toma como referencia proyectos sociales llevados a cabo por alumnos de ICAI en colaboración con la Fundación de Ingenieros de ICAI a lo largo de estos últimos años.

De entre todos estos proyectos, se encuentra Project Zimbabwe [29], siendo ésta una iniciativa impulsada por varios alumnos que decidieron trabajar de forma conjunta en la obtención de la inversión inicial necesaria para la consecución y puesta en marcha de sus respectivos trabajos fin de grado. Estos tres proyectos se implementaron en cooperación con una organización en terreno local, llamada Child Future Africa (CFA) [30], cuyo proyecto principal se basa en el mantenimiento de un orfanato en el distrito de Mount Darwin, en el norte de Zimbabwe. Por su parte, la iniciativa Project Zimbabwe se planteó con la idea de llevar a cabo tres proyectos que mejorasen la calidad de vida y ampliasen el orfanato Child Future Africa y cuyos retos residían en:

- Proyecto 1: Diseñar e implementar unos sistemas de captación de aguas y regadío para una plantación autosuficiente del orfanato.
- Proyecto 2: Diseñar y construir un nuevo edificio con dormitorios para que el orfanato pudiese acoger a más niños.
- Proyecto 3: Diseñar un sistema de distribución de agua para el colegio en el que reciben educación los niños del orfanato.

Es de notar que estos proyectos tienen una gran similitud con el presente proyecto, con lo que resulta interesante estudiar las vías de financiación por las que optaron y la manera en la que las aplicaron. Además, estos proyectos llegaron a implementarse en el orfanato el verano después de acabar el curso académico, por lo que resulta un claro ejemplo de éxito.

Con ánimo de recaudar los fondos requeridos, Project Zimbabwe fomentó la financiación colectiva realizando una campaña de crowdfunding y promovió distintos eventos benéficos.

En cuanto a la financiación a través del crowdfunding, los alumnos decidieron emplear la plataforma *StockCrowd*, en la que lanzaron una campaña de forma conjunta por lo que las donaciones recibidas a través de esta vía se destinaban a los tres proyectos de manera ecuaníme. La campaña de crowdfunding para el presente proyecto podría seguir este mismo patrón puesto que se trata, del mismo modo, de una iniciativa desarrollada junto con otro proyecto, que es el diseño y puesta en funcionamiento de la instalación eléctrica en el colegio Saint François Xavier. En cierto modo, crear una misma campaña de crowdfunding que englobe varios proyectos posibilita la unión de fuerzas con la que poder conseguir una mayor difusión mediática. Además, el número de donantes posiblemente crezca a medida que perciban que el proyecto en el que van a contribuir tiene un alcance mayor.

La recaudación de fondos de la iniciativa Project Zimbabwe resultó ser de 10.343€ y en la que participaron 61 donantes [31]. Dada la similitud de los proyectos, se prevé, en un futuro, recaudar una cantidad de este mismo orden de magnitud.

Ilustración 82. Campaña de crowdfunding Project Zimbabwe



Como se comentó anteriormente, otra de las actividades que los alumnos realizaron para la recaudación de fondos fueron eventos benéficos, dentro de los cuales se encontraban una fiesta benéfica, un torneo de fútbol sala y otro de pádel. Estas actividades son perfectamente adaptables a los proyectos que nos atañen por lo que podría considerarse su ejecución para la recaudación futura de fondos. La gran ventaja de organizar eventos deportivos es que se pueden hacer uso de las instalaciones deportivas de la universidad de manera gratuita. En cambio, organizar, por ejemplo, un concierto benéfico trae consigo mayores dificultades puesto que requiere una mayor organización y planificación del evento, sin olvidar que también supone un desembolso económico adicional.

Otras opciones en línea con las mencionadas anteriormente son una carrera solidaria, una cena benéfica en colaboración con algún hostelero de la zona que quiera contribuir de forma gratuita a una causa solidaria, o bien crear un merchandising con un diseño creativo y original que llame la atención y anime a las personas a comprar.

Otro ejemplo de proyecto de cooperación al desarrollo en colaboración con la Fundación Ingenieros de ICAI, es el proyecto de fin de máster llevado a cabo por la alumna Paloma Gómez de Olea durante este curso académico [32]. Paloma trabaja de forma conjunta con una contraparte local en Madagascar, siendo ésta la ONG francesa Les Enfants du Soleil [33], cuya misión principal es acoger a niños huérfanos y abandonados con el fin de financiar su educación y ayudarles a reinserirse en la sociedad. El proyecto consiste en la organización de talleres educativos relacionados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) con el fin colaborar con su misión de reinserción, junto con la formación de ciudadanos responsables.

Como en cualquier proyecto de cooperación que se desee poner en práctica, la financiación es un pilar fundamental y supone un aspecto imprescindible que tener en cuenta. Por ello, Paloma también puso en marcha una campaña de crowdfunding en la plataforma *migranodearena.org* con la que obtener fondos para comprar los materiales necesarios de los talleres, y financiar parte del viaje. A pesar de que la parte práctica en Madagascar que incluía el proyecto no va a tener lugar este año debido al coronavirus, Paloma consiguió finalizar la campaña de crowdfunding y recaudar la cantidad fijada, que asciende a 4.000€, con una participación de 85 donantes [34]. Una vez más, queda reflejado el buen resultado que podría llegar a alcanzarse con una campaña de crowdfunding.

Ilustración 83. Campaña de crowdfunding ayuda a los niños de Madagascar



Otra actividad que Paloma quiso llevar a cabo pero que lamentablemente tuvo que cancelarse debido al coronavirus es un concierto benéfico con el que estimaba recaudar 1900€ con aforo completo. Tomando esta cifra de referencia, se considera que por medio de un evento deportivo parecido a los que realizó la iniciativa Project Zimbabwe se podría obtener unos fondos alrededor de los 400€.

En base a los dos casos planteados anteriormente y atendiendo a las similitudes de los proyectos, es sensato pensar que la cantidad que se pueda recaudar para este proyecto a través de una campaña de crowdfunding sea en torno a los 6.000€, habida cuenta de que se dispondrán de las mismas vías de comunicación para la difusión de la campaña.

A pesar de que en los dos casos expuestos anteriormente los alumnos consiguieron recaudar los fondos necesarios para cubrir la inversión de los proyectos, hay una marcada diferencia en cuanto a la magnitud de los proyectos. La envergadura de los dos proyectos que se quieren implementar en el colegio Saint François Xavier es notablemente superior, y por consiguiente, la cantidad necesaria para sufragar los gastos de los dos proyectos es también mucho mayor. A continuación, se exponen las razones que llevan a esta conclusión.

Considerando que para este proyecto en concreto se realizase una campaña de crowdfunding, a la par que un concierto benéfico y un evento deportivo, se estima que los fondos recaudados podrían ascender a 8.400€, cifra con la que no llegaría a cubrirse la totalidad de los gastos del proyecto, puesto que tan sólo supone un 12% del presupuesto final (69.358,52€). Se recuerda que en este apartado de financiación en concreto, cuando se habla de proyecto, se hace mención de la iniciativa que engloba tanto la instalación del suministro de agua como la instalación eléctrica del colegio. Ahora bien, si se tuviese únicamente en cuenta el presupuesto requerido para la infraestructura del agua, éste descendería a 17.909,09€, que, a pesar de todo, sigue siendo superior a lo recaudado a través de las vías de financiación citadas.

Es, por tanto evidente que los fondos que se puedan llegar a recaudar a través de eventos benéficos y una campaña de crowdfunding no sufragarán la totalidad del capital de ambos proyectos. A pesar de todo, queda reflejado el buen desempeño de estas líneas de financiación por lo que se anima a que se empleen estas vías como una forma de financiación complementaria.

4.2. Financiación Manos Unidas

Después de realizar la reflexión anterior, se llega a la conclusión de la necesidad de disponer de otra vía de financiación que pueda reportar una mayor cantidad de capital para así poder hacer frente a todos los gastos del proyecto.

El modelo de financiación que se contempla en este proyecto como primera opción es particular puesto que no se trata de ninguna vía de financiación clásica estudiada en el apartado anterior. Este proyecto, propulsado por una organización de carácter no lucrativo, la Fundación de Ingenieros de ICAI, se financiará a través del capital disponible de otra organización sin ánimo de lucro, Manos Unidas [35], institución con mayor reconocimiento nacional, y, por consiguiente, mayor capacidad de financiamiento.

Se trata de un convenio de colaboración entre dos organizaciones no lucrativas, en el que la Fundación de Ingenieros de ICAI actúa en representación del colegio Saint François Xavier, como organización local. Esta forma de operar es muy habitual en la gran mayoría de organizaciones con una marca ampliamente reconocida en el mundo. Éstas establecen una alianza con ONGs locales, también conocidas como contrapartes locales, pertenecientes a los países en los que la ONG extranjera desea ayudar.

Gracias a ellas, se logra que el trabajo de la ONG extranjera sea efectivo ya que estas organizaciones locales aportan su conocimiento sobre la población local y sobre todo,

experiencias locales, que pueden ayudar a mejorar la infraestructura que se quiere implantar en la zona, adecuándolo a las necesidades reales del lugar. Las contrapartes son, por lo tanto, un elemento fundamental en la cooperación internacional.

En este tipo de alianzas, la organización extranjera aporta el capital necesario para la consecución del proyecto mientras que el socio local es el encargado de ejecutar el proyecto en cuestión con la supervisión de la ONG extranjera. No obstante, antes de aprobar la ejecución de cualquier proyecto, la entidad extranjera estudia la viabilidad de los proyectos para asegurar que es un proyecto alcanzable.

En coherencia con la misión y visión de la Fundación Ingenieros de ICAI y el colegio Saint François Xavier, ambas instituciones regentadas por la Compañía de Jesús, se decide contactar con una ONG cuya base se fundamente en principios similares y por lo tanto, con la que se comportan intereses y finalidades, con el propósito de potenciar los resultados de la acción conjunta. Es así como se llega a ponerse en contacto con Manos Unidas, institución desarrollada por la Iglesia Católica, a la que se le presenta el proyecto y se muestra muy interesada en contribuir económicamente, aportando el capital requerido para la consecución del proyecto, o buena parte de éste.

Otra gran ventaja de contar con Manos Unidas como aliado es que puede ofrecer su amplia experiencia en proyectos llevados a cabo en el continente Africano, sobre todo, en países en los que se presentan de manera crónica dificultades por los efectos de los conflictos, como es el caso del Chad.

Manos Unidas lleva trabajando en el Chad desde 1973 [36], siendo los sectores en los que más ha contribuido de la mano de socios locales: la educación, la salud, la alimentación y los medios de vida, cuyos beneficiarios directos son la juventud y la población rural, por lo que queda de manifiesto la evidente consonancia entre sus objetivos y los de este proyecto. A continuación, se citan dos de los proyectos más recientes que Manos Unidas ha ayudado a llevar a cabo en el Chad.

- Año 2018: Manos Unidas dio apoyo económico a uno de sus socios locales, el Belacd – s, para que pudiese elaborar un plan de formación y acompañamiento a cooperativas campesinas con la finalidad de que aprendiesen técnicas de regadío para implementarlas durante la estación seca. Gracias a este proyecto, se constituyeron 42 cooperativas en las que participaron 447 mujeres y 603 hombres. Con la implantación de este sistema de regadío se logra que, en época seca, se puede obtener cosecha de arroz [37].
- Año 2017: Nuevamente, Manos Unidas contribuyó económicamente para que otro de sus socios locales, los misioneros de San Francisco de Sales (MSFS) pudiesen llevar a cabo la construcción y puesta en marcha de un internado masculino en el complejo escolar “San Francisco de Sales” con el fin de mejorar el rendimiento académico de los alumnos del medio rural dadas las dificultades encontradas por los chicos para

desplazarse hasta el colegio. El coste de este proyecto ascendía a 51.998€, gran parte del cual fue financiado por Manos Unidas [38].

Las fuentes de financiación de Manos Unidas provienen mayoritariamente del sector privado. De acuerdo al informe anual de memoria de actividades de Manos Unidas de 2018, un 87,4% de los ingresos totales recaudados provinieron del sector privado, frente a tan sólo un 12,6% del sector público. Dentro de los ingresos obtenidos a través del sector privado, las donaciones de los socios representan un gran porcentaje, siendo este un 40,7%. Los fondos recaudados a fin de año ascendieron a 47.248.884€ [39].

Dicho esto, queda reflejada la importancia de tener como aliado una organización no lucrativa con un potente capital económico, sobre todo, cuando el proyecto requiere de un desembolso considerable, como es el caso de este proyecto. Además, la visibilidad mediática de Manos Unidas podría contribuir a expandir la difusión de la campaña de crowdfunding y los eventos benéficos, posibilitando una recaudación mayor. Otro aspecto muy favorable es el gran número de socios del que dispone Manos Unidas, lo que refleja el fuerte compromiso de sus donantes, que, en el supuesto de que se sintiesen identificados en el proyecto, posiblemente no durarían en apoyarlo.

En la actualidad, ante la alerta sanitaria provocada por el coronavirus, la mayoría de los proyectos de cooperación al desarrollo se han visto interrumpidos debido al confinamiento del personal y la imposibilidad de viajar. La pandemia global del coronavirus nos ha sometido a una situación de incertidumbre total, que presumiblemente se alargue por tiempo indefinido. A esto se le suma que la lucha contra el coronavirus en países con recursos sanitarios muy escasos, como es el caso del Chad, sea incluso más larga. Las ONGs, de entre ellas, Manos Unidas, se han visto con la necesidad de reenfocar proyectos hacia la lucha contra el coronavirus de ahí que cualquier convenio de colaboración establecido con Manos Unidas para la financiación de este proyecto haya quedado paralizado hasta nuevo aviso.

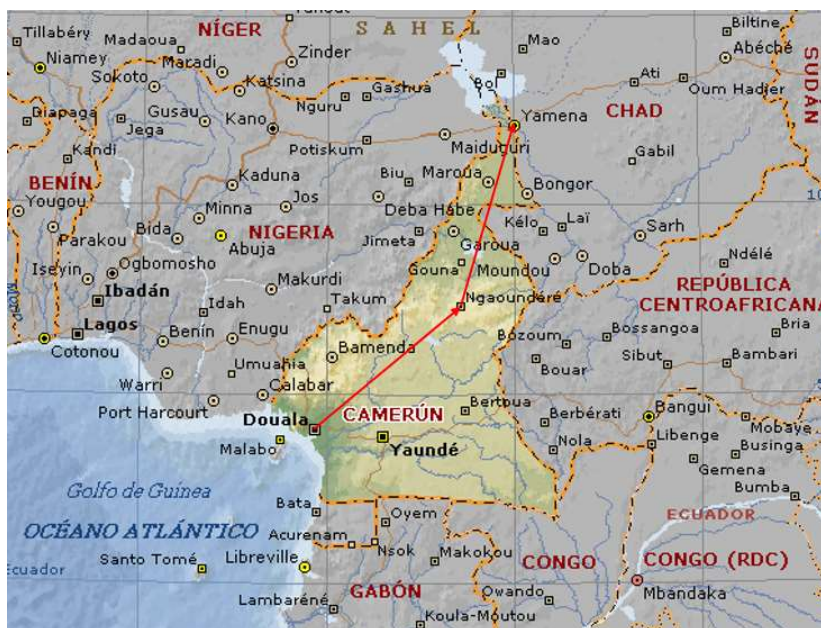
CAPÍTULO VI. Fase de Ejecución y Seguimiento

La mayoría de las etapas de esta fase se llevan a cabo durante la materialización del proyecto por se. Sin embargo, se ha estimado oportuno dedicar un capítulo en el que exponer el proceso logístico y la gestión de la cadena de transporte hasta llegar al mismo colegio.

1. Introducción

El Chad presenta una situación verdaderamente complicada en cuanto a facilidades de transporte se refiere. La posición geográfica del Chad, al carecer de litoral, agrava este problema. Los puertos más cercanos, siendo éstos Douala (Camerún) y Lagos (Nigeria), se encuentran a unos 1.700 km de la ciudad principal y capital del Chad, N'Djamena [40]. De estas dos opciones, utilizadas para introducir mercancías al país, la más extendida es el corredor con Douala, puerto de Camerún. Esta ruta se caracteriza por su intermodalidad, lo cual quiere decir que para llegar desde el punto de origen hasta el punto de destino, se producen interacciones entre distintos medios de transporte. Concretamente, la cadena de transporte entre Douala y N'Djamena, cuenta con un enlace ferroviario entre Douala y Ngaoundere, ciudad situada en el noreste de Camerún. Es desde allí donde se cargan camiones para continuar el recorrido por vía terrestre sobre tierras chadianas.

Ilustración 84. Localización geográfica corredor Douala – N'Djamena



Otro aspecto muy habitual por el que se caracteriza la gestión logística del país son los elevados costos en el transporte, al igual que sus largas demoras, incluso superiores en comparación con

otros países africanos que tampoco disponen de litoral. El tiempo de tránsito desde el puerto de entrada, ya sea Douala o Lagos, hasta N'Djamena, se estima de 4 a 6 semanas, con un coste medio de transporte de alrededor de los 4.500€ para un contenedor de 20 pies [40]. Esta situación repercute notablemente en los precios de los productos básicos que se encuentran en el Chad que suelen ser hasta un 30% más caros en comparación con lo que se encuentra en el país vecino, Camerún. Esto es un aspecto interesante a tener en cuenta si se optase por buscar los componentes de la instalación en el continente Africano, en lugar de transportarlos desde España. Posiblemente el precio de los componentes en un país vecino con tráfico portuario y el desembolso por los desplazamientos hasta el Chad sean inferiores que si los componentes se comprasen directamente en el Chad. El aumento del precio de los productos en países sin litoral es un problema generalizado en la mayoría de los países con estas condiciones geográficas. Sin embargo, el caso del Chad se ve acrecentado debido a la poca profesionalidad en los trámites y la falta de organización y estructura del mercado. Un país equiparable al Chad es Ruanda, cuya capital, Kigali, se encuentra a la misma distancia del puerto más cercano que en el caso de N'Djamena. En cambio, los costos de transporte y los retrasos suelen ser en torno a un 30% más bajos.

Bajo circunstancias normales, el tiempo de transporte físico de mercancías entre el puerto de Douala y N'Djamena es de aproximadamente una semana, ya sea a través de una combinación de ferrocarril y carretera (alternativa habitual) o una ruta enteramente por carretera. Las infraestructuras empleadas para realizar este recorrido están razonablemente bien acondicionadas ya que su uso es muy frecuente. Existe una carretera pavimentada entre Ngaoundere y N'Djamena, a la cual se le hacen mantenimientos recurrentes. Si bien sólo existe una ruta de tránsito, a diferencia de lo que se pensaba, esta se encuentra en buenas condiciones, por lo que la larga duración de tránsito de la mercancía se debe fundamentalmente a una serie de obstáculos e ineficiencias en las operaciones comerciales de las cuales son responsables tanto el sector público como el privado. Estas ineficiencias quedan a la vista cuando el ejército francés es capaz de enviar contenedores desde Douala hasta su base en N'Djamena en tan sólo 6 días [40].

Todas las carreteras que no tengan relación directa con el flujo principal de mercancías, es decir, prácticamente todas las carreteras del país excepto la que une Douala y N'Djamena, se encuentran sin pavimentar. Este hecho se percibe notablemente en los costos de la logística interna del país, siendo éstos muy elevados. El costo de transporte por carretera para la red pavimentada es de 60 CFA/tonelada el kilómetro, el doble de lo que se suele pagar en los países del sur de África e incluso en el continente Europeo. El precio por transportar mercancía a áreas remotas asciende a los 180 CFA/tonelada el kilómetro, 10 veces mayor de lo que se acostumbra a pagar [40].

Antes de comenzar a detallar el proceso de envío, se procede a concretar algunos conceptos importantes que tener en cuenta a la hora de contratar servicios logísticos.

2. Contenedor de mercancías

Los contenedores, también conocidos como containers, son los recipientes de carga de uso más habitual para almacenar y transportar la mercancía por cualquier tipo de vía, ya sea por barcos, trenes o camiones, posibilitando así el transporte intermodal.

Existen varias modalidades de contenedores a fin de que se adecúen lo máxima posible a las características de la mercancía transportada. De entre las distintas clases de contenedores, se optará en principio por el “Dry Van”, siendo este el contenedor estándar, cerrado herméticamente y sin refrigeración o ventilación. Ahora bien, si la empresa transitaria contratada aconseja emplear otro tipo de contenedor, a juzgar por las características de la carga, se escogerá la solución aportada por los profesionales.

En cuanto a las dimensiones de los distintos tipos de contenedores, los que mayoritariamente se usan a nivel mundial en el transporte marítimo son los contenedores de 20 pies y de 40 pies [41]. A continuación, se muestran las características principales de estos dos contenedores en concreto.

Ilustración 85. Contenedor de mercancía



Tabla 59. Dimensiones de contenedores normalizados

Contenedor	Largo interior (m)	Ancho interior (m)	Altura interior (m)	Altura (m)	Capacidad (m ³)	Peso tara (kg)	Peso máximo de la carga (kg)
20 pies	5,898	2,352	2,393	2,59	32,6	2.300	28.000
40 pies	12,025	2,352	2,585	2,895	76,4	4.150	29.000

Estudiando estas medidas, se estima que un contenedor de 20 pies será suficiente para transportar los componentes de este proyecto.

Otro aspecto importante por el que se diferencian los distintos tipos de contenedores es la modalidad del envío, pudiendo este ser LCL, que corresponde a las siglas de *less than container load*, o FCL que corresponde a las siglas de *full container load* [42]. Un envío LCL implica que el envío se realizará en un contenedor compartido con otros proveedores, mientras que en un envío FCL, el contenedor estará íntegramente ocupado por la carga de un único proveedor. Además de esta diferencia, existe otra notablemente importante que radica en la responsabilidad del llenado y transporte del contenedor. En el caso de un envío FCL, el

proveedor, o en su defecto, la empresa transitoria contratada, es la responsable de llenar el contenedor y hacerse cargo de los cargos derivados de su transporte. El transportista, por su parte, se compromete únicamente a llevar el contenedor desde el punto de origen al punto de destino previamente establecidos. Contrario a este caso, en un envío LCL, el propio transportista es el responsable del contenedor y su llenado. Dadas las características y el gran volumen de la mercancía que se quiere transportar en este proyecto, se estima conveniente realizar un envío FCL ya que presumiblemente, los costes asociados por envío de cada unidad serán inferiores en comparación con un envío LCL. Además, con un envío FCL se reducen los riesgos asociados a retrasos y posibles daños de la carga ya que no se tiene ningún tipo de control sobre las demás cargas que irán en el mismo contenedor.

3. Incoterms

Los incoterms (Internacional Commercial Terms) [43] son unos términos empleados en el comercio internacional para asentar una serie de normas de reconocimiento internacional para facilitar el comercio del mismo. Las dos figuras fundamentales a las que hacen referencia los incoterms son el vendedor y el comprador del intercambio comercial en cuestión. En el caso de este proyecto no hay un vendedor y un comprador per se, aun así, la funcionalidad de cada uno de estos términos sugiere que la Fundación Ingenieros de ICAI ejerza el rol de vendedor, que es el que ofrece el servicio, y el colegio Saint François Xavier sea el comprador puesto que es el beneficiario de dicho servicio. Los incoterms son los encargados de asentar los riesgos y las obligaciones de ambas figuras a lo largo del proceso de envío de la carga. Es por medio de ellos que quedan registradas las etapas que corren a cargo de una figura o de otra.

Los incoterms regulan cuatro aspectos básicos, que son:

- **La entrega de las mercancías:** determina cuándo y cómo se entrega la carga.
- **La transmisión de los riesgos:** establece cuándo y dónde los riesgos pasan del vendedor al comprador.
- **La distribución de los gastos:** indica cómo se distribuyen los gastos entre vendedor y comprador.
- **Los trámites de documentos aduaneros:** determina quién proporciona los documentos y quién cubre los gastos asociados.

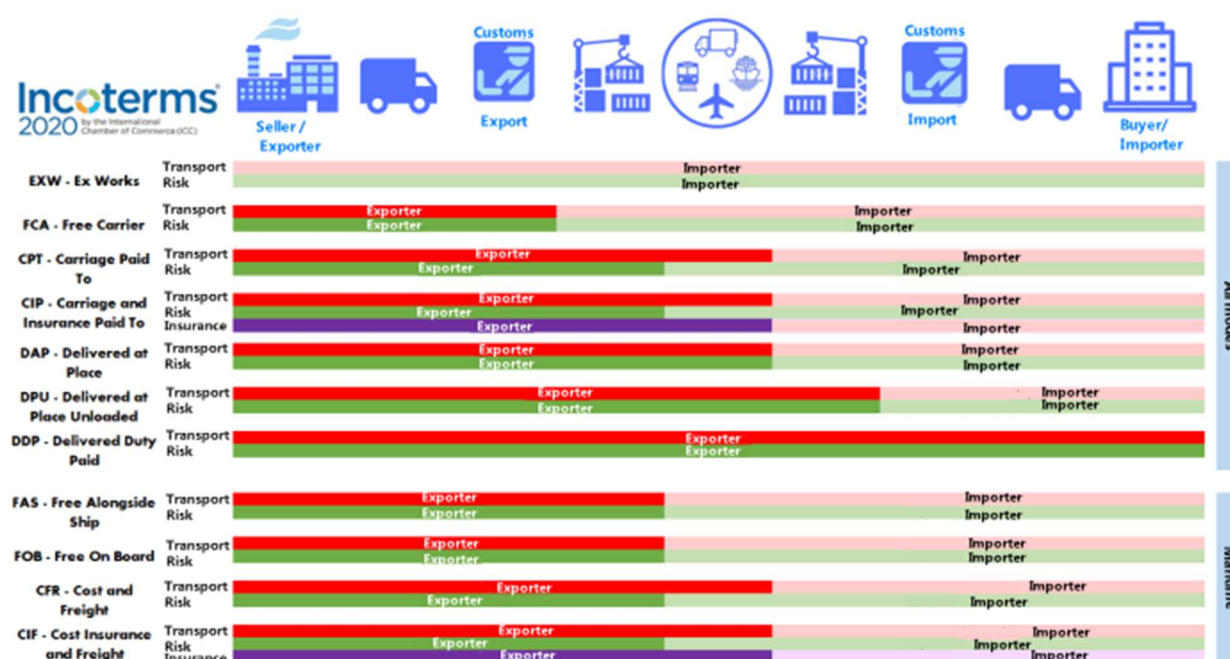
Los términos incoterms se constituyen a partir de tres letras y se clasifican en 4 grupos: C,D,E y F, en función de quien tenga la responsabilidad de pago en las distintas etapas del transporte. Actualmente, existen 11 Incoterms vigentes desde el 1 de enero de 2020 y estos son: EXW, FCA, FAS, FOB, CFR, CIF, CPT, CIP, DPU, DAP, DDP [43].

- **Grupo C:** los gastos del transporte principal corren a cargo del vendedor. La transferencia del riesgo al comprador ocurre cuando las mercancías se cargan a bordo del medio de transporte que las lleve hasta el lugar de destino.

- **Grupo D:** la parte vendedora es responsable de todos los costes y riesgos hasta la recogida de las mercancías en el punto de destino. Es lo que se conoce como envío puerta a puerta.
- **Grupo E:** contrario al caso anterior, la parte compradora es la responsable de todos los riesgos y costes asociados al transporte a lo largo de todo el proceso de envío que va desde la puerta del almacén del vendedor hasta el país de destino.
- **Grupo F:** es muy similar al caso anterior, con la diferencia de que la responsabilidad del vendedor comienza cuando las mercancías se encuentran en el medio de transporte principal del país de origen.

A continuación, se muestra una tabla en la que se refleja lo explicado anteriormente.

Tabla 60. Incoterms 2020



4. Códigos HS

Los códigos HS, también conocidos como códigos arancelarios, son combinaciones de varias cifras, definidas según un sistema de clasificación estandarizado internacionalmente que permiten clasificar las mercancías exportadas o importadas.

Cada mercancía tiene asignado su propio código arancelario que viene establecido en función de su naturaleza y su función. La aduana del país de destino determina los impuestos y aranceles a pagar en función del tipo de mercancía enviada y calculada a partir de los códigos HS.

El sistema de códigos HS comprende en torno a 5.300 códigos de producto. A fin de unificar la clasificación de productos, los códigos se agrupan en partidas y subpartidas, para finalmente terminar en capítulos y secciones. Por ejemplo, los códigos HS de los componentes de este

proyecto estarán presumiblemente comprendidos en la Sección 16: Maquinaria / eléctricos integrada por los capítulos 84 y 85 [44].

Los códigos HS se componen de 6 dígitos, agrupados de dos en dos, en tres partes. Las dos primeras cifras hacen referencia al capítulo, las dos siguientes están asociadas a la partida y los dos últimos dígitos determinan la subpartida.

Ilustración 86. Dígitos códigos HS



Será necesario proporcionar a la empresa logística una lista de todos los códigos HS correspondientes a los componentes de la mercancía. Se deberá de asegurar que los códigos arancelarios que aparecen en el documento son los correctos ya que serán cruciales a la hora de pasar la carga por el despacho de aduanas. Los códigos HS pueden consultarse en la página web de la Organización Mundial de Aduanas [45].

5. Corredor Douala – N'Djamena

De las dos rutas que existen para transportar mercancías hasta N'Djamena, se estima que la solución óptima es emplear el corredor Douala – N'Djamena ya que cuenta con infraestructuras menos deterioradas en comparación con el corredor secundaria que une Lagos (Nigeria) y N'Djamena.

El tránsito por el corredor que une Douala y N'Djamena se rige únicamente por acuerdos de tránsito entre los Gobiernos de Camerún y Chad, dentro de los cuales entra el acuerdo que se ocupa del flete por carretera. Las cuestiones aduaneras se regulan por separado, pero se gobiernan por las mismas reglas del código aduanero establecido por la CEMAC. Estos acuerdos de flete recogidos en el código aduanero de la CEMAC no son aplicables al movimiento de mercancías por el corredor secundario, desde Nigeria a N'Djamena.

La gran ventaja de emplear el corredor principal por Camerún, en lugar de atravesar Nigeria, es que, a diferencia de Nigeria, tanto Camerún como Chad pertenecen a la CEMAC [46], comunidad económica de África Central que promueve la integración económica entre varios países africanos, todos ellos con un punto en común, y es que comparten la misma moneda, el franco CFA. Todos los países miembro gozan de una legislación económica y comercial común y

comparten unas mismas tarifas aduaneras, permitiendo el libre tránsito de mercancías a través de los países de la comunidad. Esto último facilita considerablemente el movimiento de las cargas ya que disminuye el riesgo de que sobrevengan gastos inesperados fruto de controles extraoficiales y fraudes cometidos por terceros.

5.1. Puerto de Douala

El puerto de Douala gestiona alrededor de 6 millones de toneladas de mercancías al año, de entre las cuales los contenedores tienen presencia mayoritaria (en torno a las 170.000 toneladas al año). Desde el año 2004, la terminal de contenedores está a cargo del grupo AP Moller, uno de los operadores de la terminal perteneciente al grupo Maersk el cual ha realizado muchas mejoras desde entonces [40].

5.2. Tránsito por carretera

Se calcula que Camerún tiene 4.300 km de camino pavimentado por todo su territorio, de los cuales solo una cuarta parte están en buenas condiciones. Por ello, el transporte de mercancías por carretera suele ser difícil de manejar. A esto también se le suma la topografía del país en el que abundan las cadenas montañosas en el centro de Camerún, coincidiendo con la zona que hay que atravesar para llegar a Chad. En cambio, la ruta por carretera desde la terminal ferroviaria de Ngaoundere y N'Djamena se mantiene en buen estado, estando ésta pavimentada. Generalmente, el trayecto entre estos dos puntos se realiza en tres días, haciendo escala en las dos ciudades principales del norte de Camerún, Garoua y Maroua. Ambas ciudades tienen incluso área de descanso para camiones [40].

5.3. Tránsito por ferrocarril

Debido al deterioro de las carreteras en Camerún, se aconseja realizar un primer trayecto en tren desde el puerto de Douala hasta Ngaoundere, ciudad a partir de la cual se realizaría la ruta por carretera. Ciertamente, esta línea ferroviaria se usa muy frecuentemente para realizar el transporte de contenedores importados desde Douala hacia los países vecinos sin litoral.

El titular de la licencia es CAMRAIL [40], controlado directamente por el grupo Bolloré, que como se verá más adelante, es uno de los agentes transitarios principales de la zona. De entre las dos terminales con las que cuenta CAMRAIL, Ngaoundere es una de ellas y es la que se emplea para derivar las cargas al Chad. Los trenes circulan con frecuencia, viajando a Ngaoundere desde Douala varias veces al día. A pesar de que las infraestructuras no estén totalmente modernizadas, CAMRAIL constituye uno de los pocos, o quizás el único, servicio de calidad por la zona de África Central. La terminal de Ngaoundere incluso ofrece la posibilidad de almacenar

los contenedores, mientras se espera la llegada del transportista, algo muy habitual en estos países.

5.4. Tránsito aéreo

Otra alternativa por medio de la cual se puede realizar el trayecto completo hasta la capital del Chad es por vía aérea. En cuanto a líneas aéreas, Chad cuenta con dos conexiones principales, que son:

- Vuelos regulares de carga a Europa, y en concreto, a Francia.
- Vuelos a Sudán y a la región del Golfo, principalmente vuelos chárter.

Aunque en primera instancia se llegue a pensar que el transporte aéreo es más caro que cualquier otra vía, esto no suele ser siempre cierto, y menos en el caso del Chad, en el que existe un tremendo desequilibrio entre las entradas y las salidas por medio aéreo. Las exportaciones son sustancialmente más elevadas que las importaciones ya que la carga aérea del Chad se centra fundamentalmente en satisfacer necesidades internacionales, entre las que destacan el petróleo y el ejército francés. En consecuencia, nos encontramos ante un alto potencial para importar productos al Chad con un coste irrisorio, valorado en torno a 3€/kilogramo para aviones que vuelen de Francia a Chad [40].

Por tanto, si bien al principio se descartaba el transporte aéreo por su elevado coste, se ha comprobado que podría resultar una opción interesante que contemplar.

6. Fases del proceso de envío

A continuación, se explicará en qué consiste la cadena logística planteada y se expondrán los agentes principales que aparecen en escena a lo largo del proceso de envío de la mercancía.

6.1. Transitarios logísticos

Los transitarios, también conocidos como agentes de carga, o en inglés “freight forwarder”, representan un papel fundamental en las operaciones de envíos internacionales con el fin de que todo funcione correctamente. Algunos de los servicios realizados por estas empresas son la gestión y coordinación del transporte, además de atender a los trámites de aduanas. Sus servicios se pueden dividir en tres grandes bloques, que son, en primer lugar, encontrar la mejor ruta para el transporte de la mercancía, buscando el mayor ahorro de costes, la máxima eficacia y seguridad. En segundo lugar, prestan su ayuda en todos los trámites legales, y, en particular, en los trámites que tienen relación directa con las aduanas. Generalmente, la empresa transitaria contacta y negocia con un agente aduanero del punto de destino a fin de evitar obstáculos, siendo estos altamente habituales en países con autoridades corruptas. En la

medida de lo posible, tratan de disminuir los inconvenientes y evitar retrasos excesivos. Por último, se encargan de negociar con los operadores logísticos de cada etapa del recorrido, una actuación más que necesaria en este ámbito, especialmente cuando se trata de empresas de transporte locales, condicionadas por el clima corrupto en el que se encuentran. En definitiva, todos estos trámites pueden ser largos y complejos si no se tiene el conocimiento requerido. Por ello, es imprescindible contar con la ayuda de estas empresas que aportan su experiencia a fin de agilizar el proceso de las operaciones internacionales que en la mayoría de los casos, son tediosas y complejas.

La mayoría de los agentes transitarios ofrecen soluciones por medio de las cuatro vías posibles de transporte: marítima, aérea, carretera y ferrocarril, al igual que la modalidad multimodal, en la que se combinan varias de estas vías. El medio empleado para el transporte de la carga tendrá una alta transcendencia en la determinación de los precios y la duración del trayecto hasta el país de destino.

6.1.1. Transitario Europeo

La mayoría de las empresas transitarias europeas no llegan a operar en países sin litoral del centro de África. El lugar de destino de estas empresas es generalmente la ciudad portuaria de Douala en Camerún, realizando el transporte de la mercancía de España a Camerún por vía marítima. Este tipo de envío corresponderá a un incoterm CFR "*Cost and Freight*" lo que viene a decir que la empresa transitaria europea asumirá todos los gastos hasta la llegada al puerto de Douala. Estarán incluidos todos los gastos en origen, el flete marítimo, la descarga del contenedor en el puerto de destino y finalmente los costes asociados al despacho de aduanas del país de destino. Por lo tanto, además de contratar los servicios de un transitorio cuyos servicios terminarán en el puerto de Douala, será necesario contratar los servicios de una empresa transitaria que opere en terreno local y se encargue de tramitar el contenedor desde su llegada a Camerún hasta el Chad, concretamente hasta el colegio Saint François Xavier, ubicado en la región de Toukra. En este segundo caso, se contemplará un envío bajo incoterm DDP "*Delivery Duty Paid*", lo que viene a ser "entrega con derechos pagados". Como bien sugiere su nombre, el agente transitario local contratado se hará cargo de todos los cargos desde el puerto de Douala hasta dejar la mercancía en el lugar pactado en destino. En este sentido, el colegio no será responsable de ningún trámite, coste o riesgo.

Algunas empresas transitarias que ofrecen servicios de transporte desde España, habitualmente desde el puerto de Algeciras, hasta la ciudad portuaria de Douala en Camerún, son: Leoprex, Norgistics, AM Cargo, Maitsa, DSV, Tiba y Maersk. También existen plataformas como son iContainers y Twill que permiten cotizar online y comparar tarifas de varias empresas para luego escoger y contactar con la más adecuada.

La estructura de costes de los servicios contratados para el transporte de mercancía desde un puerto de España hasta el puerto de Douala será similar a la siguiente:

- Costes relacionados con el flete: es el principal coste del transporte y proviene de los gastos generados al cargar el contenedor desde el puerto de origen al de destino.

- Recargos de las navieras y recargos específicos por zonas: gastos asociados a una serie de situaciones, como puede ser la subida de los costes del fuel, o gastos según las características de la ruta de transporte.
- Costes por retrasos en el transporte.
- Gastos de gestión de mercancías: impuestos y aranceles en función del valor de la mercancía importada.
- Gastos de aduanas: son los costes de los trámites llevados a cabo por el despacho de aduanas, proceso mediante el cual las autoridades del país de destino comprueban que la documentación y la mercancía están en orden.
- Gastos portuarios: comprenden los costes asociados al uso de las instalaciones portuarias y la manipulación de los contenedores en la terminal: carga/descarga del camión, transporte dentro de la terminal y carga/descarga del contenedor en el barco.
- Costes de transporte terrestre: gastos derivados en envíos puerta a puerta, en cuyo caso, hay una recogida y/o entrega en un código postal concreto.
- Costes de documentación: todos aquellos gastos para cubrir los costes administrativos de preparar los trámites.
- Gastos asociados a la contratación de un seguro para la carga.

6.1.2. Transitario local

Una vez que el contenedor se encuentre en suelo africano, se contactará con un agente transitario local que se encargará de efectuar las operaciones necesarias para trasladar el contenedor hasta la puerta del colegio. Las principales tareas encomendadas a la empresa transitaria contratada serán organizar el transporte por tren desde Douala hasta Ngaoundere y luego, negociar con un transportista local para que cargue el contenedor desde la estación de ferrocarril de Ngaoundere hasta el lugar de destino final, el colegio Saint François Xavier. Aunque la red de transitarios logísticos que operan entre Camerún y Chad es muy pequeña, a continuación, se nombran algunos agentes transitarios de la zona con los que poder contactar en un futuro:

- SDV (grupo Bolloré) se trata del mayor operador en el Chad.
- STAT (Société Tchadienne d'affrètement et de transport), sociedad también perteneciente al grupo Bolloré.
- GEODIS, grupo que tomó el control de Doba Logistics, compañía especializada en la carga de operaciones petroleras.
- Otros transitorios logísticos, que gozan de gran renombre en Europa, también operan en N'Djamena, grandes compañías de transporte como Maersk y DHL.

6.2. Operadores logísticos

Otro grupo imprescindible en el proceso de envío es la empresa transportista con la que el agente transitorio negociará para realizar la última etapa del recorrido por carretera. A

continuación, se expone brevemente el contexto de los operadores logísticos en el Chad que permitirá hacerse una idea más clara de la situación actual en este ámbito.

La falta de empresas estructuradas en el Chad es evidente, de ahí que la mayoría de los servicios de transporte los ofrezcan pequeñas compañías individuales que disponen de unos pocos camiones. Este sector se caracteriza principalmente por recurrir a empresas muy pequeñas, con un promedio de 3 camiones, equipo obsoleto, falta de fondos para mantenimiento y un tiempo de espera en la estación de camiones de Ngaoundere de aproximadamente una semana.

Se destacan dos sindicatos de operadores logísticos en el Chad. Estos son:

- UNATRANS, sindicato al que pertenece la mayoría de los operadores logísticos y el que tiene mayor flota de camiones.
- SNLTT (Syndicat des transporteurs libres du Tchad), el cual se centra en mayor medida en el transporte internacional.

Ambos tienen algo en común, y es el mal servicio que generalmente ofrecen. En parte, se debe a la antigüedad de los vehículos y a la falta de recursos de mantenimiento de los cuales disponen las pequeñas empresas. Pero, la mala calidad del servicio también se atribuye a la poca actitud de los operadores de transporte, que se caracterizan por tener poco o nula consideración por el cumplimiento de plazos. En muchas ocasiones, los trabajadores emplean las horas laborales para realizar trabajos por cuenta propia, como puede ser el transporte de pasajeros haciendo desvíos.

Los tres agentes expuestos anteriormente tendrán una relación directa durante el proceso logístico del envío de la carga. Sin embargo, hay otros grupos con los que también se puede contactar a fin de recabar más información, entre los cuales se encuentran los cuerpos diplomáticos. España mantiene relaciones diplomáticas con el Chad desde 1975, con base en Yaundé, Camerún. En cuanto a la representación diplomática del Chad en España, éste sólo cuenta con representación administrativa a través del consulado general en Barcelona.

Finalmente, también existe la posibilidad de contactar con ONGs, empresas o personas que ya hayan realizado proyectos de la misma índole en el Chad y que hayan tenido contacto directo con la logística del proyecto, de entre los cuales se encuentran:

- Fundación Ramón Grosso
- Trama Tecnoambiental
- Immodo Renta Sol
- ONG Solidaridad, Educación y Desarrollo
- Energía Sin Fronteras
- ALBOAN
- AMAIF

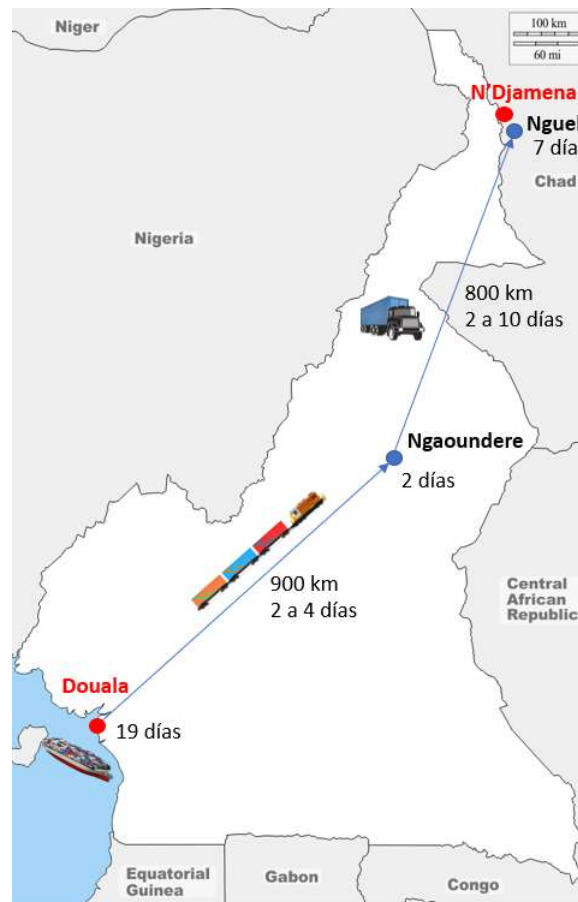
A lo largo del proyecto, se contactó con estas organizaciones y se recibió respuesta por parte de varias de ellas. Más adelante, se dedica un apartado para exponer la información recogida en cada una de estas reuniones.

7. Costes y duración de la cada logística Douala – N'Djamena

Se aclara que la mayoría de los datos recogidos en este apartado provienen de registros elaborados por el Banco Mundial.

A continuación, se exponen el coste y la duración de las distintas etapas hasta completar el trayecto entre Douala y N'Djamena. La Ilustración 87 muestra la cadena logística a seguir.

Ilustración 87. Cadena logística Douala - N'Djamena



7.1. Coste de la cadena logística

○ Puerto de Douala

Las tarifas portuarias, aplicadas por la utilización del dominio portuario y por la prestación del servicio de señalización marítima, son notablemente altas y ascienden a los 1.000€ para un contenedor de 20 pies. Cabe destacar que esta cifra es apenas más baja que el coste del viaje por mar que se suele realizar hasta el puerto de Douala. Teniendo en cuenta que el flete marítimo desde Europa es habitualmente de alrededor de 1.500€, la tarifa portuaria representa un tercio del coste total del corredor marítimo, proporción desmesurada. Se ha consultado la cotización de un flete marítimo del puerto de Algeciras al puerto de Douala en temporada baja

(Junio – Julio – Agosto) a través de la plataforma *iContainers* y se calcula que puede tener un precio de aproximadamente 1200€.

○ **Ruta Douala – N'Djamena**

En cuanto al coste de transporte por vía terrestre en el corredor Douala – N'Djamena, se estima que la unidad de transporte por tonelada es la siguiente:

- Por ferrocarril, 30 CFA /tonelada por km
- Por carretera, 60 CFA/ tonelada por km

Se estima que el peso de la carga total transportada en el contenedor sea en torno a las 4 toneladas, sin embargo, el presupuesto se calcula en función de la capacidad del contenedor, por lo que al haber escogido un contenedor de 20 pies, se tendrá una capacidad total de aproximadamente 28 toneladas. Sabiendo que la distancia que se cubre en tren desde Douala a Ngaoundere es de 900 km, que se recorre una distancia por carretera desde Ngaoundere a N'Djamena de 800 km y teniendo en cuenta los precios citados anteriormente, se estima que el coste por vía terrestre hasta llegar a la capital del Chad ascenderá a:

Tabla 61. Presupuesto transporte Douala - N'Djamena

	Contenedor 20 pies (28 T)	
	miles de CFA	€
Coste del transporte por carretera	1344	2016
Costes cargados por el transitario	1360	2040
Coste transporte CAMRAIL	756	1134
Trámites aduaneros	60	90
Otros costes	200	300
Total (€)	3720	5580

Como se puede observar en la Tabla 61, se ha añadido un concepto denominado “Otros costos” el cual hace referencia a los costos asumidos por el agente transitorio contratado, además de sufragar los beneficios del mismo. Estos costes adicionales provienen generalmente de pagos informales, sobre todo en la barrera aduanera, que según los agentes transitorios puede llegar a ascender a los 200.000 CFA por contenedor.

○ **N'Djamena – Toukra**

Una vez pasada la frontera, el camión realizará la última etapa del viaje que tendrá como destino el colegio Saint François Xavier, el cual se encuentra ubicado en la región de Toukra, a 20 km al sur de la capital. Por suerte, la carretera puede ser transita por camiones. En vista de que la unidad de transporte por tonelada sea de 60 CFA el kilómetro e incluyendo una previsión para responder a posibles costes adicionales, se estima que dicho trayecto puede costar alrededor de 50€.

Finalmente se calcula que el coste total del transporte desde el puerto de Douala hasta el punto convenido en destino, el colegio Saint François Xavier, ascenderá a 5630€, tal y como se muestra en el desglose de costes de la Tabla 62.

Tabla 62. Presupuesto transporte Douala - Toukra

	miles de CFA	€
Douala - N'Djamena	3720	5580
N'Djamena - Toukra	33,6	50,4
Total (€)	3753,6	5630,4

Se estimó interesante comparar dicha cifra basada en la documentación encontrada a través del Banco Mundial, con una cotización real proporcionada por alguna empresa *freight forwarder* que operase entre Camerún y Chad. Después de contactar con varias empresa de este ámbito, se recibió respuesta por parte de *Trans Africa Logistics* que ofrece una cotización del contenedor desde Douala hasta Toukra bajo un incoterm DDP (Delivery Duty Paid) y cuyo valor sería 5.800 USD. Este costo estará sujeto a pequeñas variaciones y tendrá un valor definitivo cuando se presente la documentación de los códigos HS de la mercancía en cuestión.

7.2. Duración de la cadena logística

En cuanto a los retardos de tránsito, se estima que podrían ser los que se plantean a continuación:

- De acuerdo con las cifras proporcionadas por la Agencia de Comercia Exterior de Douala, las mercancías permanecen generalmente alrededor de 19 días en el puerto hasta que éstas tienen autorización para salir de él. En proporción mayoritaria, representa el retraso más largo de la duración total de tránsito.
- Douala – Ngaoundere: La ruta en tren tiene una duración de 2 a 4 días y suele respetarse, a no ser que haya demoras causadas por accidentes ferroviarios debido al deterioro de las infraestructuras en algunos tramos de la vía.
- Ngaoundere – N'Djamena (pasando previamente por Ngueli): La ruta por carretera hasta llegar N'Djamena se estima que dure entre 2 a 10 días. En operaciones normales, el recorrido suele tener una duración de 3 días. Pero, en la realidad, la mayoría de los camiones suelen perder mucho tiempo en el camino, llegando algunos en tardar 3 semanas para completar el viaje. Por norma general, el tiempo medio de ruta oscila entre 7 y 10 días. Antes de llegar a N'Djamena, la mercancía debe de pasar por el despacho de aduanas en la ciudad de Ngueli, en la que los trámites suelen demorarse hasta 1 semana.
- Por el camino, se pueden encontrar otras barreras aduaneras extraoficiales, pero que en la mayoría de los casos, el agente transitorio o el transportista sabe cómo operar para poder cruzar las barreras, por lo que no supondrán un efecto demasiado significativo en el retardo de tránsito.

8. Reuniones

A continuación, se enumeran algunos aspectos interesantes que se han recogido de las reuniones mantenidas con personas con experiencia previa en proyectos llevados a cabo en el Chad o países vecinos.

- **Álvaro Guzmán Zotes:** antiguo alumno de ICAI. En la actualidad, vive en Kenia y trabaja para una empresa alemana que se dedica a la instalación de sistemas fotovoltaicos en África, y en particular, Kenia. Los datos más sustanciales fruto de las dos conversaciones mantenidas con él son:
 - Cabe la posibilidad de comprar los componentes de la instalación a un proveedor Chino. En este caso, la mercancía partiría desde alguna ciudad portuaria de China directamente hacia Douala, Camerún. Se trata de una alternativa interesante que contemplar ya que el tráfico de mercancías entre China y Camerún es notablemente alto, lo que implica alta frecuencia de tránsito entre ambos países y fletes marítimos posiblemente más baratos.
 - Sería conveniente evitar enviar la mercancía en temporada alta de transporte marítimo o *peak season*, como se la conoce en inglés. Ésta generalmente va desde principios de septiembre hasta la celebración de la Navidad. Se considera que los meses más adecuados para enviar la mercancía en términos de bajo coste y bajo riesgo son Junio, Julio y Agosto.
 - Se puede valorar la opción de contactar con un proveedor que suministre kits que incluyan todos los dispositivos necesarios para implantar un sistema fotovoltaico. De esta forma, se eliminan los costes derivados del acopio de los componentes en un mismo almacén.
 - Es preferible contratar los servicios de un contenedor FCL (Full Container Load) y plantearse su compra ya que generalmente la diferencia entre el precio de un contenedor FCL y un contenedor LCL (Less than Container Load) es mínima. Se puede incluso comprar el contenedor ya que se ha comprobado que existe una alta demanda de contenedores por la zona, por lo que se pronostica una venta fácil del mismo.
- **José Ricardo Rico:** director de la Asociación Madrileña de Ayuda a la Infancia (AMAIF) y miembro de Médicos Sin Fronteras. AMAIF colabora en proyectos de ayuda al desarrollo en los sectores más desfavorecidos de África, concretamente, en Burkina Faso. Algunos datos relevantes aprendidos de la reunión son los siguientes:
 - Todo el territorio del Chad presenta facilidades de acceso al agua subterránea ya que ésta se encuentra a un nivel poco profundo. Sin embargo, sigue siendo recomendable realizar un estudio del terreno antes de llevar a cabo el proyecto, para determinar con exactitud el nivel freático del agua por la zona.
 - Es conveniente realizar un estudio fisicoquímico del agua extraída para determinar la calidad de la misma y estudiar la necesidad de instalar un filtro.

- Basado en su experiencia personal, el coste de trasladar un contenedor desde España hasta Burkina Faso ascendió a los 10.000€ hace 10 años y el trayecto tuvo una duración de tres meses.
 - Aconseja fuertemente contactar directamente con proveedores chadianos o en su defecto, con proveedores de países vecinos. Se determina un precio cerrado para la compra de los dispositivos y su traslado hasta el colegio a fin de no estar supeditado a variaciones imprevisibles en el precio de la logística.
- **Xavier Vallvé:** director de la empresa TecnoAmbiental la cual ha realizado proyectos de microrredes en varios poblados chadianos. Las principales conclusiones obtenidas a raíz de la charla mantenida con él son:
 - Subraya la importancia de realizar un estudio del terreno de la zona.
 - Dada la inestabilidad política a la que está sujeta el Chad, se vieron con la necesidad de contratar un convoy de mercenarios para escoltar la mercancía transportada en el camión.
 - Una vez terminada la ejecución del proyecto, es importante realizar un plan de mantenimiento de la instalación. Es aconsejable nombrar a varias personas responsables de la instalación y dividir tareas para su mantenimiento posterior. Es de suma importancia hacer partícipe a los beneficiarios de la instalación para que sean conscientes de la importancia del buen mantenimiento de la misma.
 - Al igual que indicó Álvaro, Xavier coincide en que se debe de valorar la idea de comprar el contenedor, ya que debido a la alta demanda existente en el país de este producto, se vende rápido y fácil.
 - La mano de obra cualificada es muy escasa. Basado en su experiencia personal, lo que él pensaba que sería mano de obra cualificada para realizar uno de los proyectos en el Chad, fueron finalmente varios civiles contratados por el conductor del convoy cuando se encontraban en ruta.
 - En el caso de comprar los componentes en el Chad o algún país vecino, se debe de asegurar que cumplen con las homologaciones requeridas ya que abundan imitaciones falsas de marcas reconocidas como Victron.
 - Es imprescindible disponer de alguna persona de confianza en terreno local para que supervise la ejecución del proyecto. En caso contrario, se desaconseja totalmente la puesta en marcha del proyecto debido a las malas prácticas de los operarios en cualquiera de sus etapas, desde los intercambios de transporte hasta la implantación per se del proyecto.

CAPÍTULO VII. Evaluación

1. Conclusiones y futuros desarrollos

Este estudio nos ha permitido analizar y dimensionar los elementos que constituyen un sistema de bombeo solar. Los principales aspectos de diseño llevados a cabo en el marco de este proyecto han consistido, en primer lugar, en evaluar las necesidades de agua del sitio, para luego escoger la bomba solar y el generador fotovoltaico que cumpliesen con los criterios requeridos. Por último, se ha formulado una posible red de suministro y distribución de agua para todo el complejo del colegio Saint François Xavier. Con esto, desde una perspectiva técnica se ha demostrado que el abastecimiento de agua de un colegio con aproximadamente 1.500 alumnos es posible mediante un sistema fotovoltaico.

Este estudio también propone la instalación de un depósito de acumulación que tenga la capacidad suficiente para abastecer todos los puntos de consumo del colegio ante la posible ausencia de radiación solar o paradas de la bomba. Otra de las funciones principales del depósito es aumentar la cota del nivel de agua a fin de proporcionar suficiente presión para que el caudal llegue a todos los puntos de consumo.

Cabe señalar que el diseño de toda la instalación se ha llevado a cabo con un número muy limitado de material de apoyo por lo que el proyecto podría presentar cambios en el momento de su ejecución.

Por medio de este proyecto, queda de manifiesto el interés social que pueden presentar propuestas de esta naturaleza para el Chad o países que compartan la misma desestructuración política, económica y social. La instalación de módulos fotovoltaicos no sólo posibilita el dimensionado de un sistema de iluminación, sino que también ha quedado evidenciado la utilidad que tienen los paneles para aumentar la tasa de acceso a una fuente de agua, especialmente en las zonas rurales, en las que las infraestructuras para este tipo de servicio son inexistentes.

Una vez terminada la etapa del diseño, se inicia la búsqueda de recursos económicos para poder llevar a cabo la ejecución real del proyecto. Para ello, se han estudiado las principales líneas de financiación que las organizaciones sin ánimo de lucro suelen emplear para financiar proyectos. Por medio de este estudio, se llega a la conclusión de que las vías más adecuadas para sufragar los costes de este proyecto son una campaña de crowdfunding y la organización de eventos benéficos. Ahora bien, como consecuencia del extenso alcance que persigue este proyecto, se prevé que la recaudación a través de estas dos líneas de financiación no sea suficiente. Es por ello que se recurre a la ayuda externa de una ONG de mayor tamaño y que pudiese estar interesada en financiar parte, o incluso todo el proyecto. Aquí es donde entra en juego un posible acuerdo con Manos Unidas que impulsado por la afinidad que comparte con la Fundación Ingenieros ICAI y la naturaleza del proyecto, presenta un gran potencial para convertirse en el principal financiador del mismo.

Por último, quedarían las etapas relacionadas con la materialización del proyecto, siendo estas la ejecución y su posterior evaluación. En este marco, existen infinitas soluciones y posibilidades fruto de la multitud de imprevistos que pueden surgir durante estas fases como bien se ha visto en las conversaciones mantenidas con personas experimentadas en la ejecución de proyectos de cooperación al desarrollo. Aunque la implantación per se del proyecto en terreno local queda fuera del alcance de esta memoria, se ha trabajado la parte más teórica de esta fase que es la determinación del proceso logístico que llevará los componentes hasta el punto final de destino, el colegio. En este sentido, se ha podido ver que no todo es blanco o negro, dejando lugar a muchos matices de gris que dependen de un sinfín de factores. Lo que sí queda claro es que la logística tendrá un efecto importante en el presupuesto global del proyecto por lo que conviene escoger la ruta más adecuada a fin de ahorrar costes y disminuir riesgos y obstáculos.

El propósito final de este proyecto era poder llegar a implantarlo en el terreno local, pero, lamentablemente, se ha visto truncado como consecuencia de la crisis actual del COVID-19. En este sentido, el proyecto ha quedado paralizado por tiempo indefinido hasta que la situación vuelva a normalizarse y se reanude la búsqueda de financiación para conseguir los recursos requeridos.

Por último, se presentan algunas líneas adicionales futuras de este proyecto. Entre ellas destaca la incorporación de algún método de potabilización del agua extraída del pozo. Para escoger la técnica más adecuada, se deberá realizar previamente un análisis de la calidad del agua para analizar si ésta se encuentra alterada mediante contaminación en sus parámetros físicos, químicos y biológicos.

Otra posible continuación del proyecto sería proceder a la realización de un plan de mantenimiento de la instalación posterior a la ejecución de la misma. Este plan consistiría en la división de tareas entre la dirección y los alumnos del colegio, beneficiarios directos, con el fin de educarlos en la importancia del buen uso y mantenimiento para alargar los años de disfrute del sistema.

Finalmente, también se plantea la ampliación del alcance de este proyecto con la instalación de varios puntos de riego para posibilitar la plantación de arboledas y dar sombra a distintas partes del colegio ya que el centro carece de ellas.

Queda demostrado el beneficio del empleo de una tecnología renovable como es la fotovoltaica, aportando una solución fácil y viable a personas que viven en países en vías de desarrollo y posibilitándoles la oportunidad de cubrir necesidades básicas y cotidianas como es el suministro de agua. Con este trabajo se persigue conseguir un cambio, que un conjunto de pequeños cambios como el que se plantea en esta memoria permita ayudar a aquellos que viven en un contexto de debilidad permanente.

Bibliografía

- [1] Naciones Unidas , «17 Objetivos para las personas y para el planeta,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>. [Último acceso: 2019].
- [2] Organización Mundial de la Salud , «Reconocimiento del acceso al agua segura y limpia y a servicios de saneamiento como un derecho humano,» 2019. [En línea]. Available: https://www.who.int/water_sanitation_health/recognition_safe_clean_water/es/. [Último acceso: 2019].
- [3] iAgua , «África subsahariana y Oceanía concentran a los países con menor acceso al agua,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.iagua.es/blogs/facts-and-figures/africa-%20subsahariana-y-oceania-concentran-paises-menor-acceso-al-agua>. [Último acceso: 2019].
- [4] ACNUR , «Acceso al agua potable: un reto para millones de personas,» 2018. [En línea]. Available: https://eacnur.org/blog/acceso-al-agua-potable-reto-tc_alt45664n_o_pstn_o_pst/. [Último acceso: 2019].
- [5] ACNUR , «Escasez de agua en el África Subsahariana,» 2019. [En línea]. Available: <https://eacnur.org/blog/escasez-de-agua-en-africa-subsahariana-tc-alt45664n-o-pstn-o-pst/>. [Último acceso: 2019].
- [6] UNICEF , «Chad: hablar de agua es hablar de vida,» [En línea]. Available: <https://www.unicef.es/noticia/chad-hablar-de-agua-es-hablar-de-vida>. . [Último acceso: 2019].
- [7] Fundación Ingenieros ICAI , «Fundación Ingenieros ICAI,» [En línea]. Available: <https://fundacioningenierosicai.org/>.
- [8] Fundación Ramón Grosso , «Fundación Ramón Grosso,» [En línea]. Available: <http://fundacionramongrosso.com/>.
- [9] El Mundo , «África descansa sobre enormes bolsas de agua subterráneas,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.elmundo.es/elmundo/2012/04/20/natura/1334919992.html>.. [Último acceso: 2019].
- [10] AMAIF , «Asociación Madrileña de Ayuda a la Infancia,» [En línea]. Available: <https://www.amaif.org/es/>.
- [11] ONU , «Falta del agua, saneamiento e higiene en las escuelas perjudica la educación de los niños,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.onunoticias.mx/falta-del->

- agua-saneamiento-e-higiene-en-las-escuelas-perjudica-la-educacion-de-los-ninos/. [Último acceso: 2019].
- [12] Entreculturas , «La educación, clave para integración de las personas refugiadas en Chad,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.entreculturas.org/noticias/la-educacion-clave-para-la-integracion-de-las-personas-refugiadas-en-chad>. [Último acceso: 2019].
- [13] C. León, «Diseño de proyectos sociales,» de *Evaluación de inversiones: Un enfoque privado y social* , 2007 .
- [14] G. F. y. d. Loma-Osorio, «Enfoque del Marco Lógico,» de *Identificación y formulación de proyectos de cooperación para el desarrollo* , Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia .
- [15] Oficina de información diplomática , «Ficha País: República del Chad,» 2019.
- [16] Secretaría de Estado de Comercio , «Informe económico y comercial: Chad,» 2018.
- [17] Institut National de la Statistique, des Etudes Economiques et Démographiques, TCHAD, «Statistiques Sociales,» [En línea]. Available: <https://www.inseed.td/>. [Último acceso: 2019].
- [18] Livre Blanc Régional , «Rapport National du Tchad,» 2013.
- [19] Naciones Unidas , «La implementación de mejoras para el Agua, Saneamiento e Higiene (WASH),» 2019. [En línea]. Available: http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/waterandsustainabledevelopment2015/pdf/02_wash_esp_webs.pdf. [Último acceso: 2019].
- [20] Ministerio de Fomento , «Documento Básico HS Salubridad,» 2019.
- [21] EU SCIENCE HUB, «Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS),» 2020. [En línea]. Available: <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>. [Último acceso: 2020].
- [22] Grundfos, «Grundfos,» [En línea]. Available: <https://es.grundfos.com/>.
- [23] Victron Energy , «Victron Energy,» [En línea]. Available: <https://www.victronenergy.com.es/>.
- [24] Unicaja , «Camerún es la economía que más crece de África Central,» 2016. [En línea]. Available: https://azure.afi.es/ContentWeb/EmpresasUnicaja/camerun/es/economia/crece/africa/central/contenido_sidN_1052240_sid2N_1052380_cidIL_1601446_ctylL_129_spN_0_scidN_1601446_utN_3.aspx. [Último acceso: 2019].
- [25] Poliesther AguaDep Casariche, «Poliesther AguaDep Casariche,» [En línea]. Available: <http://www.poliesther-aguadep.es/>.

- [26] O. P. d. I. Salud, «Guía de diseño de letrina con arrastre hidráulico y letrina de pozo anegado,» 2005.
- [27] Ministerio de Industria, Comercio y Turismo , «Herramienta DAFO,» [En línea]. Available: <https://dafo.ipyme.org/Home>.
- [28] Fundación Lealtad , «Situación actual de las ONG en España,» 2015. [En línea]. Available: https://www.fundacionlealtad.org/wp-content/uploads/2016/05/Situacion-actual-ONG_web.pdf. [Último acceso: 2019].
- [29] Fundación Ingenieros ICAI para el Desarrollo, «Project Zimbabwe,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.premiosvoluntariado.com/proyecto/project-zimbabwe/>. [Último acceso: 2020].
- [30] Child Future Africa , «Child Future Africa,» [En línea]. Available: <http://childfutureafrica.org/>. [Último acceso: 2020].
- [31] StockCrowd , «ProjectZimbabwe ¡Agua para todos!,» [En línea]. Available: <https://www.stockcrowd.com/boxweb/detalle/tk1197814/en>.
- [32] Fundación Ingenieros ICAI , «¿Quieres ayudar a los niños de Madagascar a conocer los desafíos del siglo XXI?,» [En línea]. Available: <https://fundacioningenierosicai.org/2020/03/07/quieres-ayudar-a-los-ninos-de-madagascar-a-conocer-los-desafios-del-siglo-xxi/>.
- [33] Les enfants du Soleil, Madagascar, «Les enfants du Soleil,» [En línea]. Available: <https://eds-madagascar.org/>.
- [34] migranodearena FUNDACIÓN, «Ayuda a los niños de Madagascar a conocer los desafíos del siglo XXI,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.migranodearena.org/reto/21355/ayuda-a-los-ninos-de-madagascar-a-conocer-los-desafios-del-siglo-xxi>. [Último acceso: 2020].
- [35] Manos Unidas, «Manos Unidas,» [En línea]. Available: <https://www.manosunidas.org/>. [Último acceso: 2020].
- [36] Manos Unidas en el mundo, Chad , «Manos Unidas trabaja en Chad desde 1973,» [En línea]. Available: <https://www.manosunidas.org/pais/chad>.
- [37] Manos Unidas, ««Este año, en agosto, mis hijos han podido comer»,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.manosunidas.org/noticia/chad-cosechas>. [Último acceso: 2020].
- [38] Manos Unidas , «Apoyo a la educación primaria y secundaria de zonas rurales,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.manosunidas.org/proyecto/apoyo-educacion-primaria-secundaria-zonas-rurales>. [Último acceso: 2020].
- [39] Manos Unidas, «Memoria de actividades,» 2018.
- [40] World Bank , «Chad: Trade and Transport Facilitation Audit,» 2004.

- [41] iContainers, «Tipos de contenedores y sus dimensiones,» [En línea]. Available: <https://www.icontainers.com/es/tipos-de-contenedores-y-sus-dimensiones/>. [Último acceso: 2020].
- [42] Transporteca, «¿FCL o LCL?,» [En línea]. Available: <https://transporteca.es/fcl-o-lcl/>. [Último acceso: 2020].
- [43] DSV: Global Transport and Logistics , «Tipos de Incoterms 2020,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.es.dsv.com/About-DSV/informacion-transporte-logistica/tipos-de-incoterms-2020>. [Último acceso: 2020].
- [44] iContainers , «Código arancelario: código HS, HTS y TARIC,» [En línea]. Available: <https://www.icontainers.com/es/ayuda/codigo-arancelario-hs-code/>. [Último acceso: 2020].
- [45] World Customs Organization , «HS Nomenclature 2017 edition,» [En línea]. Available: <http://www.wcoomd.org/en/topics/nomenclature/instrument-and-tools/hs-nomenclature-2017-edition/hs-nomenclature-2017-edition.aspx>. [Último acceso: 2020].
- [46] Ministerio de Asuntos Exteriores, Unión Europea y Cooperación , «Política Exterior y Cooperación, África,» [En línea]. Available: <http://www.exteriores.gob.es/Portal/es/PoliticaExteriorCooperacion/Africa/Paginas/IntegracionRegional.aspx>. [Último acceso: 2020].
- [47] UNESCO , «No dejar a nadie atrás: Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos,» 2019.
- [48] UNESCO , «Los derechos humanos al agua potable y al saneamiento en la Agenda 2030,» 2016.
- [49] WFP: World Food Programme , «Proyecto de plan estratégico para el Chad (2019 - 2022),» 2018.

PARTE II. PRESUPUESTO

En esta parte se incluyen dos presupuestos. Uno de ellos es el correspondiente al sistema de bombeo solar, excluyendo la instalación eléctrica del colegio. En este caso, se ha tenido que dimensionar de nuevo unos componentes acordes a las nuevas características del sistema. Los cálculos y resultados del mismo vienen adjuntos en la parte de Anexos. Por otro lado, se tiene el presupuesto asociado al proyecto real que se quiere materializar el cual comprende tanto la instalación de bombeo solar como la instalación eléctrica del colegio.

1. Presupuesto sistema de bombeo solar

A continuación, se muestran las sumas parciales de todos los elementos que componen el sistema de bombeo solar, excluyendo toda carga asociada a la instalación eléctrica del colegio.

1.1. Presupuesto de sumas parciales

1.1.1. Componentes principales

Tabla 63. Sumas parciales componentes principales sistema de bombeo solar

Componentes principales					
Marca	Concepto	Modelo	Precio unitario (€/ud)	Cantidad (uds.)	Total (€)
Grundfos	Motobomba	SQ 5-25	697	1	697
Grundfos	Unidad de control motobomba	CU 300	265	1	265
Grundfos	Sensor	Interrupor de nivel	53,96	1	53,96
Canadian Solar	Módulo fotovoltaico	Policristalina Hiku 405 W	199,88	4	799,52
Victron	Regulador	MPPT 150 V 35 A	335,41	1	335,41
Victron	Inversor	Phoenix 48V 1200 VA	453,25	1	453,25
AguaDep Casarich	Depósito de agua	Depósito vertical patas metálicas 30 m ³	3100	1	3100
Total					5.704,14 €

1.1.2. Cableado y tubos

Tabla 64. Sumas parciales cableado y tubos sistema de bombeo solar

Cableado y tubos					
Marca	Concepto	Modelo	Precio unitario (€/m)	Longitud (metros)	Total (€)
General cable	RZ1-K 0,6/1kV	1x6 mm ²	0,94	43,40	40,80
RCT	H07V-K Amarillo Verde	1x6 mm ²	3,55	21,70	77,04
RCT	Cable de cobre con recubrimiento	35 mm ²	11,40	75,55	861,29
General cable	RZ1-K 0,6/1kV	2x6 mm ²	1,72	2,88	4,95
General cable	RZ1-K 0,6/1kV	2x4 1x4 TT mm ²	1,56	1,44	2,25
General cable	RZ1-K 0,6/1kV	2x6 + 1x6 TT mm ²	2,57	109,50	281,41
Lexman	Tubo corrugado	16 mm	0,26	12,96	3,34
Lexman	Tubo corrugado	25 mm	0,40	1,2	0,48
Tupersa	Tubo corrugado	50 mm	0,41	100,86	41,35

Total 1.271,56 €

1.1.3. Protecciones

Tabla 65. Sumas parciales protecciones sistema de bombeo solar

Protecciones					
Marca	Concepto	Modelo	Precio unitario (€/ud)	Cantidad (uds.)	Total (€)
DF Electric	Fusible	16A 10x38 mm gPV	4,20	4	16,80
Legrand	Magnetotérmico	2P Curva B 40A 25 kA	22,00	1	22,00
Legrand	Magnetotérmico	1P+N Curva B 16A 10 kA	18,13	1	18,13
Legrand	Magnetotérmico	1P+N Curva B 6A 10 kA	21,13	1	21,13
Britec Electric	Descargador de sobretensión	1500V 40kA	69,95	1	69,95
MAXGE Electric	Diferencial	2P 40A 30mA	12,95	1	12,95
Legrand	Repartidor Modular	125 A y 8 módulos	14,70	1	14,70
Armengol	Pica de tierra para puesta a tierra 2m	Cobre 2m Ø14 mm	14,34	6	86,04
Tekox	Regleta de conexión a tierra	12 polos 35 mm ²	6,25	2	12,50
Siemens	Portafusibles	10x38 690V DC	2,15	4	8,60
	Carril	DIN 387 mm	4,11	4	16,44
	Caja Estanca repartidor modular	230x180x85 mm	6,95	1	6,95
	Caja Estanca fusibles	113x113x60 mm	2,35	1	2,35
	Caja de Empotrar 16 Módulos	358 x 227 x 98mm	18,62	2	37,24

Total 345,78 €

1.1.4. Tuberías

Tabla 66. Sumas parciales tuberías sistema de bombeo solar

Tuberías					
Marca	Concepto	Modelo	Precio unitario (€/m)	Longitud (metros)	Total (€)
Leroy Merlin	Tubería polietileno PE	20 mm PN10	0,60	305,65	183,27
Leroy Merlin	Tubería polietileno PE	25 mm PN10	0,88	110,21	96,94
Leroy Merlin	Tubería polietileno PE	32 mm PN10	1,48	391,97	579,96
IberoGarden	Tubería polietileno PE	40 mm PN4	0,57	26,18	14,90
IberoGarden	Tubería polietileno PE	50 mm PN6	1,46	40,57	59,23
IberoGarden	Tubería polietileno PE	63 mm PN10	1,47	12,72	18,71
IberoGarden	Tubería polietileno PE	75 mm PN10	2,34	38,94	91,08
Hidroten	Tubería desagüe PVC	40 mm PN16	1,60	2,40	3,84
Hidroten	Tubería desagüe PVC	63 mm PN16	3,45	1,80	6,21
Hidroten	Tubería desagüe PVC	110 mm PN16	2,42	24,00	58,08
Total					1.112,22 €

1.1.5. Fittings tuberías

Tabla 67. Sumas parciales fittings tuberías sistema de bombeo solar

Fittings tuberías					
Marca	Concepto	Modelo	Precio unitario (€/ud)	Cantidad (uds.)	Total (€)
Cepex	Collarín de derivación	PE 63 mm - 1"	1,50	1	1,50
Cepex	Collarín de derivación	PE 50 mm - ¾"	1,07	1	1,07
Cepex	Collarín de derivación	PE 32 mm - ½"	0,85	1	0,85
Jardin202	Enlace mixto rosca macho	PE 32 mm - 1"	0,92	1	0,92
Jardin202	Codo rosca hembra	PE 32 mm - ¾"	4,80	1	4,80
Jardin202	Enlace mixto rosca macho	PE 25 mm - ¾"	0,65	2	1,30
Jardin202	T bocas iguales	PE 25 x 25 x 25 mm	1,57	1	1,57
Jardin202	Codo rosca hembra	PE 25 mm - ½"	1,60	3	4,80
Jardin202	Enlace mixto rosca macho	PE 20 mm - ½"	0,52	6	3,12
Natuur	T reducida de compresión	PE 25 x 20 x 25 mm	3,82	2	7,64
Jardin202	Enlace reducido	PE 63 x 50 mm	4,86	2	9,72
Jimten	Enlace mixto rosca macho	PE 32 mm - ¾"	2,94	1	2,94
Riego24	T reducida de compresión	PE 32 x 20 x 32 mm	3,75	3	11,25
Jardin202	Codo de compresión	PE 20 x 20 mm	1,00	12	12,00
Cepex	Codo rosca hembra	PE 32 mm - ½"	0,96	2	1,92
Jardin202	Enlace recto reducido	PE 50 x 40 mm	3,18	1	3,18
Jardin202	Enlace recto reducido	PE 40 x 32 mm	2,08	1	2,08
Jardin202	T bocas iguales	PE 20 x 20 x 20 mm	1,49	7	10,43
Cepex	Enlace recto reducido	PE 50 x 32 mm	4,72	1	4,72
Cepex	Enlace recto reducido	PE 32 x 20 mm	2,15	1	2,15
EGB Group	Codo rosca hembra	PE 20 mm - ½"	2,89	18	52,02
Jimten	Racor fijo macho	PE 20 mm - ½"	1,94	32	62,08
Hidroten	Reducción cónica	PVC 110 x 63 mm	5,08	1	5,08
Riuvert	Codo 87 H-H	PVC 110 mm	2,69	1	2,69
Riuvert	Te 87 H-H	PVC 110 mm	4,10	1	4,10
Riuvert	Codo 87 H-H	PVC 40 mm	0,80	2	1,60
Total					215,53 €

1.1.6. Otros elementos

Tabla 68. Sumas parciales otros elementos sistema de bombeo solar

Otros elementos					
Marca	Concepto	Modelo	Precio unitario (€/ud)	Cantidad (uds.)	Total (€)
Leroy Merlin	Bidé	Blanco Nerea	29,49	1	29,49
Roca	Placa turca	45x60x21cm DN100	39,64	2	79,28
Franke	Sifón placa turca	Salida horizontal DN100	34,22	2	68,44
Jimten	Sifón bidé	Curvo extensible DN63	7,44	1	7,44
Leroy Merlin	Fregadero	Quick 39x26 mm	27,99	1	27,99
Jimten	Sifón fregadero	Curvo extensible DN40	6,65	1	6,65
Griffon	Adhesivo PVC 500 mL		11,95	1	11,95
CIS	Grifo frontal temporizado	Rosca macho ½"	19,10	16	305,60
Källa	Grifo de lavabo temporizado	Rosca macho ½"	18,26	2	36,52
Orfesa	Latiguillo	Hembra - Hembra ½" - ⅜"	1,53	2	3,06
ARCO	Llave de escuadra	Macho - Macho ⅜" - ½"	3,19	2	6,38
Jardin202	Válvula esfera	Hembra - Hembra ½"	2,61	16	41,76
Saint Gobain	Valvula de Compuerta con Volante	63 mm salida bridada DN50	72,76	2	145,52
Saint Gobain	Brida enchufe	63 mm salida bridada DN50	47,41	4	189,64
Masa	Codo 45º	Extremos autoblocantes DN75	124,55	1	124,55
Belgicast	Collarín de derivación	63mm Salida bridada (DN50)	48,73	1	48,73
Masa	Codo 45º	Embridado DN50	48,00	1	48,00
Saint Gobain	Brida enchufe	75mm Salida bridada (DN50)	48,46	1	48,46
Total					1.229,46 €

1.1.7. Mano de obra

Tabla 69. Sumas parciales mano de obra sistema de bombeo solar

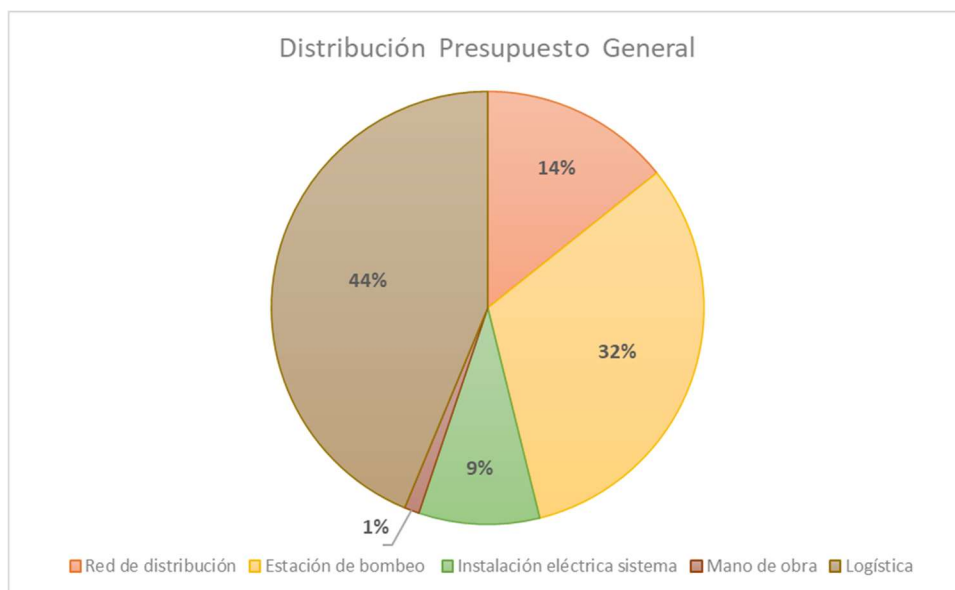
Mano de obra				
Concepto	Modelo	Precio unitario (€/día)	Cantidad (días)	Total (€)
Instalación de la bomba	Ayuda técnica + Voluntarios	5	2	10
Instalación del depósito	Ayuda técnica + Voluntarios	5	4	20
Instalación eléctrica del sistema	Ayuda técnica + Voluntarios	5	6	30
Instalación red de de tuberías	Ayuda técnica + Voluntarios	5	21	105
Instalación de grifería	Ayuda técnica + Voluntarios	5	7	35
Total				200,00 €

1.2. Presupuesto general sistema de bombeo solar

Tabla 70. Presupuesto general sistema de bombeo solar

Presupuesto General	
Concepto	Coste (€)
Componentes principales	5.704,14 €
Cableado	1.271,56 €
Protecciones	345,78 €
Tuberías	1.112,22 €
Fittings	215,53 €
Otros	1.229,46 €
Mano de obra	200,00 €
Logística	7.830,40 €
Total	17.909,09 €

Ilustración 88. Distribución Presupuesto General sistema de bombeo solar



2. Presupuesto instalación completa

A continuación, se muestran las sumas parciales de los dispositivos que componen tanto el sistema de bombeo solar como la instalación eléctrica del colegio.

2.1. Presupuesto de sumas parciales

2.1.1. Componentes principales

Tabla 71. Sumas parciales componentes principales instalación completa

Componentes principales					
Marca	Concepto	Modelo	Precio unitario (€/ud)	Cantidad (uds.)	Total (€)
Grundfos	Motobomba	SQ 5-25	697,00	1	697
Grundfos	Unidad de control motobomba	CU 300	265,00	1	265
Grundfos	Sensor	Interruptor de nivel	53,96	1	53,96
Canadian Solar	Módulo fotovoltaico	Policristalina Hiku 405 W	199,88	20	3997,6
Victron	Regulador	MPPT 150 V 35 A	719,99	2	1439,98
Victron	Inversor	Phoenix 48V 1200 VA	3835,39	1	3835,39
Ultracell	Baterías	UZS600	3226,82	2	6453,64
AguaDep Casarich	Depósito de agua	Depósito vertical patas metálicas 30 m ³	3100,00	1	3100

Total 19.842,57 €

2.1.2. Cableado y tubos

Tabla 72. Sumas parciales cableado y tubos instalación completa

Cableado y tubos instalación fotovoltaica					
Marca	Concepto	Modelo	Precio unitario (€/m)	Longitud (metros)	Total (€)
General cable	RZ1-K 0,6/1kV	1x6 mm ²	0,94	217,01	203,99
RCT	H07V-K Amarillo Verde	1x6 mm ²	3,55	21,70	77,04
RCT	Cable de cobre con recubrimiento	35 mm ²	11,40	75,55	861,29
General Cable	RZ1-K 0,6/1kV	2x25 + 1x25 TT mm ²	21,56	17,28	372,56
General Cable	RZ1-K 0,6/1kV	2x16 mm ²	8,64	2,88	24,88
General Cable	RZ1-K 0,6/1kV	2x35 mm ²	9,72	2,88	27,99
General Cable	RZ1-K 0,6/1kV	2x70 mm ²	19,16	2,88	55,18
General cable	RZ1-K 0,6/1kV	2x6 + 1x6 TT mm ²	2,57	102,30	262,90
Lexman	Tubo corrugado	20 mm	0,25	5,76	1,44
Lexman	Tubo corrugado	25 mm	0,40	6,24	2,49
Lexman	Tubo corrugado	32 mm	0,32	8,64	2,76
Tupersa	Tubo corrugado	50 mm	0,41	100,86	41,35

Total 1.892,53 €

2.1.3. Protecciones

Tabla 73. Sumas parciales protecciones instalación completa

Protecciones instalación fotovoltaica					
Marca	Concepto	Modelo	Precio unitario (€/ud)	Cantidad (uds.)	Total (€)
DF Electric	Fusible	16A 10x38 mm gPV	4,20	20	84,00
DF Electric	Fusible	200A NH gPV	159,82	2	319,64
Legrand	Magnetotérmico	2P Curva B 63A 25 kA	42,89	2	85,78
Legrand	Magnetotérmico	1P+N Curva B 40A 10 kA	26,15	1	26,15
Legrand	Magnetotérmico	1P+N Curva B 6A 10 kA	21,13	1	21,13
Britec Electric	Descargador de sobretensión	1500V 40kA	69,95	2	139,90
MAXGE Electric	Diferencial	2P 40A 30mA	12,95	1	12,95
Legrand	Repartidor Modular	125 A y 8 módulos	14,70	2	29,40
Armengol	Pica de tierra para puesta a tierra 2m	Cobre 2m Ø14 mm	14,34	6	86,04
Tekox	Regleta de conexión a tierra	12 polos 35 mm ²	6,25	2	12,50
Siemens	Portafusibles	10x38 690V DC	2,15	20	43,00
Legrand	Base portafusible	NH gPV	23,16	2	46,32
	Carril	DIN 387 mm	4,11	6	24,66
	Caja Estanca repartidor modular	230x180x85 mm	6,95	2	13,9
	Caja Estanca fusibles	113x113x60 mm	2,35	2	4,70
	Caja de Empotrar 16 Módulos	358 x 227 x 98mm	18,62	2	37,24
Total					987,31 €

2.1.4. Tuberías

Tabla 74. Sumas parciales tuberías instalación completa

Tuberías					
Marca	Concepto	Modelo	Precio unitario (€/m)	Longitud (metros)	Total (€)
Leroy Merlin	Tubería polietileno PE	20 mm PN10	0,60	305,65	183,27
Leroy Merlin	Tubería polietileno PE	25 mm PN10	0,88	110,21	96,94
Leroy Merlin	Tubería polietileno PE	32 mm PN10	1,48	391,97	579,96
IberoGarden	Tubería polietileno PE	40 mm PN4	0,57	26,18	14,90
IberoGarden	Tubería polietileno PE	50 mm PN6	1,46	40,57	59,23
IberoGarden	Tubería polietileno PE	63 mm PN10	1,47	12,72	18,71
IberoGarden	Tubería polietileno PE	75 mm PN10	2,34	38,94	91,08
Hidroten	Tubería desagüe PVC	40 mm PN16	1,60	2,40	3,84
Hidroten	Tubería desagüe PVC	63 mm PN16	3,45	1,80	6,21
Hidroten	Tubería desagüe PVC	110 mm PN16	2,42	24,00	58,08
Total					1.112,22 €

2.1.5. Fittings tuberías

Tabla 75. Sumas parciales fittings tuberías instalación completa

Fittings tuberías					
Marca	Concepto	Modelo	Precio unitario (€/ud)	Cantidad (uds.)	Total (€)
Cepex	Collarín de derivación	PE 63 mm - 1"	1,50	1	1,50
Cepex	Collarín de derivación	PE 50 mm - ¾"	1,07	1	1,07
Cepex	Collarín de derivación	PE 32 mm - ½"	0,85	1	0,85
Jardin202	Enlace mixto rosca macho	PE 32 mm - 1"	0,92	1	0,92
Jardin202	Codo rosca hembra	PE 32 mm - ¾"	4,80	1	4,80
Jardin202	Enlace mixto rosca macho	PE 25 mm - ¾"	0,65	2	1,30
Jardin202	T bocas iguales	PE 25 x 25 x 25 mm	1,57	1	1,57
Jardin202	Codo rosca hembra	PE 25 mm - ½"	1,60	3	4,80
Jardin202	Enlace mixto rosca macho	PE 20 mm - ½"	0,52	6	3,12
Natuur	T reducida de compresión	PE 25 x 20 x 25 mm	3,82	2	7,64
Jardin202	Enlace reducido	PE 63 x 50 mm	4,86	2	9,72
Jimten	Enlace mixto rosca macho	PE 32 mm - ¾"	2,94	1	2,94
Riego24	T reducida de compresión	PE 32 x 20 x 32 mm	3,75	3	11,25
Jardin202	Codo de compresión	PE 20 x 20 mm	1,00	12	12,00
Cepex	Codo rosca hembra	PE 32 mm - ½"	0,96	2	1,92
Jardin202	Enlace recto reducido	PE 50 x 40 mm	3,18	1	3,18
Jardin202	Enlace recto reducido	PE 40 x 32 mm	2,08	1	2,08
Jardin202	T bocas iguales	PE 20 x 20 x 20 mm	1,49	7	10,43
Cepex	Enlace recto reducido	PE 50 x 32 mm	4,72	1	4,72
Cepex	Enlace recto reducido	PE 32 x 20 mm	2,15	1	2,15
EGB Group	Codo rosca hembra	PE 20 mm - ½"	2,89	18	52,02
Jimten	Racor fijo macho	PE 20 mm - ½"	1,94	32	62,08
Hidroten	Reducción cónica	PVC 110 x 63 mm	5,08	1	5,08
Riuvert	Codo 87 H-H	PVC 110 mm	2,69	1	2,69
Riuvert	Te 87 H-H	PVC 110 mm	4,10	1	4,10
Riuvert	Codo 87 H-H	PVC 40 mm	0,80	2	1,60
Total					215,53 €

2.1.6. Otros elementos

Tabla 76. Sumas parciales otros elementos instalación completa

Otros elementos					
Marca	Concepto	Modelo	Precio unitario (€/ud)	Cantidad (uds.)	Total (€)
Leroy Merlin	Bidé	Blanco Nerea	29,49	1	29,49
Roca	Placa turca	45x60x21cm DN100	39,64	2	79,28
Franke	Sifón placa turca	Salida horizontal DN100	34,22	2	68,44
Jimten	Sifón bidé	Curvo extensible DN63	7,44	1	7,44
Leroy Merlin	Fregadero	Quick 39x26 mm	27,99	1	27,99
Jimten	Sifón fregadero	Curvo extensible DN40	6,65	1	6,65
Griffon	Adhesivo PVC 500 mL		11,95	1	11,95
CIS	Grifo frontal temporizado	Rosca macho ½"	19,10	16	305,60
Källa	Grifo de lavabo temporizado	Rosca macho ½"	18,26	2	36,52
Orfesa	Latiguillo	Hembra - Hembra ½" - ⅜"	1,53	2	3,06
ARCO	Llave de escuadra	Macho - Macho ⅜" - ½"	3,19	2	6,38
Jardin202	Válvula esfera	Hembra - Hembra ½"	2,61	16	41,76
Saint Gobain	Valvula de Compuerta con Volante	63 mm salida bridada DN50	72,76	2	145,52
Saint Gobain	Brida enchufe	63 mm salida bridada DN50	47,41	4	189,64
Masa	Codo 45º	Extremos autoblocantes DN75	124,55	1	124,55
Belgicast	Collarín de derivación	63mm Salida bridada (DN50)	48,73	1	48,73
Masa	Codo 45º	Embridado DN50	48,00	1	48,00
Saint Gobain	Brida enchufe	75mm Salida bridada (DN50)	48,46	1	48,46
Total					1.229,46 €

2.1.7. Mano de obra

Tabla 77. Sumas parciales mano de obra instalación completa

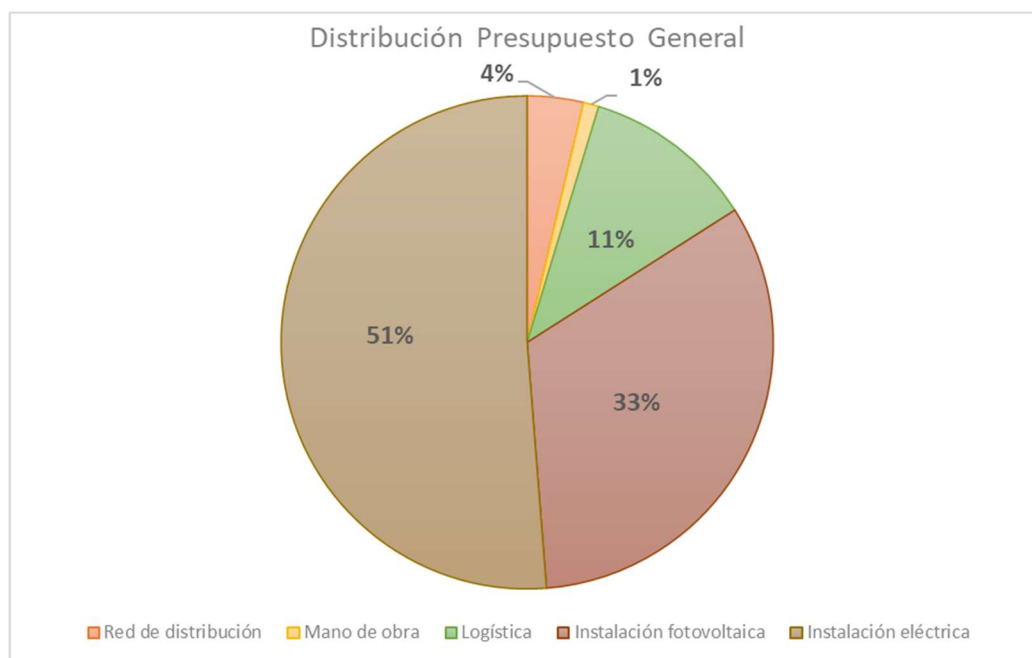
Mano de obra				
Concepto	Modelo	Precio unitario (€/día)	Cantidad (días)	Total (€)
Instalación de la bomba	Ayuda técnica + Voluntarios	5	2	10
Instalación del depósito	Ayuda técnica + Voluntarios	5	4	20
Instalación sistema fotovoltaico	Ayuda técnica + Voluntarios	5	6	30
Instalación red de de tuberías	Ayuda técnica + Voluntarios	5	21	105
Instalación de grifería	Ayuda técnica + Voluntarios	5	7	35
Instalación eléctrica	Ayuda técnica + Voluntarios	5	100	500
Total				700,00 €

2.2. Presupuesto general instalación completa

Tabla 78. Presupuesto general instalación completa

Presupuesto General	
Concepto	Coste (€)
Componentes principales	19.842,57 €
Cableado y tubos instalación fotovoltaica	1.892,53 €
Protecciones instalación fotovoltaica	987,31 €
Cableado y tubos instalación eléctrica	19.798,53 €
Potecciones instalación eléctrica	285,07 €
Luminarias	15.202,54 €
Tuberías	1.112,22 €
Fittings	215,53 €
Otros elementos sistema de bombeo	1.229,46 €
Otros elementos instalación eléctrica	262,36 €
Mano de obra	700,00 €
Logística	7.830,40 €
Total	69.358,52 €

Ilustración 89. Distribución Presupuesto General instalación completa



PARTE III. ANEXOS

CAPÍTULO I. Alineación del proyecto con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de Naciones Unidas

1. Introducción

La nueva Agenda 2030 fue acordada en la Asamblea General de las Naciones Unidas el 25 de septiembre de 2015, cuyo propósito principal es transformar nuestro mundo, tal y como se recoge en la declaración final de la Cumbre de Desarrollo, *“Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible”* [47].

Esta iniciativa tiene como hito fundamental promover el desarrollo humano sostenible en todo el mundo y para ello, se determinan 17 objetivos, conocidos como “Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)” cuya función es instalar a todos los países, sea cual sea su condición, a promover la prosperidad en el tiempo para hacer de este un mundo mejor. Para ello, los 17 objetivos incluyen 169 metas a través de las cuales se abordan cuestiones clásicas de las agendas de desarrollo, tales como, pobreza, hambre, desigualdad, etc. Sin embargo, esta vez, también se tratan otros temas que están firmemente relacionados con el desarrollo sostenible como son: el agua y saneamiento, el crecimiento económico, el cambio climático y la asequibilidad de la energía, entre otros. Con esto se quiere hacer ver que las iniciativas que hasta ahora se han llevado a cabo para erradicar problemas clásicos como es la pobreza, necesitan de un cambio trascendental, cuyo fundamento está en formular estrategias que promuevan el desarrollo económico y satisfagan una serie de necesidades sociales para que verdaderamente se perciba el resultado.

Con el lema de *“no dejar a nadie atrás”* por bandera, la Agenda 2030 plantea el desarrollo sostenible como la combinación equilibrada de las tres dimensiones que lo componen, siendo estas: la social, la económica y la ambiental.

La meta de los ODS que principalmente se vincula con este proyecto es el ODS 6 cuyo lema es *“Agua limpia y saneamiento”* [48] y tiene por objeto, garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible además de procurar un saneamiento adecuado para todos. No obstante, este proyecto promueve la consecución de otros muchos objetivos tal y como se verá más adelante ya que la mayoría de los objetivos definidos en la Agenda 2030 poseen una relación directa entre ellos.

2. Los derechos humanos al agua y el saneamiento

El agua potable y el saneamiento son derechos humanos básicos debido a que son elementos esenciales para mantener medios de vida saludables y sostener la dignidad de todas las personas. Por tanto, las políticas orientadas a proveer de servicios de agua y saneamiento a todas las personas y centradas en una gestión sostenible de los recursos hídricos, componen una parte fundamental para el desarrollo sostenible y el pleno disfrute de los derechos humanos al agua y el saneamiento, dentro de los cuales también se incluyen los derechos a la salud, la alimentación y la vida.

Desde el año 2000, gracias a que muchos países tradujeron los ODM (Objetivos de Desarrollo del Milenio) en metas nacionales implementadas a través de sus marcos políticos, se ha experimentado una mejora visible en materia de salud, educación, condiciones de vida e igualdad de género, entre muchos otros ámbitos. Sin embargo, centrándonos en la cuestión que nos atañe, en 2015, 2.100 millones de personas a nivel global carecían todavía de acceso a agua segura y de fácil disposición en el hogar [47]. De forma similar, 4.500 millones de personas [47] no disponían de instalaciones sanitarias gestionadas de forma segura. Casi la mitad de las personas que carecen de fuentes de agua seguras, se encuentran en África subsahariana. Sin agua y saneamiento seguros, estas personas se enfrentan a múltiples desafíos, entre los que se incluyen condiciones de vida y salud precarias, desnutrición y falta de oportunidades educativas y laborales.

“No dejar a nadie atrás” es el corazón del compromiso de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, que tiene como objetivo conseguir que todas las personas de los países más desfavorecidos y vulnerables sean beneficiarias del desarrollo socioeconómico y se les brinde finalmente la plena consecución de los derechos humanos.

2.1. Situación actual de los derechos humanos al agua y el saneamiento a nivel mundial

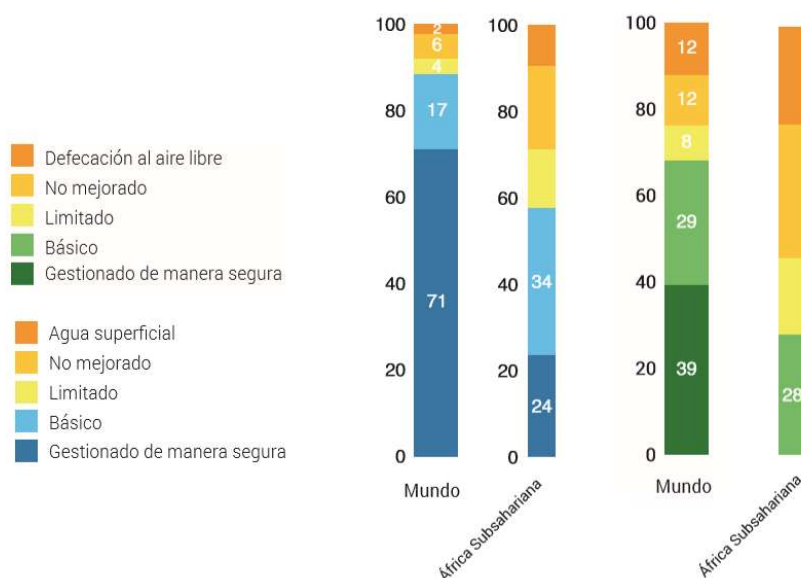
En 2015, tres de cada diez personas (el 29% de la población mundial) se encontraban sin acceso a un servicio de agua potable gestionado de forma segura, al mismo tiempo que 844 millones de personas aún no disponían de servicios básicos de agua potable. Actualmente, África subsahariana es la zona con el porcentaje más bajo en acceso a agua potable, siendo éste del 24%. Dentro de estos países, se advierte una variabilidad significativa entre áreas rurales y urbanas, viéndose enormemente perjudicadas las zonas rurales más precarias de la región [47].

En 2015, se estimó que, 181 países habían alcanzado una cobertura de más del 85%, para, al menos, servicios básicos de agua potable. Sin embargo, de los 159 millones de personas que todavía recolectaban agua directamente de fuentes de agua superficiales (no trataba), el 58% pertenecía a África subsahariana [47].

Por otra parte, sólo el 39% de la población mundial utiliza servicios de saneamiento gestionados de forma segura. Es preciso destacar que, dos de cada cinco personas de ese 39% viven en zonas

rurales. A pesar de las mejoras que se han ido logrando a lo largo de los años, una de cada tres personas sigue careciendo de un servicio básico de saneamiento, de las cuales 892 millones todavía practican la defecación al aire libre (OMS/UNICEF, 2017) [47]. De los países con menos del 95% de cobertura, se espera que sólo uno de cada diez países alcance el saneamiento básico para el 2030 (ONU, 2018) [47].

Ilustración 90. Cobertura global y regional de agua potable y saneamiento, 2015



2.1.1. Educación y alfabetización

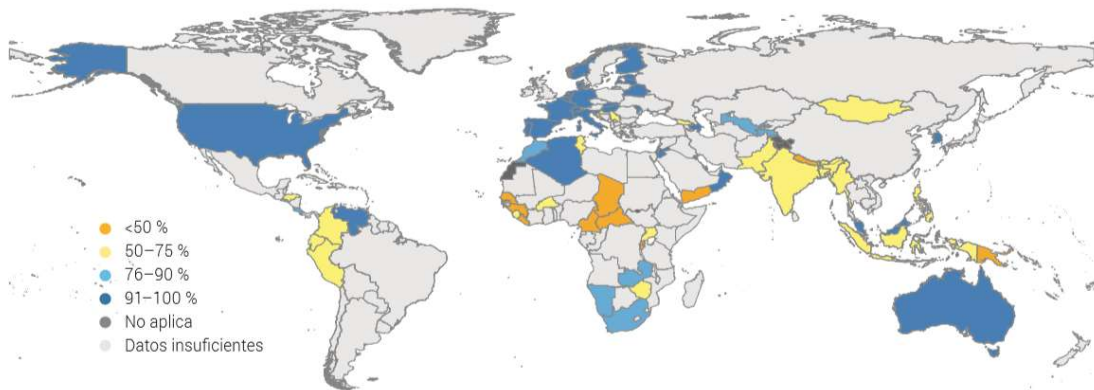
Como este proyecto consiste en realizar el sistema de abastecimiento de agua en un colegio, se estima oportuno dedicar un apartado en el que visibilizar la importancia de tener un buen sistema de suministro de agua y saneamiento apropiado para alcanzar un buen rendimiento escolar. En este marco, se refleja la situación precaria a la que siguen sometidos los niños en gran parte del mundo. Los datos señalados en este apartado pertenecen al informe Mundial de Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos publicado en 2019 cuya finalidad fue dar un toque de atención con motivo del lento progreso con respecto a los objetivos fijados.

Las instalaciones de agua y saneamiento en los colegios son esenciales para promover buenos hábitos de higiene, salud y bienestar en los niños. La falta de letrinas y agua para el consumo y la higiene, provocan tasas de abandono escolar terriblemente altas, sobre todo entre las niñas. Según una encuesta realizada a 92 países en 2018, 58 países de entre los 92 encuestados, tenían más del 75% de cobertura de agua potable en los colegios (OMS/UNICEF, 2018) [47]. A mi parecer, estas cifras son preocupantes, pero son incluso peores si tenemos en cuenta que la mayoría de las escuelas que carecen de estas comodidades básicas están concentradas en África subsahariana. Por otra parte, alrededor del 23% de las escuelas carecen de instalaciones

mejoradas de saneamiento y diferenciadas por sexo, y más de 620 millones de niños en todo el mundo no tienen acceso a estos servicios básicos (OMS/UNICEF, 2018) [47].

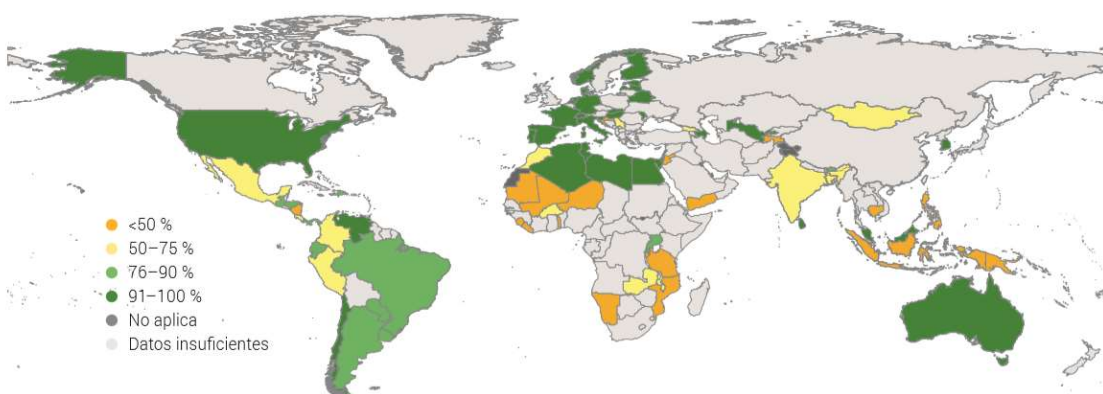
Por tanto, si la educación es la clave para ayudar a los niños a escapar de la pobreza, el agua y el saneamiento son los catalizadores fundamentales para ayudar a que los niños maximicen de forma segura su educación. Como sostiene Kelly Ann Naylor, responsable mundial de Agua, Saneamiento e Higiene de UNICEF, “Desatender esto es despreocuparse por el bienestar y la salud de los niños”. En 2016, la tasa global de alfabetización entre jóvenes de 15 a 24 años se estimaba en un 91%, cuyas tasas más bajas se observan en el África subsahariana y en Asia del sur (UNESCO, 2017b) [47].

Ilustración 91. Proporción por país de escuelas con un servicio básico de agua potable, 2016



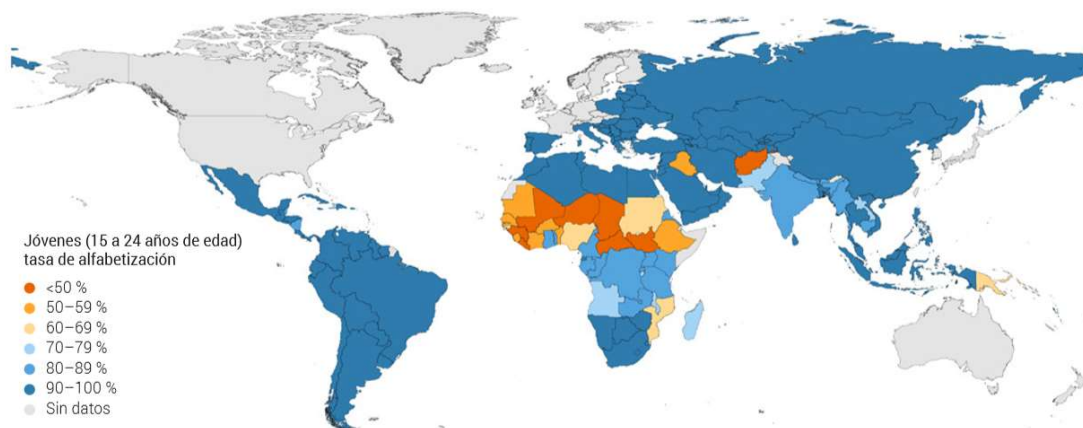
Fuente: OMS/UNICEF (2018a, fig. 4, pág. 5).

Ilustración 92. Proporción por país de escuelas con un servicio básico de saneamiento, 2016



Fuente: OMS/UNICEF (2018a, fig. 7, pág. 6).

Ilustración 93. Tasas de alfabetización de jóvenes por país, 2016



Fuente: UNESCO (2017b, fig. 1, pág. 4).

2.1.2. Igualdad de género

Otra razón por la cual el acceso al agua debe de ser universal son los múltiples motivos discriminatorios que causan que ciertos grupos o individuos estén en desventaja en términos de acceso al agua, saneamiento e higiene. Uno de estos grupos es el formado por las mujeres. En muchas partes del mundo, las mujeres y las niñas experimentan discriminación y desigualdades en materia de derechos humanos al agua y al saneamiento. De acuerdo a unos roles de género asignados, las mujeres y las niñas son las que generalmente cargan con la responsabilidad de las tareas domésticas, las cuales incluyen manejar y preservar el agua. En consecuencia, las niñas se ven obligadas a abandonar la escuela, perdiendo su derecho a la educación y otras oportunidades. De forma análoga, la falta de servicios de higiene menstrual en las escuelas y en los lugares de trabajo conlleva a una mayor tasa de absentismo femenino, acarreando consigo una mayor discriminación hacia las mujeres en el mercado laboral. Tampoco se debe de olvidar el riesgo que corren las mujeres y las niñas de ser víctimas de abuso sexual cuando tienen que recorrer largas distancias para ir a buscar agua, ir a baños públicos o salir por la noche a defecar al aire libre. El tabú y el estigma que giran en torno a la menstruación en estos lugares conduce a desatender las necesidades de higiene específicas de saneamiento de las mujeres, obligando a las niñas y mujeres a usar métodos sanitarios antihigiénicos, pudiendo sólo utilizar los inodoros una vez que haya anochecido, suponiendo un riesgo para su seguridad.

Este proyecto se sensibiliza significativamente con esta cuestión y es por ello por lo que se ha hecho hincapié en mantener a las niñas en el centro de mira durante el desarrollo del proyecto para hacer todo lo que estuviese en nuestras manos para mejorar su calidad de vida en el colegio.

2.2. Situación actual de los derechos humanos al agua y el saneamiento en África Subsahariana

La falta de infraestructuras de gestión del agua en cuestiones de almacenamiento y suministro al igual que los servicios mejorados de agua potable y saneamiento, constituyen una componente directa en la pobreza continua de África subsahariana.

Las personas que viven en zonas rurales representan aproximadamente el 60% de la población total del África Subsahariana, muchas de las cuales viven lamentablemente en la pobreza [47]. Según el Informe 2015 del PCM publicado por la OMS (Organización Mundial de la Salud) [49] antes de que se cumpliera el plazo de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), se constata que, a pesar de que en el África Subsahariana, 427 millones de personas lograron acceso a agua potable durante el periodo abarcado por los ODM, logrando así un aumento de 20 puntos porcentuales en el uso de fuentes de agua potable mejoradas, no alcanzó la meta de los ODM [49].

Para 2050, se espera que más de la mitad del crecimiento de la población tenga lugar en África (más de 1.300 millones de los 2.200 millones a nivel mundial) [47]. En vista de que también aumente la demanda de energía, alimentos, trabajo, salud y educación, no resulta difícil vaticinar que, proporcionar acceso a servicios de agua, saneamiento e higiene no será el único desafío para África. Este crecimiento de la población africana se produce mayoritariamente en las zonas urbanas, y que, sin una planificación adecuada, puede suponer un fuerte aumento de los barrios marginales. Si bien los países han mejorado las condiciones de vida de los barrios más desfavorables desde 1900 hasta 2015 (Informe 2015 del PCM) [49], la tasa de construcción de nuevas infraestructuras para atender estas necesidades está muy por detrás de la tasa de crecimiento de la población urbana.

Se espera que, demostrando todo lo expuesto anteriormente con cifras reales, quede reflejada la importancia de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible con sus 169 metas para responder a estos graves problemas.

En el apartado que sigue, se expone el nexo entre los derechos humanos al agua y el saneamiento y otros derechos humanos planteados por la Agenda 2030 porque, como bien se mencionó anteriormente, los ODS no son objetivos aislados, sino al contrario, es necesaria la aplicación de enfoques integrales y participativos de todos ellos.

3. Vínculo entre los derechos humanos al agua y el saneamiento y otros derechos humanos

El ODS 6 sobre agua potable y saneamiento se considera uno de los objetivos centrales debido a su transcendencia para la consecución de otros objetivos relacionados con el derecho a la salud, el derecho a la alimentación y, en general, el derecho a la vida.

Vista la necesidad de tomar acciones para perpetuar la precariedad y la desigualdad social, se estima que un sistema de bombeo fotovoltaico puede ser un instrumento útil para mejorar en gran medida la calidad de vida de los alumnos del colegio, mermada por la situación dramática que se vive en el país.

- El agua y el saneamiento son esenciales para la dignidad humana, porque la falta de estas necesidades está estrechamente ligada con el derecho a la vida y pone en grave peligro el derecho a la salud.
- La privacidad y la seguridad física también están en riesgo en lugares donde las mujeres y niñas usan letrinas compartidas o espacios abiertos, ya que esta situación las hace particularmente vulnerables al acoso, la agresión, la violencia o la violación.
- La escasez de fuentes de agua e instalaciones de saneamiento adecuadas en las escuelas limita también el derecho a la educación. Muy a menudo, la falta de sistemas seguros de higiene causa ausentismo escolar de las niñas durante su periodo de menstruación.
- El acceso y la disponibilidad del agua tiene, de igual manera, un impacto directo en el derecho a una alimentación adecuado, al ser un recurso imprescindible para la agricultura de subsistencia.

A continuación, se muestran una serie de ODS en los que resulta indudable el papel clave del agua y saneamiento. A continuación, se expone la situación actual en el marco de estos ODS, que al igual que para el caso del ODS6 queda evidenciada la necesidad de una acción inmediata. Además, se menciona el beneficio que tendría el acceso al agua, saneamiento e higiene sobre ellas.

- **Fin de la pobreza (ODS 1)**

“El agua y el saneamiento disminuyen la vulnerabilidad y mejoran los ingresos familiares”.

Más del 60% de la población del Chad vive por debajo del umbral de pobreza de 1,25 dólares diarios [49]. La pobreza está estrechamente ligada a la escasez de alimentos y predomina en las zonas rurales cuyos medios de subsistencia dependen principalmente de la agricultura. Se distingue una variabilidad significativa en la incidencia de la pobreza dentro de las distintas regiones, relacionada con factores tales como, los cambios en los precios, las sequías, las precipitaciones excesivas y la inseguridad. Según un estudio sobre aspiraciones nacionales, el 87% de los 500 expertos y líderes a nivel nacional y comunitario, de entre los cuales, la mitad son mujeres, creen que el Chad no tiene una red de seguridad social [49].

- **Educación de calidad (ODS 4)**

“Agua y saneamiento mejoran el rendimiento escolar, y en escuelas, disminuye el absentismo”.

La población menor de 14 años representa el 47,4% de la población total del Chad, con 3,3 millones de niños en edad escolar. En 2011, la tasa neta de matriculación escolar era de tan sólo 43,7%. Dentro del índice global de disparidad de género, el Chad ocupa el último lugar en relación con los logros educativos. En vista a combatir las disparidades de género existentes en el ámbito educacional, Chad es el país con peor desempeño, donde sólo el 13% de las mujeres pueden leer o escribir [49].

- **Salud y bienestar (ODS 3)**

“Agua y saneamiento disminuyen las enfermedades transmitidas por el agua al igual que las muertes por contaminación del agua”.

Las carencias en la organización y gestión de los centros de salud, así como la escasez de recursos, servicios y medicamentos, afectan a gran parte de la población. La tasa de mortalidad infantil se eleva a 72 muertes por cada 1.000 nacidos y casi una quinta parte de los niños no llega a cumplir 5 años de vida [49].

- **Igualdad de género (ODS 5)**

“Agua y saneamiento promueven los derechos vulnerados especialmente en mujeres y niñas”.

Las mujeres tienen acceso restringido a los activos productivos, al crédito y a la propiedad de las tierras. Las tradiciones sobre la herencia de la tierra suelen discriminar a las mujeres puesto que son los hombres quienes determinan el uso y los ingresos de los cultivos cosechados. Sólo el 22,3% de las mujeres participan en la toma de decisiones sobre actividades generadores de ingresos y en la misma línea, sólo el 22,6% tiene acceso al crédito [49]. De media, las niñas tienen menos probabilidades de acceder a una educación que los niños, debido, entre muchos otros motivos, a que deben de abandonar la escuela al verse obligadas a casarse temprano. La violencia de género y la violencia sexual son, por desgracia, muy comunes y se ven intensificadas debido a los conflictos en esta zona de África.

- **Hambre cero (ODS 2)**

“El agua es un elemento clave para la productividad agrícola, sector mayoritario en el país”.

El Chad ocupa el segundo lugar en la clasificación mundial de países con inseguridad alimentaria (puesto 118 de 119 países en el Índice Global del Hambre). Más de 3 millones de personas padecen inseguridad alimentaria o corren el riesgo de padecerla, y más de 500.000 niños corren el riesgo de sufrir malnutrición cada año durante la temporada de escasez [49].

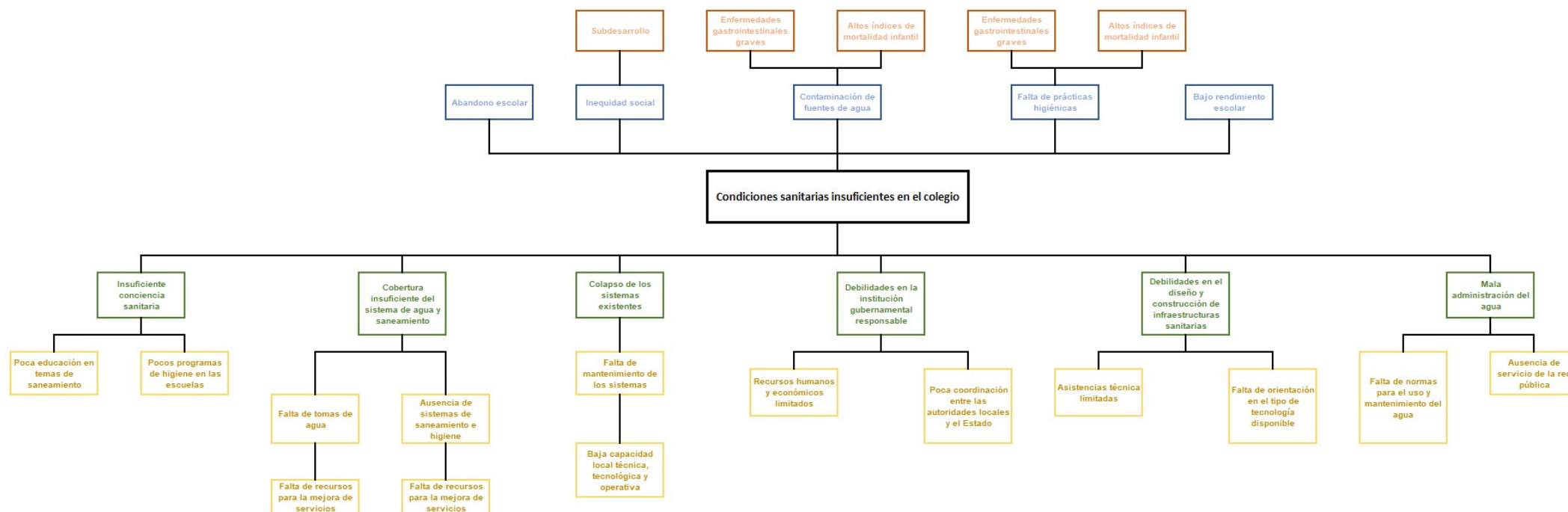
Como se ha visto a lo largo de este apartado, la erradicación de la pobreza está estrechamente vinculada al acceso al agua y al saneamiento. Su reconocimiento como derechos humanos pone en relieve su trascendencia para lograr una vida digna, en especial, para las mujeres y niñas.

La Agenda 2030 nos da una segunda oportunidad para alcanzar los objetivos contemplados en la agenda anterior y que no llegaron a cumplirse en su totalidad. Estos nuevos objetivos dibujan una nueva dimensión de desarrollo social en el que se incorporan conceptos tales como la equidad, la disponibilidad, la asequibilidad y la seguridad, en línea con el carácter universal al acceso al agua, saneamiento e higiene.

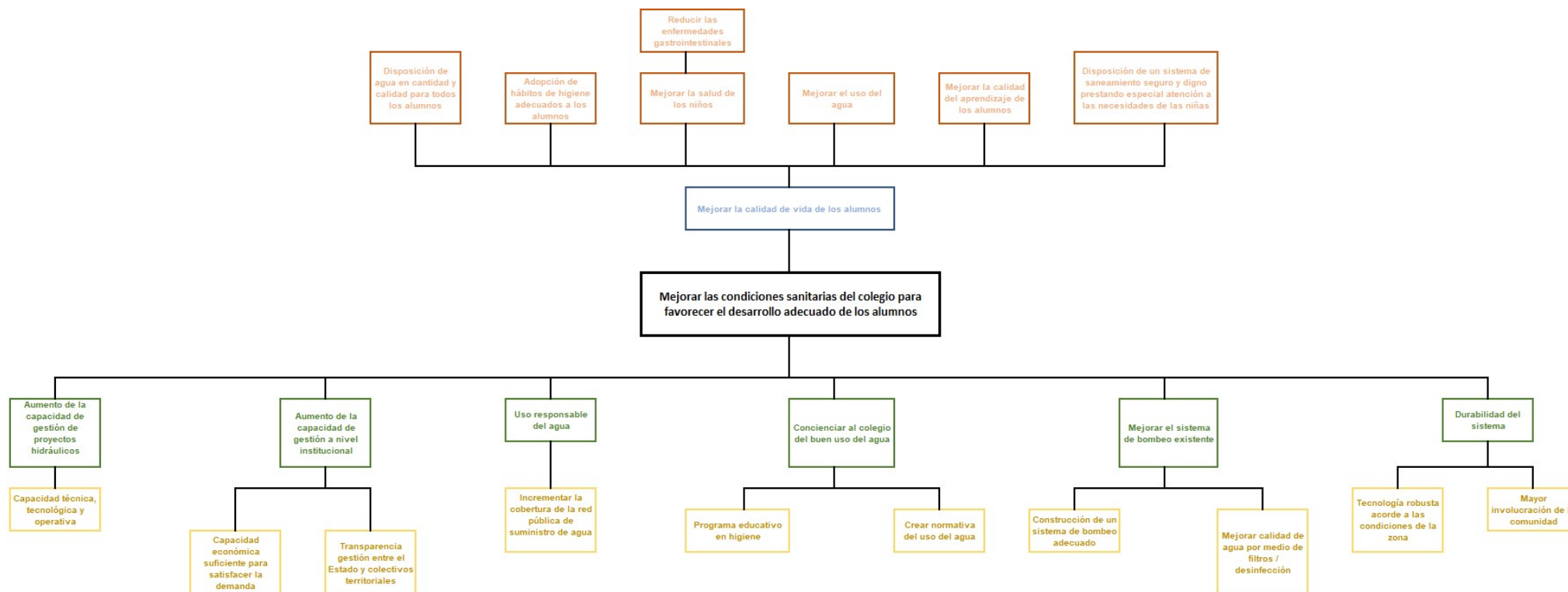
El principal desafío para la consecución de estos objetivos es su implementación real, para la cual se requiere de apoyo político, recursos económicos, conocimiento y tecnología, y, sobre todo, la implicación de todos, sin olvidar la esencia de la Agenda 2030 que aboga por “no dejar a nadie atrás”.

CAPÍTULO II. Documentación

Árbol de problemas



Árbol de objetivos



Estimación de consumo de agua diario

Edificio	Tipo de consumo	Cantidad	L/s x punto de consumo	L/s total	Alumnos / punto_día	nº de veces_día	seg. grifo abierto_vez	L/día total
ESO								
Edif 1	fuelle	2	0,15	0,3	125	2	5	375
Edif 2	fuelle	2	0,15	0,3	125	2	5	375
Cocina y comedor								
Comedor	fuelle	1	0,15	0,15	1500	1	5	1125
Cocina	grifo cocina	1	0,2	0,2	1	1	600	120
Baños ESO								
Chicas	lavabo	2	0,05	0,1	375	3	5	562,5
	inodoro	4	0,1	0,4	187	3	10	2244
	bidé	1	0,1	0,1	750	3	5	1125
Chicos	lavabo	2	0,05	0,1	375	3	5	562,5
	urinario	3	0,15	0,45	250	3	10	3375
	inodoro	1	0,1	0,1	750	2	10	1500
Enfermería								
Enfermería	lavabo	1	0,1	0,1	500	1	5	250
	grifo media altura	1	0,1	0,1	500	1	5	250
Secundaria								
Baño gimnasio	lavabo	2	0,05	0,1	750	3	5	1125
	inodoro	2	0,1	0,2	750	3	10	4500
	bidé	1	0,1	0,1	750	3	5	1125
Edif Secundaria	fuelle	2	0,15	0,3	125	2	5	375
Primaria								
Edif 1	fuelle	2	0,15	0,3	93	2	5	279
Edif 2	fuelle	2	0,15	0,3	93	2	5	279
Edif 3	fuelle	2	0,15	0,3	93	2	5	279
Edif 4	fuelle	2	0,15	0,3	93	2	5	279
Total L / día								20.105

Radiación solar disponible

Radiación solar (kWh/m ² /día)	<i>Gdm(0)</i>	<i>Gdm(10)</i>	<i>Gdm(20)</i>	<i>Gdm(30)</i>	<i>Gdm(40)</i>	<i>Gdm(50)</i>	<i>Gdm(60)</i>	<i>Gdm(70)</i>	<i>Gdm(80)</i>	<i>Gdm(90)</i>	días /mes
Enero	189,92	203,47	212,29	215,99	214,33	207,26	194,88	177,49	155,58	129,76	31
Febrero	214,04	219,49	220,15	215,83	206,49	192,3	173,56	150,75	124,48	95,41	28
Marzo	225,32	222,01	213,76	200,77	183,15	161,32	135,94	107,79	77,62	44,79	31
Abril	217,18	208,07	194,58	177,09	155,78	131,59	105,21	77,54	49,43	33,37	30
Mayo	198,05	187,98	174,09	156,63	136,04	113,19	88,37	63,34	38,42	33,1	31
Junio	174,24	166,85	156,32	142,74	126,42	108,12	88,38	67,55	45,04	35,62	30
Julio	165,03	161,63	155,11	145,54	133,09	118,04	100,78	81,85	61,37	37,96	31
Agosto	185,43	187,12	184,88	178,64	168,47	154,55	137,23	116,92	94,1	69,25	31
Septiembre	198,45	208,53	213,95	214,41	209,76	200,03	185,4	166,25	143,09	116,59	30
Octubre	189,9	208,64	222,42	230,68	233,06	229,39	219,7	204,21	183,33	157,67	31
Noviembre	185,04	207,61	225,25	237,3	243,27	242,88	236,07	222,96	203,9	179,43	30
Diciembre	223,85	248,06	266,63	278,81	284,04	281,99	272,57	255,96	232,58	203,07	31

	<i>Gdm(0)</i>	<i>Gdm(10)</i>	<i>Gdm(20)</i>	<i>Gdm(30)</i>	<i>Gdm(40)</i>	<i>Gdm(50)</i>	<i>Gdm(60)</i>	<i>Gdm(70)</i>	<i>Gdm(80)</i>	<i>Gdm(90)</i>
Enero	6,13	6,56	6,85	6,97	6,91	6,69	6,29	5,73	5,02	4,19
Febrero	7,64	7,84	7,86	7,71	7,37	6,87	6,20	5,38	4,45	3,41
Marzo	7,27	7,16	6,90	6,48	5,91	5,20	4,39	3,48	2,50	1,44
Abril	7,24	6,94	6,49	5,90	5,19	4,39	3,51	2,58	1,65	1,11
Mayo	6,39	6,06	5,62	5,05	4,39	3,65	2,85	2,04	1,24	1,07
Junio	5,81	5,56	5,21	4,76	4,21	3,60	2,95	2,25	1,50	1,19
Julio	5,32	5,21	5,00	4,69	4,29	3,81	3,25	2,64	1,98	1,22
Agosto	5,98	6,04	5,96	5,76	5,43	4,99	4,43	3,77	3,04	2,23
Septiembre	6,62	6,95	7,13	7,15	6,99	6,67	6,18	5,54	4,77	3,89
Octubre	6,13	6,73	7,17	7,44	7,52	7,40	7,09	6,59	5,91	5,09
Noviembre	6,17	6,92	7,51	7,91	8,11	8,10	7,87	7,43	6,80	5,98
Diciembre	7,22	8,00	8,60	8,99	9,16	9,10	8,79	8,26	7,50	6,55

Determinación caudales de cada tramo

100 - Tramo 1	
Baño gimnasio	0,0004
Secundaria	0,0003
ESO1	0,0003
ESO2	0,0003
Baños ESO	0,00125
Comedores	0,00035
Total Q (m³/s)	0,0029
110 - Ramal 1	
Baños gimnasio	0,0004
Secundaria	0,0003
Total Q (m³/s)	0,0007
120 - Ramal 2	
Baños gimnasio	0,0004
Secundaria	0,0003
Total Q (m³/s)	0,0007
121 - Derivación 1	
Baños gimnasio	0,0004
Total Q (m³/s)	0,0004
122 - Derivación 2	
Secundaria - Fuente 1	0,00015
Total Q (m³/s)	0,00015
123 - Derivación 3	
Secundaria - Fuente 2	0,00015
Total Q (m³/s)	0,00015

200 - Tramo 2	
Baños ESO	0,00125
ESO 1	0,0003
ESO 2	0,0003
Comedores	0,00035
Total Q (m³/s)	0,0022
210 - Ramal 1	
Baños ESO	0,00125
Total Q (m³/s)	0,00125
211 - Derivación 1	
Fuente exterior baños	0,00015
Total Q (m³/s)	0,00015
212 - Derivación 2	
Toma bidé	0,0001
Total Q (m³/s)	0,0001
300 - Tramo 3	
ESO 1	0,0003
ESO 2	0,0003
Comedores	0,00035
Total Q (m³/s)	0,00095
310 - Ramal 1	
ESO 1	0,0003
Total Q (m³/s)	0,0003
311 - Derivación 1	
ESO 1 - Fuente 1	0,00015
Total Q (m³/s)	0,00015
312 - Derivación 2	
ESO 1 - Fuente 2	0,00015
Total Q (m³/s)	0,00015

400 - Tramo 4	
ESO 2	0,0003
Comedores	0,00035
Total Q (m³/s)	0,00065
410 - Ramal 1	
ESO 2	0,0003
Total Q (m³/s)	0,0003
411 - Derivación 1	
ESO 2 - Fuente 1	0,00015
Total Q (m³/s)	0,00015
412 - Derivación 2	
ESO 2 - Fuente 2	0,00015
Total Q (m³/s)	0,00015
500 - Tramo 5	
Comedores	0,00035
Total Q (m³/s)	0,00035
510 - Ramal 1	
Comedores	0,00035
Total Q (m³/s)	0,00035

600 - Tramo 6	
Primaria 1	0,0003
Primaria 2	0,0003
Primaria 3	0,0003
Primaria 4	0,0003
Enfermería	0,0002
Total Q (m³/s)	0,0014
610 - Ramal 1	
Primaria 1	0,0003
Primaria 2	0,0003
Total Q (m³/s)	0,0006
611 - Derivación 1	
Primaria 1	0,0003
Total Q (m³/s)	0,0003
612 - Derivación 2	
Primaria 1 - Fuente 1	0,00015
Total Q (m³/s)	0,00015
613 - Derivación 3	
Primaria 1 - Fuente 2	0,00015
Total Q (m³/s)	0,00015
621 - Derivación 1	
Primaria 2	0,0003
Total Q (m³/s)	0,0003
622 - Derivación 2	
Primaria 2 - Fuente 1	0,00015
Total Q (m³/s)	0,00015
623 - Derivación 3	
Primaria 2 - Fuente 2	0,00015
Total Q (m³/s)	0,00015

700 - Tramo 7	
Primaria 3	0,0003
Primaria 4	0,0003
Enfermería	0,0002
Total Q (m³/s)	0,0008
710 - Ramal 1	
Enfermería	0,0002
Total Q (m³/s)	0,0002
800 - Tramo 8	
Primaria 3	0,0003
Primaria 4	0,0003
Total Q (m³/s)	0,0006
810 - Ramal 1	
Primaria 3	0,0003
Total Q (m³/s)	0,0003
811 - Derivación 1	
Primaria 3 - Fuente 1	0,00015
Total Q (m³/s)	0,00015
812 - Derivación 2	
Primaria 3 - Fuente 2	0,00015
Total Q (m³/s)	0,00015
820 - Ramal 2	
Primaria 4	0,0003
Total Q (m³/s)	0,0003
821 - Derivación 1	
Primaria 4 - Fuente 1	0,00015
Total Q (m³/s)	0,00015
822 - Derivación 2	
Primaria 4 - Fuente 2	0,00015
Total Q (m³/s)	0,00015

Secciones de tuberías

Tubería	Q (m³/s)	Ø (mm)	espesor (mm)	Ø int (mm)	Ø ext (mm)	v real (m/s)
000	0,0043	60,41	6,8	61,4	75	1,452
100	0,00290	49,61	5,8	51,4	63	1,398
110	0,00070	24,38	3,0	26,0	32	1,318
120	0,00070	24,38	2,3	20,4	25	2,142
121	0,00040	18,43	2,3	20,4	25	1,224
122	0,00015	11,28	2,0	16,0	20	0,746
123	0,00015	11,28	2,0	16,0	20	0,746
200	0,00220	43,21	4,6	40,8	50	1,683
210	0,00125	32,57	3,0	26,0	32	2,354
211	0,00015	11,28	2,0	16,0	20	0,746
212	0,00010	9,21	2,0	16,0	20	0,497
300	0,00095	28,40	3,7	32,6	40	1,138
310	0,00030	15,96	2,0	16,0	20	1,492
311	0,00015	11,28	2,0	16,0	20	0,746
312	0,00015	11,28	2,0	16,0	20	0,746
400	0,00065	23,49	3,0	26,0	32	1,224
410	0,00030	15,96	2,0	16,0	20	1,492
411	0,00015	11,28	2,0	16,0	20	0,746
412	0,00015	11,28	2,0	16,0	20	0,746
500	0,00035	17,24	3,0	26,0	32	0,659
510	0,00035	17,24	2,0	16,0	20	1,741
600	0,00140	34,47	4,6	40,8	50	1,071
610	0,00060	22,57	2,3	20,4	25	1,836
611	0,00030	15,96	2,0	16,0	20	1,492
612	0,00015	11,28	2,0	16,0	20	0,746
613	0,00015	11,28	2,0	16,0	20	0,746
621	0,00030	15,96	2,0	16,0	20	1,492
622	0,00015	11,28	2,0	16,0	20	0,746
623	0,00015	11,28	2,0	16,0	20	0,746
700	0,00080	26,06	3,0	26,0	32	1,507
710	0,00020	13,03	2,0	16,0	20	0,995
800	0,00060	22,57	3,0	26,0	32	1,130
810	0,00030	15,96	2,0	16,0	20	1,492
811	0,00015	11,28	2,0	16,0	20	0,746
812	0,00015	11,28	2,0	16,0	20	0,746
820	0,00030	15,96	2,0	16,0	20	1,492
821	0,00015	11,28	2,0	16,0	20	0,746
822	0,00015	11,28	2,0	16,0	20	0,746

Accesorios de las tuberías

Tubería	Tipo de unión	Nomenclatura	Dimensiones
000	Codo 45º	CG - 000 - 75	75 x 75 mm
000	Derivación T 45º reducida	TG - 000 - 75	75 - 63 mm - 45º
100	Collarín de derivación	CD - 100 - 63	63 mm - 1"
110	Enlace mixto rosca macho	RM - 110 - 32	32 mm - 1"
110	Codo rosca hembra	CH - 110 - 32	32 mm - ¾"
120	Enlace mixto rosca macho	RM - 120 - 25	25 mm - ¾"
120	T bocas iguales	T - 120 - 25	25 x 25 x 25 mm
121	Codo rosca hembra	CH - 121 - 25	25 mm - ½"
121	Enlace mixto rosca macho	RM - 121 - 20	20 mm - ½"
120	T reducida de compresión	TR - 120 - 20	25 x 20 x 25 mm
120	Codo rosca hembra	CH - 120 - 25	25 mm - ½"
123	Enlace mixto rosca macho	RM - 123 - 20	20 mm - ½"
200	Enlace reducido	R - 200 - 50	63 x 50 mm
200	Collarín de derivación	CD - 200 - 50	50 mm - ¾"
210	Enlace mixto rosca macho	RM - 210 - 32	32 mm - ¾"
210	T reducida de compresión	TR - 210 - 20	32 x 20 x 32 mm
211	Codo de compresión	C - 211 - 20	20 x 20 mm
210	Codo rosca hembra	CH - 210 - 32	32 mm - ½"
212	Enlace mixto rosca macho	RM - 212 - 20	20 mm - ½"
212	Codo de compresión	C - 212 - 20	20 x 20 mm
300	Enlace recto reducido	R - 300 - 40	50 x 40 mm
300	Enlace recto reducido	R - 300 - 32	40 x 32 mm
300	Collarín de derivación	CD - 300 - 32	32 mm - ½"
310	Enlace mixto rosca macho	RM - 310 - 20	20 mm - ½"
310	Codo de compresión (x2)	C - 310 - 20	20 x 20 mm
310	T bocas iguales	T - 310 - 20	20 x 20 x 20 mm
400	T reducida de compresión	TR - 400 - 20	32 x 20 x 32 mm
410	Codo de compresión (x2)	C - 410 - 20	20 x 20 mm
410	T bocas iguales	T - 410 - 20	20 x 20 x 20 mm
500	Codo rosca hembra	CH - 500 - 32	32 mm - ½"
510	Enlace mixto rosca macho	RM - 510 - 20	20 mm - ½"
510	Codo de compresión	C - 500 - 20	20 x 20 mm
600	Enlace recto reducido	R - 600 - 50	63 x 50 mm
600	Collarín de derivación	CD - 600 - 50	50 mm - ¾"
610	Enlace mixto rosca macho	RM - 610 - 25	25 mm - ¾"
610	T reducida de compresión	TR - 610 - 20	25 x 20 x 25 mm
611	T bocas iguales	T - 611 - 20	20 x 20 x 20 mm
611	Codo de compresión	C - 611 - 20	20 x 20 mm
610	Codo rosca hembra	CH - 610 - 25	25 mm - ½"
621	Enlace mixto rosca macho	RM - 621 - 20	20 mm - ½"
621	T bocas iguales	T - 621 - 20	20 x 20 x 20 mm
621	Codo de compresión	C - 621 - 20	20 x 20 mm
700	Enlace recto reducido	R - 700 - 32	50 x 32 mm
700	T reducida de compresión	TR - 700 - 20	32 x 20 x 32 mm
710	Codo de compresión	C - 710 - 20	20 x 20 mm
800	Enlace recto reducido	R - 800 - 20	32 x 20 mm
800	T bocas iguales	T - 800 - 20	20 x 20 x 20 mm
810	T bocas iguales	T - 810 - 20	20 x 20 x 20 mm
810	Codo de compresión	C - 810 - 20	20 x 20 mm
820	T bocas iguales	T - 820 - 20	20 x 20 x 20 mm
820	Codo de compresión	C - 820 - 20	20 x 20 mm

Leyenda	
CD	Collarín derivación
CG	C inclinado
CH	Codo rosca hembra
C	Codo enlace compresión
R	Enlace reducido
RM	Rosca macho
T	T bocas iguales
TH	T rosca hembra
TG	T inclinada
TR	T reducida

Pérdidas de carga y presión residual en puntos de consumo

Punto final	Q (m³/h)	Ø ext (mm)	Ø int (mm)	L (m)	LeqTOR (m)	v (m/s)	Número de Reynolds	Régimen	factor de fricción f	Pérdidas de carga totales (mca)	Presión inicial depósito lleno (mca)	Presión final depósito lleno (mca)	Presión inicial depósito nivel bajo (mca)	Presión final depósito nivel bajo (mca)	Presión final depósito lleno (kPa)	Presión final depósito nivel bajo (kPa)
100	10,44	63	51,40	6,60	7,26	1,40	71499	Turbulento	0,0194	0,27	21,00	20,73	18,00	17,73	203,25	173,83
110	2,52	32	26,00	48,47	53,31	1,32	34119	Turbulento	0,0230	4,17	20,73	16,56	17,73	13,56	162,37	132,95
120.1	2,52	25	20,40	10,12	11,13	2,14	43484	Turbulento	0,0218	2,78	16,56	13,78	13,56	10,78	135,11	105,69
121	1,44	25	20,40	14,88	16,37	1,22	24848	Turbulento	0,0247	1,52	13,78	12,26	10,78	9,26	120,24	90,82
Baño gimnasio															120,24	90,82
120.2	1,08	25	20,40	7,62	8,38	0,92	18636	Turbulento	0,0265	0,47	13,78	13,31	10,78	10,31	130,52	101,10
Secundaria Fuente 1															130,52	101,10
120.3	0,54	25	20,40	21,20	23,32	0,46	9318	Turbulento	0,0316	0,39	13,31	12,92	10,31	9,92	126,72	97,30
Secundaria Fuente 2															126,72	97,30
200	7,92	50	40,80	3,92	4,32	1,68	68333	Turbulento	0,0197	0,30	20,73	20,43	17,73	17,43	200,30	170,88
210	4,50	32	26,00	30,65	33,71	2,35	60926	Turbulento	0,0202	7,41	20,43	13,02	17,43	10,02	127,64	98,22
Baños ESO															127,64	98,22
300	3,42	40	32,60	21,82	24,00	1,14	36929	Turbulento	0,0225	1,09	20,43	19,33	17,43	16,33	189,57	160,15
310.1	1,08	20	16,00	17,42	19,17	1,49	23761	Turbulento	0,0250	3,40	19,33	15,93	16,33	12,93	156,19	126,77
ESO 1 Fuente 1															156,19	126,77
310.2	0,54	20	16,00	38,88	42,77	0,75	11881	Turbulento	0,0297	2,25	15,93	13,68	12,93	10,68	134,13	104,71
ESO 1 Fuente 2															134,13	104,71
400	2,34	32	26,00	4,75	5,23	1,22	31682	Turbulento	0,0211	0,12	19,33	19,21	15,93	15,81	188,38	155,00
410.1	1,08	20	16,00	39,02	42,93	1,49	23761	Turbulento	0,0250	7,62	19,21	11,59	15,81	8,18	113,62	80,24
ESO 2 Fuente 1															113,62	80,24
410.2	0,54	20	16,00	39,06	42,97	0,75	11881	Turbulento	0,0297	2,26	11,59	9,33	8,18	5,92	91,45	58,07
ESO 2 Fuente 2															91,45	58,07
500	1,26	32	26,00	174,40	191,84	0,66	17059	Turbulento	0,0270	4,41	19,21	14,80	15,81	11,39	145,11	111,73
510	1,26	20	16,00	15,76	17,33	1,74	27721	Turbulento	0,0242	4,04	14,80	10,75	11,39	7,35	105,46	72,08
Comedor															105,46	72,08
600	5,04	50	40,80	29,89	32,88	1,07	43484	Turbulento	0,0217	1,02	21,00	19,98	18,00	16,98	195,91	166,49
610.1	2,16	25	20,40	13,01	14,31	1,84	37272	Turbulento	0,0226	2,72	19,98	17,26	16,98	14,26	169,26	139,84
611.1	1,08	20	16,00	4,80	5,28	1,49	23761	Turbulento	0,0250	0,94	17,26	16,32	14,26	13,32	160,06	130,64
Primaria 1 Fuente 1															160,06	130,64
611.2	0,54	20	16,00	23,05	25,36	0,75	11881	Turbulento	0,0297	1,33	16,32	14,99	13,32	11,99	146,98	117,57
Primaria 1 Fuente 2															146,98	117,57
610.2	1,08	25	20,40	25,01	27,51	0,92	18636	Turbulento	0,0265	1,53	17,26	15,73	14,26	12,73	154,21	124,79
621.1	1,08	20	16,00	6,00	6,60	1,49	23761	Turbulento	0,0250	1,17	15,73	14,55	12,73	11,55	142,71	113,29
Primaria 2 Fuente 1															142,71	113,29
621.2	0,54	20	16,00	24,48	26,93	0,75	11881	Turbulento	0,0297	1,42	14,55	13,14	11,55	10,14	128,82	99,40
Primaria 2 Fuente 2															95,97	66,55
700	2,88	32	26,00	4,61	5,07	1,51	38993	Turbulento	0,0223	0,50	19,98	19,47	16,98	16,47	190,98	161,56
710	0,72	20	16,00	7,86	8,65	0,99	15841	Turbulento	0,0276	0,75	19,47	18,72	16,47	15,72	183,60	154,18
Enfermería															183,60	154,18
800	2,16	32	26,00	63,76	70,13	1,13	29244	Turbulento	0,0238	4,17	19,47	15,30	16,47	12,30	150,05	120,64
810.1	1,08	20	16,00	12,24	13,46	1,49	23761	Turbulento	0,0250	2,39	15,30	12,91	12,30	9,91	126,61	97,19
Primaria 3 Fuente 1															126,61	97,19
810.2	0,54	20	16,00	28,88	31,77	0,75	11881	Turbulento	0,0297	1,67	12,91	11,24	9,91	8,24	110,22	80,80
Primaria 3 Fuente 2															110,22	80,80
820.1	1,08	20	16,00	8,04	8,84	1,49	23761	Turbulento	0,0250	1,57	15,30	13,73	12,30	10,73	134,65	105,23
Primaria 4 Fuente 1															134,65	105,23
820.2	0,54	20	16,00	28,28	31,11	0,75	11881	Turbulento	0,0297	1,64	13,73	12,09	10,73	9,09	118,60	89,18
Primaria 4 Fuente 2															118,60	89,18

Parámetros dimensionado de cableado para la instalación completa

Cableado strings	
Criterio corriente máxima	
Istring max Isc (A)	10,98
Criterio caída de tensión	
Lstring (m)	9,042
Istring mpp (A)	10,42
Δv string (%)	1%
Vstring (V)	77,8

Salida caja repartidor	
Criterio corriente máxima	
I max Isc (A)	54,9
Criterio caída de tensión	
L tramo 1 (m)	2,4
L tramo 2 (m)	4,8
Icálculo (A)	52,1
Δv (%)	1%
Vmáxima potencia (V)	77,8

Cableado regulador	
Criterio corriente máxima	
I max Isc (A)	54,9
Criterio caída de tensión	
L (m)	1,2
Icálculo (A)	52,1
Δv (%)	1%
Vmáxima potencia (V)	77,80

Cableado batería	
Criterio corriente máxima	
I max Isc (A)	109,8
Criterio caída de tensión	
L (m)	1,2
Icálculo (A)	104,2
Δv (%)	1%
Vmáxima potencia (V)	48

Cableado inversor	
Criterio corriente máxima	
Tensión de entrada (V)	48
Potencia máxima (W)	8000
I max Isc (A)	166,7
Criterio caída de tensión	
L (m)	1,2
Potencia cálculo (W)	7114,8
Icálculo (A)	148,225
Δv (%)	0,01
Vmáxima potencia (V)	48

Cableado inversor - CP	
Criterio corriente máxima	
Voltaje AC de salida	230
Potencia máxima (W)	8000
factor de potencia $\cos \phi$	0,9
I max Isc (A)	38,6
Criterio caída de tensión	
L (m)	1,2
Potencia cálculo (W)	7114,8
factor de potencia $\cos \phi$	0,9
Icálculo (A)	34,4
Δv (%)	2%
Vmáxima potencia (V)	230

Cableado bomba	
Criterio corriente máxima	
Potencia máxima entrada (W)	1020
Tensión mínima de entrada (V)	200
factor de potencia $\cos \phi$	1
I nominal (A)	5,2
Criterio caída de tensión	
Potencia punto de trabajo (W)	728
factor de potencia $\cos \phi$	1
Icálculo (A)	3,17
L tramo 1 (m)	9,42
L tramo 2 (m)	61,4
L tramo 3 (m)	13,2
Δv (%)	1,5%
Vcálculo (V)	230

Secciones cableado de la instalación completa

Cableado		Tipo de conductor	Tipo de montaje	I _{calculo} (A) Punto de trabajo	I _{max_circuito} (A) I cortocircuito	125%·I _{max_circuito} (A)	Número de cables	Número de conductores (activos) x cable	Número de conductores activos /multiconductores agrupados	Factor de agrupación	Sección del conductor (mm2)	I _{max conductor} (A)	Factores de corrección			
Inicio	Final												Temperatura ambiente	Temperatura del terreno	Resistencia térmica terreno	Profundidad de soterramiento
String	Caja de protecciones fusibles	2XLPE	C	10,42	10,98	13,725	20	1	1	1	4	40	0,9	1	1	1
Caja de protecciones fusibles	Repartidor de corriente	2XLPE	C	10,42	10,98	13,725	20	1	5	0,7	6	52	0,9	1	1	1
Repartidor de corriente	Cuadro principal CC	Tramo 1	C	52,1	54,9	68,625	2	2	2	0,85	25	122	0,9	1	1	1
		Tramo 2	B1	52,1	54,9	68,625	2	2	2	0,8	25	115	0,9	1	1	1
Cuadro principal	Regulador	2XLPE	C	52,1	54,9	68,625	2	2	1	1	16	97	1	1	1	1
Regulador	Conector	2XLPE	C	52,1	54,9	68,625	1	2	1	1	16	97	1	1	1	1
Conector	Batería	2XLPE	C	104,2	109,8	137,25	1	2	1	1	35	153	1	1	1	1
Batería	Inversor	2XLPE	C	148,225	166,67	208,33	1	2	1	1	70	243	1	1	1	1
Inversor	Cuadro principal CA	2XLPE	C	34,37	38,65	48,309	1	2	1	1	6	52	1	1	1	1
Cuadro Principal CA - Unidad de control	Bomba	Tramo 1	B2	3,17	5,2	6,5	1	2	1	1	4	32	1	1	1	1
		Tramo 2	D	3,17	5,2	6,5	1	2	1	1	6	66	0,83	0,88	0,93	1,03
		Tramo 3	Sumergido	3,17	5,2											

Cableado		I _{max} corregida (A)	Comprobación intensidad	Temperatura del conductor (°C)	Comprobación temperatura	Longitud (m)	V _{max} potencia (A)	ΔU admisible	Resistividad (Ω·mm2/m)	Sección ΔU _{max} (mm2)	Sección normalizada (mm2)	Sección (mm2)	Cable de protección (mm2)	Número de cables x tubo	φ tubo (mm)	Tensión asignada cable (kV)	Composición del cable (mm2)	
Inicio	Final																	
String	Caja de protecciones fusibles	36	VERDADERO	25,86	VERDADERO	9,042	77,8	1%	0,0176	4,262	6	6	6			0,6/1	20 x (1x6) + TT	
Caja de protecciones fusibles	Repartidor de corriente	32,76	VERDADERO	27,08	VERDADERO							6		5	25	0,6/1	20 x (1x6)	
Repartidor de corriente	Cuadro principal CC	Tramo 1	93,33	VERDADERO	41,81	VERDADERO	2,4	77,8	1,00%	0,0187	6,003	10	25	16	2	32	0,6/1	2 x (2x25) + TT
		Tramo 2	82,80	VERDADERO	47,71	VERDADERO	4,8	77,8	1,00%	0,0191	12,262	16						
Cuadro principal	Regulador	97	VERDADERO	40,19	VERDADERO	1,2	77,8	0,50%	0,0186	5,968	6	16		1	20	0,6/1	2 x (2x16)	
Regulador	Conector	97	VERDADERO	40,19	VERDADERO	1,2	48	0,50%	0,0186	9,672	10	16		1	20	0,6/1	2 x (2x16)	
Conector	Batería	153	VERDADERO	52,47	VERDADERO	1,2	48	0,50%	0,0194	20,209	25	35		1	20	0,6/1	1 x (2x35)	
Batería	Inversor	243	VERDADERO	46,05	VERDADERO	1,2	48	1,00%	0,0190	14,052	16	70		1	25	0,6/1	1 x (2x70)	
Inversor	Cuadro principal CA	52	VERDADERO	50,58	VERDADERO	1,2	230	1,50%	0,0193	0,461	4	6	6	1	20	0,6/1	1 x (1x6 + 1x6) + TT	
Cuadro Principal CA - Unidad de control	Bomba	Tramo 1	32	VERDADERO	20,68	VERDADERO	9,42	230	1,50%	0,0172	0,298	4	6	6	1	50	0,6/1	1 x (1x6 + 1x6) + TT
		Tramo 2	46,18	VERDADERO	20,33	VERDADERO	61,428	230	1,50%	0,0172	1,941	6					0,6/1	
		Tramo 3					13,2	230	1,50%	0,0158	0,384	4					0,6/1	

Características elementos de protección de la instalación completa

FUSIBLES	Protección	Sección cable (mm ²)	I _z : máxima corriente admisible cable	I _b : corriente de cálculo	Calibre (I _n normalizada)	I _b ≤ I _n ≤ I _z	I ₂
	Fusibles strings	6	36	10,98	16	VERDADERO	25,6
	Fusibles bat - inversor	70	243	166,67	200	VERDADERO	320

FUSIBLES	I ₂ ≤ 1,45 x I _z	I _{cc} (A)	Fabricante	Modelo	Voltaje nominal (V)	PdC (kA)
	VERDADERO	383,71	DF Electric	10x38 mm gPV	1000	30
	VERDADERO	4476,61	DF Electric	NH gPV	1000	30

MAGNETOTÉRMICOS	Protección	Sección cable (mm ²)	I _z : máxima corriente admisible cable	I _b : corriente de cálculo	Calibre (I _n normalizada)	I _b ≤ I _n ≤ I _z	I _{arr} /I _{n_mag}
	Magnetotérmico regulador 1	25	97	54,9	63	VERDADERO	0,871
	Magnetotérmico regulador 2	25	97	54,9	63	VERDADERO	0,871
	Magnetotérmico principal CA	6	52	38,65	40	VERDADERO	0,966
	Magnetotérmico motobomba	6	46,18	5,20	6	VERDADERO	0,867

MAGNETOTÉRMICOS	Curva	I _{mag,min} (A)	I _{mag,max} (A)	I _{cc} (A)	Fabricante	Voltaje nominal (V)	Polos	PdC (kA)
	B	189	315	1598,79	Legrand	400 Vdc	2P	25
	B	189	315	1598,79	Legrand	400 Vdc	2P	25
	B	120	200	383,71	Legrand	230 Vac	1P + N	10
	B	18	30	383,71	Legrand	230 Vac	1P + N	10

DESCARGADOR	Protección	V _{oc} circuito (V)	Fabricante	Voltaje nominal (V)	Clase de protección	Corriente máxima de descarga (kA)
	Descargador subcampo 1	94,8	Britec Electric	1500	Tipo 2, Clase II	40
	Descargador subcampo 2	94,8	Britec Electric	1500	Tipo 2, Clase II	40

DIFERENCIAL	Protección	Calibre (I _n normalizada)	Sensibilidad (mA)	Fabricante	Voltaje nominal (V)	Polos	PdC (kA)
	Diferencial motobomba	40	30	MAXGE Electric	230 Vac	1P + N	10

Características componentes del sistema de bombeo solar

Parámetros de cálculo		
Potencia bomba	728	W
Consumo energético diario	4368	kWh
N módulos	4	-
N serie	2	-
N paralelo	2	-
V_{mp}	77,8	V
I_{mp}	20,84	A
V_{oc}	94,8	V
I_{sc}	21,96	A
P_{mp}	1620	W
$P_{inversor}$	873,6	W

Regulador MPPT 150/35		
V_{oc} de FV	150	V
Máxima corriente de carga	35	A
I_{sc}	40	A
Tensión nominal	48	V
Potencia FV a 48V	2000	W

Inversor 48/1200		
Rango tensión entrada V_{cc}	36,8 - 62	V
Tensión de salida V_{ca}	230	V
Potencia continua de salida a 25°C	1000	W
Potencia continua de salida a 40°C	850	W
Pico de potencia	2200	W

Parámetros dimensionado de cableado para el sistema de bombeo solar

Salida caja repartidor	
Criterio corriente máxima	
I max I _{sc} (A)	21,96
Criterio caída de tensión	
L tramo 1 (m)	2,4
L tramo 2 (m)	4,8
I _{cálculo} (A)	20,84
Δv (%)	1%
V _{máxima potencia} (V)	77,8

Cableado regulador	
Criterio corriente máxima	
I max I _{sc} (A)	21,96
Criterio caída de tensión	
L (m)	1,2
I _{cálculo} (A)	20,84
Δv (%)	1%
V _{máxima potencia} (V)	77, 80

Cableado inversor - CP	
Criterio corriente máxima	
Voltaje AC de salida	230
Potencia máxima (W)	1000
factor de potencia cos ϕ	0,9
I max I _{sc} (A)	4,8
Criterio caída de tensión	
L (m)	1,2
Potencia cálculo (W)	873,6
factor de potencia cos ϕ	0,9
I _{cálculo} (A)	4,2
Δv (%)	2%
V _{máxima potencia} (V)	230

Cableado bomba	
Criterio corriente máxima	
Potencia máxima entrada (W)	1020
Tensión mínima de entrada (V)	200
factor de potencia cos ϕ	1
I nominal (A)	5,2
Criterio caída de tensión	
Potencia punto de trabajo (W)	728
factor de potencia cos ϕ	1
I _{cálculo} (A)	3,17
L tramo 1 (m)	9,42
L tramo 2 (m)	61,4
L tramo 3 (m)	13,2
Δv (%)	1,5%
V _{cálculo} (V)	230

Secciones cableado del sistema de bombeo solar

Cableado		Tipo de conductor	Tipo de montaje	I_calculo (A) Punto de trabajo	Imax_circuito (A) Icortocircuito	125%Imax_circuito (A)	Número de cables	Número de conductores (activos) x cable	Número de conductores activos /multiconductores agrupados	Factor de agrupación	Sección del conductor (mm2)	Imax conductor (A)	Factores de corrección			
Inicio	Final												Temperatura ambiente	Temperatura del terreno	Resistencia térmica terreno	Profundidad de soterramiento
String	Caja de protecciones fusibles	2XLPE	C	10,42	10,98	13,725	4	1	1	1	4	40	0,9	1	1	1
Caja de protecciones fusibles	Repartidor de corriente	2XLPE	C	10,42	10,98	13,725	4	1	4	0,85	6	52	0,9	1	1	1
Repartidor de corriente	Cuadro principal CC	Tramo 1	C	20,84	21,96	27,45	1	2	1	1	6	52	0,9	1	1	1
		Tramo 2	B1	20,84	21,96	27,45	1	2	1	1	6	49	0,9	1	1	1
Cuadro principal	Regulador	2XLPE	C	20,84	21,96	27,45	1	2	1	1	6	52	1	1	1	1
Regulador	Inversor	2XLPE	C	18,2	20,83	26,04	1	2	1	1	6	52	1	1	1	1
Inversor	Cuadro principal CA	2XLPE	C	4,22	4,83	6,038	1	2	1	1	4	40	1	1	1	1
Cuadro Principal CA - Unidad de control	Bomba	Tramo 1	B2	3,17	5,2	6,5	1	2	1	1	4	32	1	1	1	1
		Tramo 2	D	3,17	5,2	6,5	1	2	1	1	6	66	0,83	0,88	0,93	1,03
		Tramo 3	Sumergido	3,17	5,2											

Cableado		Imax corregida (A)	Comprobación intensidad	Temperatura del conductor (°C)	Comprobación temperatua	Longitud (m)	Vmax_potencia (A)	ΔU admisible	Resistividad (Ω-mm2/m)	Sección ΔUmax (mm2)	Sección normalizada (mm2)	Sección (mm2)	Cable de protección (mm2)	Número de conductores x tubo	φ tubo (mm)	Tensión asignada cable (kV)	Composición del cable (mm2)
Inicio	Final																
String	Caja de protecciones fusibles	36	VERDADERO	25,86	VERDADERO	9,042	77,8	1%	0,0176	4,262	6	6	6			0,6/1	4 x (1x6) + TT
Caja de protecciones fusibles	Repartidor de corriente	39,78	VERDADERO	24,80	VERDADERO							6		4	25	0,6/1	4 x (1x6)
Repartidor de corriente	principal CC	Tramo 1	46,8	VERDADERO	33,88	VERDADERO	2,4	77,8	1,00%	0,0181	2,332	4	6	1	16	0,6/1	1 x (2x6) + TT
		Tramo 2	44,10	VERDADERO	35,63	VERDADERO	4,8	77,8	1,00%	0,0183	4,695	6					
Cuadro principal	Regulador	52	VERDADERO	31,24	VERDADERO	1,2	77,8	0,50%	0,0180	2,309	4	6		1	16	0,6/1	1 x (2x6)
Regulador	Inversor	52	VERDADERO	28,58	VERDADERO	1,2	48	1,00%	0,0178	1,618	4	6		1	16	0,6/1	1 x (2x6)
Inversor	Cuadro principal CA	40	VERDADERO	20,78	VERDADERO	1,2	230	1,50%	0,0173	0,051	4	4	4	1	16	0,6/1	1 x (1x4 + 1x4) + TT
Cuadro Principal CA - Unidad de control	Bomba	Tramo 1	32	VERDADERO	20,68	VERDADERO	9,42	230	1,50%	0,0172	0,298	4	6	1	50		0,6/1
		Tramo 2	46,18	VERDADERO	20,33	VERDADERO	61,428	230	1,50%	0,0172	1,941	6					0,6/1
		Tramo 3					13,2	230	1,50%	0,0158	0,384	4					0,6/1

Características elementos de protección del sistema de bombeo solar

FUSIBLES	Protección	Sección cable (mm2)	Iz: máxima corriente admisible cable	Ib: corriente de cálculo	Calibre (In normalizada)	Ib ≤ In ≤ Iz	I2
	Fusibles strings	6	36	10,98	16	VERDADERO	25,6

FUSIBLES	I2 ≤ 1,45 x Iz	Icc (A)	Fabricante	Modelo	Voltaje nominal (V)	PdC (kA)
	VERDADERO	383,71	DF Electric	10x38 mm gPV	1000	30

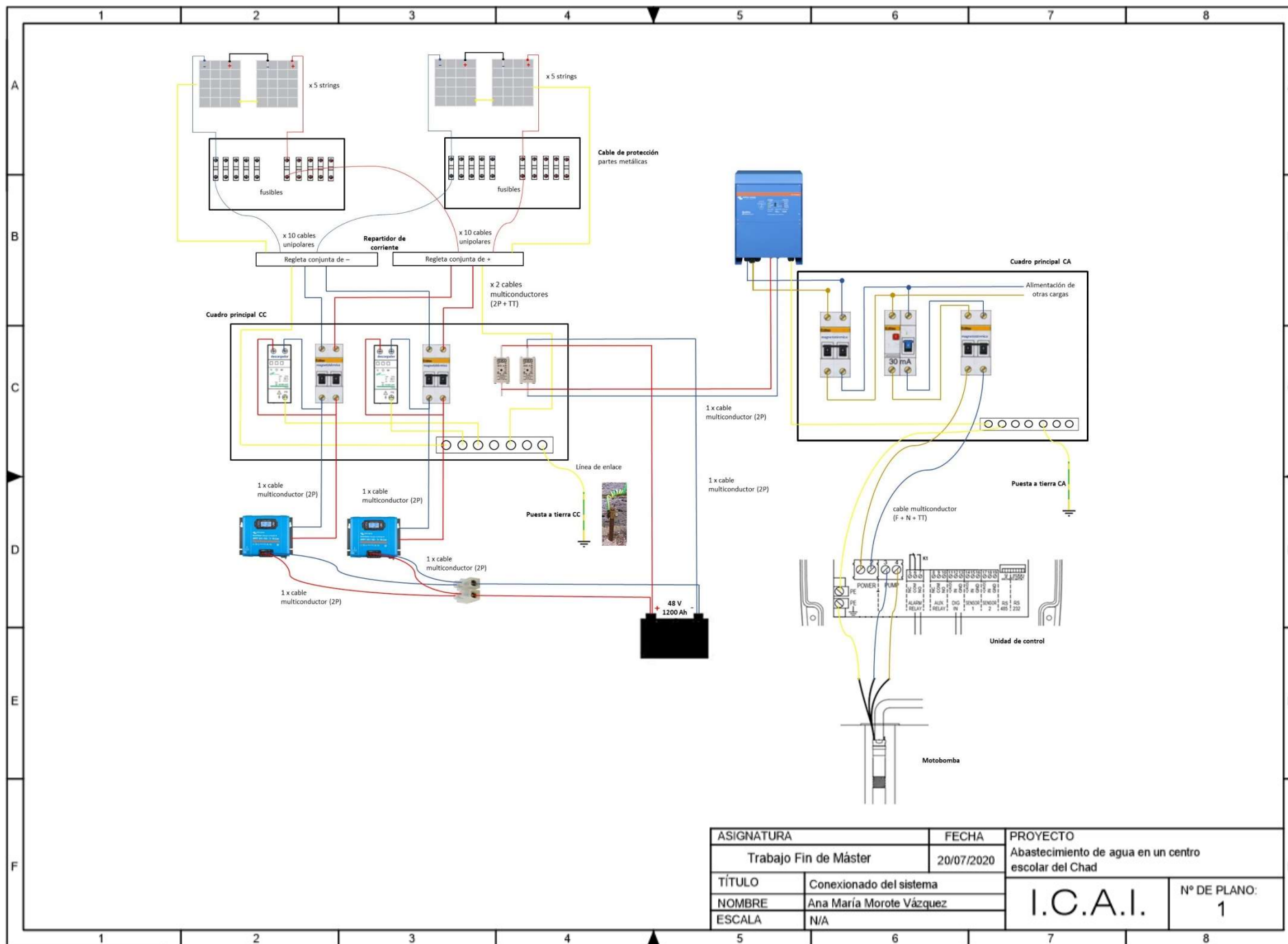
MAGNETOTÉRMICOS	Protección	Sección cable (mm2)	Iz: máxima corriente admisible cable	Ib: corriente de cálculo	Calibre (In normalizada)	Ib ≤ In ≤ Iz	Iarr/I _{n_mag}
	Magnetotérmico regulador	6	52	21,96	40	VERDADERO	0,549
	Magnetotérmico principal CA	4	40	4,83	16	VERDADERO	0,302
	Magnetotérmico motobomba	6	32	5,20	6	VERDADERO	0,867

MAGNETOTÉRMICOS	Curva	I _{mag.min} (A)	I _{mag.max} (A)	Icc (A)	Fabricante	Voltaje nominal (V)	Polos	PdC (kA)
	B	120	200	383,71	Legrand	400 Vdc	2P	25
	B	48	80	255,81	Legrand	230 Vac	1P + N	10
	B	18	30	383,71	Legrand	230 Vac	1P + N	10

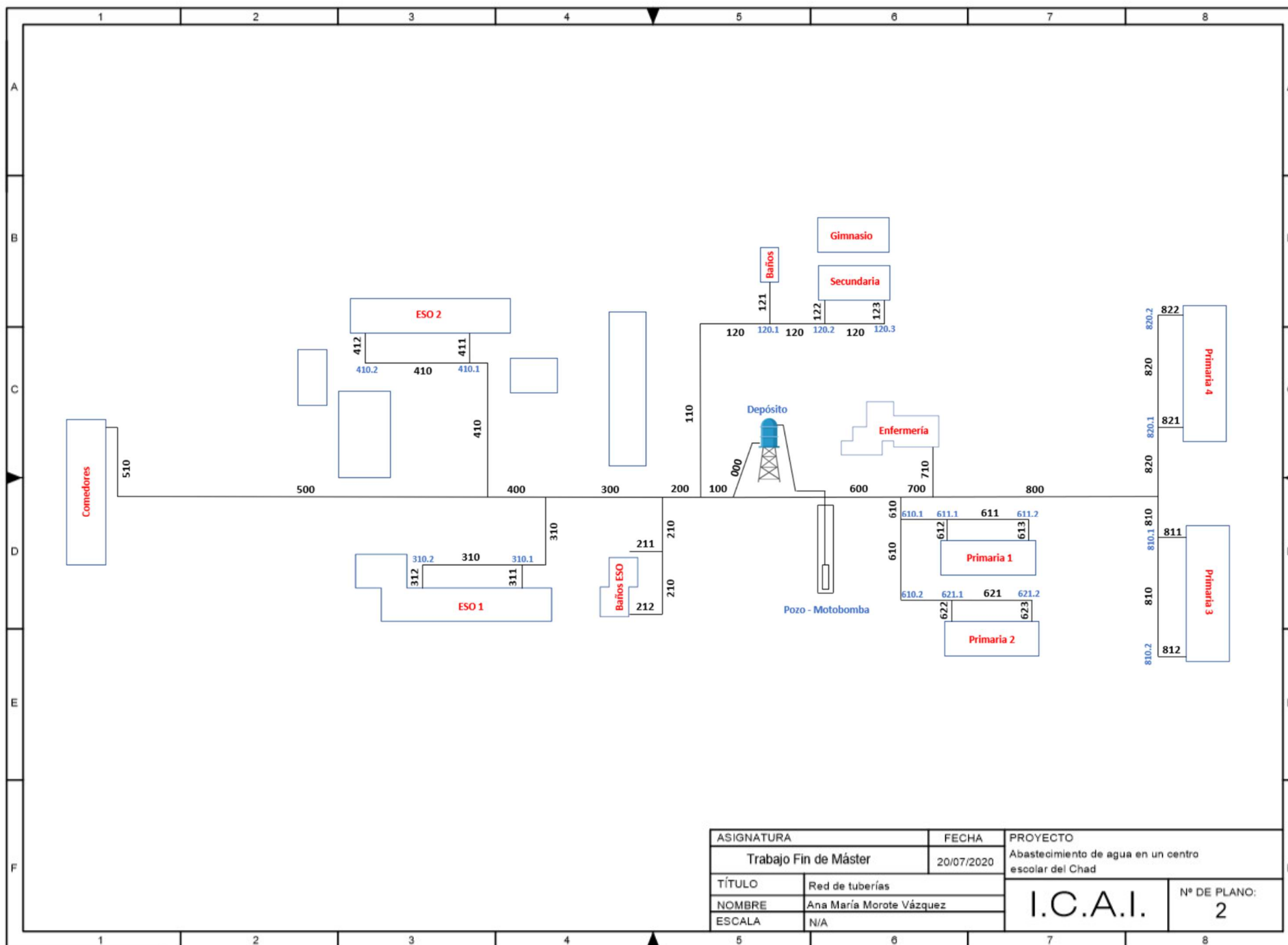
DESCARGADOR	Protección	Voc circuito (V)	Fabricante	Voltaje nominal (V)	Clase de protección	Corriente máxima de descarga (kA)
	Descargador subcampo	94,8	Britec Electric	1500	Tipo 2, Clase II	40

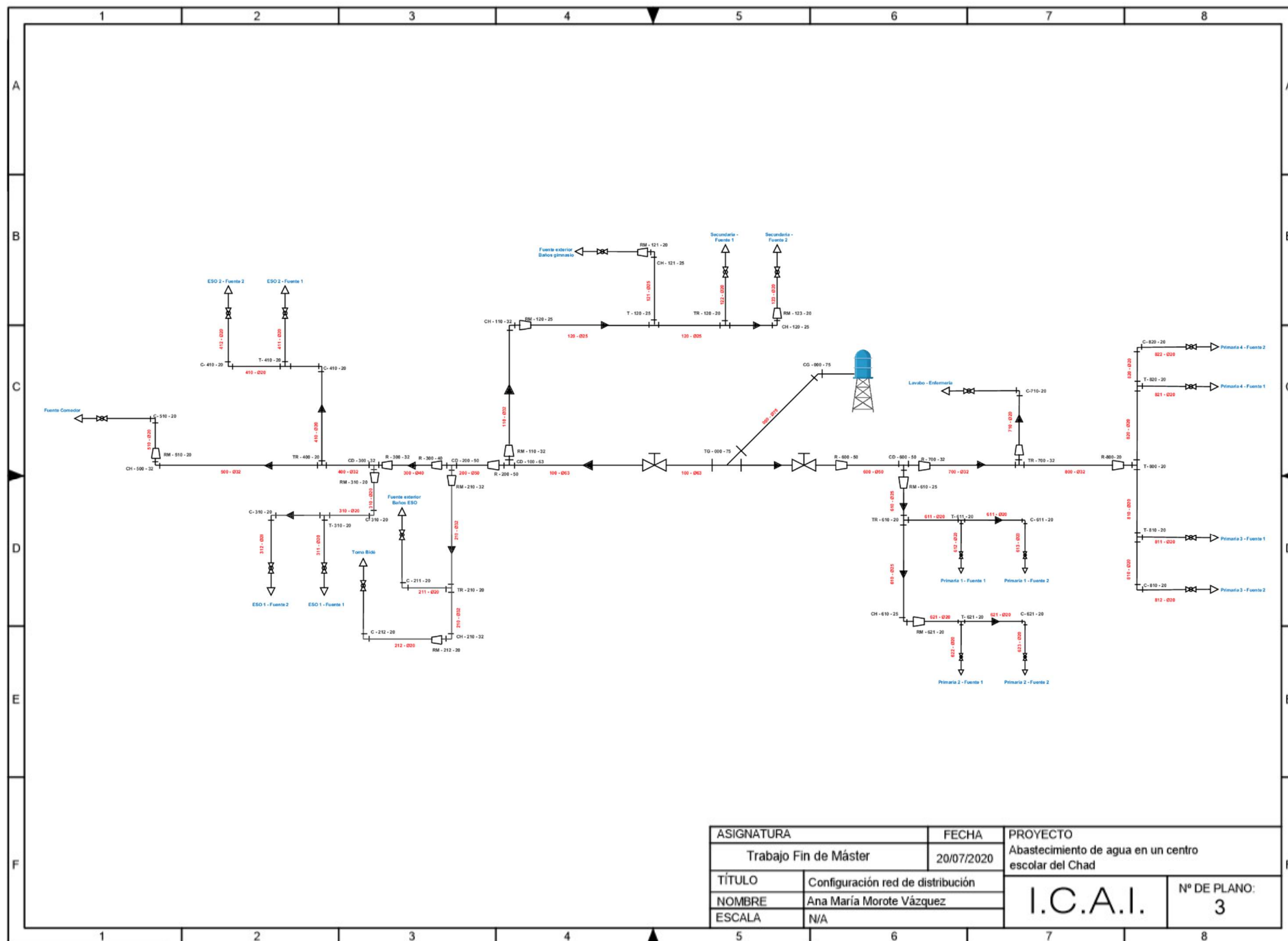
DIFERENCIAL	Protección	Calibre (In normalizada)	Sensibilidad (mA)	Fabricante	Voltaje nominal (V)	Polos	PdC (kA)
	Diferencial motobomba	40	30	MAXGE Electric	230 Vac	1P + N	10

PARTE IV. PLANOS

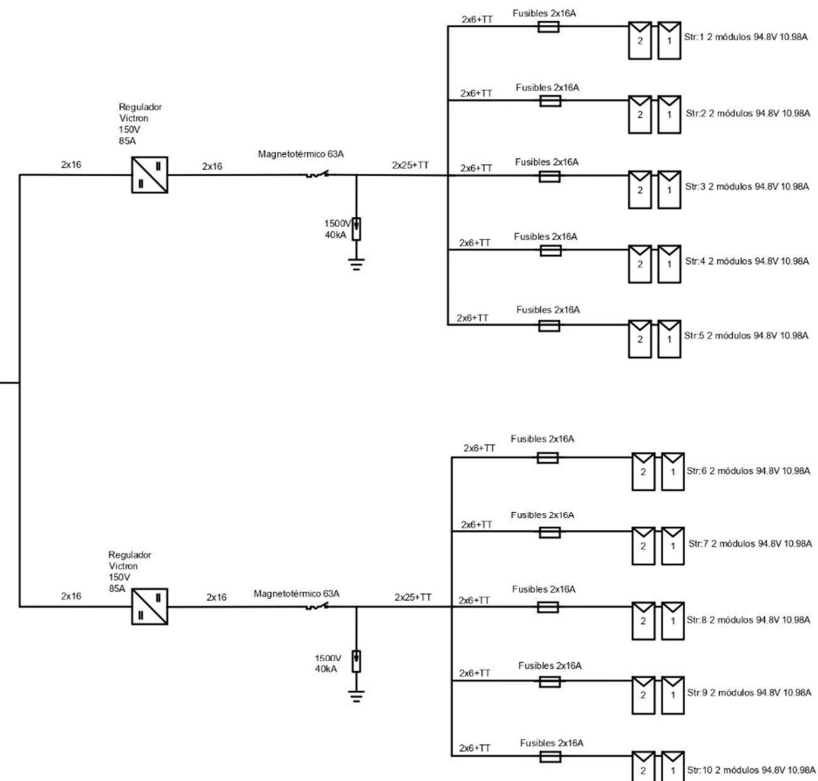
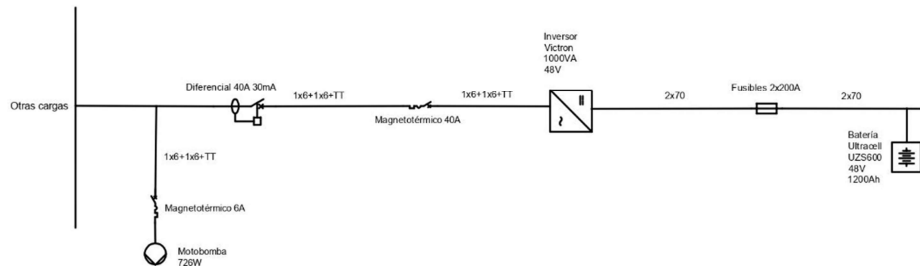


ASIGNATURA		FECHA	PROYECTO	
Trabajo Fin de Máster		20/07/2020	Abastecimiento de agua en un centro escolar del Chad	
TÍTULO	Conexionado del sistema		I.C.A.I.	Nº DE PLANO: 1
NOMBRE	Ana María Morote Vázquez			
ESCALA	N/A			





Leyenda de símbolos	
	Módulo fotovoltaico
	Inversor
	Magnetotérmico
	Descargador de sobretensiones
	Tierra
	Regulador de tensión
	Batería
	Fusible
	Motobomba



ASIGNATURA		FECHA	PROYECTO	
Trabajo Fin de Máster		20/07/2020	Abastecimiento de agua en un centro escolar del Chad	
TÍTULO	Unificar instalación eléctrica		I.C.A.I.	Nº DE PLANO: 4
NOMBRE	Ana María Morote Vázquez			
ESCALA	N/A			

Leyenda

1. Comedor
2. Cocina
3. Edificios ESO
4. Dirección
5. Baños ESO
6. Enfermería
7. Gimnasio
8. Baños gimnasio
9. Edificio secundaria
10. Edificios primaria



ASIGNATURA		FECHA	PROYECTO	
Trabajo Fin de Máster		20/07/2020	Abastecimiento de agua en un centro escolar del Chad	
TÍTULO	Ubicación edificios del colegio		I.C.A.I.	Nº DE PLANO: 5
NOMBRE	Ana María Morote Vázquez			
ESCALA	N/A			



ASIGNATURA		FECHA	PROYECTO	
Trabajo Fin de Máster		20/07/2020	Abastecimiento de agua en un centro escolar del Chad	
TÍTULO	Vista en planta del colegio		I.C.A.I.	Nº DE PLANO: 6
NOMBRE	Ana María Morote Vázquez			
ESCALA	1:20			

