



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

**TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

**ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE ENERGÍAS  
RENOVABLES EN PROYECTOS DE  
COOPERACIÓN AL DESARROLLO.  
APLICACIÓN A UNA ESCUELA Y  
DISPENSARIO MÉDICO EN LA REPÚBLICA  
DEMOCRÁTICA DEL CONGO**

AUTOR: MIGUEL VIDAL CASTELLÓ

TUTOR: SERGIO GALLARDO BERMELL

COTUTOR: RICARDO SANCHIS ARNAL

**Curso Académico: 2015-16**



## AGRADECIMIENTOS

*A mi familia, por paciencia.  
A mis tutores, por la ayuda.  
Y a mis compañeros, por el apoyo.*

## **RESUMEN**

El Trabajo Fin de Grado se enmarca en el ámbito de los proyectos de Cooperación al Desarrollo. Consiste en un estudio de viabilidad técnica y económica de diferentes fuentes de energía renovable para abastecer de electricidad y agua un conjunto de edificaciones en la República Democrática del Congo. En concreto, estas edificaciones son un colegio de primaria y secundaria, un dispensario médico y una sala polivalente.

En este contexto, se llevan a cabo los cálculos y diseños de instalaciones diferentes que permitan abastecer estas edificaciones. Se dispone de un grupo electrógeno y un pozo. El objetivo principal es suministrar electricidad, agua potable y agua caliente sanitaria mediante energías renovables. También se estudia la posible utilización de energía solar pasiva para la ventilación de las estancias. Para realizar el cálculo y diseño se ha seguido fundamentalmente normativa europea, intentándola adaptar al contexto del trabajo desde el punto de vista de la cooperación al desarrollo.

El presupuesto se ha elaborado con precios del mercado español y se ha aplicado el I.V.A correspondiente a la República Democrática del Congo. Como se supone que este proyecto se llevaría a cabo gracias a la colaboración de ONGs u organizaciones sin ánimo de lucro, se realiza también un análisis de viabilidad económica, para demostrar la rentabilidad de este.



## RESUM

El Treball Fi de Grau s'enmarca en l'àmbit dels projectes de Cooperació al Desenvolupament. Consisteix en un estudi de viabilitat tècnica i econòmica de diferents fonts d'energia renovable, per proveir d'electricitat i aigua un conjunt d'edificacions a la República Democràtica del Congo. En concret, aquestes edificacions són un col·legi de primària i secundària, un dispensari mèdic i una sala polivalent.

En aquest context, es duen a terme els càlculs i dissenys d'instal·lacions diferents que permeten abastir aquestes edificacions. Es disposa d'un grup electrogen i un pou. L'objectiu principal és subministrar electricitat, aigua potable i aigua calenta sanitària mitjançant energies renovables. També s'estudia la possible utilització d'energia solar passiva per a la ventilació de les estances. Per realitzar el càlcul i disseny s'ha seguit fonamentalment normativa europea, intentant-la adaptar al context del treball des del punt de vista de la cooperació al desenvolupament.

El pressupost s'ha elaborat amb preus del mercat espanyol i s'ha aplicat l'I.V.A corresponent a la República Democràtica del Congo. Com es suposa que aquest projecte es duria a terme gràcies a la col·laboració d'ONGs o organitzacions sense ànim de lucre, es realitza també una anàlisi de viabilitat econòmica, per demostrar la rendibilitat d'aquest.



## **ABSTRACT**

The Degree Final Dissertation (DFD) is in the field of Development Cooperation projects. It is a study of technical and economic feasibility of different sources of renewable energy for electricity and water supply for a set of buildings in the Democratic Republic of Congo. These buildings are a primary and secondary school, medical center and a multipurpose room.

In this context, there has been carried out calculations and designs of different structures for supplying the buildings facilities. It has a power unit and a water well. The main objective is to provide electricity, potable water and hot water using renewable energy. The possible use of passive solar energy for ventilation of the rooms is also studied. To perform the calculation and design has followed essentially European standard, trying to adapt it to the context of work from the point of view of development cooperation.

The budget has been prepared with Spanish market prices has applied the corresponding VAT of the Democratic Republic of Congo. As it is supposed that this project would be carried out by charity organization. It is also done an analysis of economic viability, to demonstrate the profitability of this.

## DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFG:

- I. Memoria
- II. Presupuestos
- III. Planos

I. Memoria.....	1
1. Objetivos del TFG.....	3
2. Justificación.....	3
3. Relevancia de la cooperación al desarrollo y las energías renovables.....	4
4. Kinshasa, República Democrática del Congo.....	6
4.1. Contextos generales.....	6
4.2. Climatología.....	8
4.3. Situación actual.....	9
5. Instalación de agua potable.....	12
5.1. Estimación del consumo.....	14
5.2. Dimensionado de las conducciones.....	15
5.3. Cálculo de Pérdidas de carga.....	19
5.4. Selección de bomba.....	20
5.5. Punto de funcionamiento del sistema.....	21
6. Agua Caliente Sanitaria (ACS).....	25
6.1. Estimación del consumo y volumen del acumulador.....	26
6.2. Demanda de energía térmica.....	27
6.3. Superficie de captación.....	28
6.4. Fracción solar.....	30
6.5. Diseño de la instalación.....	33
7. Aplicaciones fotovoltaicas.....	36
7.1. Instalación fotovoltaica para bombeo.....	39
7.2. Instalación fotovoltaica para consumo eléctrico del dispensario.....	43
8. Instalación eólica.....	49
8.1. Generalidades.....	49
8.2. Aerogeneradores.....	50
8.3. Caracterización de la función Weibull.....	52

Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

---

8.4. Potencia eólica.....	53
9. Instalación solar pasiva .....	57
10. Consideraciones económicas del proyecto.....	62
11. Conclusiones .....	64
12. Bibliografía .....	65
<b>II. Presupuesto .....</b>	<b>69</b>
Instalación de agua potable .....	71
Agua Caliente Sanitaria (ACS).....	71
Instalación fotovoltaica para bombeo .....	72
Instalación fotovoltaica para consumo eléctrico del dispensario.....	73
Presupuesto de Ejecución Material (PEM).....	74
Presupuesto de Ejecución por Contrata.....	74
<b>III. Planos .....</b>	<b>75</b>
Plano Planta Distribución Parcela .....	77
Plano Instalación hidráulica.....	78
Plano ACS.....	79
Plano Instalación fotovoltaica .....	80

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Velocidad del viento en m/s.....	9
Tabla 2- Demanda de agua CTE.....	14
Tabla 3 - Demanda de agua para consumo humano.....	15
Tabla 4 - Demanda de agua a cubrir.....	15
Tabla 5: Tabla resumen datos tramo a.....	16
Tabla 6: Resumen resultados cálculo diámetros.....	18
Tabla 7: Resumen resultados pérdidas de carga .....	19
Tabla 8: Resuemn opciones bombeo. a .....	20
Tabla 9: Valores constantes .....	21
Tabla 10: coste de la bomba .....	23
Tabla 11: Resumen tuberías.....	23
Tabla 12: Resumen bomba.....	24
Tabla 13: Datos geográficos y climatológicos para ACS.....	25
Tabla 14: Datos temperatura e irradiación .....	26
Tabla 15: Demanda de agua a cubrir.....	26
Tabla 16: Demanda de agua a cubrir.....	27
Tabla 17: Resumen datos irradiación .....	27
Tabla 18: Resumen cálculos demanda energética .....	28
Tabla 19: Resumen superficie captadores recomendada .....	29
Tabla 20: Datos captador Saclima modelo E-21.....	30
Tabla 21: Datos cálculo fracción solar .....	31
Tabla 22: Resumen fracción solar y rendimiento.....	31
Tabla 23: Datos panel fotovoltaico .....	36
Tabla 24: Datos irradiación.....	37
Tabla 25: Resumen número de módulos fotovoltaicos. ....	39
Tabla 26: Configuración paneles, opción A. ....	40
Tabla 27: Configuración paneles, opción B. ....	40
Tabla 28: Configuración paneles, opción C. ....	41
Tabla 29: Resumen baterías fotovoltaica bombeo .....	42
Tabla 30: Estudio inversor/Variador frecuencia.....	42
Tabla 31: Resumen iluminación .....	44
Tabla 32: Potencia elementos dispensario.....	45
Tabla 33: Número módulos.....	45
Tabla 34: Opción A .....	46
Tabla 35: Opción B.....	46
Tabla 36: Opción C .....	47
Tabla 37: Velocidad del viento en m/s .....	49
Tabla 38: Resumen aerogeneradores, parte 1.....	55
Tabla 39: Resumen aerogeneradores, parte 2.....	56
Tabla 40: Resumen aerogeneradores, parte 3.....	56



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Congo, R.D. ....	6
Figura 2: Kinshasa ....	6
Figura 3: Climograma ....	9
Figura 4: localización parcela ....	10
Figura 5: Colegio en construcción ....	10
Figura 6: Distribución escuela, grifos, tanques y generador. Dispensario en construcción ....	11
Figura 7: Pozo y grifo escuela ....	11
Figura 8: Esquema pozo y depósitos ....	12
Figura 9: Esquema pozo y depósitos ....	13
Figura 10: Patrones de demanda ....	13
Figura 11: Características bomba ....	21
Figura 13: Caudales trasegados.....	22
Figura 15: Captador solar ....	30
Figura 16: Comparación ahorro/necesidades ....	32
Figura 17: Comparación Rendimiento/CTE ....	33
Figura 18: Esquema instalación ACS.....	34
Figura 19: Circulador solar SB-5 Y y curva de potencia ....	34
Figura 20: Esquema final alzado ACS.....	35
Figura 21: Esquema final planta ACS ....	35
Figura 22: Panel solar Atersa Optimum ....	37
Figura 23: Opción A.1 ....	40
Figura 24: Opción B.1 ....	40
Figura 25: Opción C.1 ....	41
Figura 29: Opción A.2 ....	46
Figura 30: Opción B.2 ....	46
Figura 31: Opción C.2 ....	47
Figura 34: Bornay 25.2+ ....	50
Figura 35: Bornay 25.3+ ....	50
Figura 36: ENAIR30.....	51
Figura 37: Ecosolar aereo 1000 ....	51
Figura 38: Función Weibull.....	53
Figura 39: Refrigeración por generación de corrientes.....	57
Figura 40: Coeficientes de sombras 1 ....	58
Figura 41: Coeficientes de sombras 2 ....	59
Figura 42: Coeficientes de sombras 3 ....	59
Figura 43: Coeficientes de sombras 4 ....	60
Figura 44. Vista persiana abatible ....	61
Figura 45: Tiempo de retorno de la inversión.....	63

# I. Memoria



## 1. Objetivos del TFG

El presente Trabajo Final de Grado (TFG) se encuentra en el ámbito de los proyectos de cooperación al desarrollo, el cálculo y diseño de sistemas de aprovechamiento de energías renovables en una escuela y un dispensario médico en Kinshasa, República Democrática del Congo.

Los proyectos de cooperación al desarrollo sólo resultan satisfactorios desde una doble perspectiva, técnica y social. Por lo que para su realización se ha buscado información en Organizaciones No Gubernamentales (ONG) y otros tipos de organizaciones sociales sin ánimo de lucro. Pero hay que tener presente que el objeto principal de este proyecto es el diseño de un suministro energético, por eso se hará más hincapié en la parte técnica. Para ello se han fijado una serie de objetivos específicos:

- I. Mostrar la importancia de la cooperación al desarrollo y las energías renovables.
- II. Proporcionar una perspectiva global de la situación del país.
- III. Cálculo y selección de un sistema de bombeo solar fotovoltaico, desde la extracción del agua del pozo hasta su lugar de consumo.
- IV. Cálculo y selección de un colector solar plano para la producción de agua caliente sanitaria.
- V. Cálculo y diseño de una instalación solar fotovoltaica aislada, para dar servicio eléctrico al dispensario médico y al sistema de bombeo.
- VI. Cálculo y selección de un aerogenerador como alternativa a la instalación solar fotovoltaica.
- VII. Diseño de una instalación solar pasiva.
- VIII. Evaluar cuál es la mejor opción de producción de energía de entre las alternativas: instalación fotovoltaica, eólica o grupo electrógeno.
- IX. Elección de la alternativa más económica para el suministro eléctrico.

## 2. Justificación

La elaboración de este TFG supone la finalización de los estudios del grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales (GITI), realizado entre 2010-2016. Se trata de un TFG tutorizado por D. Sergio Gallardo Bermell y por D. Ricardo Sanchís Arnal, ambos profesores del Departamento de Ingeniería Química y Nuclear.

### 3. Relevancia de la cooperación al desarrollo y las energías renovables

Actualmente, dos mil millones de personas en el mundo viven sin acceso a la energía eléctrica. Por lo general, este problema afecta a poblaciones pobres, especialmente ubicadas en zonas rurales, en las que se quema leña o biomasa para cocinar, calentarse o iluminar. A pesar de que estos tipos de combustibles son poco costosos, el hecho de utilizarlos conlleva una serie de desventajas. Uno de los más considerables es la contaminación del aire en el interior de las viviendas, lo que provoca problemas respiratorios y la consecuente muerte de miles de personas, especialmente niños menores de 5 años.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) los contaminantes del aire y las emisiones de biomasa y carbón quemados causan la muerte de 1.6 millones de personas al año, un número significativamente mayor que el de muertes atribuidas a la malaria.

Existe una estrecha relación entre el consumo energético y la mejora de los indicadores de pobreza, salud, educación, etc. Ahora bien, en términos de sostenibilidad, se debe asumir que el acceso a la energía y su consumo debe ser respetuoso con el medio ambiente y con las personas que habitan en cada entorno.

En este aspecto, la utilización de energías renovables en las zonas en vías de desarrollo, es un elemento clave para satisfacer algunas de las necesidades básicas del ser humano. A continuación, se muestra de qué manera puede repercutir en algunos de los factores básicos de bienestar:

- **Lucha Contra la pobreza:** Las energías y sistemas convencionales tienen riesgos asociados. Estos están directamente relacionados con la volatilidad de precios, inestabilidad económica y socio-política o seguridad. Muchas de las naciones en vías de desarrollo son exportadoras de petróleo y carbón, y por tanto quedan expuestas a la volatilidad de los mercados. Además, la exportación de combustibles fósiles no siempre repercute de manera positiva a la economía nacional.
- **Salud e higiene:** Se hace posible la conservación y refrigeración de medicamentos, esterilización de equipos y la gestión segura de desechos médicos. Además, el hecho de iluminar un centro de salud posibilita la atención médica de calidad a cualquier hora del día.
- **Promover el papel de la mujer:** En países en vías de desarrollo son las mujeres, generalmente, las responsables de obtener los recursos necesarios para el bienestar de sus familias y comunidades, como puede ser el agua potable o el combustible para cocinar. De esta manera, sacrifican la oportunidad de educarse y obtener un empleo potencialmente remunerado. Una mejor educación para las mujeres, así como unos ingresos más elevados para el hogar son factores poderosos para reducir el número de hijos nacidos por debajo del umbral de la pobreza.
- **Educación:** Al garantizar la distribución de energía eléctrica tanto en escuelas como viviendas se contribuye a modificar las prioridades de las actividades sociales. Al igual que muchas mujeres, los niños se ven obligados a emplear gran parte de su tiempo para conseguir leña o agua para subsistir.



### Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

---

Por otra parte, la calidad de educación en las aulas mejoraría considerablemente gracias la posibilidad de utilizar tecnologías más modernas.

- Sostenibilidad del medio ambiente: A grandes rasgos, el uso de combustibles fósiles en general lleva implícito un efecto contaminante y contribuye directamente al efecto invernadero y la lluvia ácida. Por otra parte, el uso no sostenible de leña es un factor que contribuye a la desertificación.

## 4. Kinshasa, República Democrática del Congo

### 4.1. Contextos generales

La República Democrática del Congo es un país situado en África central, en la zona de los grandes lagos de África. Es el tercer país más grande del continente y limita con la República Centroafricana y Sudán al norte, Uganda, Ruanda, Burundi, y Tanzania al este, Zambia y Angola al sur, y la República del Congo al oeste. Tiene acceso al mar a través de una estrecha franja de 40 km de costa, siguiendo el Río Congo hasta el Golfo de Guinea.



Figura 1: Congo, R.D. Fuente: Google Imágenes

El municipio de Nsele está situado al este de la ciudad de Kinshasa, capital del país. Localizado sobre el río Epónimo y a lo largo del paseo Lubumba que se prolonga hacia los municipios de Bandundu y el Kasai. Es un municipio esencialmente rural, como su vecina Maluku al otro lado del río Nsele.



Figura 2: Kinshasa Fuente: Google Maps

El barrio de Mpsa IV está situado en el distrito de Tshangu, en el municipio mencionado con anterioridad. Aunque forma parte de la capital está en la periferia, o zona peri urbana, lo que genera que esta carezca de muchos servicios. Así mismo es una zona que se ha súper poblado en los últimos años como consecuencia de la migración interna del campo a la ciudad.

El país cuenta con una población estimada de 77433744 habitantes de los que un 34.3 % son urbanos y tiene una superficie de 2345410 km<sup>2</sup> de los que el Río Muni ocupa 26000 km<sup>2</sup>. La tasa de crecimiento

## Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

---

de la población de los últimos 10 años se situaba por encima del 3% pero en los últimos años ha descendido al 2.5 %. Este rápido crecimiento demográfico tiene como consecuencia la carencia de infraestructura (por ejemplo, escuelas, hospitales, vivienda, carreteras), recursos (por ejemplo, alimentos, agua, electricidad), y empleo. (CIA factbook, 2014)

La República Democrática del Congo posee una gran diversidad cultural, reflejo de los cientos de etnias y de las distintas formas de vivir en el país; desde la desembocadura del río Congo en la costa, pasando por la selva y la sabana en el centro, a las muy densamente pobladas montañas al este. Desde el siglo XIX, las formas de vida tradicionales han sufrido cambios a causa del colonialismo, la lucha por la independencia, la dictadura de Mobutu y más recientemente la Primera y Segunda Guerra del Congo. A pesar de los conflictos, los usos y costumbres de la cultura del Congo han logrado mantener su identidad. Los más de 70 millones de habitantes viven prácticamente en un entorno rural.

La economía del Congo, R.D. ha decaído drásticamente desde la mitad de la década de 1980. Los dos conflictos recientes (La Primera y Segunda Guerra del Congo), que comenzaron en 1996, han reducido los egresos e ingresos nacionales, incrementando su deuda externa. Actualmente, la República Democrática del Congo es el país más pobre del continente africano, con un PBI Per Cápita de 430 €.

El comercio exterior ha reducido sus operaciones debido a la incertidumbre causada por el creciente conflicto, ausencia de infraestructuras y la dificultad para operar en un ambiente hostil. La guerra ha intensificado el impacto de problemas básicos tales como el dudoso marco legal, la corrupción, la inflación y la ausencia de apertura en el gobierno en la política económica y operaciones financieras. (CIA factbook)

El sistema educativo en la República Democrática del Congo se rige por la ley 25/95 de 17 de noviembre de 1995. Esta ley estipula el derecho a la educación garantizando la igualdad de acceso a la educación y la formación profesional.

Debido a la situación económica por la que pasa el país, los maestros y profesores son remunerados con sueldos bajos. Se ha instaurado el sistema de “prima de motivación” los alumnos pagan mensualmente la prima o complemento por la enseñanza recibida. Esta situación de compensación económica de los maestros marginaliza gran parte de la población infantil en periodo de escolarización. La incapacidad de los padres de familia de pagar esta prima, hace que la huida/ausencia escolar llegue, en algunas zonas del país, a un 30%. (CIA factbook)

El sistema educativo en la República Democrática del Congo se compone de cuatro niveles:

- Escuela de párvulos (Kindergarten) no obligatoria
- Ecolè primaire (escuela primaria)
- Ecolè secondaire (Escuela Secundaria)
- Universidad y Instituts supérieurs (Educación Superior)



## Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

---

Indicadores remarcables del contexto educativo:

- Alfabetismo adulto: 66.6 %
- Alfabetismo adulto masculino: 80 %
- Alfabetismo adulto femenino: 52 %
- Matriculación bruta en enseñanza terciaria: 5 %
- Número de niños por maestro, primaria: 39

Hay inventariadas 242 lenguas habladas en el Congo, R.D. De todas ellas, sólo 4 poseen el estatus de lengua nacional: el ikongo, el lingala, el tshiluba y el swahili. El lingala fue establecido como lengua oficial del ejército bajo la dictadura de Mobutu, pero, desde que el ejército se rebeló, también se usa el swahili en el Oeste. El francés es la lengua oficial del país y se pretende utilizar como un idioma neutral entre los grupos étnicos. Durante el periodo colonial belga, las cuatro lenguas nacionales han sido enseñadas en las escuelas primarias, lo que hizo al país uno de los pocos en poseer literatura en su lengua local durante la ocupación europea en África.

El sistema de salud de la República Democrática del Congo está dividido en tres niveles:

- 1.- Nivel Central. La oficina del Ministro, encargada de establecer la normativa y reglamentos sanitarios.
- 2.- Nivel provincial o intermedio. Realiza funciones técnicas de liderazgo, supervisión y traducción de las directrices, estrategias, políticas...
- 3.- Nivel Periférico. responsable de la aplicación de la estrategia de atención primaria de la salud bajo la supervisión y orientación del nivel Provincial o intermedio.

El país cuenta con 393 Hospitales Generales de Referencia y 8504 Áreas de Salud, de las cuales se prevé que 8266 cuenten con un Centro de Salud.

El Sistema Nacional de Aprovisionamiento de Medicamentos se creó en el 2002 y se basa en la centralización y la descentralización de la distribución de suministros a través de centrales de compra y suministro de medicamentos (CDR). (*CIA factbook*)

De las enfermedades más frecuentes en el país destacan:

- Enfermedades transmitidas por consumo de agua contaminada: Hepatitis A, diarrea bacteriana y protozoal, y fiebre tifoidea.
- Enfermedades transmitidas por insectos: Malaria, tripanosomiasis africana (enfermedad del sueño) y esquistosomiasis.
- Enfermedades zoonóticas: rabia.

### 4.2. Climatología

No hay verano e invierno definidos como tal, pero si se puede diferenciar entre época seca y época de lluvias. Considerándose cómo época seca los meses de junio a agosto y las 2 épocas de lluvias comprenden los meses entre marzo y mayo, y entre septiembre y noviembre. Esto puede apreciarse mejor en la *Figura 3: Climograma*. También puede apreciarse una temperatura media anual que ronda los 25.6 °C y que la variación de temperatura entre los meses lluviosos y los secos no es muy elevada.

Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

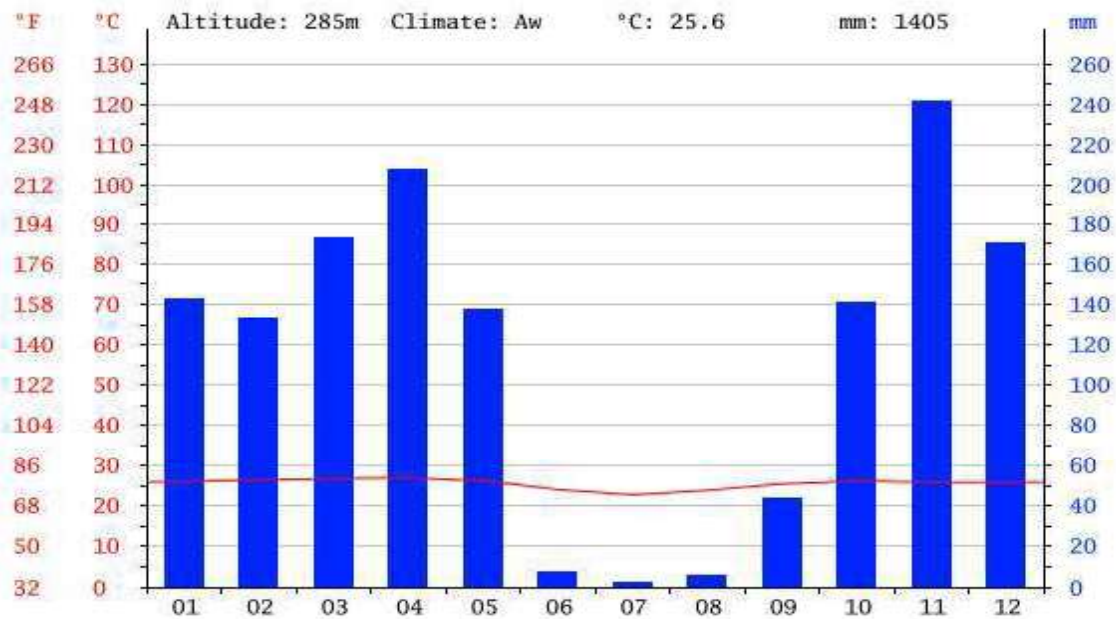


Figura 3: Climograma Fuente: [es.climate-data.org](http://es.climate-data.org)

La humedad relativa media es del 63.5%. La velocidad del viento, expresada en m/s, como se puede apreciar en la *Tabla 1*: Velocidad del viento en m/s tampoco es muy elevada, pues se encuentra cerca de un aeropuerto y estas condiciones son propicias para ese tipo de construcciones.

Tabla 1: Velocidad del viento en m/s Fuente: <http://www.lawebdelasenergiasrenovables.com>

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
2.11	2.39	2.24	2.23	2.29	2.40	2.54	2.73	2.50	2.60	2.43	2.14	2.38

### 4.3. Situación actual

El barrio de Mpasa IV, del municipio de Nsele, al este de la ciudad de Kinshasa. Las coordenadas son:

- LATITUD: 4°21'16.8"S
- LONGITUD: 15°31'08.4"E

En la Figura 4 se puede apreciar la localización más exacta.

Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo



Figura 4: localización parcela Fuente: Google Maps

En la parcela se encuentra una escuela primaria, construida inicialmente y una ampliación posterior para escuela secundaria. En ella se pretende dotar de una educación de calidad a aproximadamente unos 800 niños y niñas del barrio y alrededores, como puede apreciarse en las Figura 5. Además, se encuentra una sala polivalente, cuyo principal uso es reforzar la formación de la población joven de la zona, aprovechándose para impartir clases y talleres de informática, costura, carpintería...



Figura 5: Colegio en construcción Fuente: Fundación Proclade y ONG Korima

También hay un dispensario médico, que proporciona cuidados de salud primaria, además de atención integral, centrada principalmente en el área de maternidad. Allí se espera la visita de cerca de 800 pacientes al mes. A su vez, en el mismo lugar, está la comunidad de misioneras claretianas, propietarias y encargadas de la gestión de las instalaciones.

Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

Escuela, grifos, tanque y generador



Figura 6: Distribución escuela, grifos, tanques y generador. Dispensario en construcción

Fuente: Fundación Proclade y ONG Korima

En las instalaciones se dispone de un pozo de perforación, 3 tanques de agua de 24 m<sup>3</sup>, lo que hace un total de 72 m<sup>3</sup>, que junto a varios grifos y fuentes abastecen de agua al colegio, el dispensario, la comunidad de religiosas y al barrio (en el cual se estiman unos 3000 habitantes). Esto es visible en las Figuras 6 y 7.



Pozo y grifos escuela



Figura 7: Pozo y grifo escuela Fuente: ONG Proclade y ONG Korima

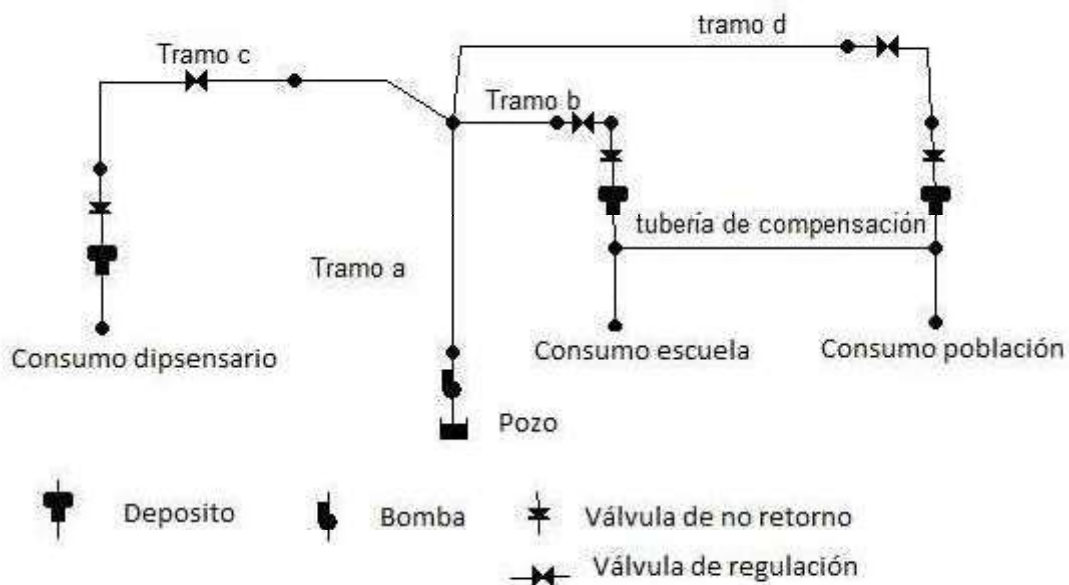
Existe la distribución de energía eléctrica por la Sociedad Nacional de Electricidad (SNEL), pero son pocas las familias que pueden disponer de ella. Así mismo sufre bastantes cortes continuos.

## 5. Instalación de agua potable

En el presente apartado se procede a realizar una estimación del consumo de agua y de las pérdidas de carga de la instalación hidráulica, así como el dimensionado de las canalizaciones y la selección de una bomba adecuada al uso y condiciones pertinentes.

En la *Figura 9*: Esquema pozo y depósitos se puede apreciar un pozo con un nivel freático de 15 m bajo el nivel del suelo. Una bomba sumergida 5 m por debajo del nivel freático. Y 3 depósitos elevados de 24 m<sup>3</sup> cada uno sobre sus respectivas torres de 10 m. Son depósitos cilíndricos con una altura de 5 m y un diámetro de 2'5 m.

El tramo a de canalización mide 35 m y finaliza en un nudo que se bifurca en tres tramos. El tramo b, de 20 m de longitud, llega al depósito más cercano a la escuela. El tramo c, de 70 m, alimenta al depósito situado junto a la clínica, y el tramo d, que son 145 m de tubería, desembocan en el depósito que alimenta a la población. Además, se instala una tubería de compensación entre los depósitos, que abastecen al colegio y a la población, para que este primero ayude en la demanda del segundo, y facilitar así el proceso de bombeo para el llenado de los depósitos.



*Figura 8: Esquema pozo y depósitos Fuente: Elaboración propia*

Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

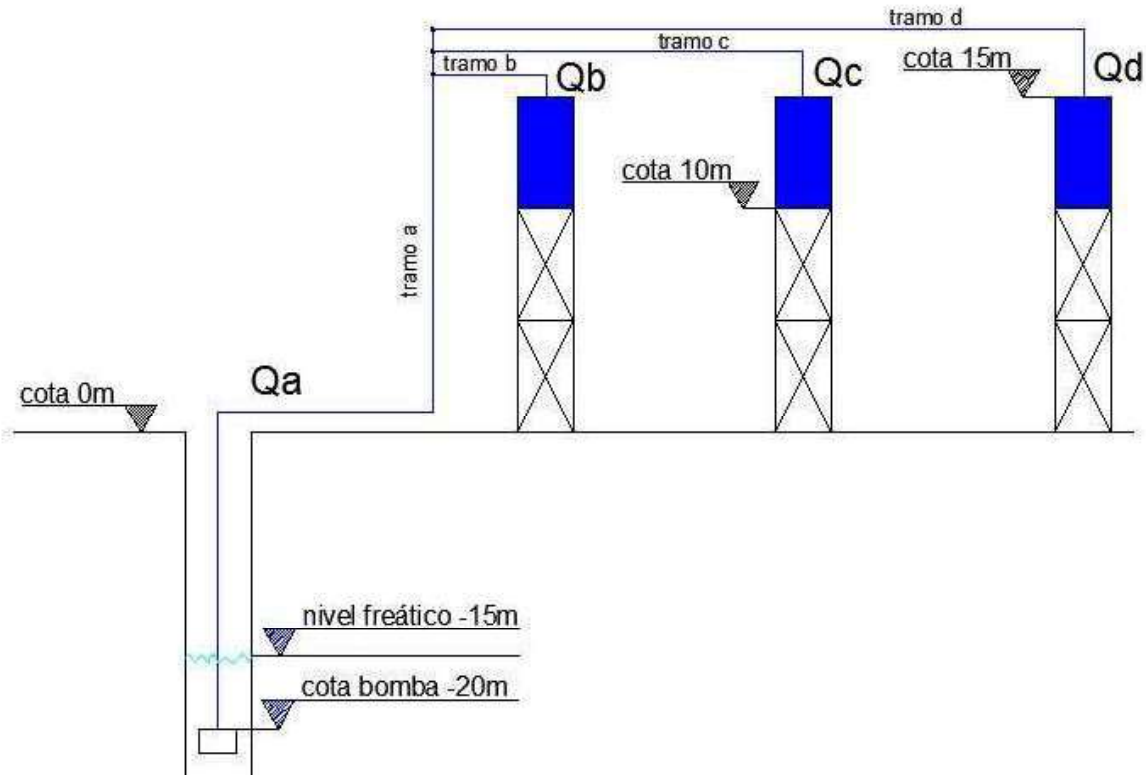


Figura 9: Esquema pozo y depósitos Fuente: Elaboración propia

Utilizando el esquema de la Figura 9 y aplicando los siguientes patrones de demanda estimados Figura 10 se ha simulado la red que se pretende dimensionar a partir de la herramienta Epanet.

Patrones de demanda

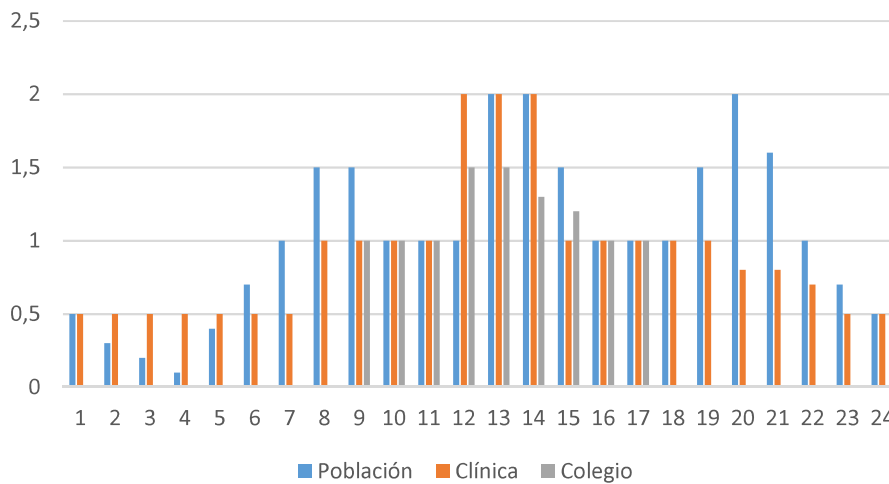


Figura 10: Patrones de demanda Fuente: Epanet

### 5.1. Estimación del consumo

El primer paso para la selección de una bomba es la estimación del caudal de agua que se va a trasegar con ella. Esta estimación se ha realizado a partir de la información obtenida del código técnico de la edificación. El consumo de un colegio sin vestuarios ni duchas es de 4 litros por persona al día, y el del dispensario médico, equivalente al de una clínica, es de 55 litros por persona al día (Tabla 2). Por último, el de la población en general se ha considerado de 30 litros por persona al día, según indica la Tabla 3 (Alonso Abellan, M (2005)).

Tabla 2- Demanda de agua CTE Fuente: CTE

<b>Criterio de demanda</b>	<b>Litros/día-unidad</b>	<b>unidad</b>
Vivienda	28	Por persona
Hospitales y clínicas	55	Por persona
Ambulatorio y centro de salud	41	Por persona
Hotel *****	69	Por persona
Hotel ****	55	Por persona
Hotel ***	41	Por persona
Hotel/hostal **	34	Por persona
Camping	21	Por persona
Hostal/pensión *	28	Por persona
Residencia	41	Por persona
Centro penitenciario	28	Por persona
Albergue	24	Por persona
Vestuarios/Duchas colectivas	21	Por persona
Escuela sin ducha	4	Por persona
Escuela con ducha	21	Por persona
Cuarteles	28	Por persona
Fábricas y talleres	21	Por persona
Oficinas	2	Por persona
Gimnasios	21	Por persona
Restaurantes	8	Por persona
Cafeterías	1	Por persona

Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

Tabla 3 - Demanda de agua para consumo humano Fuente: (Alonso Abellan, M (2005))

Consumo humano			
Por persona	Litros	Servicios	Litros
Mínimo	10	Cada ducha	20
Países Subdesarrollados	30	Bañera llena	120
Países Desarrollados	300	Cisterna	24
		Lavabo lleno	8
		Lavavajillas	16 l/min
		Lavadora	20 l/min
		100 m <sup>2</sup> césped	600

Para estas demandas y la afluencia de personas mencionada previamente se obtienen los cálculos de la Tabla 4.

Tabla 4 - Demanda de agua a cubrir Fuente: Elaboración propia

Mes	Días	COLEGIO (800 pers.)		DISPENSARIO (800 pers.)		POBLACIÓN (3000 pers.)		TOTAL m <sup>3</sup>
		Demanda l/día * p	Demanda mensual m <sup>3</sup>	Demanda l/día * p	Demanda mensual m <sup>3</sup>	Demanda l/día * p	Demanda mensual m <sup>3</sup>	
Enero	31	4	99	55	1364	30	2790	4253
Febrero	28	4	90	55	1232	30	2520	3842
Marzo	31	4	99	55	1364	30	2790	4253
Abril	30	4	96	55	1320	30	2700	4116
Mayo	31	4	99	55	1364	30	2790	4253
Junio	30	4	96	55	1320	30	2700	4116
Julio	31	4	99	55	1364	30	2790	4253
Agosto	31	4	99	55	1364	30	2790	4253
Septiembre	30	4	96	55	1320	30	2700	4116
Octubre	31	4	99	55	1364	30	2790	4253
Noviembre	30	4	96	55	1320	30	2700	4116
Diciembre	31	4	99	55	1364	30	2790	4253

A partir del consumo mensual estimado se obtiene un caudal medio anual de:  $Q = 1.59 \text{ L/s}$ .

## 5.2. Dimensionado de las conducciones.

El material elegido para las conducciones es el polietileno, ya que su montaje es más sencillo en comparación con el PVC. Este requiere que la conducción se entierre para evitar el deterioro prematuro del material, debido a la exposición solar y eso encarecería los costes, cosa que dista de la finalidad de este proyecto.



Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

En el cálculo, se ha tenido en cuenta tanto las pérdidas de carga por rozamiento como las pérdidas singulares. Estas últimas se han tenido en cuenta, mayorando un 10% las pérdidas de carga por rozamiento, según recomienda la bibliografía (MOTT, 2015).

A continuación, se presenta la Tabla 5 a modo de resumen de los datos de partida para estos cálculos.

Tabla 5: Tabla resumen datos tramo a Fuente: Elaboración propia

Q=	1.59	l/s
Le=	38.5	m
k=	0,1	mm
Z1=	5	m
P1=	0	m
H1=	5	m
HB=	45	m
Z2=	55	m
P2=	0	
H2=	55	m
Hr1-2=	5	m

La ecuación utilizada para obtener los datos no conocidos (Hr1-2) es la ecuación de Bernoulli (5.1), aplicada entre cada par de puntos.

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + h_{1-2} \quad (5.1)$$

siendo:

z: cota del punto considerado (mca)

$\frac{P_1}{\gamma}$ : altura de presión en el punto considerado (mca)

$\frac{V^2}{2g}$ : altura debida a la velocidad del fluido en el punto considerado (mca)

Una vez conocida  $h_{1-2}$ , se plantea la ecuación de Darcy-Weisbach (5.2) tal y como sigue:

$$h_r = \frac{8fL}{\pi^2 D^5 g} Q^2 \quad (5.2)$$

---

Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

---

En la que:

$h_r$ : pérdidas de carga (mca)

$f$ : factor de fricción (adimensional)

$L$ : longitud de la conducción (m)

$D$ : diámetro de la conducción (m)

$g$ : aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

$Q$ : caudal ( $m^3/s$ )

De la formula (5.2) se obtiene una relación entre el diámetro  $D$  y el factor de fricción  $f$ .

A continuación, se utiliza la ecuación de Colebrook-White (5.3) para la estimación de las pérdidas de carga en cada tramo de la tubería.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (5.3)$$

En la que:

$f$ : Factor de fricción

$\varepsilon$ : Rugosidad absoluta (mm)

$Re$ : número de Reynolds (adimensional)

Tomándose como  $\varepsilon$  para el diseño, 0.1 mm en una tubería de PE. Y siendo el  $Re$ :

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (5.4)$$

$\rho$ : densidad del agua ( $Kg/m^3$ )

$V$ : velocidad en la conducción (m/s)

$D$ : diámetro de la conducción (m)

$\mu$ : viscosidad dinámica ( $Kg.s.m^{-2}$ )

Seguidamente, se realiza la combinación de las expresiones de Colebrook-White, Reynolds y Darcy-Weisbach explicadas, con el fin de obtener una ecuación con una única incógnita, a saber, el diámetro, que aparece a ambas partes de la ecuación.

Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

A continuación, se estima un valor de velocidad en la conducción de 1.5 m/s, para obtener un primer valor de diámetro D mediante la ecuación de continuidad.

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4Q}{V\pi}} \quad (5.5)$$

Una vez obtenido este primer valor del diámetro se procede al cálculo iterativo consistente en utilizar el valor D estimado como entrada en la ecuación, para obtener como salida el valor D\*.

El proceso de cálculo iterativo se da por finalizado cuando el resultado obtenido cumple la siguiente condición:  $[D-D'] < 0.0001$ .

A continuación, se presentan la Tabla 6 con un resumen de lo calculado en cada tramo:

Tabla 6: Resumen resultados cálculo diámetros Fuente: Elaboración propia

	tramo a		tramo b		tramo c		tramo d	
Q=	7.05	l/s	3.76	l/s	1.96	l/s	1.33	l/s
Le=	38.5	m	22	m	77	m	159.5	m
k=	0.1	mm	0.1	mm	0.1	mm	0.1	mm
Z1=	5	m	5	m	5	m	5	m
P1=	0	m	0	m	0	m	0	m
H1=	5	m	5	m	5	m	5	m
HB=	45	m	45	m	45	m	45	m
Z2=	55	m	55	m	55	m	55	m
P2=	0	m	0	m	0	m	0	m
H2=	55	m	55	m	55	m	55	
hr1-2=	5	m	5	m	5	m	5	m
Di=	0.07735	m	0.05649	m	0.04078	m	0.03359	m
D*=	0.04969	m	0.0505	m	0.05139	m	0.05194	m
D=	0.05084	m	0.05078	m	0.05079	m	0.05079	m
DN=	50	mm	50	mm	50	mm	50	mm
v=	3.59	m/s	1.91	m/s	1.00	m/s	0.68	m/s

Donde:

Di: diámetro calculado mediante la expresión 5.5.

D\*: diámetro obtenido de la primera iteración.

D: diámetro deducido de las iteraciones.

DN: diámetro nominal de catálogo.

## Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

Queda puntualizar que la velocidad del agua se elige para que se mantenga dentro de un intervalo que evite fenómenos de sedimentación y estancamientos por velocidades excesivamente lentas o problemas de arrastres y ruidos por velocidades excesivamente altas.

Para el tipo de tuberías usadas se recomienda una velocidad del fluido, entre 0.50 y 3.50 m/s (Rodríguez Galbarro, s.f.). Y como se puede ver en la *Tabla 6* el tramo a supera dicho valor para una tubería de 50 mm, por lo que se instalará una de 63 mm (*catalogo Masa*). Transcurriendo el agua con una velocidad de 2.26 m/s.

Nota: Los caudales utilizados se han obtenido a partir de la modelación realizada con la herramienta *Epanet*.

### 5.3. Cálculo de Pérdidas de carga

Para cálculo de las pérdidas de carga por rozamiento, se utilizan las expresiones mencionadas en el apartado anterior.

Teniendo en cuenta el valor de la rugosidad absoluta del tubo que compone la conducción, así como el valor del número de Reynolds, se puede establecer mediante la utilización del *Ábaco de Moody* el régimen de funcionamiento de la conducción. Para ello se calcula el número de Reynolds con la fórmula (6.4).

Establecido el régimen de funcionamiento de la tubería, mediante la utilización de la expresión de *White y Colebrook* (6.3) se calcula el valor del coeficiente de fricción.

Conocido dicho valor, y teniendo en cuenta la longitud equivalente de la tubería, el resultado de las pérdidas de carga por rozamiento ( $h_r$ ) se obtiene utilizando la fórmula (6.2).

*Tabla 7: Resumen resultados pérdidas de carga Fuente: Elaboración propia*

	tramo a	tramo b	tramo c	tramo d
Hg	15	15	15	15
Le (m)	38.5	22	77	159.5
D (mm)	63	50	50	50
f	0.02	0.02	0.02	0.02
hr	64107.55	116338.6	407185.2	843455

Donde:

Hg: Altura geométrica.

Le: longitud equivalente de conducción.

D: diámetro de la conducción.

f: factor de fricción de la conducción.

hr: pérdidas de carga.

A partir de la expresión (5.6) se obtiene la altura máxima requerida a la bomba, en función del caudal:

$$H_{max} = H_g + h + h_r \cdot Q \quad (5.6)$$

Siendo  $h=20$  m como se puede apreciar en la Figura 9.

#### 5.4. Selección de bomba

Se realizan tres propuestas de tiempos de bombeo diferentes para la selección de la bomba: 4, 6 y 8 horas. Este será el tiempo de funcionamiento de la bomba. Con esto se pretende observar si interesa una bomba más potente que trabaje durante menos tiempo, o una bomba menos potente que esté bombeando durante más horas.

En la

Tabla 8 se muestra un resumen de las opciones planteadas y utilizando el catálogo online de bombas Itur ([www.ksb.com](http://www.ksb.com)), al cual, introduciendo como parámetros los valores de altura y caudal, y la aplicación de la misma, nos propone una serie de bombas y nos facilita las curvas características de estas:

Tabla 8: Resuemn opciones bombeo. Fuente: Elaboración propia

Opción	horas/día	8	6	4
<b>Caudal máximo</b>	m <sup>3</sup> /h	17.2	22.9	34.3
<b>Altura máxima</b>	mca	58.9	77.5	130.5
<b>Potencia útil</b>	kW	2.7	4.8	12.2
<b>Potencia bomba Itur</b>	kW	2.83	6.85	20.69
<b>η (%)</b>	%	76.4	72.3	62.8

Basándonos en los valores de la Tabla 8 se deduce que la bomba que mejor se adapta a las necesidades, es la propuesta para el bombeo en 8 horas, modelo UPA 150C-16 (KSB). Esto se debe a que es la que menor caudal ha de trasegar, produciendo menores pérdidas y requiriendo menos potencia, además

Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

de presentar el rendimiento óptimo. En la Figura 10 se pueden observar sus valores y curvas características:

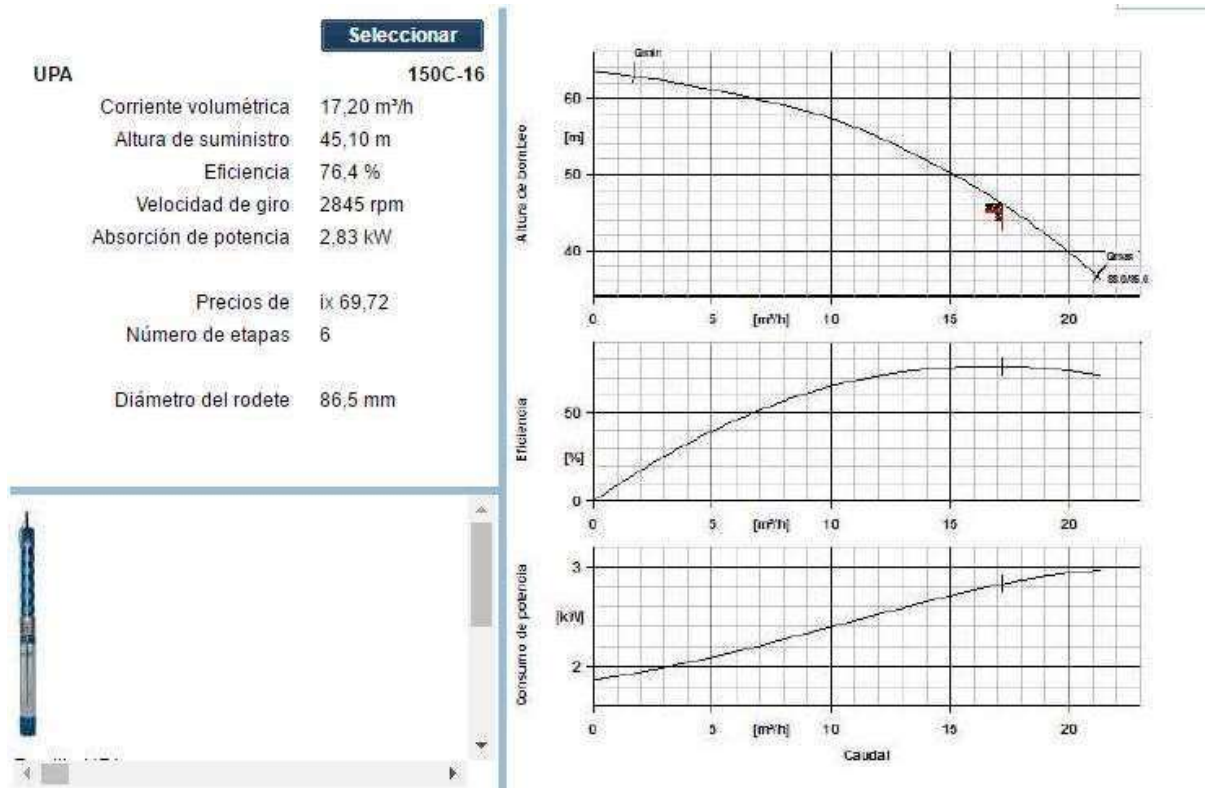


Figura 11: Características bomba Fuente: www.ksb.com

### 5.5. Punto de funcionamiento del sistema

Se obtiene de las curvas características de la bomba elegida, se puede trabajar con las expresiones (5.7 y 5.8):

$$H^m = A \cdot Q^2 + B \cdot Q + C \quad (5.7)$$

$$\eta = D \cdot Q^2 + E \cdot Q \quad (5.8)$$

Siendo las constantes:

Tabla 9: Valores constantes Fuente: Elaboración propia

A	62.973
B	-364.4
C	-6.89E+05
D	34316
E	-4.00E+06

Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

A partir del modelado de la red en Epanet se obtienen los caudales mostrados en la *Figura 12*: Caudales trasegados:

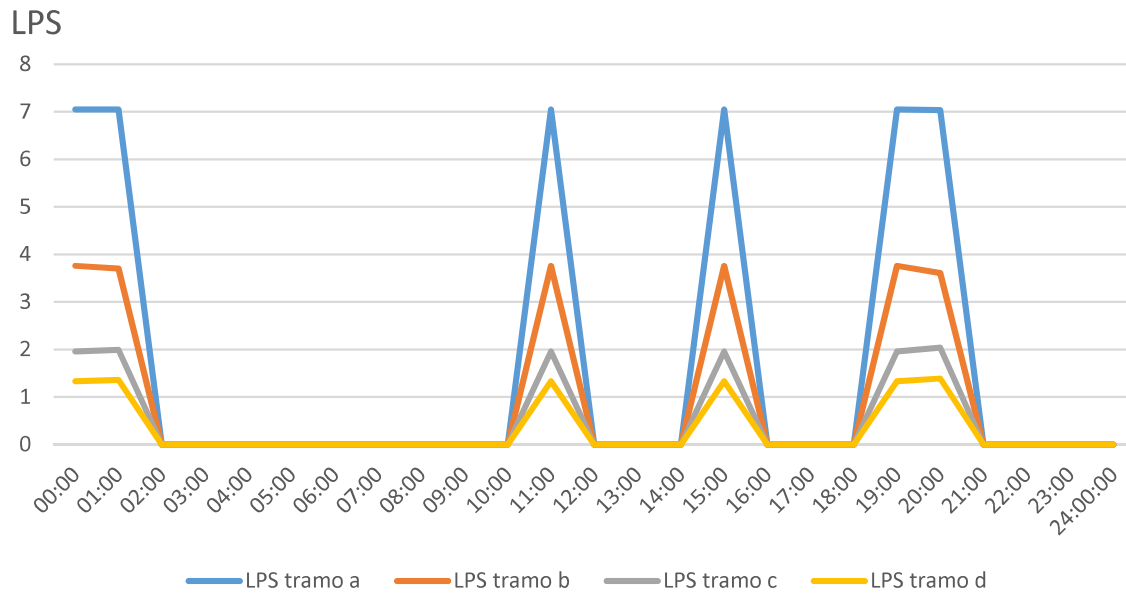


Figura 12: Caudales trasegados Fuente: Elaboración propia

Con todos estos datos se puede obtener la presión, expresada en mca en todos los puntos de la red y por lo tanto comprobar el llenado de los depósitos, así como la no cavitación de la bomba. Aplicando en el punto de unión de los tramos a, b, c y d, al que se ha llamado E, la expresión (5.9):

$$H_{E1}^m = A \cdot Q_1^2 + B \cdot Q_1 + C \quad (5.9)$$

Se obtiene la presión que da la bomba en el punto E. Para el llenado de los depósitos se necesita la presión obtenida de las expresiones (5.10, 5.11, y 5.12):

$$H_{E2}^r = A \cdot Q_2^2 + B \cdot Q_2 + C + r_2 \cdot Q_2^2 \quad (5.10)$$

$$H_{E3}^r = A \cdot Q_3^2 + B \cdot Q_3 + C + r_2 \cdot Q_3^2 \quad (5.11)$$

$$H_{E4}^r = A \cdot Q_4^2 + B \cdot Q_4 + C + r_2 \cdot Q_4^2 \quad (5.12)$$

Sabiendo que con la ecuación de continuidad se obtiene:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (5.13)$$

Y que con la ecuación de conservación de la energía se obtiene:

Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

$$H_{E1} = H_{E2} = H_{E3} = H_{E4} \quad (5.14)$$

Se puede calcular el punto de funcionamiento de la bomba con (5.15):

$$H^m = H^r \quad (5.15)$$

Mediante el uso de la herramienta Solver (*Microsoft Excel*) de las hojas de cálculo, se han optimizado estos valores para obtener un caudal de 3.9 l/s y una altura de 51.05 mca. Con estos valores se puede, a partir de la expresión (5.8), obtener un rendimiento de la instalación del 73.01%.

Dado que actualmente no se proporcionan precios en los catálogos, el coste del sistema de bombeo se calcula mediante una aproximación en función de la potencia de la bomba, mediante la expresión (5.16) y los datos mostrados en la *Tabla 10*:

*Tabla 10: coste de la bomba Fuente: Elaboración propia*

Coste de la bomba:	
Fijo (€)	205
Variable (€/kW)	290
Potencia (kW):	2.83

$$Coste = 205 + 290 * Potencia \quad (1.16)$$

La expresión 6.16 se obtiene a partir de una progresión lineal del precio de la bomba, respecto a la potencia de la misma, y que se puede ajustar aproximadamente por los parámetros de dicha expresión.

Para finalizar este apartado y a modo de resumen se muestra en las *Tabla 11* y *12* todo lo calculado previamente.

*Tabla 11: Resumen tuberías Fuente: Elaboración propia*

	Tramo a	Tramo b	Tramo c	Tramo d
<b>Longitud (m)</b>	35	20	70	145
<b>Díámetro (mm)</b>	63	50	50	50





Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

---

Tabla 12: Resumen bomba Fuente: Elaboración propia

<b>Tiempo bombeo</b>	horas/día	8
<b>Caudal</b>	l/s	3.9
<b>Altura de bombeo</b>	mca	51.05
<b>Potencia bomba Itur</b>	kW	2.83
<b>Rendimiento</b>	%	73.01
<b>Coste bomba</b>	€	1025.7

## 6. Agua Caliente Sanitaria (ACS)

En este apartado se va a proceder a calcular y diseñar una instalación solar térmica, para abastecer de agua caliente sanitaria al dispensario médico. Se utiliza el método F-chart recomendado en el Pliego de condiciones técnicas del IDAE para instalaciones de energía solar térmica. Con el apoyo del Código Técnico de la Edificación, documento básico DB HE, Ahorro de energía, sección HE4, Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria. Al ser la R.D. del Congo un país subdesarrollado, carece de normativas que controlen este tipo de instalaciones, y por lo tanto la aplicación de la citada normativa será algo flexible, para intentar cubrir las necesidades con un mínimo coste.

Para el predimensionado de los componentes de la instalación se siguen los siguientes pasos (*Baxi-Roca*):

- Consumo diario de ACS
- Demanda de energía térmica
- Contribución solar mínima
- Superficie de captación
- Cobertura del sistema solar
- Orientación e inclinación de los colectores
- Superficie del intercambiador de calor
- Circuito hidráulico
- Bomba de circulación
- Vaso de expansión

En las *Tablas 13 y 14* se muestran los datos geográficos y climatológicos necesarios para el dimensionado de la instalación mediante el método F-chart.

*Tabla 13: Datos geográficos y climatológicos para ACS Fuente: PVGIS*

<b>Latitud [°/min.]:</b>	15.24
<b>Altitud [m]:</b>	314
<b>Humedad relativa media [%]:</b>	63.50
<b>Velocidad media del viento [Km/h]:</b>	2
<b>Temperatura máxima en verano [°C]:</b>	27
<b>Temperatura mínima en invierno [°C]:</b>	22
<b>Variación diurna:</b>	12

Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

Tabla 14: Datos temperatura e irradiación Fuente: PVGIS

Mes	T <sup>a</sup> . Media ambiente [°C]:	T <sup>a</sup> . media agua red [°C]:	Rad. horiz. [kJ/m <sup>2</sup> /día]:	Rad. inclin. [kJ/m <sup>2</sup> /día]:	I <sub>opt</sub>
Enero	26.00	20.00	19152	18180	-25
Febrero	26.50	20.00	19404	18720	-14
Marzo	26.80	22.00	21528	21204	2
Abril	27.00	22.00	19188	19368	18
Mayo	26.30	22.00	18000	18504	30
Junio	24.00	18.00	17172	17784	34
Julio	22.80	17.00	18720	19404	33
Agosto	23.90	18.00	19620	20016	24
Septiembre	25.50	20.00	19656	19512	8
Octubre	26.20	20.00	18864	18504	-8
Noviembre	25.90	20.00	19008	17568	-21
Diciembre	25.90	20.00	18360	16488	-27
Anual	25.60	19.90	18936	18756	7

\*Datos obtenidos de PVGIS

I<sub>opt</sub>: inclinación optima (grados).

### 6.1. Estimación del consumo y volumen del acumulador

La estimación de consumo de ACS para una persona en una clínica se estima en 50 litros/día\*persona y la temperatura de referencia en 45 °C. Como se ha comentado previamente, se han reducido los valores del CTE, ya que al tratarse de un proyecto de cooperación al desarrollo interesa que estos sean óptimos, cubriendo las necesidades mínimas a un coste reducido. En las *Tablas 15* y *16* se observa un resumen de los datos y la demanda de agua obtenida.

Tabla 15: Demanda de agua a cubrir Fuente: BaxiRoca

Número de personas, camas, servicio, usuario...:	20
Uso del Edificio	Clínica
Consumo por persona, cama, servicio, usuario... [L/día]:	50
Consumo de agua a máxima ocupación [L/día]:	1000
Temperatura de referencia [°C]:	45

Tabla 16: Demanda de agua a cubrir Fuente: BaxiRoca

Mes	% de ocupación:	Consumo diario [l]:
Enero	100	1000
Febrero	100	1000
Marzo	100	1000
Abril	100	1000
Mayo	100	1000
Junio	100	1000
Julio	100	1000
Agosto	100	1000
Sept.	100	1000
Oct.	100	1000
Nov.	100	1000
Dic.	100	1000
Anual	100	12000

El acumulador de 1000 litros, de la marca Chromagen, modelo AICV006, es el más adecuado para la instalación dado su competitivo precio, *Figura 14*.

## 6.2. Demanda de energía térmica

Para la estimación del consumo de energía, que se va a necesitar cubrir con los captadores solares, se utiliza la *Ecuación 6.1*, con la que se calcula la irradiación anual útil sobre el plano del captador:

$$H_{\beta} = \bar{H} \cdot a_1 \cdot K \cdot Y \quad (6.1)$$

Donde:

$H_{\beta}$ : irradiación global útil sobre el plano del captador en valor diario medio mensual (MJ/m<sup>2</sup>).

$\bar{H}$ : irradiación global media mensual sobre superficie horizontal.

$a_1$ : factor de corrección según el tipo de atmósfera, siendo 1.05 para atmósfera limpia.

$K$ : factor de corrección de la irradiación diaria incidente sobre el captador inclinado.

$Y$ : factor de corrección del valor umbral de la radiación.

En la *Tabla 17*, se pueden apreciar los datos utilizados y el resultado obtenidos:

Tabla 17: Resumen datos irradiación Fuente: Elaboración propia

$\bar{H}$	16884
$a_1$	1.05
$K$	0.996
$Y$	0.94

Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

El valor de  $a_1$  se justifica porque se trata de una atmosfera limpia, libre de contaminación. El valor  $K$  se encuentra tabulado y se obtiene a partir de una interpolación y el valor de  $Y$  es debido a que la energía que no se aprovecha totalmente a primeras horas de la mañana y de la tarde es aproximadamente del 6% (Cañada Rivera, 2008).

Con estos datos se puede proceder a los cálculos de la demanda térmica según indica (6.2).

$$D = M(t_{ref}) \cdot \rho \cdot C_p \cdot (t_{ref} - t_{fria}) \quad (6.2)$$

Donde:

$D$ :demanda de energía térmica (kJ/día).

$M(t_{ref})$ :consumo de ACS a la temperatura de referencia (l/día).

$\rho$ : densidad del agua (1 kg/l).

$C_p$ :calor especifico del agua (4.18 kJ/(kg·K))

$t_{ref}$ :temperatura de referencia (45 °C)

$t_{fria}$ :temperatura del agua de la red (°C)

La *Tabla 18* resume los cálculos realizados con la hoja de cálculos (*Microsoft Excel*):

*Tabla 18: Resumen cálculos demanda energética Fuente: BaxiRoca*

Mes	Consumo de agua [m³]:	Incremento T <sup>a</sup> . [°C]:	Energ. Nec. [kcal·1000]:
Enero	31.00	25.00	775.00
Febrero	44.80	25.00	1120.00
Marzo	51.22	23.00	1178.00
Abril	49.57	23.00	1140.00
Mayo	51.22	23.00	1178.00
Junio	46.67	27.00	1260.00
Julio	47.61	28.00	1333.00
Agosto	48.22	27.00	1302.00
Sept.	48.00	25.00	1200.00
Oct.	49.60	25.00	1240.00
Nov.	48.00	25.00	1200.00
Dic.	49.60	25.00	1240.00
<b>Anual</b>	<b>565.50</b>	<b>25.08</b>	<b>14166.00</b>

### 6.3. Superficie de captación

Llegados a este punto cabe la posibilidad de aplicar tres métodos distintos para el cálculo de la superficie del captador:

Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

1. Considerando un volumen de 75 l/m<sup>2</sup> de captador, lo que, aplicando el volumen de 1000 litros del acumulador, proporciona una superficie de captador de 13.33 m<sup>2</sup>.
2. Considerando que se debe cumplir la condición de  $50 < V/S < 180$ , que indica el CTE, siendo V el volumen del acumulador se obtiene:
  - Área mínima:  $1000/180 = 5.5 \text{ m}^2$ .
  - Área máxima:  $1000/50 = 20 \text{ m}^2$ .
3. A partir de la fórmula:

$$S = \frac{D \cdot f \cdot 365}{H_B \cdot \eta} \quad (6.3)$$

Donde:

*D*: demanda diaria media anual de energía térmica (kJ/día).

*f*: fracción solar requerida, estimada en un 75% de media en España, según el CTE.

*η*: rendimiento medio de la instalación.

Se estima el rendimiento en un 35% para instalaciones solares con captadores planos, según indica la bibliografía (Cañada Rivera, 2008). Junto con los valores de demanda e irradiación global útil, previamente calculados, se obtiene la *Tabla 19*. En ella se indica la superficie de captador en m<sup>2</sup> recomendada para cada mes y se obtiene una media de 4.15 m<sup>2</sup> de captador.

*Tabla 19: Resumen superficie captadores recomendada Fuente: Elaboración propia*

Mes	Superficie
Enero	4.00
Febrero	4.00
Marzo	3.67
Abril	4.21
Mayo	4.55
Junio	4.79
Julio	4.38
Agosto	4.10
Septiembre	4.00
Octubre	4.06
Noviembre	3.98
Diciembre	4.12
Anual	4.15

#### 6.4. Fracción solar

Para el cálculo de la fracción solar se necesita definir un modelo de captador solar plano. En la Tabla 20 se muestran las características del captador Saclima modelo E-21:

Tabla 20: Datos captador Saclima modelo E-21 Fuente: Ficha técnica <http://ecofener.com>

<b>Superficie captador [m<sup>2</sup>]:</b>	2.4
<b>Factor de eficiencia</b>	0.924
<b>Coefficiente global de pérdidas [W/(m<sup>2</sup>°C)]:</b>	18.7
<b>Volumen de acumulación [L/m<sup>2</sup>]:</b>	1000
<b>Caudal en circuito primario [(L/h)/m<sup>2</sup>]:</b>	50
<b>Calor específico en circuito primario [Kcal/(Kg°C)]:</b>	1
<b>Calor específico en circuito secundario [Kcal/(Kg°C)]:</b>	0.9
<b>Eficiencia del intercambiador:</b>	0.9
<b>Temperatura de tarado del sistema (°C)</b>	130

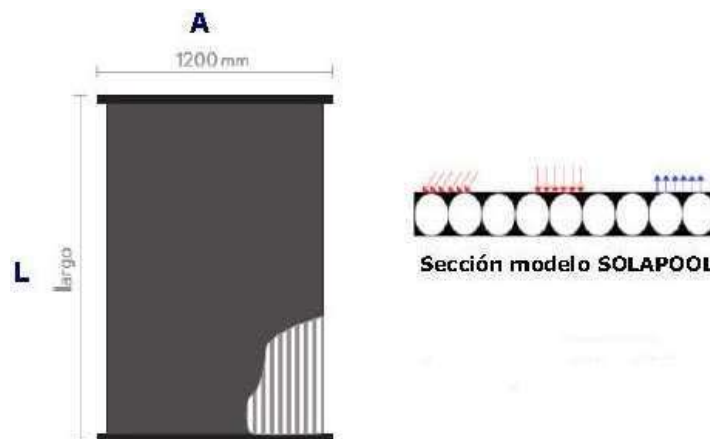


Figura 13: Captador solar Fuente: <http://www.saclima.com/>

A partir de la información sobre el captador, *Tabla 20* y de las superficies de captador recomendadas en el Apartado 6.3, e incluyendo los datos pertinentes, detallados en la *Tabla 21* (datos subrayados), se obtiene una fracción solar media muy inferior a la requerida por el CTE. Por lo tanto, se opta por instalar 4 captadores, con los que se obtiene una superficie de captación de 9.6 m<sup>2</sup>. Con esta configuración se alcanza una fracción solar del 65%, la cual, a pesar de ser inferior a la exigida por el CTE (70%), es suficiente para cumplir con la finalidad del proyecto.

## Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

Tabla 21: Datos cálculo fracción solar Fuente: Elaboración propia

<b>Número de captadores:</b>	4
<b>Área total captadores [m<sup>2</sup>]:</b>	9.6
<b>Inclinación del captador (<math>\beta</math>) [°]:</b>	7°
<b>Orientación (<math>\alpha</math>) [°]:</b>	-4°
<b>Volumen de acumulación [l]:</b>	1000
<b>Relación volumen de acumulación/área captadores [l/m<sup>2</sup>]:</b>	104.2
<b>Perdidas adicionales por orientación e inclinación y sombras(%)</b>	0.81%

Además de la fracción solar también se obtiene el rendimiento del sistema a partir de la expresión 6.4:

$$\eta_{annual} = \frac{Q_{solar}}{H_{\beta} \cdot S} \quad (6.4)$$

A continuación, se puede observar la *Tabla 22* mostrando un resumen de la fracción solar media de cada mes y del rendimiento medio mensual del sistema.

Tabla 22: Resumen fracción solar y rendimiento Fuente: BaxiRoca

<b>Mes</b>	<b>Fracción solar media[%]</b>	<b>Rendimiento mensual [%]:</b>
<b>Enero</b>	78	47
<b>Febrero</b>	77	45
<b>Marzo</b>	83	39
<b>Abril</b>	74	38
<b>Mayo</b>	68	37
<b>Junio</b>	61	41
<b>Julio</b>	66	41
<b>Agosto</b>	71	42
<b>Septiembre</b>	75	42
<b>Octubre</b>	73	42
<b>Noviembre</b>	77	43
<b>Diciembre</b>	76	50
<b>Anual</b>	73	42

Se puede observar en la *Tabla 22*, que la fracción solar no supera el 110% en ningún mes. Tampoco se supera el 100% durante más de 3 meses seguidos. Cumpliéndose así esas 2 condiciones del CTE para instalaciones de ACS.



Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

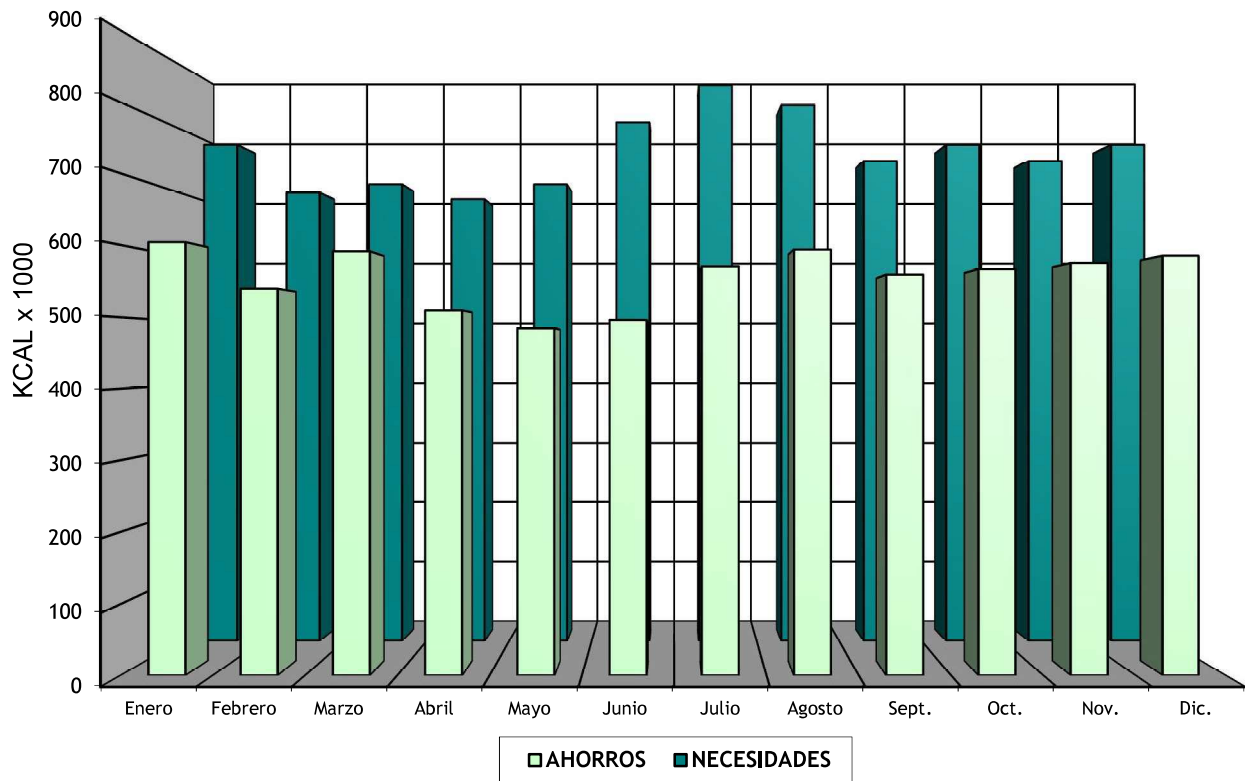


Figura 14: Comparación ahorro/necesidades Fuente: BaxiRoca

**Nota:** Lo mostrado en la gráfica como ahorros corresponde al aporte solar y las necesidades corresponden a la demanda.

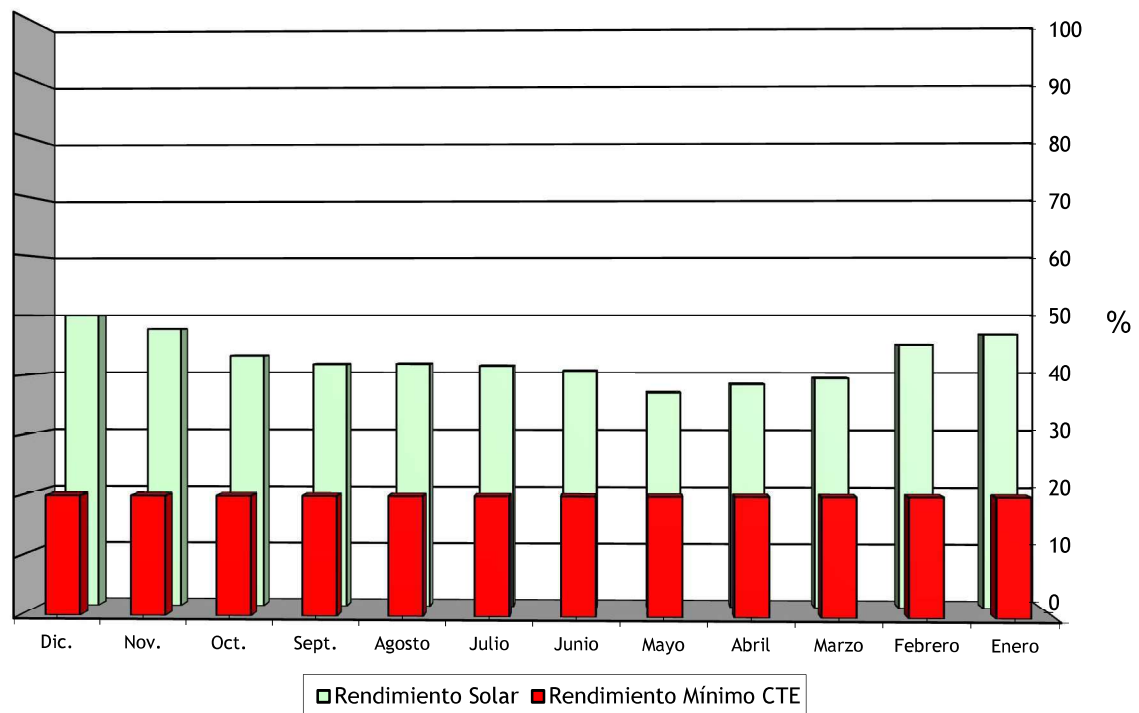


Figura 15: Comparación Rendimiento/CTE Fuente: BaxiRoca

En la *Figura 16* se puede ver que el rendimiento de la instalación es superior en todo momento a las necesidades y en la *Figura 17* se observa que es siempre superior al 20% requerido por el CTE.

### 6.5. Diseño de la instalación

Para poder aprovechar al máximo la radiación solar incidente, el colector se orientará hacia el Norte geográfico con un ángulo de inclinación de 4° en dirección Este y una inclinación de 7° (PVGIS). Las pérdidas por orientación e inclinación se estiman en un 0.81% (*BaxiRoca*), mientras que las pérdidas por sombras son inexistentes.

Dado que se trabaja con un único fluido, agua, no son necesarios un circuito primario y uno secundario, por lo que tampoco es necesario un intercambiador de calor. Dado que la instalación cumple el CTE respecto a rendimiento del sistema, tampoco es necesario mejorar el rendimiento de la instalación instalando un intercambiador.

Así pues, se opta por instalar los 4 captadores en paralelo para cumplir los requerimientos del sistema como se puede apreciar en la *Figura 18*. Esto hace que si el caudal de agua que recorre los paneles es de 50 l/h·m<sup>2</sup> (CTE), para 9.6 m<sup>2</sup> de captadores el caudal total por los paneles puede llegar a ser de 480 l/h.

Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

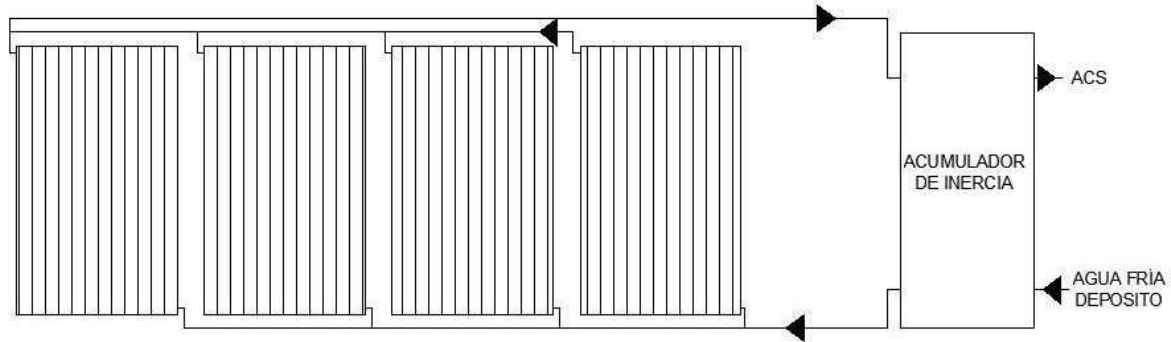


Figura 16: Esquema instalación ACS Fuente: Elaboración propia

Se va a requerir una bomba para que el agua circule entre los captadores. Dado que se trata de un caudal relativamente pequeño y las pérdidas en la instalación son mínimas (inferiores a 1 mca), será suficiente con la instalación de un circulador solar, el cual es más económico que una bomba para las mismas condiciones de funcionamiento.

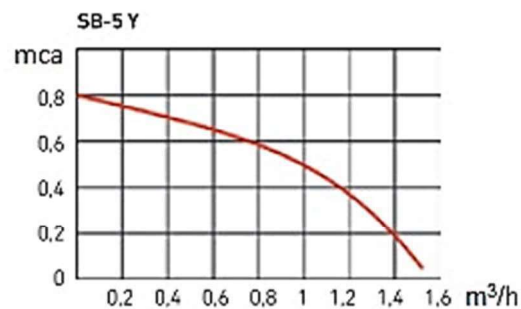


Figura 17: Circulador solar SB-5 Y y curva de potencia Fuente: <http://www.baxi.es>

Para la distribución de ACS a los puntos de consumo las pérdidas en las tuberías se calculan análogamente a como se ha realizado en el apartado 5 (Instalación de agua potable). Se obtiene 3.6 mca y un caudal de 0.042 m³/h. Así pues, se puede asegurar que habrá presión suficiente en todos los puntos de consumo del dispensario, ya que el acumulador se situará a una cota de 4 metros, sobre el techado del dispensario.

La instalación de ACS quedaría como se ve en los esquemas representados por las Figuras 20 y 21.

Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

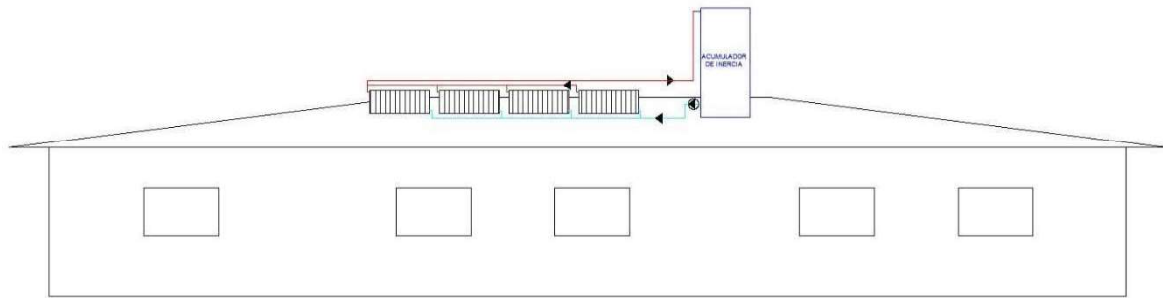


Figura 18: Esquema final alzado ACS Fuente: Elaboración propia

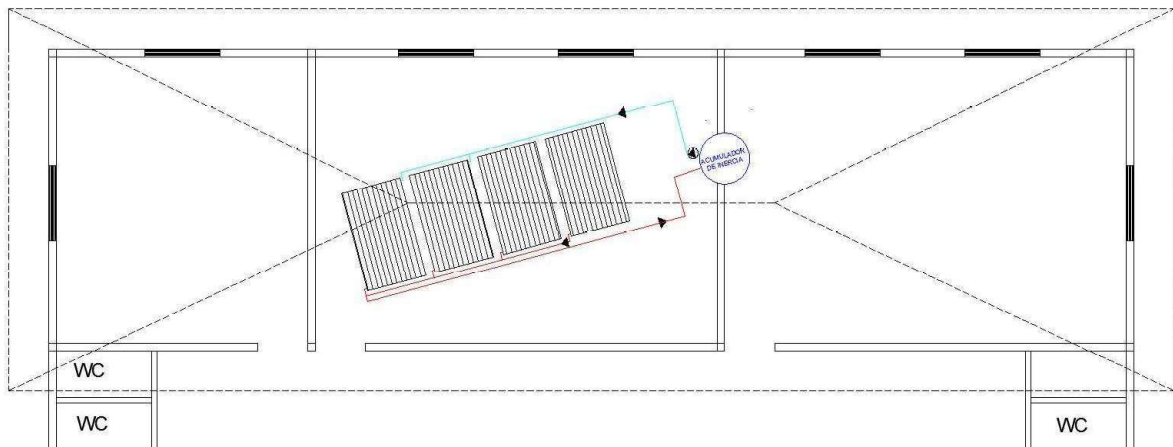


Figura 19: Esquema final planta ACS Fuente: Elaboración propia

\*En el documento “Planos” se muestran estos esquemas con mayor detalle.

Como método preventivo para evitar contaminación por legionela se clorará el agua, ya que es el método más económico y sencillo.

En resumen, la instalación consta de: un acumulador de inercia de 1000 l, 4 captadores Saclima modelo E-21 de 2.4 m<sup>2</sup> de superficie, un circulador solar para agua caliente sanitaria BaxiRoca SB-5 Y.

## 7. Aplicaciones fotovoltaicas

Para realizar el cálculo del número de paneles necesarios para la instalación se utiliza la expresión 7.1:

$$\text{Numero Módulos FV} = \frac{E}{HSP \cdot \eta \cdot P_{\text{panel}}} \quad (7.1)$$

Siendo:

$E$ : energía necesaria.

$HSP$ : Horas sol pico.

$\eta$ : factor de pérdidas, se estima entre 0.7 y 0.8.

$P_{\text{panel}}$ : Potencia proporcionada por un panel.

Los datos del panel elegido, Atersa Optimum 24 V 300 W de la Figura 22 se pueden ver en la *Tabla 23*. Se ha elegido este panel por ser uno de los más económicos del mercado y con mejores prestaciones. Las horas sol pico las indicadas en la *Tabla 24*.

*Tabla 23: Datos panel fotovoltaico Fuente: Atersa*

<b>Potencia máxima (Pmax)</b>	300	W
<b>Tensión máxima Potencia (Vmp)</b>	36.19	V
<b>Corriente máxima potencia (Imp)</b>	8.34	A
<b>Tensión circuito abierto (Voc)</b>	44.84	V
<b>Corriente de cortocircuito (Isc)</b>	8.78	A
<b>Eficiencia módulo (%)</b>	15.41	%

Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

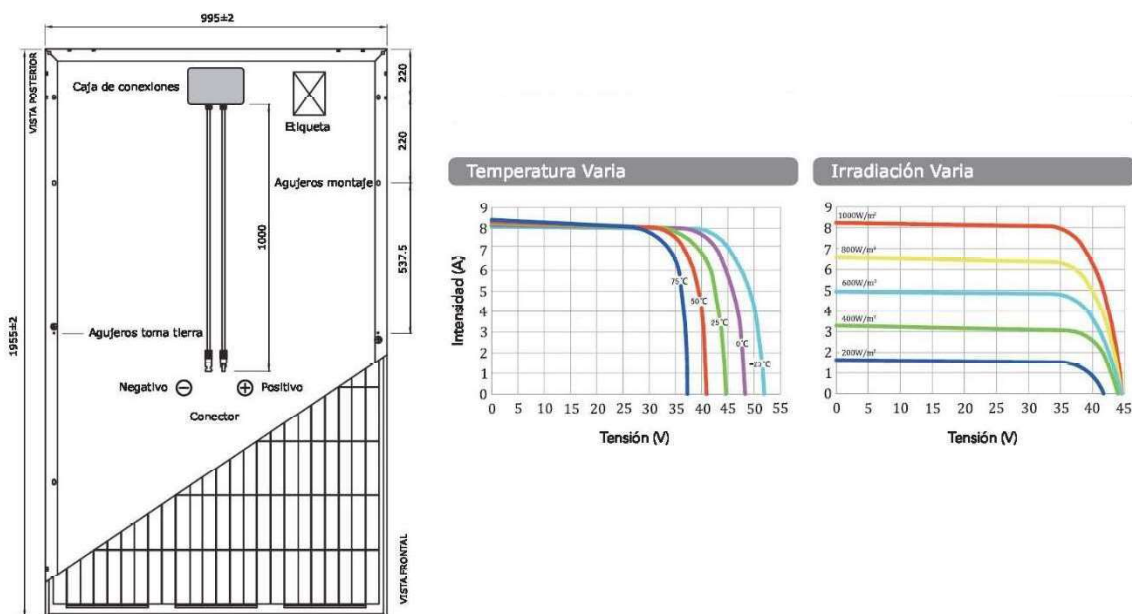


Figura 20: Panel solar Atersa Optimum Fuente: <http://www.atersa.com/>

Tabla 24: Datos irradiación Fuente: PVGIS

Mes	Ed	Em	HSP	Hm
<b>Enero</b>	3.69	114	<b>5.14</b>	159
<b>Febrero</b>	3.74	105	<b>5.22</b>	146
<b>Marzo</b>	4.2	130	<b>5.88</b>	182
<b>Abril</b>	3.8	114	<b>5.3</b>	159
<b>Mayo</b>	3.67	114	<b>5.1</b>	158
<b>Junio</b>	3.57	107	<b>4.95</b>	149
<b>Julio</b>	3.9	121	<b>5.43</b>	168
<b>Agosto</b>	4.02	125	<b>5.61</b>	174
<b>Septiembre</b>	3.93	118	<b>5.5</b>	165
<b>Octubre</b>	3.71	115	<b>5.18</b>	161
<b>Noviembre</b>	3.55	107	<b>4.93</b>	148
<b>Diciembre</b>	3.34	103	<b>4.63</b>	143
<b>Anual</b>	3.76	114	<b>5.24</b>	159

Ed: Producción eléctrica media diaria.

Em: Producción eléctrica media mensual.

HSP: Numero de Hora Sol Pico.

Hm: Suma promedio de irradiación global por metro cuadrado recibida por los módulos solares.

El regulador se elige en función de la configuración de los paneles, es decir, a partir del número de paneles en serie y en paralelo. Se obtiene de esta manera la tensión de circuito abierto y la corriente

### Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

máxima de cortocircuito, que ofrecen los paneles. A estos datos se les aplica un coeficiente de seguridad, para evitar sobrecargas en el sistema por picos de irradiación, por lo que los valores admitidos por el regulador deben ser un 10% superiores.

Una vez elegido el regulador de carga y en función de la tensión de salida del mismo, se puede calcular la capacidad de las baterías mediante la expresión 7.2.

$$C_{baterias} = \frac{E \cdot \text{días}}{DOD \cdot V_{regulador}} \quad (7.2)$$

Donde:

$C_{baterias}$ : Capacidad requerida por las baterías (Ah).

$E$ : energía necesaria.

$\text{Días}$ : días de autonomía de la instalación.

$DOD$ : máxima profundidad de descarga de la batería.

$V_{regulador}$ : Tensión de salida del regulador. Se obtiene del regulador elegido.

Se fija una autonomía para el sistema de 2 días. La profundidad de descarga se toma del 70% según indica la bibliografía (Alonso Abella, 2005).

Si las baterías elegidas no producen tensión suficiente como para igualar la del regulador deberán instalarse varias en serie. La expresión 7.3 proporciona el número de baterías en serie necesarias:

$$N_{BS} = \frac{V_{regulador}}{V_{bateria}} \quad (7.3)$$

Si la capacidad de las baterías tampoco es suficiente, deberán instalarse varias de ellas en paralelo, siguiendo la expresión 7.4.

$$N_{BP} = \frac{C_{baterias}}{C_{bateria}} \quad (7.4)$$

Con el número de baterías necesarias, en serie y en paralelo, se obtiene el número total de baterías. El último elemento a dimensionar es el inversor, para ello se requiere la potencia de las cargas. Aplicando un margen de seguridad del 20% para la elección de la potencia necesaria, la potencia se calcula como (7.5):

$$P_{inversor} = 1.2 \cdot P_{cargas} \quad (7.5)$$

## Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

Pero para la selección del inversor adecuado hay que considerar los picos de arranque que tienen algunos electrodomésticos y dispositivos con motor. En estos aparatos se demanda una potencia de arranque 4 o 5 veces mayor que la potencia nominal. Debido a esto, se aconseja sobredimensionar teniendo en cuenta estos picos de arranque para prevenir futuros problemas en el funcionamiento (Alonso Lorenzo, s.f). Puesto que este sobredimensionamiento provoca un aumento del coste del inversor se estudia otra opción para determinar cuál es más rentable económicamente. El uso de un variador de frecuencia.

### 7.1. Instalación fotovoltaica para bombeo

Se sustituye en la fórmula 7.1 los valores indicados previamente, conocida la potencia de la bomba (*Apartado 5.4*) y según la hipótesis de bombeo de 8 horas, se requiere una energía  $E = 22640 \text{ Wh}$ . Con estas premisas se obtiene el número de módulos fotovoltaicos mostrado en la *Tabla 21*.

*Tabla 25: Resumen número de módulos fotovoltaicos. Fuente: Elaboración propia*

Mes	Numero de módulos	Número de módulos reales
<b>Enero</b>	25.14	26
<b>Febrero</b>	24.75	25
<b>Marzo</b>	21.97	22
<b>Abril</b>	24.38	25
<b>Mayo</b>	25.33	26
<b>Junio</b>	26.10	27
<b>Julio</b>	23.79	24
<b>Agosto</b>	23.03	24
<b>Septiembre</b>	23.49	24
<b>Octubre</b>	24.94	25
<b>Noviembre</b>	26.21	27
<b>Diciembre</b>	27.91	28
<b>Anual</b>	24.66	25

La configuración en serie o en paralelo de los paneles, establece la tensión de circuito abierto y la corriente máxima de cortocircuito. En las Tablas 26, 27 y 28 se muestran los datos obtenidos para las configuraciones más óptimas.

Para la opción A propuesta se pretende instalar 4 reguladores en paralelo. A cada uno de estos reguladores se conecta una configuración de 2 paneles en serie y 3 en paralelo, obteniéndose un total de 6 paneles por cada regulador. La tensión y corriente que este debe soportar vienen dadas en la Tabla 26.



Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

Tabla 26: Configuración paneles, opción A. Fuente: Elaboración propia

<b>Paneles en serie</b>	2
<b>Paneles en paralelo</b>	3
<b>Total paneles</b>	6
<b>Tensión circuito abierto (V)</b>	89.7
<b>Corriente de cortocircuito (A)</b>	26.3
<b>Tensión entrada regulador</b>	98.7
<b>Corriente entrada regulador</b>	28.9

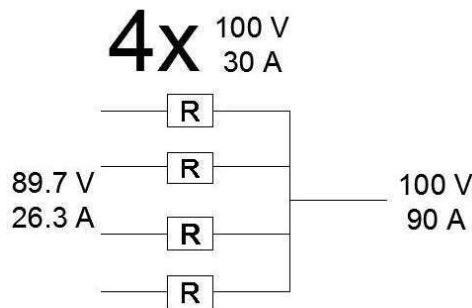


Figura 21: Opción A.1

Para la opción B propuesta se pretende instalar 1 único regulador. Al cual se conecta una configuración de 3 paneles en serie y 8 en paralelo, obteniéndose un total de 24 paneles para el regulador. La tensión y corriente que este debe soportar vienen dadas en la Tabla 27.

Tabla 27: Configuración paneles, opción B. Fuente: Elaboración propia

<b>Paneles en serie</b>	3
<b>Paneles en paralelo</b>	8
<b>Total paneles</b>	24
<b>Tensión circuito abierto (V)</b>	134.5
<b>Corriente de cortocircuito (A)</b>	70.2
<b>Tensión entrada regulador (V)</b>	147.9
<b>Corriente entrada regulador (A)</b>	77.3

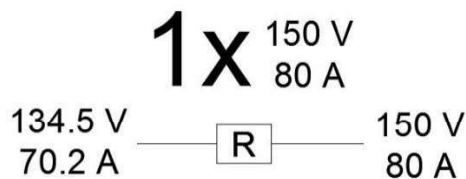


Figura 22: Opción B.1

### Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

Para la opción C propuesta se pretende instalar 2 reguladores en paralelo. A cada uno de estos reguladores se con una configuración de 2 paneles en serie y 6 en paralelo, obteniéndose un total de 12 paneles por cada regulador. La tensión y corriente que este debe soportar vienen dadas en la Tabla 28.

Tabla 28: Configuración paneles, opción C. Fuente: Elaboración propia

<b>Paneles en serie</b>	2
<b>Paneles en paralelo</b>	6
<b>Total paneles</b>	12
<b>Tensión circuito abierto (V)</b>	89.7
<b>Corriente de cortocircuito (A)</b>	52.7
<b>Tensión entrada regulador (V)</b>	98.7
<b>Corriente entrada regulador (A)</b>	57.9

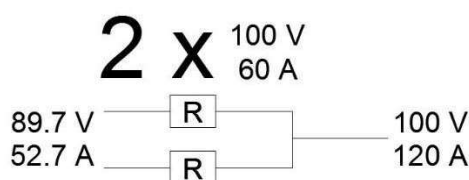


Figura 23: Opción C.1

Para la opción A el mercado ofrece el Regulador MPPT Blue Solar 100V 30A VICTRON por 203.28 €. Al utilizar 4 el coste será de 813.12 €

Para la opción B el mercado ofrece un regulador MPPT Blue Solar 150 V 85 A por 660.66 €.

Para la opción C el mercado ofrece el Regulador de Carga 60A Solar TS60 Morningstar por 291.13 €. Al utilizar 2 el coste será de 582.26 €.

La opción elegida es la B con el regulador MPPT Blue Solar 150 V 85 A por 660.66 €, a pesar de no ser la opción más económica en cuanto a lo que la selección del regulador se refiere. Se trata de la opción más sencilla de instalar y la diferencia de precio no supone mucho. Este regulador permite utilizar baterías de 12 V. Así pues, y dados los datos del panel fotovoltaico (Tabla 23), la expresión 7.2 proporciona la capacidad necesaria de las baterías:

$$C_{\text{baterías}} = 7383.20 \text{ Ah}$$

Se utilizan baterías estándar de 12 V típicas de coche o camión, dado que son baterías comunes y más fáciles de encontrar en países africanos. En la Tabla 29, se observa el estudio realizado y la configuración adoptada de distintos modelos de baterías existentes en el mercado.

Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

Tabla 29: Resumen baterías fotovoltaica bombeo Fuente: Elaboración propia

	<b>monoblock Ac-PB</b>	<b>Power Sun</b>	<b>Regenerada camión</b>	<b>Cynetic Flat plate</b>	<b>Cynetic Flat plate</b>
<b>Voltaje (V)</b>	12	12	12	12	12
<b>Capacidad (Ah)</b>	250	100	220	110	160
<b>Precio (€)</b>	205	88.33	170	108	155
<b><math>N_{BS}</math></b>	1	1	1	1	1
<b><math>N_{BP}</math></b>	29,53	73,83	33,56	67,12	46,15
<b><math>N_{B\ Total}</math></b>	30	74	34	68	47
<b>Capacidad total (Ah)</b>	7500	7400	7480	7480	7520
<b>Precio final (€)</b>	6150	6536.42	5780	7344	7285

De esta tabla se extrae que la batería de camión regenerada de 12V y 220Ah, es la más económica y se ajusta a los requisitos de la instalación.

El último elemento a dimensionar en la instalación es el inversor o variador de carga. A partir de la expresión (7.5) se obtiene lo potencia mínima requerida por el inversor.

$$P_{inversor} = 3396\ W$$

Para la selección del inversor adecuado se consideran los picos de los arranques que tiene la bomba que puede llegar a demandar una potencia 4 o 5 veces mayor que la potencia nominal. Como este sobredimensionamiento provoca un aumento del coste del inversor se estudia la opción de usar un variador de frecuencia. En la *Tabla 30* se pueden observar las propuestas estudiadas.

Tabla 30: Estudio inversor/Variador frecuencia Fuente: Elaboración propia

	<b>Potencia (KW)</b>	<b>Precio (€)</b>
<b>Inversor</b>	15	6322.25
<b>Variador de frecuencia</b>	4	303.38
<b>Inversor</b>	3	1456.84

Se puede apreciar que efectivamente la opción del variador de frecuencia es mucho más económica incluso que un inversor de una potencia similar.

Así definitivamente la instalación fotovoltaica para el bombeo constará de 24 paneles solares Atersa Optimum, un regulador MPPT Blue Solar 150 V 85 A, 34 baterías de camión regeneradas conectadas en serie y un variador de frecuencia Omron MX2.

## 7.2. Instalación fotovoltaica para consumo eléctrico del dispensario

El primer paso para el diseño de la instalación fotovoltaica es la estimación del consumo. A partir de la *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación para Hospitales y Centros de Atención Primaria*, se puede estimar las necesidades mínimas del centro. Pero como ya se ha comentado, tratándose de un proyecto de esta índole, su aplicación no será rigurosa.

Así pues, a partir de la expresión 7.6:

$$n_{luminarias} = \frac{E_{av} \cdot A}{M_f \cdot COU \cdot \phi_{Lamp}} \quad (7.6)$$

Siendo:

$n_{luminarias}$ : número lámparas necesarias.

$E_{av}$ : iluminancia nominal.

$A$ : área a ser iluminada.

$M_f$ : factor mantenimiento luminaria, fluorescentes 0,8.

$COU$ : coeficiente de utilización 0,7

$\phi_{Lamp}$ : lúmenes de cada luminaria. La luminaria elegida es de 49W y ofrece 4450 lúmenes.

La iluminación nominal para las distintas estancias del dispensario se puede encontrar en la norma UNE 12464.1 Norma europea sobre la iluminación para interiores. En la *Tabla 31* se puede observar la distinta clasificación de estancias en función del área de cada una y de la iluminancia nominal requerida por la norma mencionada. El número de luminarias de cada tipo de estancia y la potencia consumida.

Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

Tabla 31: Resumen iluminación Fuente: Elaboración propia

Tipo de estancia	Área (m <sup>2</sup> )	Iluminancia nominal (lux)	Número de luminarias	Potencia (W)	Nº de salas	Potencia total (W)
Hospitalización femenina/masculina	45.6	500	10	490	2	980
Hospitalización infantil	28.5	500	6	234	1	234
Maternidad	29.25	1000	12	468	1	468
Sala enfermería/ sala de parto	10.5	1000	5	195	2	390
Quirófano 1	10.5	1000	5	195	1	195
Despacho medico/ sala de dilatación	9.6	500	4	156	5	780
Sala ecografía/ laboratorio	8.65	1000	4	156	2	312
Quirófano 2	12.25	1000	5	195	1	195
Pediatría/sp	10	1000	5	195	2	390
Despacho gestión	10.7	500	3	117	1	117
Secretaría	7.2	500	2	78	1	78
Sala de espera grande	30.8	200	3	117	1	117
Sala de urgencia	17.8	1000	8	312	1	312
Despacho medico 2	9	500	2	78	1	78
Farmacia	16	500	4	156	1	156
Cocina	7.5	500	2	78	1	78
Sala de espera pequeña	20	200	2	78	1	78
Alumbrado general	54	500	11	429	1	429
<b>TOTAL</b>						<b>5387</b>

Dado que no es posible cubrir todo el consumo de energía eléctrica con la instalación fotovoltaica, se procederá a cubrir unos mínimos energéticos, ya que una instalación mayor supondría demasiado coste para el objetivo de este proyecto. Con esto se intentará asegurar un servicio mínimo, a pesar de los cortes eléctricos que sufra la parcela. Así como aquellos consumos continuos y/o excesivamente elevados que ayuden a reducir el consumo eléctrico proveniente de la SNEL, para reducir a su vez el desembolso de la factura.

La potencia de iluminación a cubrir por la instalación fotovoltaica será de una tercera parte de la potencia de iluminación total mostrada en la *Tabla 31* quedando en 1795.67 W. En la *Tabla 32* se listan los elementos del dispensario que se van a incluir en la cobertura de la instalación fotovoltaica.

Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

Tabla 32: Potencia elementos dispensario Fuente: Elaboración propia

Elemento	Potencia consumida (W)	Cantidad	Potencia final (W)	Uso (horas)	Energía (Wh)
Ordenador	250	2	500	12	6000
Impresora	150	2	300	1	300
Fotocopiadora	900	1	900	1	900
Nevera	200	2	400	5	2000
Luz quirófano	250	2	500	5,6	2800
<b>TOTAL</b>			2600		12000

Conocida la potencia total consumida por la iluminación se procede a aplicar un factor de simultaneidad del 80% para el día y del 50% para la noche. Sumando la energía total de los elementos del dispensario vista en la *Tabla 32*, se obtiene una energía consumida de:

$$E_{\text{dispensario}} = 0.8 * 12 * P_{\text{iluminación}} + 0.5 * 12 * P_{\text{iluminación}} + E_{\text{elementos}} = 40012.40 \text{ Wh}$$

Sustituyendo en la fórmula 7.1 el valor de la energía consumida en el dispensario y los valores indicados previamente se obtiene el número de módulos fotovoltaicos mostrado en la *Tabla 33*.

Tabla 33: Número módulos Fuente: Elaboración propia

Mes	Número de módulos	Número de módulos reales
<b>Enero</b>	32.44	33
<b>Febrero</b>	31.94	32
<b>Marzo</b>	28.35	29
<b>Abril</b>	31.46	32
<b>Mayo</b>	32.69	33
<b>Junio</b>	33.68	34
<b>Julio</b>	30.70	31
<b>Agosto</b>	29.72	30
<b>Septiembre</b>	30.31	31
<b>Octubre</b>	32.19	33
<b>Noviembre</b>	33.82	34
<b>Diciembre</b>	36.01	37
<b>Anual</b>	31.82	32

Análogamente al apartado anterior para el proceso de selección de un regulador adecuado se presentan varias opciones. En las *Tablas 34, 35 y 36* se pueden apreciar las opciones analizadas.

Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

Para la opción A propuesta se pretende instalar 1 único regulador. Al cual se conecta una configuración de 3 paneles en serie y 10 en paralelo, obteniéndose un total de 30 paneles para el regulador. La tensión y corriente que este debe soportar vienen dadas en la Tabla 34.

Tabla 34: Opción A Fuente: Elaboración propia

<b>Paneles en serie</b>	3
<b>Paneles en paralelo</b>	10
<b>Total paneles</b>	30
<b>Tensión circuito abierto (V)</b>	134.5
<b>Corriente de cortocircuito (A)</b>	87.8
<b>Tensión entrada regulador</b>	147.9
<b>Corriente entrada regulador</b>	96.6

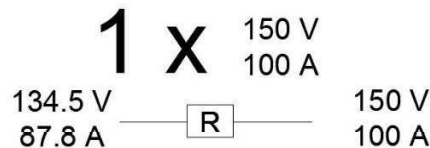


Figura 24: Opción A.2

Para la opción B propuesta se pretende instalar 5 reguladores. A cada uno de los reguladores se conecta una configuración de 2 paneles en serie y 3 en paralelo, obteniéndose un total de 6 paneles por cada regulador. La tensión y corriente que este debe soportar vienen dadas en la Tabla 35.

Tabla 35: Opción B Fuente: Elaboración propia

<b>Paneles en serie</b>	2
<b>Paneles en paralelo</b>	3
<b>Total paneles</b>	6
<b>Tensión circuito abierto (V)</b>	89.7
<b>Corriente de cortocircuito (A)</b>	26.3
<b>Tensión entrada regulador</b>	98.6
<b>Corriente entrada regulador</b>	28.9

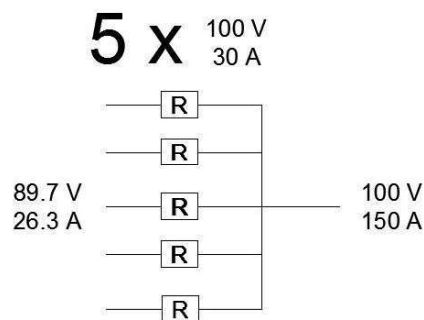


Figura 25: Opción B.2

Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

Para la opción C propuesta se pretende instalar 2 reguladores. A cada uno de los reguladores se conecta una configuración de 2 paneles en serie y 8 en paralelo, obteniéndose un total de 16 paneles por cada regulador. La tensión y corriente que este debe soportar vienen dadas en la Tabla 36.

Tabla 36: Opción C Fuente: Elaboración propia

Paneles en serie	2
Paneles en paralelo	8
Total paneles	16
Tensión circuito abierto (V)	89.7
Corriente de cortocircuito (A)	70.3
Tensión entrada regulador	98.7
Corriente entrada regulador	77.3

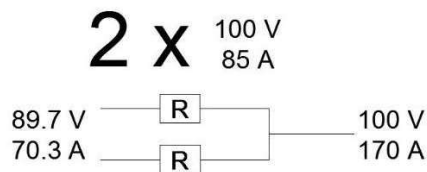


Figura 26: Opción C.2

Para la opción A el mercado ofrece un regulador MPPT Blue Solar 150 V 100 A por 762.32 €.

Para la opción B el mercado ofrece el Regulador MPPT Blue Solar 100V 30A VICTRON por 203.28 €. Al utilizar 5 el coste será de 1016.4 €.

Para la opción C el mercado ofrece el Regulador MPPT Blue Solar 100V 85A VICTRON por 660.66 €. Al utilizar 2 el coste será de 1321.32 €.

En este caso la opción escogida es la A, con el regulador MPPT Blue Solar 150 V 100 A por 762.32 €. Esto se debe a que es la más económica en cuanto a lo que la selección del regulador se refiere, y además se trata de la opción más sencilla de instalar. Utilizando este regulador se pueden usar las mismas baterías que en el apartado anterior. Dados los datos del panel fotovoltaico (Tabla 23), la expresión 7.2 proporciona la capacidad necesaria de las baterías:

$$C_{baterias} = 9526.76 \text{ Ah}$$

Para poder cubrir la capacidad total requerida de las baterías, será necesario utilizar 44 unidades. La disposición de estas es análoga al apartado anterior.



### Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

---

El último elemento a dimensionar en la instalación es el inversor o variador de frecuencia. A partir de la expresión (7.5) y sumando las potencias de iluminación (1/3 de la potencia indicada en la *Tabla 31*) y de los elementos del dispensario (*Tabla 32*) se obtiene la potencia mínima requerida por el inversor.

$$P_{inversor} = 1.2 * (1795.67 + 2600) = 4395.67 \text{ W}$$

Para la selección del inversor adecuado, se consideran los picos de los arranques que tienen algunos electrodomésticos y dispositivos con motor. Estos pueden llegar a demandar una potencia 4 o 5 veces mayor que la potencia nominal. Se presenta un problema en la búsqueda de un inversor adecuado para las necesidades, ya que para potencias del orden de 4.5 KW, los inversores funcionan con voltajes de 24V y no de 12V. Para solucionar este inconveniente se toma como medida utilizar un variador de frecuencia, como ya se ha hecho en el apartado previo. El modelo OMRON 3G3MX2A2037E | MX2 Trifásico, 200-240VAC, 3,7/5.5KW, 17.5/19.6A(HD/ND) es la opción más económica encontrada en el mercado, por 590€.

Así definitivamente la instalación fotovoltaica para el dispensario constará de 30 paneles solares Atersa Optimum, un regulador MPPT Blue Solar 150 V 100 A, 44 baterías de camión regeneradas conectadas en serie y un variador de frecuencia Omron MX2.

## 8. Instalación eólica

### 8.1. Generalidades

Se van a utilizar aerogeneradores horizontales de dos o tres palas con rotor a barlovento, los más utilizados en este tipo de instalaciones. Se recurrirá a baterías para almacenar la energía eléctrica, protegidas contra sobrecargas o descargas mediante un regulador. Se usará también un inversor para convertir la corriente a alterna y poder alimentar a las cargas.

El primer paso consiste en estudiar la altura óptima a la que instalar el aerogenerador, para poder obtener la máxima energía posible. Mediante la expresión 8.1 se puede calcular la variación de la velocidad media del viento según la altura.

$$\frac{v'}{v} = \left(\frac{z'}{z}\right)^\alpha \quad (8.1)$$

En la que:

$v, v'$ : velocidades de viento a diferentes alturas (m/s).

$z, z'$  = Alturas (m)

$\alpha$  = Coeficiente que depende de la longitud de la rugosidad del terreno. Suele toar valores entre 0.1 y 0.4.

El aumento de la altura de la torre que sostiene al aerogenerador puede incurrir en un aumento de costes que no pueda ser compensado con el aumento de la energía obtenida. Por tanto, se utilizará una torre de 10 m para la instalación del aerogenerador.

Con todo esto, para poder caracterizar la cantidad de energía eléctrica a producir se necesita conocer dos factores importantes:

- La velocidad media del viento.
- El tipo de aerogenerador utilizado.

La velocidad media del viento de la zona se muestra en la *Tabla 37*, presentada en el apartado 4.2 de este mismo documento y que a continuación se vuelve a exponer:

*Tabla 37: Velocidad del viento en m/s Fuente: <http://www.lawebdelasenergiasrenovables.com>*

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
2.11	2.39	2.24	2.23	2.29	2.40	2.54	2.73	2.50	2.60	2.43	2.14	2.38

## 8.2. Aerogeneradores

Dado que los aerogeneradores deben cubrir la demanda energética calculada en los apartados anteriores, tanto para bombeo como para el dispensario, se contemplan distintas opciones de aerogeneradores con potencias diferentes, para ver cual se ajusta mejor a las necesidades del proyecto. A continuación, se exponen las curvas de potencia de los aerogeneradores seleccionados para realizar el estudio.

### Curva de potencia



Figura 27: Bornay 25.2+ Fuente: <http://www.bornay.com/es>

### Curva de potencia

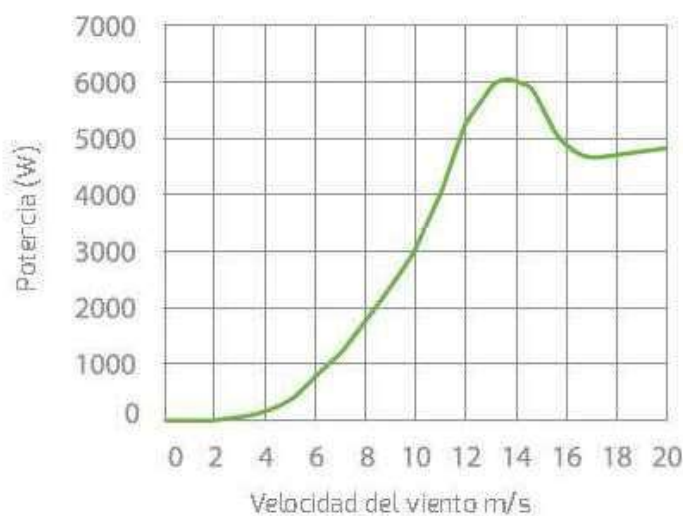


Figura 28: Bornay 25.3+ Fuente: <http://www.bornay.com/es>

## Curva de potencia



Figura 29: ENAIR30 Fuente: <http://www.enair.es>

## Aerogenerador Ecosolar Aero 1000W

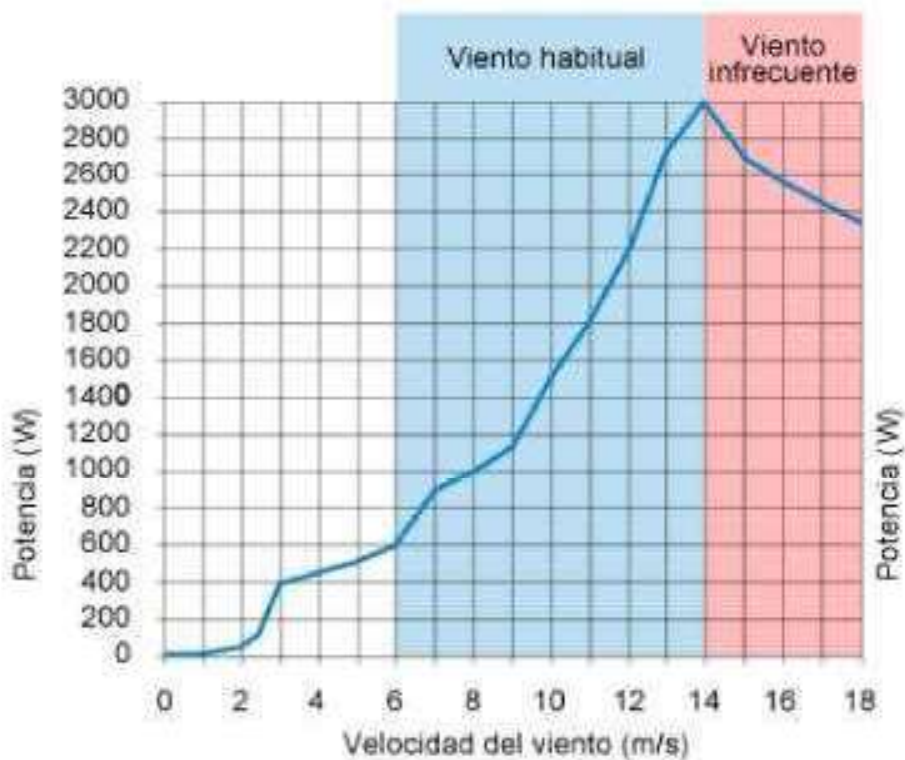


Figura 30: Ecosolar aereo 1000 Fuente: <http://www.damiasolar.com>

### 8.3. Caracterización de la función Weibull

Para calcular la frecuencia de velocidades del viento a la altura elegida se utiliza la distribución de Weibull. Esta función estadística se utiliza en muchas aplicaciones, siendo una de las más importantes la frecuencia de velocidades del viento. Durante un periodo temporal. Así pues, la función de densidad de la distribución Weibull para la variable aleatoria,  $v$  (velocidad), viene dada por la Fórmula 8.2:

$$P_v = \left(\frac{K}{A}\right) \cdot \left(\frac{K}{A}\right)^{K-1} \cdot e^{-\left(\frac{v}{A}\right)^K} \quad (8.2)$$

Siendo:

$P_v$ : es la probabilidad de una determinada velocidad.

K: factor de forma.

A: parámetro de escala.

El factor de forma  $k$  toma valores de 1 a 3. Es adimensional y modifica la simetría de la distribución. Valores cercanos a 1 corresponden a distribuciones muy asimétricas, mientras que valores elevados ( $k > 2-3$ ) corresponden a distribuciones simétricas, similares a las de Gauss. Se calcula mediante la expresión 8.3. El factor de escala  $A$  toma valores de 5 a 10 (m/s) y se relaciona de forma directa con la velocidad media. Se calcula según la expresión 8.4. (Álvarez y otros, 2013):

$$K = \left(\frac{\sigma}{V_{media}}\right)^{-1.806} \quad (8.3)$$

$$A = \frac{V_{media}}{\gamma + \frac{\gamma}{k}} \quad (8.4)$$

Donde:

$V_{media}$ : velocidad media del viento (m/s).

$\sigma$ : la desviación estándar.

$\gamma(1+1/k)$  representa el valor de la función  $\gamma(n) = \int_0^{\infty} e^{-x} \cdot x^{n-1} \cdot dx$ . Valores tabulados para  $n < 2$ .

La distribución de Weibull, puede quedar totalmente determinada conociendo únicamente 2 de sus 3 parámetros:

- el *factor de escala*  $A$ .
- el *factor de forma*  $k$ .
- la *velocidad media del viento*.

La ecuación 8.2 no se debe utilizar para registros de medidas a largo plazo. Ocurre lo mismo con el cálculo de los parámetros  $A$  y  $K$  mediante las ecuaciones 8.3 y 8.4. Si así se hiciese, se estaría subestimando la densidad de potencia disponible del viento, ya que las velocidades medias a largo plazo no incluirán muchos de los registros de velocidades elevadas.

### Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

Puesto que solo se tiene acceso a los datos medios mensuales del emplazamiento, tanto la desviación típica como los factores de forma y escala resultan incoherentes. Por ende, se aproximan los parámetros de forma y escala, para ajustarlos a la realidad mediante una herramienta online. Un programa para trazar la distribución Weibull como el ofrecido por la asociación de la industria eólica de Dinamarca "The Danish Wind Industry Association (DWIA)".

Con un factor de forma de 2.5, con el fin de aprovechar las bajas velocidades del viento, y una velocidad media del viento a la altura de 10 m de 2.38 m/s, la herramienta online proporciona un coeficiente de escala adecuado de 2.64 m/s. (<http://www.windpower.org>)

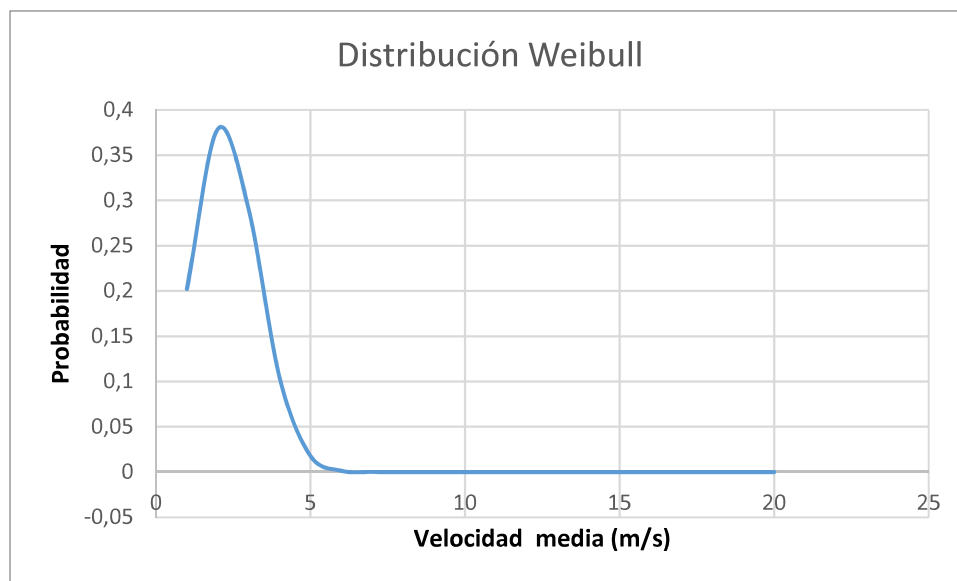


Figura 31: Función Weibull Fuente: Elaboración propia

#### 8.4. Potencia eólica

Una vez, conocida la velocidad del viento a la altura elegida, utilizando las curvas de potencia de los aerogeneradores proporcionadas por los fabricantes junto con la frecuencia de velocidad del viento obtenida de la Weibull, se obtiene la energía que será capaz de generar cada aerogenerador en un año, mediante 8.5.

$$\frac{\text{Energía}}{\text{año}} = P_{\text{aerogenerador}} \cdot P_v \cdot \frac{\text{horas}}{\text{año}} \quad (8.5)$$

---

Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

---

Con:

$\frac{\text{Energía}}{\text{año}}$ : energía eléctrica producida por el aerogenerador en un año ( $\frac{Wh}{\text{año}}$ ).

$P_{\text{aerogenerador}}$ : potencia extraída de la curva de potencia (W).

$P_v$ : frecuencia de una velocidad del viento.

$\frac{\text{horas}}{\text{año}}$ : cantidad de horas del año (h). 8760 h/año.

Para obtener el número de aerogeneradores necesarios, se ha utilizado la energía necesaria anual, calculada en apartados previos, que en este caso es:

$$E_{\text{bombeo}} = 22640 \text{ Wh} \cdot \frac{8\text{h}}{\text{día}} \cdot 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 66108.8 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$
$$E_{\text{dispensario}} = 40012.40 \text{ Wh} * 24 \frac{\text{h}}{\text{día}} * 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 350508.6 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$
$$E_{\text{total}} = 66108.8 + 350508.6 = 416617.8 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

Con toda esta información se presentan las tablas resumen, con los resultados obtenidos de realizar estos cálculos con la herramienta Excel (*Microsoft*):

Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

Tabla 38: Resumen aerogeneradores, parte 1 Fuente: Elaboración propia

Velocidad (m/s)	Distribución Weibull	Bornay 25,2+		Bornay 25,3+	
		Valor curva de potencia (W)	Potencia (kW)	Valor curva de potencia	Potencia (kW)
1	2.0211E-01	0	0	0	0
2	3.7890E-01	50	18.95	0	0
3	2.8959E-01	100	28.96	50	14.48
4	1.0466E-01	200	20.93	150	15.70
5	1.7722E-02	380	6.73	500	8.86
6	1.3469E-03	500	0.67	800	1.08
7	4.3622E-05	800	3.49E-02	1200	5.23E-02
8	5.7059E-07	1200	6.85E-04	1800	1.03E-03
9	2.8579E-09	1500	4.29E-06	2500	7.14E-06
10	5.2040E-12	2200	1.14E-08	3000	1.56E-08
11	3.2764E-15	2950	9.67E-12	4000	1.31E-11
12	6.7943E-19	3350	2.28E-15	5200	3.53E-15
13	4.4283E-23	3400	1.51E-19	6000	2.66E-19
14	8.6694E-28	3350	2.90E-24	6000	5.20E-24
15	4.8793E-33	3180	1.55E-29	5500	2.68E-29
16	7.5663E-39	3000	2.27E-35	4900	3.71E-35
17	3.1020E-45	3000	9.31E-42	4700	1.46E-41
18	3.2302E-52	3000	9.69E-49	4725	1.53E-48
19	8.2162E-60	3000	2.46E-56	4750	3.90E-56
20	4.9144E-68	3000	1.47E-64	4775	2.35E-64
<b>TOTAL:</b>	0.99438		76.28		40.17



Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

Tabla 39: Resumen aerogeneradores, parte 2 Fuente: Elaboración propia

Velocidad (m/s)	Distribución Weibull	ENAIR30		Aero 1000	
		Valor curva de potencia	Potencia (kW)	Valor curva de potencia	Potencia (kW)
1	2.0211E-01	0	0	0	0
2	3.7890E-01	0	0	50	18.95
3	2.8959E-01	50	14.48	200	57.92
4	1.0466E-01	120	12.56	440	46.05
5	1.7722E-02	180	3.19	520	9.22
6	1.3469E-03	300	0.40	600	0.81
7	4.3622E-05	500	2.18E-02	900	3.93E-02
8	5.7059E-07	730	4.17E-04	1000	5.71E-04
9	2.8579E-09	980	2.80E-06	1160	3.32E-06
10	5.2040E-12	1100	5.72E-09	1500	7.81E-09
11	3.2764E-15	1250	4.10E-12	1800	5.90E-12
12	6.7943E-19	1480	1.01E-15	2200	1.49E-15
13	4.4283E-23	1560	6.91E-20	2700	1.20E-19
14	8.6694E-28	1580	1.37E-24	3000	2.60E-24
15	4.8793E-33	1600	7.81E-30	2700	1.32E-29
16	7.5663E-39	1605	1.21E-35	2560	1.94E-35
17	3.1020E-45	1610	4.99E-42	2420	7.51E-42
18	3.2302E-52	1615	5.22E-49	2350	7.59E-49
19	8.2162E-60	1620	1.33E-56		
20	4.9144E-68	1625	7.99E-65		
<b>TOTAL:</b>	0.99438		30.66		132.98

Tabla 40: Resumen aerogeneradores, parte 3 Fuente: Elaboración propia

	Bornay 25,2+	Bornay 25,3+	ENAIR30	Aero 1000
<b>Energía producida anual (KWh/año)</b>	668,2	351,9	268,5	1164,9
<b>Nº de aerogeneradores</b>	623,5	1183,9	1551,4	357,7

Como era de esperar debido a las bajas velocidades del viento, se necesita un elevado número de aerogeneradores para cubrir la demanda energética del bombeo y del dispensario. Esto hace no viable este tipo de instalación para estas condiciones geoclimáticas.

## 9. Instalación solar pasiva

La energía solar pasiva utiliza componentes tales como la construcción de paredes, pisos, techos, ventanas, elementos de construcción exteriores y paisajismo para controlar el calor generado por el sol. Los diseños de calefacción solar intentan atrapar y almacenar la energía térmica de la luz solar directa. El enfriamiento pasivo minimiza los efectos de la radiación solar a través de sombreado o la generación de corrientes de convección de aire de ventilación. La iluminación natural, y la calefacción y refrigeración pasivas son los principales conceptos solares. (<http://www.dforcesolar.com/>)

En el presente TFG el aspecto que más interesa tratar y de mejor aplicación es el enfriamiento pasivo. Como se ha explicado, este se puede realizar mediante la generación de corrientes, como puede observarse en la *Figura 39*. En este método se excava un hueco por la parte inferior del edificio con el que se pretende que el aire en el almacenado se refrigere, debido a la disminución de la temperatura del suelo en función de la profundidad. Creándose así corrientes en el interior del recinto, que expulsan el aire caliente, por los orificios practicados en la parte superior. Reduciendo la temperatura en el interior de la edificación.

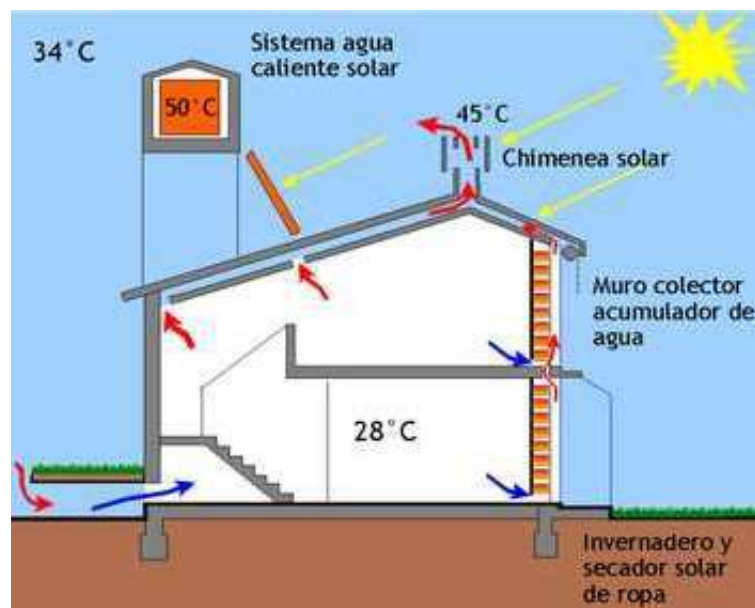


Figura 32: Refrigeración por generación de corrientes Fuente: <https://es.wikipedia.org>

El inconveniente de este método para la aplicación en este TFG es que se trata de edificaciones construidas, por lo que no es viable. Tampoco lo sería económicamente, ya que un trabajo de este tipo saldría mucho más costoso que el método que a continuación se expone.

Se propone el uso de toldos o persianas convencionales, evitando la entrada de luz solar directa. Instalando estos elementos en las ventanas del dispensario y el colegio mejoramos la refrigeración de los mismos. Con esto se pretende aplicar a las propias fórmulas de transmisión de calor por convección

Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

un coeficiente de sombra, que mejore dicha transmisión de calor al interior del habitáculo a través de las superficies acristaladas, siguiendo la fórmula 9.1:

$$Q = K \cdot S \cdot (t_c - t_{in}) \tag{9.1}$$

Siendo:

$Q$ : calor transmitido.

$K$ : conductividad térmica. Para cristales de 3.2 mm es de 5.8 W/m<sup>2</sup>·K.

$S$ : coeficiente de sombra.

$t_c$ : temperatura del cristal.

$t_{in}$ : temperatura interior.

Según indican las figuras 40, 41, 42 y 43 los distintos coeficientes de sombras para los distintos métodos de sombreados son:

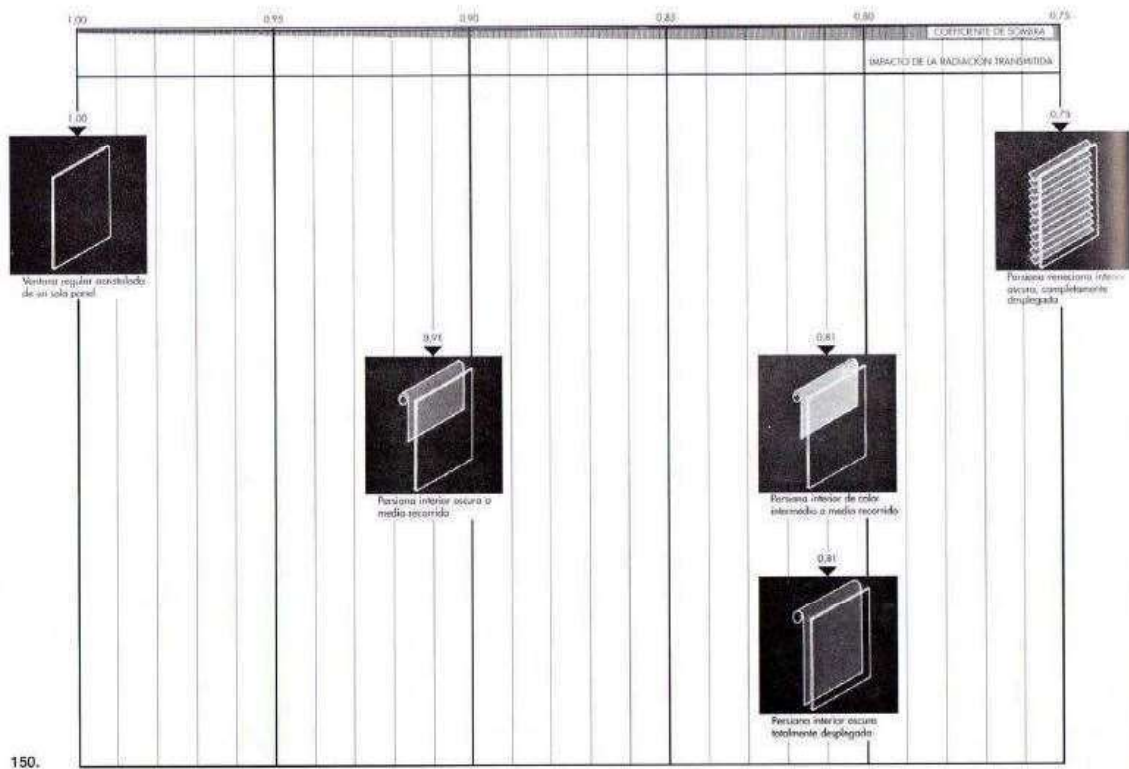


Figura 33: Coeficientes de sombras 1 Fuente: <http://www.javeriana.edu.co/>

Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

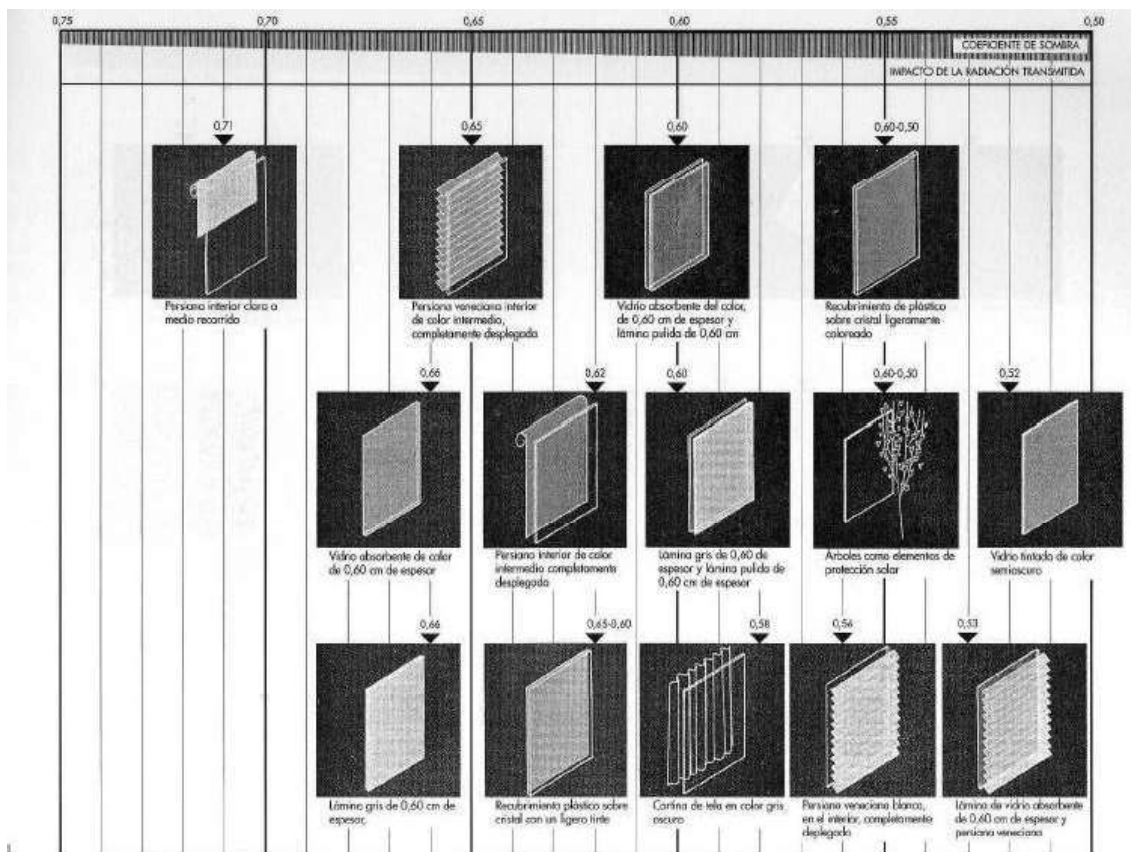


Figura 34: Coeficientes de sombras 2 Fuente: <http://www.javeriana.edu.co/>

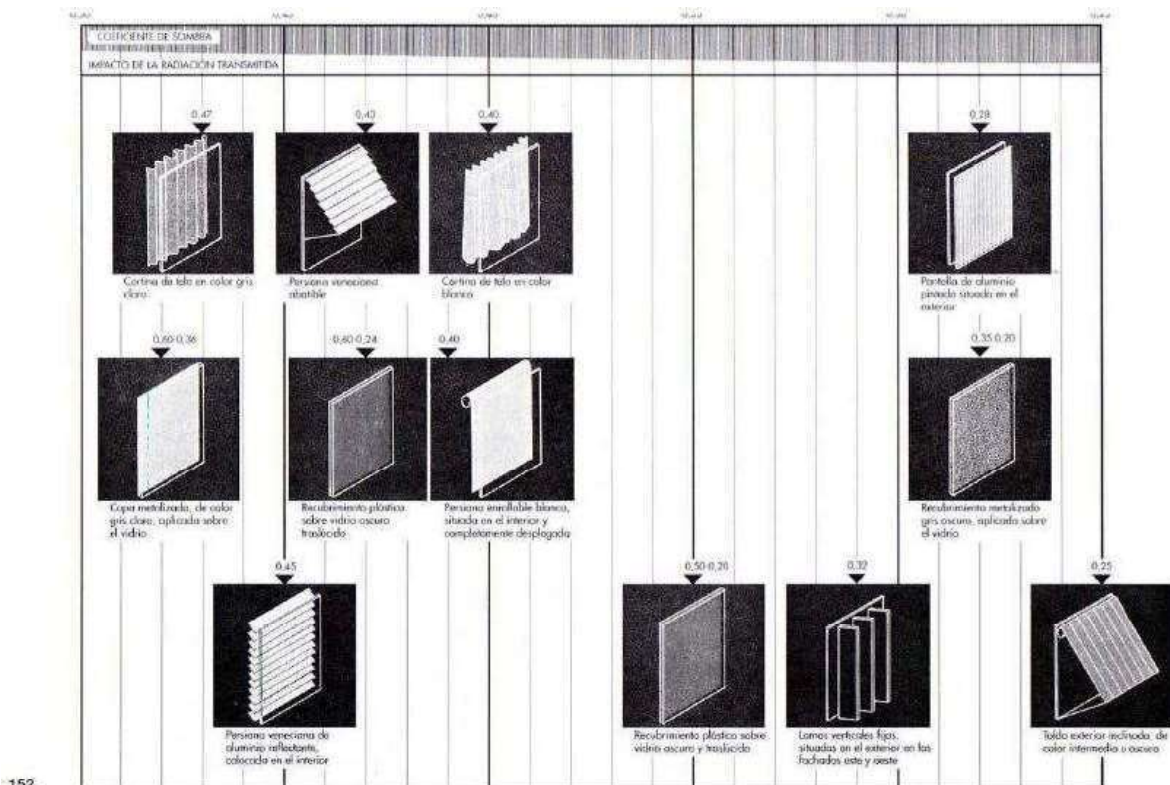


Figura 35: Coeficientes de sombras 3 Fuente: <http://www.javeriana.edu.co/>

Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

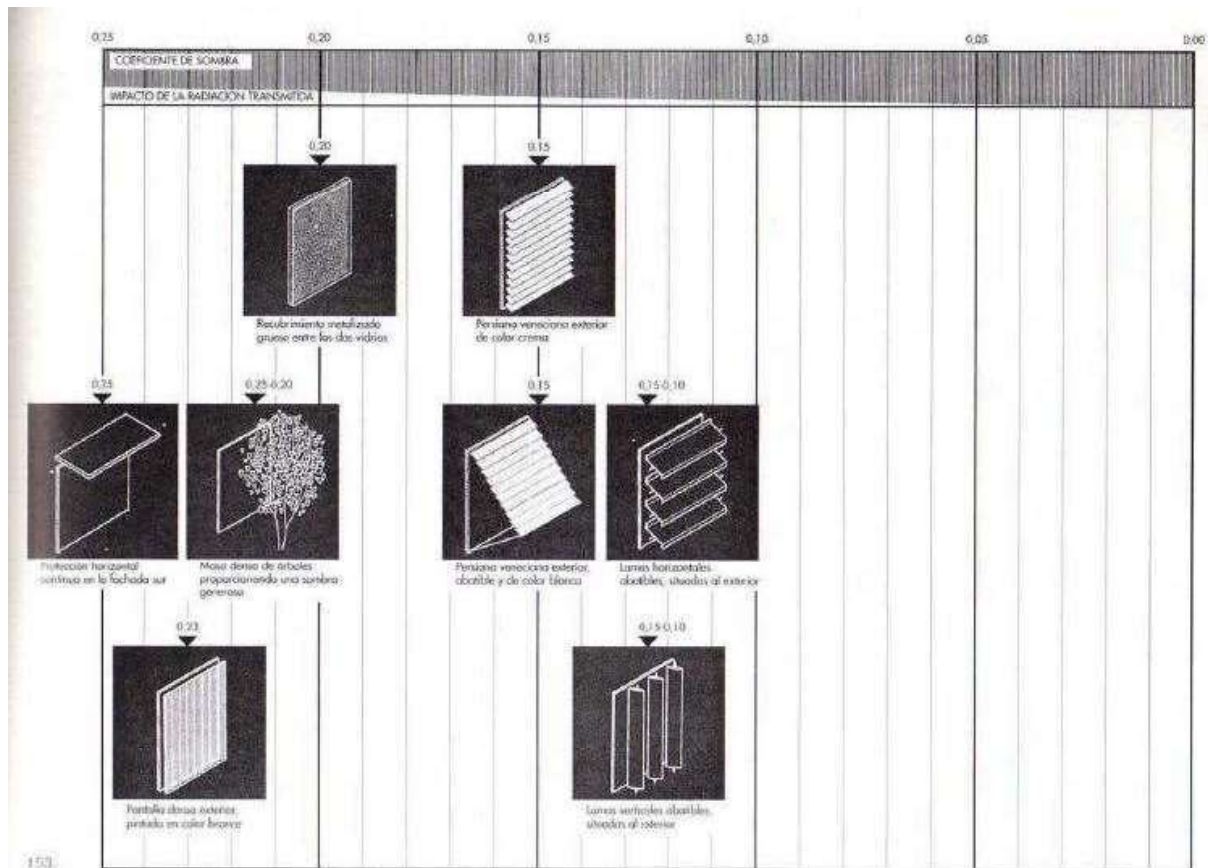


Figura 36: Coeficientes de sombras 4 Fuente: <http://www.javeriana.edu.co/>

Teniendo en cuenta la información previa, y considerando la temperatura para el cristal y para el interior iguales, en condiciones de sol y sombra, aplicamos la expresión 9.1 y se observa la reducción en la transmisión de calor. Para el cristal sin sombra se toma 1 y para el cristal con sombra se toma 0.15, coeficiente de sombras típico de persianas venecianas exteriores.

$$Q_{\text{sin sombra}} = K \cdot 1 \cdot (t_c - t_{in})$$

$$Q_{\text{sombra}} = K \cdot 0.15 \cdot (t_c - t_{in})$$

Se observa como la instalación de unas persianas venecianas exteriores disminuye el calor transmitido por convección hasta el 15%, del obtenido sin usar método de sombreado, mejorándose notablemente la habitabilidad del edificio.

No solo afecta este método a la transmisión de calor por convección, también afecta a la transmisión de calor por radiación, como se puede observar en la expresión 9.2:

$$Q_{radiación} = K \cdot T_c^4 \quad (9.2)$$

Donde al igual que en la expresión anterior (9.1):

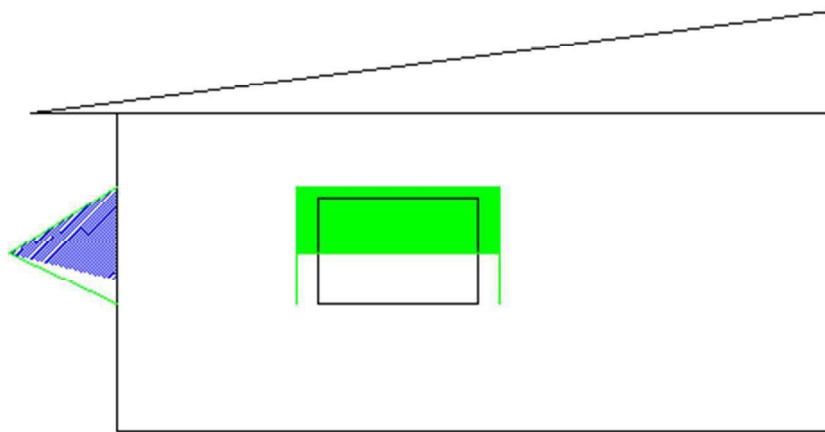
$Q_{radiación}$ : calor transmitido por radiación.

$K$ : conductividad térmica. Para cristales de 3.2 mm es de 5.8 W/m<sup>2</sup>·K.

$T_c$ : temperatura del cristal.

Dado que al aplicar una sombra al cristal la temperatura de este disminuye notablemente, lo hace así también el calor radiado por el cristal al interior de la sala. Esto se debe al orden 4 de la potencia que relaciona el calor transmitido con la temperatura.

En la *Figura 44* se puede apreciar como quedarían las ventanas del dispensario después de la instalación de una persiana abatible exterior.



*Figura 37. Vista persiana abatible Fuente: Elaboración propia*

En el total de edificios que comprende el presente proyecto hay 67 ventanas. Por lo que se requerirá la instalación de 67 persianas, una para cada una de las ventadas

## 10. Consideraciones económicas del proyecto

Con la herramienta RetScreen se ha realizado un análisis de viabilidad. En él se ha comparado el caso base (generación de energía eléctrica mediante grupo electrógeno) con un caso propuesto (generación de energía eléctrica mediante instalación solar fotovoltaica) para un tiempo de vida del proyecto de 30 años.

Para el caso base se ha contemplado un grupo electrógeno de 3 kW y un precio de 0.75 €/l de combustible.

En el caso propuesto se contemplan las instalaciones fotovoltaicas calculadas en el Apartado 7.

El consumo anual del combustible asciende a un coste de 11086 €. Por otro lado, el coste de mantenimiento de los equipos fotovoltaicos es de 3090 € al año. Dado que la instalación fotovoltaica no cubre el consumo energético completamente durante todo el año, este se complementa con el uso del grupo electrógeno, generándose así un coste de 2127 € anuales en combustible. Quedando un coste total anual de 5217 € al año.

Para el análisis financiero del proyecto se ha aplicado una tasa de escalamiento del combustible del 2.7%, una tasa de inflación del 2.7% y una tasa de descuento del 8%. Primeramente, hay que considerar que el desembolso inicial por la instalación fotovoltaica se considera de 36800 €. Dicho esto, se observa que el TIR resultante es del 18.8%, %, un porcentaje mucho más elevado que el 3-4% que se suele tener en estos proyectos. Esto se puede explicar debido a la inestabilidad económica del país, que causa esa tasa de inflación, esa variación del precio del combustible y la pérdida porcentual del valor de la moneda.

También se puede apreciar que el tiempo de retorno de capital es de 5.7 años y que se consiguen “beneficios” a partir de los 6.3 años. En la Figura 45 se pueden apreciar gráficamente estos periodos de tiempo.

Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

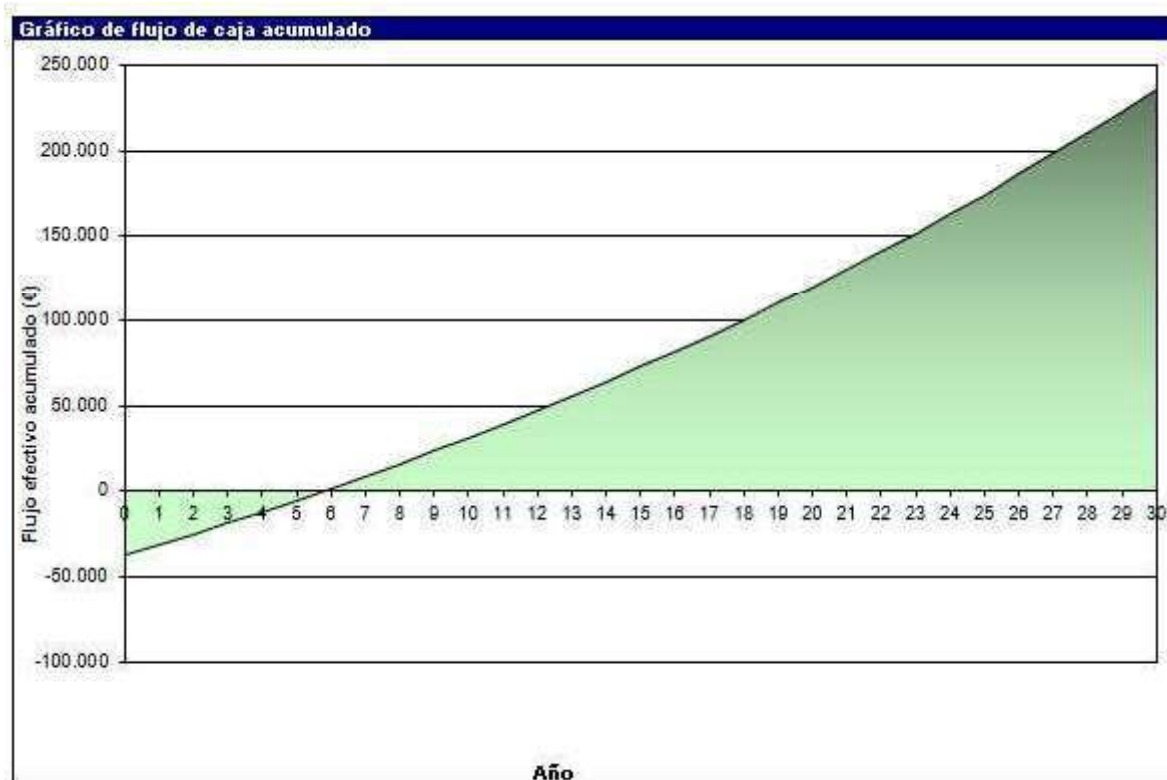


Figura 38: Tiempo de retorno de la inversión Fuente: RETScreen

Pasados los 30 años del periodo de vida estimado para el proyecto el VAN es de 51600 €. Esto es el dinero ahorrado en combustible para el grupo electrógeno, tras la inversión inicial.

Más allá del ámbito económico del proyecto también cabe destacar que se consigue un ahorro de 13406 litros de combustible al año. Lo cual repercute en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera (en su mayoría  $CO_2$ ) al reducir en 31.2 toneladas de estos gases al año. Ya que el grupo electrógeno generaría 38.8 toneladas anuales y con la instalación propuesta tan solo 7.6 toneladas.



## 11. Conclusiones

El presente Trabajo Final de Grado estudia el aprovechamiento de energías renovables para tratar de cubrir las necesidades del conjunto escuela dispensario en Kinshasa, R.D. del Congo, así como facilitar varios puntos de acceso al agua para la población, aprovechando la misma instalación. Para ello se han analizado las demandas y se han estudiado diferentes tipos de energías renovables que se adapten a ellas. Con el fin de contribuir a la reducción del porcentaje de personas sin acceso sostenible al agua potable energía eléctrica y servicios básicos.

Se ha calculado y diseñado una instalación solar fotovoltaica para producción de energía eléctrica, una instalación de bombeo solar para la obtención de agua para consumo humano, una instalación de energía eólica como alternativa para la producción de electricidad y una instalación solar térmica para producción de agua caliente sanitaria. Además, de la instalación de unas persianas que mejoren la climatización de los edificios, aplicando energía solar pasiva.

La instalación hidráulica consta de una bomba de 2.83 kW, 254 m de tubería de PVC Ø 50 mm y 35 m de tubería de PVC Ø 63 mm. Con un coste de instalación final de 1493.86 €.

En cuanto a la instalación de agua caliente sanitaria, la superficie de colector solar plano instalado será de 9.6 m<sup>2</sup> y un acumulador de 1000 l, con un presupuesto total de la instalación de 2766.67 €.

La instalación solar fotovoltaica se divide en dos instalaciones independientes. La primera, dimensionada para alimentar a la instalación de bombeo, compuesta por 24 paneles de 300 Wp, 34 baterías de 12 V y capacidad nominal de 220 Ah. Para una autonomía de 2 días y un presupuesto de 15512.02 €. La otra instalación fotovoltaica tiene como finalidad satisfacer la demanda eléctrica mínima e indispensable del dispensario médico. Con un campo solar fotovoltaico formado por 30 paneles de 300 Wp y 44 baterías de 12 V con capacidad nominal de 220 Ah para proporcionar a la instalación 2 días de autonomía, con un presupuesto de 19284.00 €.

Como alternativa a la energía solar se opta por la energía eólica pero como se ha observado, no es una alternativa viable debido a las bajas velocidades medias de viento. Por este motivo tampoco se contempla la opción de un sistema mixto fotovoltaico-eólico.

Por último, la instalación de 67 persianas, en las ventanas del colegio, dispensario y sala polivalente, las cuales ayudan a su refrigeración tiene un coste de 2954.70 €.

Con estas instalaciones, el coste final del proyecto es de 58991.01 €, del cual un 89.09% corresponde a la instalación solar fotovoltaica, un 3.82% en la instalación hidráulica, un 7.08% corresponde a la instalación de ACS y el 7.57% restante corresponde a la instalación solar pasiva.

## 12. Bibliografía

(AECID). Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo [en línea].

Disponible en: < <http://www.aecid.es/ES/la-aecid> >

Alonso Abella, M. (2005). *Sistemas fotovoltaicos: Introducción al diseño y dimensionado de instalaciones de energía solar fotovoltaica*. 2ª edición. Madrid: ERA SOLAR.

Alonso Lorenzo, J.A (sin fecha). *Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma SunFields Europe*. Santiago de Compostela, A Coruña.

Disponible en: < [www.sfe-solar.com](http://www.sfe-solar.com) >

Álvarez, C., William F., Alvarado, F., Andrea, C., Martínez, T., y Laura, A. (2013). *Evaluación del potencial eólico en el campus de la Universidad Santo Tomás Tunja*. Ingenio Magno.

Arias Arbeláez, F.A. (2006). *Desarrollo Sostenible y sus indicadores*. Colombia: CIDSE, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad del Valle, Cali.

(ASDC) Atmospheric Science Data Center [en línea].

Disponible en: < <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi> >

BaxiRoca. Dimensionado online instalación ACS [en línea].

Disponible en: < <http://www.baxi.es/solaronline/> >

[Bornay, 2015] Bornay (2015). Catálogo

Disponible en: < <http://www.bornay.com/es> >

Cañada Ribera, J. (2008). *Manual de energía solar térmica: Diseño y cálculo de instalaciones*. Valencia: UPV.

CIA factbook.

Disponible en: < <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/cg.html> >

Creus Solé, A. (2008). *Aerogeneradores*. [Barcelona]: Cano Pina.

(CTE, 2009). *Documento básico DB HE, Ahorro de energía, sección HE4, Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria del Código Técnico de la Edificación, CTE*.

Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

---

Cucó Pardillos, S. (2010). *Máster ejecutivo, gestor de proyectos e instalaciones energéticas: Manual del ingeniero*. Paterna: Instituto Tecnológico de la Energía.

Documentación *ONG Korima*.

Disponible en < <http://korimasur.org/> >

Documentación *Fundación PROCLADE | ONGD, Cooperación y Sensibilización*.

Disponible en < <http://www.fundacionproclade.org/> >

Eosweb.larc.nasa.gov. *ASDC | Processing, archiving, and distributing Earth science data at the NASA Langley Research Center*. [en línea]

Disponible en: < <https://eosweb.larc.nasa.gov> >.

EsPosible (2011). [en línea]. Nº 13.

Disponible en: <<http://www.revistaesposible.org/phocadownload/esposible-febrero2011.pdf>>

Es.climate-data.org. (2016). *Datos climáticos mundiales - Climate-Data.org*. [en línea]

Disponible en: <<http://es.climate-data.org/>>

Fernández Barrera, M. (2010). *Energía solar: electricidad fotovoltaica*. Tres cantos: Liber Factory.

Givoni, Baruch. *Man, climate and architecture*. Applied Science Publishers, Second Edition. 1.976, Londres.

Groupe gret. *Bioclimatisme en zone tropicale*. Gret. 1.986, Paris.

Hinz, Elke et al. *Proyecto clima y arquitectura*. Ed. Gili, S.A. 1986, México. Vol 3 ONU. *El clima y el diseño de casas*. Publicaciones ONU, 1973, New York.

<http://www.upv.es/entidades/DTRA/infoweb/dtra/info/U0674534.pdf>

IDAE- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2009). *Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red*. Madrid.

IDAE y Comité Español de Iluminación-CEI (2001). *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación*.

Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

---

Informe de Comisión de Brundtland (2004). *Nuestro Futuro Común* (Comisión del Desarrollo y Medio Ambiente).

Ingemecánica. Cálculo y Diseño Instalaciones de Fontanería.

Disponible en: < <http://ingemecanica.com/> >

ISF (1999). *Energía Solar Fotovoltaica y Cooperación al Desarrollo*. Madrid: Ingeniería Sin Fronteras-ISF, IEPALA.

Izuriaga, E. (2013). *Green Village: Cálculo de necesidades energéticas y diseño de una microred con energías renovables*. Escuela Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación. Pamplona.

John, A. , Bartram, J., Chartier, Y., Sims, J. (2010). *Normas sobre agua, saneamiento e higiene para escuelas en contextos de escasos recursos*. Organización Mundial de la Salud.

Roger Folch, J., Riera Guasp, M. and Roldán Porta, C. (2000). *Tecnología eléctrica*. [Madrid]: Editorial Síntesis.

J.A., Medioamb. Junta de Andalucía, Medioambiente. *Aproximaciones a los indicadores de sostenibilidad y medio ambiente*.

Mott, R. L. (2015). *Mecánica de fluidos*. Mexico DF: Pearson.

Mundo Solar. (2016). *Mundo Solar - Aprende sobre energía solar, paneles solares, etc.* [en línea]

Disponible en: <<http://www.dforcesolar.com>>

Olgay, Víctor. *Arquitectura y clima*. Ed. Gili, S.A. 1.998, Barcelona.

(OMS) Organización Mundial de la Salud.

Disponible en: <<http://www.who.int/es/>>

Pareja Aparicio, M. (2009). *Energía solar fotovoltaica: cálculo de una instalación aislada*. Barcelona: Marcombo

Pérez-Foguet, A. (2006). *Ingeniería Aplicada a la Cooperación para el Desarrollo, Volumen 3*.



Aplicación de energías renovables en un colegio y dispensario médico en la R.D. del Congo

---

*Tecnologías de la energía para el desarrollo. Tecnología para el Desarrollo Humano y acceso a los servicios básicos.* Associació Catalana d'Enginyeria Sense Fronteres.

PNUD (2012). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

Disponible en: <<http://www.undp.org/content/undp/es/home/mdgoverview/>>

Rico Gómez, J.B. (Sin fecha). *Abastecimiento eléctrico y de agua caliente sanitaria de una finca rústica mediante energía solar.* Ingeniería técnica industrial mecánica. Universidad Carlos III de Madrid.

Solar, M. (s.f.). <http://www.dforcesolar.com/>.

Velo, E., Sánchez, T., Escobar, R., Oria, J.S., Vilar, D. (2007). *Curso de introducción: energía y cooperación para el desarrollo (2ª Edición).*

Villarrubia, M. (2004). *Energía eólica.* Barcelona: Ediciones CEAC.



## II. Presupuesto



## Instalación de agua potable

Partida	Unidades	Cantidad	Precio unitario	Importe
Bomba sumergible modelo UPA 150C-16 (KSB) o similares, incluido con kit de cableado, cuadro de mando, unidad de control e interruptor de nivel.	Ud.	1	1.025,70 €	1.025,70 €
Tubos de polietileno para agua potable, diámetro 50 mm, presión 4 atm o similar, incluye abrazaderas para sujeción p.p de elementos de conexión y válvulas.	m	235	1,62 €	380,00 €
Tubos de polietileno para agua potable, diámetro 63 mm, presión 4 atm o similar incluye abrazaderas para sujeción p.p de elementos de conexión y válvulas.	m	35	2,52 €	88,17 €
<b>Total</b>				<b>1.493,86 €</b>

## Agua Caliente Sanitaria (ACS)

Partida	Unidades	Cantidad	Precio unitario	Importe
Panel captador solar solapool Plus de polipropileno 120x200 cm , o similar, montado en cubierta, incluso pequeño material y p.p. tubería, transporte, y funcionando.	Ud.	4	219,99 €	879,96 €
Acumulador solar, Chromagen, modelo AICV006, o similar	Ud.	1	935,81 €	935,81 €
Estructura metálica Saclima L-21 para 4 paneles solares térmicos en cubierta inclinada.	Ud.	1	213,90 €	213,90 €
Conjunto de accesorios, que incluye válvulas de seguridad y de cierre, equipos de regulación y control. Incluso pequeño material y p.p de tubería.	Ud.	1	540,00 €	540,00 €
Circulador para agua caliente sanitaria SB-5 Y, o similares.	Ud.	1	197 €	197,00 €
<b>Total</b>				<b>2.766,67 €</b>



## Instalación fotovoltaica para bombeo

Partida	Unidades	Cantidad	Precio unitario	Importe
Panel solar, modelo Optimum de Atersa, o similares, montado en cubierta, incluso pequeño material y p.p. cableado eléctrico, transporte, y funcionando.	Ud.	24	292,82 €	7.027,68 €
Batería de camión 220 Ah regenerada incluso pequeño material y p.p. cableado eléctrico, transporte, y funcionando.	Ud.	34	170,00 €	5.780,00 €
Regulador, MPPT Blue Solar 150 V 85 A victron, o similares, incluso pequeño material y p.p. cableado eléctrico, transporte, y funcionando.	Ud.	1	660,66 €	660,66 €
Variador de frecuencia Omron 3G3MX2A2037E   MX2 Trifásico, o similares, incluso pequeño material y p.p. cableado eléctrico, transporte, y funcionando.	Ud.	1	590,00 €	590,00 €
Estructura Panel Solar CHA915 para suelo, transporte y montaje.	Ud.	24	35,57 €	853,68 €
Caseta de hormigón prefabricado de 1,5 x 1,5 m para cuadros eléctricos, baterías, inversores y reguladores.	Ud.	1	600,00 €	600,00 €
Kit cableado de cobre con flexibilidad, aislamiento de polietileno reticulado y cubierta de PVC, con distintas secciones y longitudes.	Ud.	1	160,00 €	160,00 €
<b>Total</b>				<b>15.672,02 €</b>

### Instalación fotovoltaica para consumo eléctrico del dispensario

Partida	Unidades	Cantidad	Precio unitario	Importe
Panel solar, modelo Optimum de Atersa, o similares, montado en cubierta, incluso pequeño material y p.p. cableado eléctrico, transporte, y funcionando.	Ud.	30	292,82 €	8.784,60 €
Batería de camión 220 Ah regenerada incluso pequeño material y p.p. cableado eléctrico, transporte, y funcionando.	Ud.	44	170,00 €	7.480,00 €
Regulador, MPPT Blue Solar 150 V 100 A victron, o similares, incluso pequeño material y p.p. cableado eléctrico, transporte, y funcionando.	Ud.	1	762,30 €	762,30 €
Variador de frecuencia Omron 3G3MX2A2037E   MX2 Trifásico, o similares, incluso pequeño material y p.p. cableado eléctrico, transporte, y funcionando.	Ud.	1	590,00 €	590,00 €
Estructura Panel Solar CHA915 Para Suelo, transporte y montaje.	Ud.	30	35,57 €	1.067,10 €
Caseta de hormigón prefabricado de 1,5 x 1,5 m para cuadros eléctricos, baterías, inversores y reguladores.	Ud.	1	600,00 €	600,00 €
Kit cableado de cobre con flexibilidad, aislamiento de polietileno reticulado y cubierta de PVC, con distintas secciones y longitudes.	Ud.	1	200,00 €	200,00 €
<b>Total</b>				<b>19.484,00 €</b>

### Instalación solar pasiva

Partida	Unidades	Cantidad	Precio unitario	Importe
Persiana alicantina de PVC 1,5x1, o similar, incluido transporte y montaje.	Ud.	67	44,10 €	2.954,70 €
<b>Total</b>				<b>2.954,70 €</b>

## Presupuesto de Ejecución Material (PEM)

Instalación hidráulica	1.493,86 €
Instalación ACS	2.766,67 €
Instalación fotovoltaica bombeo	15.672,02 €
Instalación fotovoltaica dispensario	19.484,00 €
Instalación solar pasiva	2.954,70 €
<b>Total (PEM)</b>	<b>39.416,55 €</b>

## Presupuesto de Ejecución por Contrata

<b>Presupuesto de Ejecución Material</b>		<b>39.416,55 €</b>
Proyectos, licencias, trámites...	7,00%	2.759,16 €
Dirección Proyecto ejecutivo de la instalación	3,00%	1.182,50 €
Gastos Generales	12,00%	4.729,99 €
Beneficio Industrial	0,00%	0,00 €
<b>Presupuesto de Ejecución por Contrata</b>		<b>48.088,19 €</b>
I.V.A.	18,00%	8.655,87 €
<b>Presupuesto base de licitación</b>		<b>56.744,07 €</b>

\*Aunque según el Artículo 21 de la ley del IVA las exportaciones están exentas, se aplica el 18% que la legislación de la República Democrática del Congo podrá imponer. Al ser un proyecto de cooperación seguramente lo librarían también de este impuesto.

\*\*Dado que se trata de un Proyecto de cooperación al desarrollo el beneficio industrial es del 0%, ya que no se pretende obtener ingresos por el mismo.

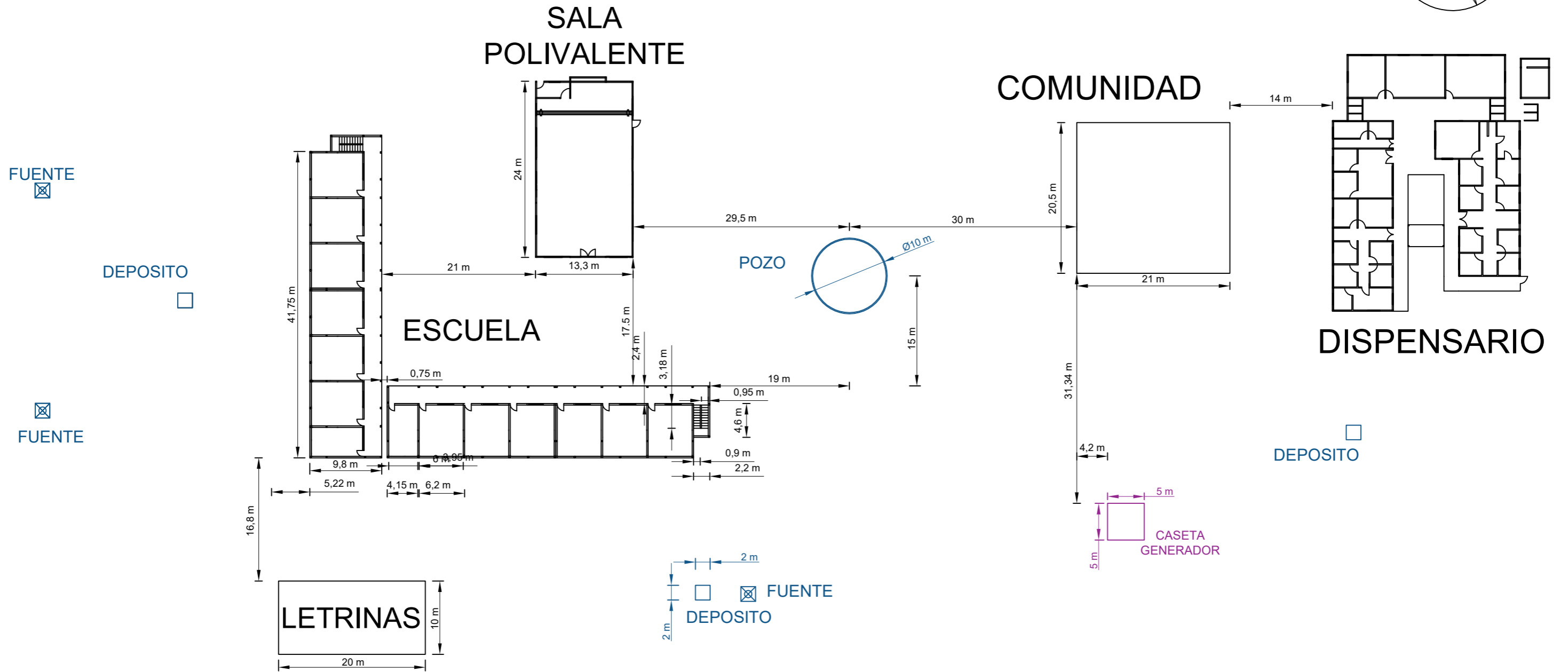
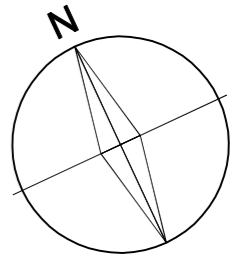
Asciende el presente presupuesto a la expresada cantidad de:

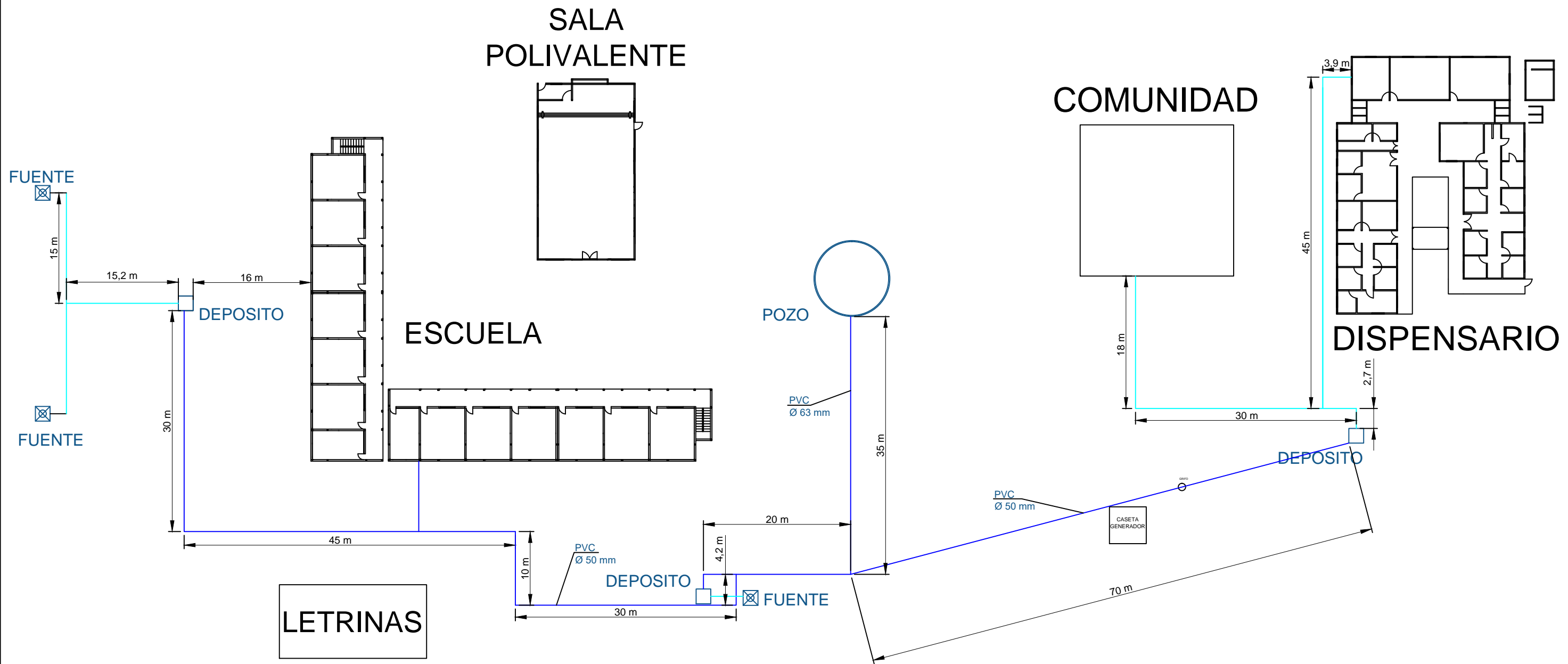
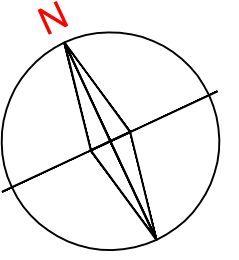
CINCUENTA Y SEIS MIL SETECIENTOS CUARENTA Y CUATRO EUROS CON SIETE CENTIMOS

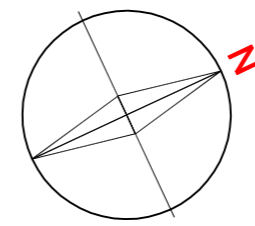


# III. Planos

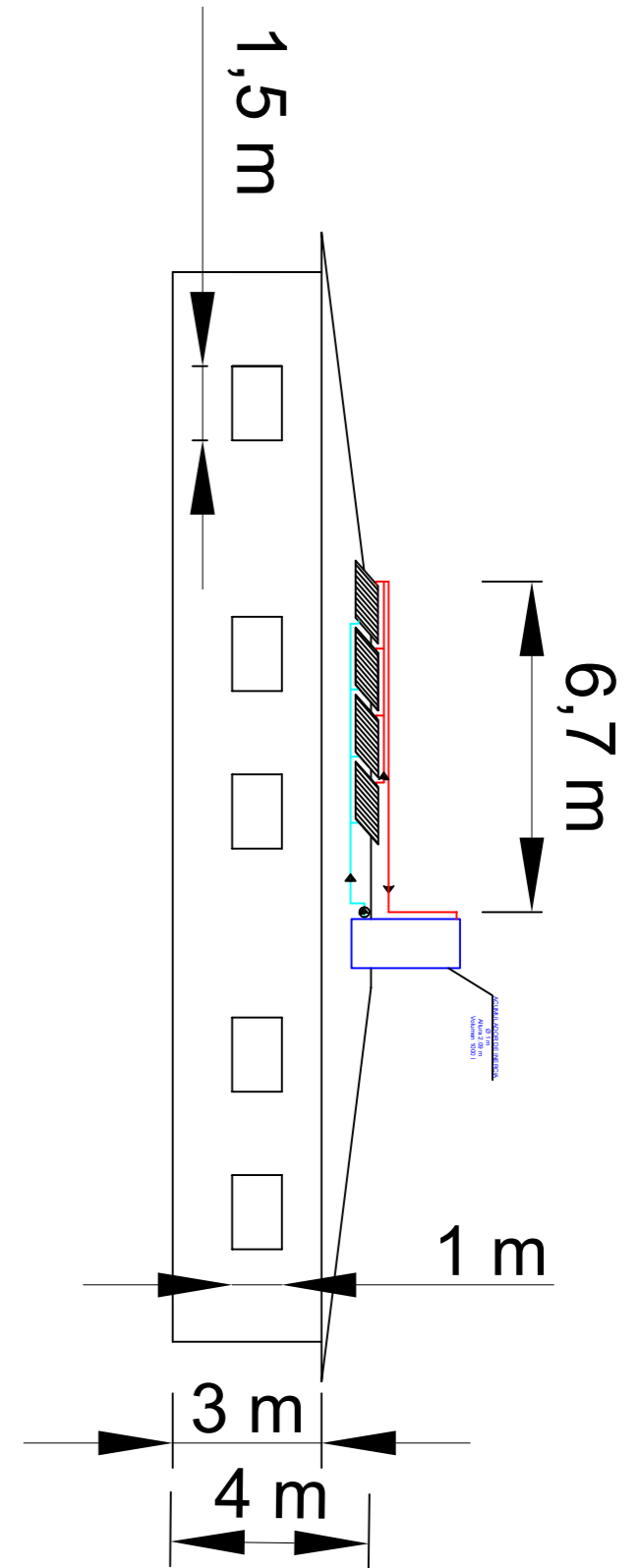
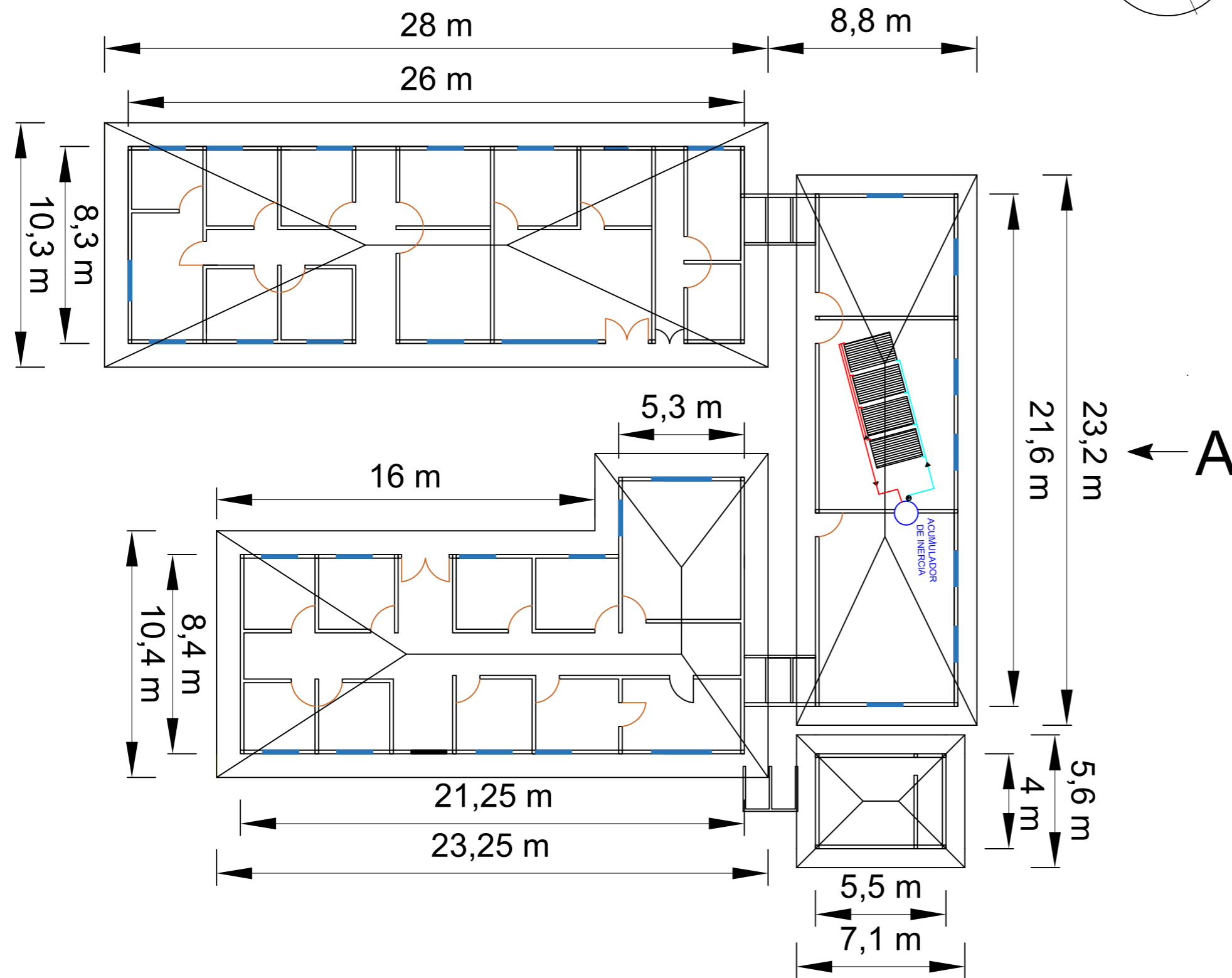








# A (1:150)





# A (2:1)

REFERENCIA	
BANCO DE BATERIAS	1
INVERSOR	2
VARIADOR DE FRECUENCIA	3

