



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA

PROYECTO DE INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA Y SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LA POBLACIÓN DE ARBOLLÉ (BURKINA FASO)

AUTOR: María Noel Márquez Rivero

TUTOR: Tomás Gómez Navarro

COTUTOR: Juan Ángel Saiz Jiménez

Curso Académico: 2016-17

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

Agradecimientos

Gracias a Tomás Gómez, por su apoyo, por su dedicación y por su tiempo a la hora de tutorizar este Trabajo Final de Grado.

Gracias a Juan Ángel Saiz, por su compromiso y dedicación durante todo el proceso de realización de este trabajo, desde el comienzo, en junio de 2016, hasta el último momento, y por el apoyo brindado durante mi estancia en Arbolle. Su energía y pasión han sido, y son, un ejemplo a seguir.

Gracias a Amparo Sepulcre y Lucila Aragón, por haber sido un apoyo incondicional en los momentos más difíciles, por toda la ayuda que me han dado durante este periodo. Sus ganas de trabajar, de intentar llegar cada día más lejos, son para mí una inspiración.

Gracias especialmente a Justin Sigouinda y su familia, por haberme acogido en su casa como un miembro más durante mi estancia en Burkina Faso, por su cariño, y por sus ganas y esfuerzo en ayudar a los demás.

Gracias a Denise Nabaloum, por ayudarme a integrarme en la comunidad de Arbolle, por su coraje y voluntad puestos cada día al servicio de los demás, por tratarme como a una hija más y por todo su apoyo.

Gracias a mis padres y hermano, por haberme acompañado en el camino, por estar siempre ahí, por su paciencia, su apoyo incondicional y por todo su cariño.

Y gracias también a todas aquellas personas, compañeros y amigos, que de una forma u otra, han sabido estar siempre a mi lado, apoyándome e impulsándome a seguir adelante, en los buenos y malos momentos de estos años de universidad.

Sin todas estas personas no hubiera sido posible realizar este trabajo, todo lo que he aprendido durante la experiencia en Burkina Faso y durante el proceso de realización de este proyecto, conforman un valioso bagaje que complementa perfectamente los años de formación académica.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFG

- Memoria
- Anexos
- Presupuesto

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1. Objeto.....	1
2. Antecedentes	1
3. Contexto.....	2
3.1. Contexto físico.....	3
3.1.1. Localización	3
3.1.1.1. Burkina Faso	3
3.1.1.2. Arbolle	3
3.1.2. Clima.....	4
3.2. Contexto socio-económico.....	6
3.2.1. Población	6
3.2.2. Estructura sociopolítica	7
3.2.3. Contraparte local.....	8
3.2.4. Sanidad	9
3.2.5. Educación	11
3.2.6. Agricultura y ganadería	13
3.2.7. Vivienda.....	13
3.2.8. Sistema energético	14
3.2.9. Economía.....	15
4. Estudio de las necesidades.....	16
4.1. Identificación de problemas.....	16
4.1.1. Autonomía energética.....	16
4.1.2. Seguridad alimentaria	18
4.2. Alternativas a la solución de los problemas.....	19
4.2.1. Energía.....	19
4.2.2. Alimentación	22
4.3. Soluciones técnicas adoptadas	23
4.3.1. Electrificación fotovoltaica.....	23
4.3.1.1. Datos de radiación solar	23
4.3.1.2. Partes de una instalación solar fotovoltaica aislada	24
4.3.2. Formación en energía solar fotovoltaica.....	28
4.3.3. Deshidratador solar de alimentos.....	29

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

4.3.4.	Formación en deshidratación solar de alimentos	30
4.4.	Desarrollo de las soluciones planteadas	30
4.4.1.	Proyecto de electrificación fotovoltaica.....	30
4.4.1.1.	Escuelas	30
4.4.1.1.1.	Carga energética del sistema	31
4.4.1.1.2.	Modelado de consumos y perfiles de carga.....	31
4.4.1.1.3.	Dimensionado de las instalaciones	34
4.4.1.2.	CSPS.....	41
4.4.1.2.1.	Carga energética del sistema	42
4.4.1.2.2.	Modelado de consumos y perfiles de carga.....	42
4.4.1.2.3.	Dimensionado de las instalaciones	46
4.4.1.3.	Instalación piloto	50
4.4.1.3.1.	Definición	50
4.4.1.3.2.	Dimensionado de la instalación	51
4.4.1.4.	Gestión de la demanda	59
4.4.1.5.	Búsqueda y selección de componentes	60
4.4.1.6.	Factores de riesgo	61
4.4.1.7.	Situación actual del proyecto.....	61
4.4.2.	Formación alumnos de secundaria en energía solar fotovoltaica	62
4.4.3.	Deshidratador solar de alimentos.....	65
4.4.3.1.	Construcción del deshidratador	70
4.4.3.2.	Deshidratación de alimentos por energía solar	73
4.4.3.3.	Formación de mujeres en la deshidratación solar de alimentos.	75
5.	Conclusiones.....	76
6.	Bibliografía	77

ÍNDICE DE LOS ANEXOS

- i. Tablas
- ii. Figuras

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

- I. Instalación fotovoltaica
 - I.I. Centros de salud y promoción social
 - I.II. Escuelas públicas de educación primaria
 - I.III. Instalación piloto en instituto de secundaria
- II. Construcción deshidratador

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

1. Objeto

El propósito del presente TFG es el de contribuir a la mejora de las condiciones de vida de la población de Arbolle (Burkina Faso) a través del uso de la energía solar, tanto térmica como fotovoltaica.

El objetivo de este trabajo es, en primer lugar, realizar un estudio técnico inicial para la electrificación rural fotovoltaica de 55 escuelas públicas de enseñanza primaria y 8 Centros de Salud y de Promoción Social (CSPS) de la comuna de Arbolle en el norte de Burkina Faso, mediante el uso de la energía solar fotovoltaica.

En segundo lugar, gracias al uso de la energía solar térmica, se pretende dotar, a la población de Arbolle, de unas herramientas adecuadas para la conservación de alimentos, hecho que les permitirá disponer de los mismos en época de escasez, ya sea para el consumo propio o para su venta y obtención de beneficios económicos. El proyecto se basa, en parte, en los datos y la experiencia de un trabajo de campo realizado en Burkina Faso durante los meses de septiembre a diciembre de 2016 mediante una beca Meridies del Centro de Cooperación al Desarrollo de la Universidad Politécnica de Valencia.

Las líneas de base que fundamentan las acciones llevadas a cabo mediante el presente proyecto son las siguientes:

- Autonomía energética
- Seguridad alimentaria
- Formación para romper el círculo de la pobreza
- Empoderamiento de la población y en especial, de las mujeres con el fin de lograr la equidad social.

El plan de trabajo en Arbolle ha incluido la recopilación de información de carácter técnico, social y financiera, lo que permite establecer las bases imprescindibles para el inicio del proyecto, y sobre todo, para aportar la solución técnica que mejor se adapte a las necesidades.

Así mismo, el plan de trabajo ha incluido la actuación con una asociación local de mujeres en el marco de la deshidratación solar de alimentos. Para ello se ha llevado a cabo la construcción de un deshidratador solar y la formación de un grupo de 30 mujeres en técnicas de deshidratación solar de frutas y verduras.

Siguiendo la línea base de la transferencia de conocimientos y la formación como herramienta para romper el círculo de la pobreza, se ha realizado un curso con en torno a 200 estudiantes de la escuela de secundaria de Arbolle, para su formación básica en energía solar fotovoltaica. El curso incluyó la puesta en marcha de una instalación fotovoltaica a modo de proyecto piloto en la escuela de secundaria de Arbolle, lo que ha permitido testear las posibilidades reales de desarrollo de esta tecnología como solución a la problemática que se plantea.

2. Antecedentes

En sus informes, la Organización de las Naciones Unidas sitúa a Burkina Faso como uno de los países menos desarrollados del mundo, ocupando, en el 2016, el puesto 185 entre los 188 países considerados. Este índice valora varios aspectos relativos al desarrollo humano, como el disponer de un nivel de vida digno, tener una vida saludable y adquirir conocimientos, entre otros.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

En el caso concreto de Burkina Faso, son múltiples los factores que desembocan en un bajo desarrollo humano. Entre ellos destacan, el clima semiárido y las lluvias estacionales, la situación de pobreza extrema en la que está encallada la población y el escaso desarrollo industrial.

En las zonas rurales, las barreras que existen para el acceso a la electricidad dificultan aún más el adecuado desarrollo de las comunidades. La vida diaria se ve especialmente obstaculizada en colegios y centros de salud. Es por ello que el presente proyecto se centra en estos dos grupos.

Por otro lado, una de las causas del precario desarrollo de las zonas rurales del norte del país es la actual situación que vive la agricultura, su principal actividad económica. Un periodo de lluvias cada vez más corto y más escaso, sumado a la desertización del terreno por la escasez del agua y la tala de árboles para la producción de energía térmica en los hogares, provocan graves consecuencias en la producción agrícola. En consecuencia, la economía y la alimentación de las familias resultan empobrecidas.

Por último, cabe destacar la consonancia de este proyecto con los Objetivos de Desarrollo Sostenible impulsados por los estados miembro de las Naciones Unidas en su alianza por la lucha contra la pobreza. Entre los 17 ODS planteados, este proyecto está especialmente alineado con los siguientes:

- Objetivo nº7: Energía asequible y no contaminante
- Objetivo nº2: Hambre cero
- Objetivo nº3: Salud y bienestar
- Objetivo nº4: Educación de calidad



Figura 1. Objetivos 7,2, 3 y 4 de Desarrollo Sostenible según la ONU.

3. Contexto

A continuación se muestra una tabla resumen con algunas de las características principales del país:

Ficha resumen Burkina Faso	
Superficie	274.500 km ²
Capital política	Uagadugú (1.626.950 habitantes)
Idioma	Francés (Oficial)- El 90% de la población habla otras lenguas, principalmente Diula o Moré.
Moneda	Franco CFA (Tipo de cambio fijo con el Euro de 655,957)
Forma de Estado	República parlamentaria
Población	19.512.533 (50,4% mujeres y 49,6% hombres)

Tabla 1. Ficha resumen de Burkina Faso. Fuente: Central Intelligence Agency.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolé (Burkina Faso)

3.1. Contexto físico

3.1.1. Localización

3.1.1.1. Burkina Faso

Burkina Faso se encuentra dentro de los diez países que forman parte de la denominada región del Sahel, en África del Oeste, una de las regiones que acumula mayores niveles de pobreza del mundo. Limita al norte y oeste con Mali, al este con Níger, al sureste con Benín y al sur con Ghana, Togo y Costa de Marfil; el país no cuenta, por tanto, con salida al mar. Su superficie es de 274.500 kilómetros cuadrados.

La capital política es Uagadugú, siendo Bobo-Dioulaso la segunda ciudad más importante, epicentro de la actividad industrial, comercial y económica del país. Las otras tres ciudades más importantes son Koudougou, Ouahigouya y Banfora.



Figura 2. Mapa Burkina Faso

3.1.1.2. Arbolé

Arbolé es una comunidad rural, o departamento, de Passoré, una de las cuatro provincias que forman la Región del Norte, comprendida entre $12^{\circ}40'22''$ y $15^{\circ}28'51''$ de latitud norte y $1^{\circ}50'26''$ y $2^{\circ}09'01''$ de Longitud Oeste. Está situada a 29 km de Yako, capital de la provincia y a 80 km de Uagadugú. Cuenta con una superficie de 580 kilómetros cuadrados y engloba un total de 48 poblaciones.

La comuna es atravesada por la carretera nacional RN2 a lo largo de 23 km. El resto de vías de comunicación lo forman unos 488 km de pistas y senderos de tierra, en su mayor parte, degradados

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

por las lluvias y la falta de mantenimiento. Esto provoca una situación de aislamiento del conjunto de pueblos más o menos pronunciado durante el periodo de lluvias; cuyas consecuencias se dejan ver a distintos niveles de la vida cotidiana de los habitantes de la comuna.

A su vez, Arbolle también es el nombre de la tercera localidad más poblada del departamento, y donde se centran las actividades administrativo-políticas de la misma.

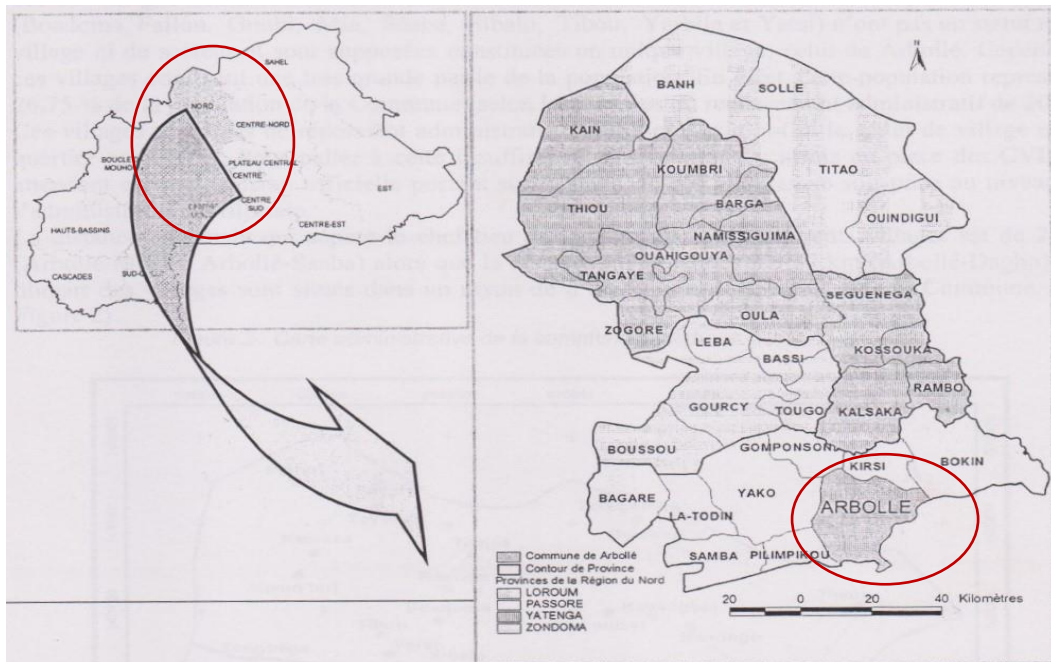


Figura 3. Situación geográfica de la comuna rural de Arbolle

3.1.2. Clima

El clima predominante en el país es de tipo semiárido, caracterizado por las altas temperaturas, la sequedad y la concentración de las lluvias en un periodo concreto del año, de forma general entre los meses de junio y septiembre. Este periodo de lluvias es ligeramente más prolongado y abundante en las zonas del sur del país, mientras que en la mitad norte, con menos relieve y más zonas de tipo desérticas, las lluvias son menos abundantes.

Se trata de un aspecto clave para entender el contexto del proyecto. Dentro de los causantes del bajo desarrollo del país podríamos situar el clima, puesto que son las lluvias precisamente las que marcan el ritmo de vida de las poblaciones en esta zona del planeta. Esto se debe a que las actividades económicas que dan sustento a las familias, la agricultura y la ganadería, son fuertemente dependientes del agua. Al tratarse de una superficie casi desértica, con escasa vegetación y acumulaciones de agua, las lluvias son el elemento clave para que estas actividades prosperen.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

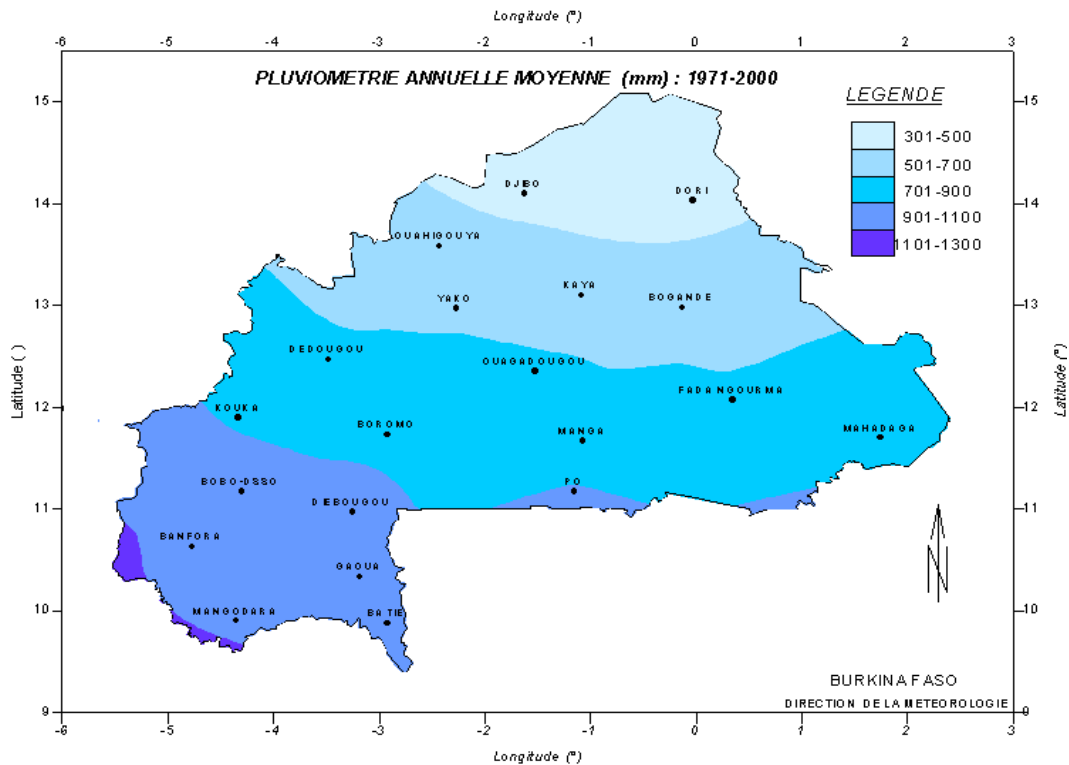


Figura 4. Pluviometría media anual en Burkina Faso.

En el mapa anterior se observa perfectamente como las precipitaciones descienden en cantidad a medida que nos acercamos al desierto del Sáhara (Norte), siendo las lluvias en el norte del país la tercera parte de las de la mitad sur. En concordancia con esto, el relieve de los terrenos es significativamente menor en la mitad norte.

El clima existente en Burkina Faso puede subdividirse en Saheliano, Sud-saheliano y sudanés, distribuidos en el territorio según se muestra en el siguiente mapa.

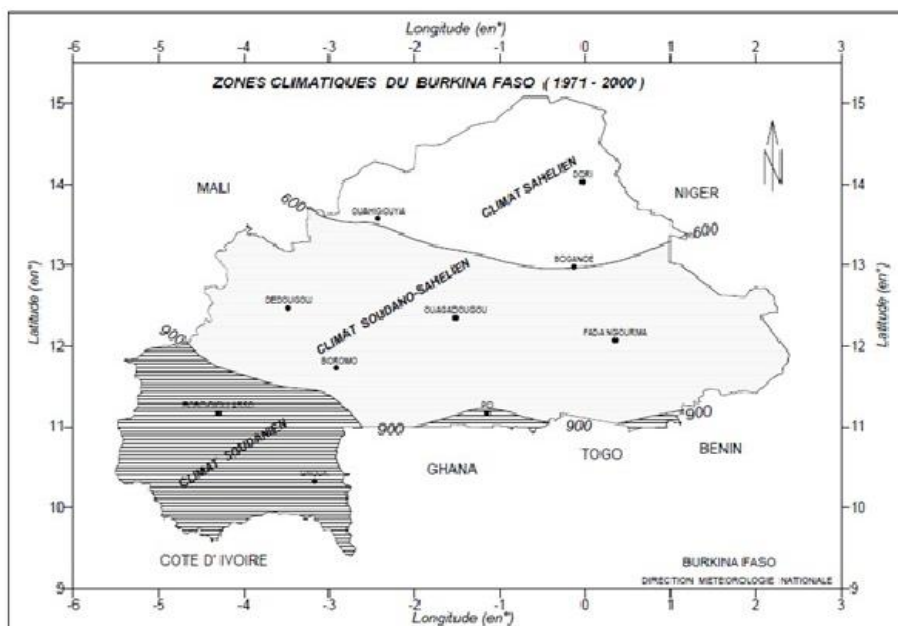


Figura 5. Zonas climáticas de Burkina Faso. Fuente: Direction de la Météorologie nationale.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbollé (Burkina Faso)

Siguiendo esta subdivisión Arbollé tendría un clima sud-saheliano caracterizado por la variación de las temperaturas, de la intensidad de los vientos y de la pluviometría. Estas variaciones temporales y espaciales afectan de manera especialmente significativa a la pluviometría, la cual es aleatoria y está mal repartida. Este hecho junto con la naturaleza de los suelos, que de por sí son secos, constituye la principal amenaza de la agricultura y la ganadería. De hecho, la irregularidad de las lluvias afecta considerablemente a las producciones agrosilvopastoriles y constituye una de las principales contraindicaciones de la seguridad alimentaria en la comuna rural de Arbollé.

3.2. Contexto socio-económico

3.2.1. Población

En primer lugar, cabe destacar que este es un punto clave, puesto que es donde se describe a los usuarios y al mismo tiempo, beneficiarios de los resultados obtenidos con este proyecto. Resulta clave adaptar la solución propuesta a los problemas de los usuarios, para que el proyecto sea exitoso y sostenible en el tiempo. Esta ha sido precisamente la máxima de este TFG, por ello la base ha sido estudiar a la población, ver realmente cuáles son las necesidades y cuál es la solución más acorde a las mismas.

Burkina Faso cuenta según datos de la CIA (Central Intelligence Agency) de 2016 con 19.512.533 habitantes, entre los que un 50.379 % son mujeres y un 45.04 % de la población total son niños con edades comprendidas entre 0 y 14 años y un 20.08% son jóvenes de entre 15 y 24 años, por lo que un 65.12% de la población tiene menos de 24 años. En la siguiente gráfica se aprecia la distribución de la población burkinesa cuya edad media es de 17.2 años.

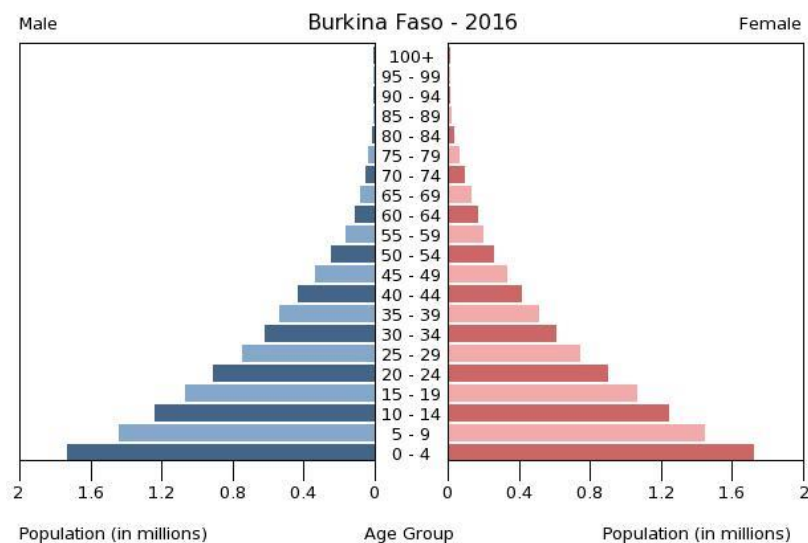


Figura 6. Pirámide poblacional de Burkina Faso

En la capital, Uagadugú, así como en las grandes ciudades, la densidad de población es más elevada que en las zonas rurales, sin embargo el 70.141% de la población de Burkina Faso vive en zonas rurales.

El número de habitantes de la comuna rural de Arbollé en 2006 era de 45.848 según el último censo realizado. No obstante, la previsión de crecimiento estima que en 2014 los habitantes de la comuna eran 53.592. La densidad de población se sitúa alrededor de 80 habitantes por km². El pueblo con mayor número de habitantes es Boulkon, al norte de la comuna, que según los datos de 2004,

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

contaba en ese año con cerca de 4500 habitantes. En el siguiente mapa se aprecia la repartición de la población, según el censo administrativo de 2004.

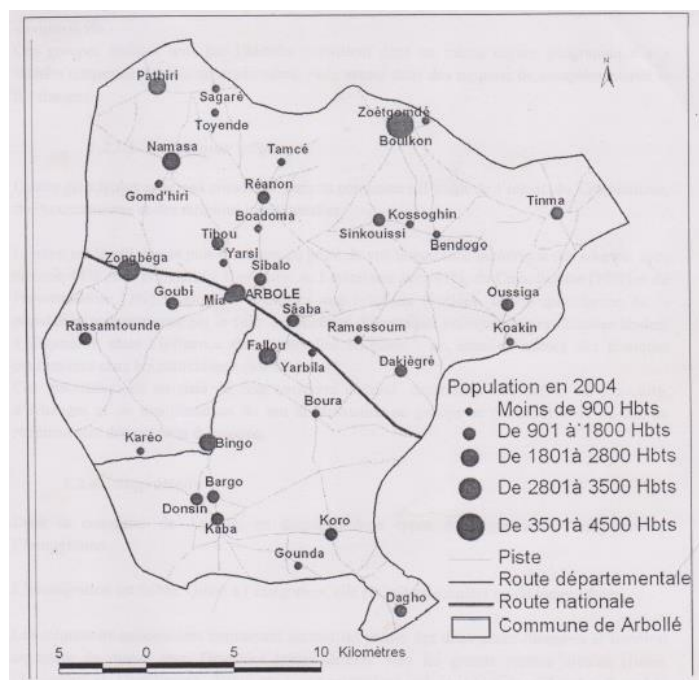


Figura 7. Población en la comuna rural de Arbolle. Fuente: PCD Arbolle.

De los datos anteriormente expuestos, se puede extraer una conclusión fundamental, las mujeres y los niños son los dos grupos poblacionales más numerosos, y coincide además que son los grupos más desfavorecidos socialmente. En la estructura social burkinesa el papel del hombre siempre ha estado por encima del de la mujer, quedando relegada ésta a un segundo plano en la toma de decisiones de la vida social. Los niños muchas veces se ven forzados a colaborar en las tareas propias de la casa y el campo, de hecho, la tasa de trabajo infantil entre niños de 5 a 14 años es del 38%. Estos son los dos grupos poblacionales que este proyecto tiene como principal objetivo.

3.2.2. Estructura sociopolítica

De manera semejante a como ocurre en el resto de países de África, Burkina Faso se caracteriza por la riqueza cultural. A lo largo y ancho de todo el territorio burkinés se extienden en torno a 69 etnias diferentes, cada una con su propia lengua y costumbres. La diversidad cultural condiciona la forma de vida de la población, así como la forma de organizarse.

La división administrativa se estructura en 13 regiones, 45 provincias y 350 departamentos. Cada región cuenta con una capital. Arbolle se encuentra dentro de la región del Norte cuya capital es Ouahigouya, en la provincia de Passoré (1 de las 4 provincias de esta región) cuya capital es Yako y en el departamento de Arbolle cuya capital es la comuna rural de Arbolle. Las regiones están dirigidas por los Gobernadores, las provincias están dirigidas por los Altos-comisarios y los departamentos por los Prefectos.

La etnia mayoritaria en esta zona del país es la Mossi. La comunidad rural se constituye por familias, cada familia vive en una casa o un patio distinto. Dentro de cada casa, el poder en cuanto a la toma de decisiones, recae normalmente en el hombre. Según datos recogidos por la FAO sólo el 7,5% de los hogares rurales son dirigidos por mujeres.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

La mujer, en cambio, se encarga del cuidado y crianza de los niños, de preparar las comidas, de la limpieza, de recoger el agua del pozo, y de un sinnúmero de tareas más, todas ellas fundamentales para la vida y que constituyen la base de la organización de la comunidad.

Las tareas del campo se encuentran más repartidas, no obstante, cerca del 54% de la fuerza laboral agrícola son mujeres, según datos de la FAO. Tradicionalmente existen cultivos de los que se encarga la mujer en exclusividad. Por otro lado, las labores de pastoreo y cuidado de los animales son los niños en muchas ocasiones quienes se encargan de llevarlas a cabo.

Efectivamente, dentro de las condiciones de bajo desarrollo humano en que se encuentran las comunidades rurales del país, en mayor parte, pero no exclusivamente, niños y mujeres son los dos grupos sociales más castigados. Sobre ellos recaen tradicionalmente las tareas más arduas.

El elevado riesgo de pobreza y exclusión social al que están sometidos niños y mujeres justifica una vez más, su elección como grupo objetivo para este TFG.

3.2.3. Contraparte local

Bajo estas condiciones descritas referentes a la estructura social tan desigual, la población local ha conseguido organizarse para conseguir de manera conjunta unas condiciones de vida más dignas, justas y sostenibles. Cada vez es más frecuente encontrar asociaciones locales de mujeres y hombres que luchan por conseguir unas mejores condiciones de vida, aprovechando sus propios recursos y luchando día a día por sus derechos.

Es el ejemplo de la Asociación de mujeres ALFA de Arbolle (Association de Femmes Lagemtaaba de Arbolle) una de las contrapartes de este proyecto. Su actividad principal se centra en el empoderamiento de la mujer a través de actividades de formación en áreas diversas como la higiene, salud, educación sexual, cuidado de los niños, etc. así como la transformación de la nuez de karité en productos de gran valor y utilidad para la cosmética, la salud y la cocina.

Han conseguido dotar de un mayor grado de independencia a las mujeres de la comunidad de Arbolle gracias a los microcréditos que les permiten emprender sus propios negocios, como la venta de la manteca de karité y otros derivados del mismo. Además, gracias a las actividades de formación, consiguen concienciar a la población en asuntos cruciales como la educación sexual, el SIDA, los derechos humanos, la salud y el cuidado personal, la limpieza de los espacios públicos, etc. En la actualidad el número de miembros de esta asociación ronda las 300 personas.



Figura 8. Miembros Asociación ALFA en reunión de microcréditos (izda.) y producción karité (dcha.) Fuente: MÁRQUEZ M.N.

La segunda contraparte de este proyecto es la Asociación ASFES (Association Solidaire de la Femme et de l'Enfant au Sahel) cuyo objetivo principal se centra en contribuir al desarrollo de mujeres y

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

niños de la región del Sahel y más concretamente, de la comunidad de Arbolle. Esta organización sirve de eje transmisor entre las necesidades de las comunidades rurales y las entidades nacionales y/o internacionales tales como Universidades, ONG's, entidades públicas, etc. con capacidad para apoyar el desarrollo de aquellos proyectos que contribuyen a paliar las necesidades de la población, tanto a nivel técnico como económico. Gracias a su labor y esfuerzo, han conseguido llevar a cabo proyectos de diversa índole, tales como la construcción de aulas en escuelas y centros de secundaria de la comunidad de Arbolle, la construcción y reparación de pozos, la ampliación de centros de salud, la dotación con material médico a centros de salud así como material escolar a los centros educativos (uniformes, libros, mobiliario, etc.).

Es a partir de la estrecha relación entre ASFES y miembros de la UPV nacida en el año 2003 que este proyecto ha surgido. La colaboración entre ambas partes, así como el apoyo técnico brindado, han permitido la formulación y puesta en marcha de diversos proyectos en Burkina Faso tales la ampliación de la escuela de secundaria de Arbolle o la construcción del centro de salud de Ouissiga, entre otros.

Las dos entidades que conforman la contraparte local de este proyecto, han sido seleccionadas cuidadosamente por su buen hacer durante estos años y su posición estratégica dentro de la sociedad de Arbolle, lo que permite que el proyecto tenga una mejor base sobre la que desarrollarse y se centre realmente en las necesidades de la población. De esta manera, se asegura la buena acogida del proyecto entre la población, su durabilidad en el tiempo, a la vez que se acerca el proyecto a los sectores de la sociedad donde es más necesario.

3.2.4. Sanidad

La situación sanitaria de la comuna se aprecia a través del estado de las infraestructuras y equipamiento, los recursos humanos disponibles, la accesibilidad a los cuidados, tanto a nivel físico como económico, y las principales causas de consulta.

En lo referente a las infraestructuras y equipamiento cabe destacar que la comuna de Arbolle dispone actualmente de 8 Centros de Salud y Promoción Social (CSPS), lo que equivale a 6.250 pacientes por centro. Están ubicados en los pueblos de Arbolle, Kaba, Boulkon, Ouissiga, Pathiri, Namassa, Zongbèga y Bingo. Debido a las distancias geográficas entre los mismos, el acceso resulta en muchas ocasiones complicado para la población, de hecho, según los datos recogidos en el plan comunal de desarrollo de Arbolle, 1 de cada 4 pueblos se encuentra a más de 10 km del CSPS más cercano.



Figura 9. Maternidad Boulkon. Fuente: MÁRQUEZ M.N.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

Cada CSPS cuenta con una maternidad y un dispensario, dos espacios claramente diferenciados, tanto física como funcionalmente. El primero de estos se encarga de atender a mujeres embarazadas, neonatos y niños. Mientras que el segundo se encarga de la atención a toda la población, en lo referente a medicina general. A excepción de Bingo, cuyo CSPS es el más reciente de los 8 que existen en la comuna, y cuenta únicamente con un dispensario.

Además, en la comuna existen, al menos, 4 farmacias abiertas a toda la comunidad, a lo que se suman los almacenes médicos con que cuentan los dispensarios. Esto no asegura el suministro y acceso a las medicinas necesarias para las enfermedades más comunes que sufre la población. Las dificultades económicas que viven los CSPS de la comunidad les impide en muchas ocasiones pagar a tiempo los medicamentos quedando desabastecidos.

En cuanto a los recursos humanos de que disponen los centros de salud, se trata básicamente de en torno a 16 médicos o profesionales con formación en medicina y enfermería. Esto se traduce en una carencia significativa de medios humanos que resulta en centros de salud saturados y enfermos desatendidos. A lo que se suma el precario estado de los edificios, la falta de mantenimiento de recursos materiales para atender a los enfermos.

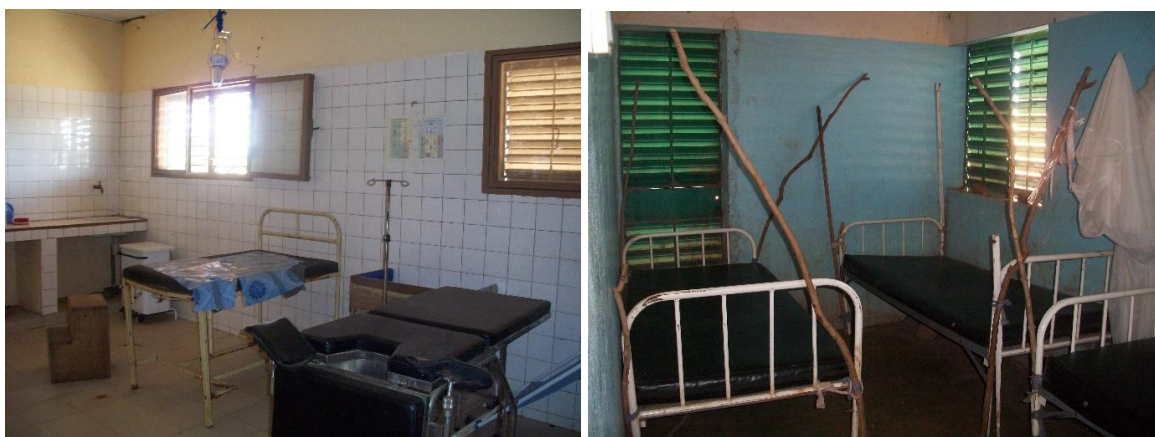


Figura 10. Sala partos de la maternidad de Arbolle (izda.) y sala hospitalización del dispensario de Arbolle (dcha.) Fuente: MÁRQUEZ M.N.

Por otro lado, se suman las carencias en cuanto a suministro eléctrico. Los centros de salud de la comuna de Arbolle no cuentan con acceso a la red pública de electricidad, debido principalmente a la elevada distancia hasta los puntos de conexión así como los elevados costes de la creación de un punto de acceso y el coste del suministro mensual de energía. Los CSPS no son capaces, con la limitación presupuestaria de que disponen, de asumir dichos costes. Esto repercute directamente en la calidad de la atención médica que reciben los pacientes.

La principal vía de acceso a la electricidad con calidad y seguridad de suministro, la constituyen las instalaciones de generación aisladas con energía solar fotovoltaica. Este tipo de instalaciones dota de independencia y buena calidad de suministro, evitando los indeseados cortes de suministro que dificultarían las tareas de los CSPS.

También se ha detectado que el actual método de conservación de medicamentos en los dispensarios mediante neveras a gas, presenta problemas debido a la intermitencia del suministro del gas. Se trata de un suministro caro y con escasa seguridad.

Las principales causas de consulta a los centros sanitarios son el paludismo que representa casi el 66.5% de las consultas, seguido de las afecciones respiratorias que suponen el 15.7%, las afecciones

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

de la piel suponen el 5.2% de los motivos de consulta y los parásitos intestinales y las diarreas no sangrantes suponen cada una de ellas el 4.5%. El resto de causas más destacables son mordeduras de serpiente, traumatismos producidos en la vía pública, infecciones de transmisión sexual, e hipertensión arterial, todas ellas suman el 2.2% restante de las consultas.

3.2.5. Educación

Como parte fundamental del desarrollo de una sociedad, la educación es un aspecto clave para entender el contexto de este proyecto.

El sistema educativo de Burkina Faso se estructura en cuatro niveles: preescolar, primaria, secundaria y enseñanza superior. El nivel de enseñanza primaria acoge a los niños de entre 6 y 12 años dividiéndolos en tres niveles distintos, cada uno de ellos con dos cursos, CP (Curso Preparatorio), CE (Curso Elemental) y CM (Curso Medio), en total seis cursos.

La comuna cuenta con dos Inspecciones de la Educación Primaria, que son las encargadas de gestionar las escuelas públicas representando el papel de mediador entre los centros educativos y el ministerio competente. Estas dos entidades fueron precisamente las que permitieron la recopilación de información relativa a las escuelas durante la estancia en Arbolle.

De la información recogida se destaca que la comuna cuenta con 55 escuelas públicas de educación primaria, que atienden actualmente a un total de 12.748 alumnos. La relación entre número de alumnos y escuelas es de prácticamente 232 alumnos por escuela, lo que entra dentro de la media nacional y se puede considerar como una buena cobertura, siendo la distancia máxima a recorrer por un niño para llegar a clase, de 5km. No obstante, las condiciones precarias en las que se encuentran estos centros dificulta seriamente el buen rendimiento académico de los niños.

En las tablas A y B del capítulo de Anexos, se detallan algunos de los datos relevantes recogidos durante la estancia en la comunidad de Arbolle, como el número de aulas con que actualmente cuenta cada escuela, la superficie de las mismas y el número de alumnos. En cada escuela se ha realizado un recuento de las aulas que se encuentran en buen y mal estado, considerando para ello la situación de las infraestructuras respecto a techos, suelos y paredes. Para cada escuela se detalla el número de aulas a considerar en el proyecto, teniendo en cuenta que aquellas que están actualmente en mal estado, serán rehabilitadas antes del inicio del proyecto.

Según la información recogida actualmente existen 16 escuelas en las que algunas de sus clases no disponen de una infraestructura normalizada. Dichas aulas, cuentan con el techo en paja y las paredes en adobe y barro, con el suelo de tierra. No obstante, está previsto que durante el año 2018 el órgano competente del gobierno del país construya progresivamente todos aquellos bloques de aulas que actualmente no están normalizados. Por ello, a efectos de previsión, se han realizado los cálculos teniendo en cuenta que todas las escuelas están normalizadas.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)



Figura 11. Aulas "sous-pailotes" o no normalizadas. Fuente: MÁRQUEZ M.N.

Resulta importante para la mejor comprensión del proyecto, definir el concepto de escuela normalizada, que es aquella que cuenta con 1 o 2 bloques de tres aulas cada uno, según la dimensión del poblado. Como mínimo por cada escuela, ya sea de 3 o 6 aulas, debe haber uno de los bloques de tres aulas que cuente además con 1 despacho para el director del centro y 1 almacén para los materiales de la escuela. En la siguiente imagen se aprecia un ejemplo de escuela normalizada.



Figura 12. Ejemplo de escuela normalizada, con bloque de tres aulas, almacén y despacho. Arbolle. Fuente: MÁRQUEZ M.N.

Ninguno de los colegios cuenta con acceso a la red eléctrica. Esto supone una grave dificultad para el buen desempeño académico de los alumnos y profesores quienes se ven obligados en muchas ocasiones a extender las jornadas lectivas a los fines de semana para poder aprovechar la luz natural.

Por lo que respecta a la enseñanza secundaria, la comunidad rural solo cuenta con un centro de educación secundaria pública situado en el pueblo de Arbolle (centro). El liceo departamental de Arbolle que es como se llama este centro, cuenta con cerca de 1300 alumnos y 20 aulas, es decir, una media de 65 alumnos por clase. El centro sí que dispone de acceso a la red eléctrica nacional, no obstante, los costes del suministro son elevados y suponen un gran esfuerzo para el centro educativo.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

3.2.6. Agricultura y ganadería

La principal actividad de la población activa de Arbolle es la agricultura, de tipo extensiva y fuertemente dependiente de las variaciones climáticas. Los rendimientos son generalmente bajos y oscilan en función de la pluviometría. Esto repercute seriamente en el desarrollo socioeconómico de la comunidad de Arbolle, ya que los puestos de trabajo en la estación seca disminuyen significativamente.

La tecnología y medios empleados son muy rudimentarios, lo que hace que no se obtenga el máximo potencial de los suelos. Además, éstos son generalmente pobres y necesitan el aporte de nutrientes para producir. En conjunto esto hace que los beneficios obtenidos por los productores sean muy bajos.

En cambio, en las zonas del sur del país, con mayores niveles de pluviometría, como Banfora, Bobo-Dioulasso o Gaoua, entre otras, se dan las condiciones para poder realizar dos cosechas al año, lo que permite generar más puestos de trabajo y obtener mayores beneficios.

Combinando lo antes expuesto, nos encontramos con que la población de Arbolle se ve obligada a emigrar a las zonas del sur, ya sea dentro de las fronteras nacionales, o fuera de las mismas, a Togo, Ghana y principalmente, Costa de Marfil, zonas donde las condiciones de los suelos y del clima, permiten a la población tener mayores posibilidades de empleo.

En definitiva, nos encontramos con una cadena de factores que hacen que la población de Arbolle varíe significativamente entre los meses de la estación seca y la de lluvias, como consecuencia de la actividad agrícola.

Los principales cultivos en la zona de Arbolle son el cacahuete, sésamo, patata, ñame, habas, sorgo, mijo, maíz, arroz, judía careta, patata dulce y tomate. Se trata de cultivos principalmente destinados al autoconsumo, a excepción del cacahuete y el sésamo, cuya venta supone una de las principales fuentes de ingresos de las familias de la comuna.

Sin embargo, las condiciones climáticas de esta región no son favorables para el cultivo de la nuez de karité, una de las principales producciones del país.

Las mayores extensiones agrícolas se corresponden con cultivos de cereal, principalmente el sorgo, mijo, seguidas por el cacahuete.

La ganadería representa la segunda actividad de producción de la población de Arbolle después de la agricultura. Las principales especies criadas son bovinos, ovinos, caprinos, aves de corral, equinos y porcinos.

3.2.7. Vivienda

El tipo de vivienda en entornos rurales como el de la comuna de Arbolle, donde prima la etnia Mossi, se caracteriza por la división del terreno por familias. Cada una vive en un patio distinto conformado por diversas viviendas rodeando el patio central en donde tienen lugar las actividades como la cocina, el lavado de la ropa, etc. El estilo de vida es comunitario, todo se comparte dentro de una misma familia.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)



Figura 13. Ejemplo de casa familiar tradicional Arbolle. Fuente: MÁRQUEZ M.N.

La mayoría de las casas no cuentan con acceso a la electricidad, debido principalmente a motivos económicos y a la falta de disponibilidad de la red eléctrica.

El sistema de agua corriente llega a muy pocas casas, el suministro de agua se consigue gracias a los pozos de los que se recoge el agua diariamente.

3.2.8. Sistema energético

Según los últimos datos disponibles del banco mundial, en 2014 sólo el 3% de la población rural y el 58% de la población urbana del país, tenía acceso a la electricidad. En total, para ese año, el 19.2% de la población total tenía acceso a la electricidad.

Por otro lado, según fuentes de la Sonabel (Société Nationale d'Electricité du Burkina), la compañía eléctrica nacional, las fuentes de producción de electricidad son principalmente térmica e hidroeléctrica. Acorde con el último informe publicado por la Sonabel, en 2015 la producción total a nivel nacional fue de 999.14 GWh de los cuáles el 90.65% fue de origen térmico. Se importaron de Costa de Marfil sobre todo, pero también de Ghana y Togo, 443 GWh en total. Esto se traduce en que el 30% aproximadamente de la energía vertida a distribución fue importada de estos tres países. La diferencia entre la energía vertida a distribución y la energía vendida dan unas pérdidas globales en la red de distribución de más del 13%.

Producción de energía eléctrica (%)

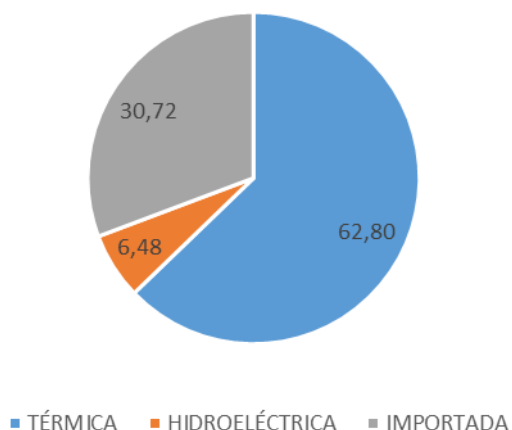


Figura 14. Distribución de la producción de energía eléctrica consumida en Burkina Faso. Fuente: SONABEL.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

Por otro lado, el precio medio de venta del kWh se sitúa en torno a los 121.69 F CFA (0.185€) mientras que el precio de coste del kWh fue de 138.77 F CFA, lo que supone unas pérdidas para la compañía eléctrica nacional de en torno a 0.026 € por cada kWh vendido.

Además, los datos referentes a la calidad del servicio de electricidad indican que el tiempo equivalente de corte de suministro debido a incidentes, trabajos de mantenimiento así como sobrecarga del sistema, fue de 340 horas. Esto equivale aproximadamente a 14 días en los que el país no tiene suministro de electricidad, con un total de 51.7 GWh de energía que no ha sido inyectada en la red de distribución, y con una duración media del corte de 62 minutos. El hecho de que la red sea mallada, sobre todo en las ciudades, facilita que los cortes de suministro se realicen de manera sectorial, llegando a quedar barrios enteros sin suministro eléctrico en periodos de varias horas e incluso días. En las zonas rurales, la red suele ser de tipo radial, por lo que la duración de los cortes suele ser menor que en las ciudades, debido a la imposibilidad de sectorizar. Los cortes en estas zonas suelen deberse a averías y no falta de disponibilidad de suministro.

Todo esto permite identificar las debilidades del sistema energético del país, con un mix energético poco diverso, un sistema muy inestable, con severos cortes de suministro por falta de producción y averías en las líneas de distribución, así como una fuerte dependencia de los países vecinos, lo que resulta en un encarecimiento del kWh para el cliente. Esto dificulta aún más si cabe, el acceso a la red eléctrica nacional por parte de las familias no solo del entorno rural sino también en las ciudades, lo que agrava aún más las barreras al desarrollo de la sociedad burkinesa.

Así pues, las familias que no cuentan con acceso a la electricidad de la red, emplean la madera como principal combustible para las actividades diarias como la cocina, la iluminación y la obtención de calor. Este hecho desencadena en una progresiva degradación de la vegetación y la fauna en toda la región; por lo que, de no producirse un cambio en el modelo energético, con la aplicación de energías alternativas para reducir el consumo de madera, la vida de las futuras generaciones se verá seriamente comprometida.

Otras fuentes de energía también son empleadas en menor medida para la iluminación doméstica, tales como el queroseno, linternas a pilas, placas solares y grupos electrógenos. Otros productos petrolíferos son empleados para el transporte (motocicletas en mayor medida), tractores y molinos. El gas natural, debido a su elevado precio, es empleado por una minoría formada por ciertos altos cargos, y ciertos comerciantes distribuidores de bebidas y productos frescos.

Acorde con lo expuesto en el documento del Plan Comunal para el Desarrollo de Arbolle, la electrificación de la comuna y sobre todo del centro de la misma, contribuirá enormemente a la dinamización en pos de conseguir el desarrollo de otras actividades (artesanado de producción, servicios, etc.) y por tanto, al desarrollo de la comuna.

3.2.9. Economía

La economía de la comuna rural de Arbolle está basada en los beneficios obtenidos de la agricultura. Se trata de una economía poco desarrollada, con una base industrial muy débil, pocos recursos naturales y con fuerte dependencia de las actividades del sector primario, tales como la agricultura, la ganadería y la minería. Cerca del 90% de la población depende de la agricultura de subsistencia.

Los principales productos que se exportan son el algodón y el oro, suponiendo este último, tres cuartos del total de ingresos por exportaciones del país. Pese al crecimiento económico de los últimos años y el auge de la exploración, producción y exportación de los recursos de oro; en torno

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolé (Burkina Faso)

al 63.8% de la población del país se encuentra en una situación de pobreza multidimensional extrema (Informe sobre Desarrollo Humano 2015 publicado por PNUD).

Observando la evolución del Producto Interior Bruto del país, se aprecia el crecimiento de la economía en los últimos años; entre 2007 y 2016 el PBI se ha duplicado, situándose actualmente en torno a los 12 mil millones de dólares corrientes (US\$). El PIB per cápita se situaba en 2016 según datos del Banco Mundial en los 640 US\$. No obstante el estado continúa dependiendo de manera importante de los fondos externos y ayudas de cooperación de las organizaciones internacionales.

4. Estudio de las necesidades

4.1. Identificación de problemas

La identificación de problemas resulta una fase fundamental de un proyecto técnico con una componente social tan importante como el presente. La financiación de proyectos de este tipo suele provenir de entidades públicas, asociaciones, fundaciones u Organizaciones no Gubernamentales, tomando forma en la mayoría de casos, de donaciones. Por lo que resulta imprescindible que la adecuación de la solución adoptada con las necesidades reales de los beneficiarios y usuarios finales quede perfectamente justificada.

Es por ello que el plan de trabajo y las actividades llevadas a cabo en terreno fueron encaminados principalmente a identificar las necesidades de la población, con el objetivo de adecuar con la mayor precisión posible las soluciones posteriormente halladas con los problemas reales de la población.

Si bien esta región del planeta, como ya se ha argumentado anteriormente, cuenta con niveles de pobreza muy agudos, que atacan a innumerables aspectos de la vida de la población, resulta imprescindible acotar el área de trabajo y por ello en este trabajo nos hemos centrado en dos áreas, la autonomía energética y la seguridad alimentaria. Se han considerado estas dos áreas como la problemática principal a la cual se pretende encontrar una solución técnica mediante el uso de la energía solar tanto en su vertiente térmica como eléctrica.

A continuación se desarrollan los motivos de la elección de estos dos aspectos como necesidades principales en las que se focaliza el proyecto.

4.1.1. Autonomía energética

La energía resulta fundamental para el desarrollo de las comunidades, y tal como se ha justificado en el apartado de contexto de esta memoria, las dificultades en el acceso a la electricidad en las zonas rurales del país suponen indiscutiblemente una barrera para el desarrollo.

En las escuelas y centros de salud una de las mayores dificultades que se han detectado es la falta de luz. Tal y como se observa en la siguiente gráfica de radiación global a lo largo de un día, las horas de luz solar natural que puede iluminar los espacios de trabajo dura como mucho hasta las seis de la tarde. No obstante, a partir de las cinco la irradiancia alcanza valores demasiado bajos como para iluminar adecuadamente el interior de los edificios.

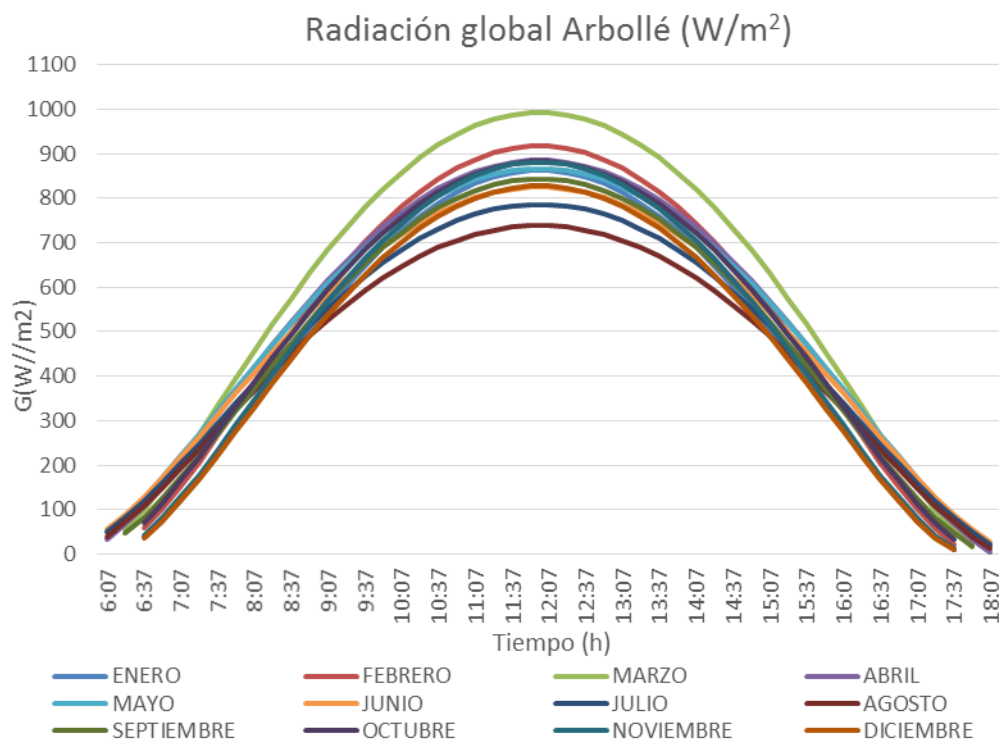


Figura 15. Radiación global diaria Arbolle.

Los centros de salud dan servicio las 24 horas del día, y en las horas nocturnas las complicaciones debido a la falta de electricidad, sumado a la precariedad de los medios, se multiplican. Esto es especialmente crítico en los meses posteriores a la época de lluvias debido a los brotes de paludismo generalizados y en la época seca, debido al pico de las enfermedades respiratorias debido a la mala calidad del aire. Es especialmente en estos dos periodos cuando los enfermos se acumulan en los dispensarios, muchos de los cuales necesitan quedarse hospitalizados. Para poder prestar atención a los pacientes, los enfermeros se ayudan de linternas en la mayoría de los casos. En los centros donde ya se cuenta con algún sistema fotovoltaico, pacientes y personal sanitario se aprovechan de esta electricidad, no obstante, la misma no es suficiente para dar la cobertura necesaria.

Por su parte, en las maternidades, también abiertas 24 horas del día, los partos que se producen por la noche tienen que ser atendidos gracias a la luz de las linternas que utilizan las matronas.

En los colegios, por el contrario, el horario principal de uso de las aulas es cuando sí se dispone de luz solar, ya que el periodo de clases es 7:30 a 12:00 y de 14:00 a 16:00. No obstante, los alumnos necesitan quedarse más tiempo para hacer sus tareas o terminar de copiar la lección, puesto que la inmensa mayoría no dispone de electricidad en sus casas. La falta de luz en las clases es un impedimento para ellos y por ello, algunos profesores programan clases extra los sábados por la mañana. Se trata de un esfuerzo adicional que realizan tanto alumnos como maestros, para poder mejorar el rendimiento académico y cumplir con los objetivos del curso escolar.

Como se aprecia en la siguiente imagen, la realidad descrita se constató, durante los tres meses de estancia en Arbolle, donde se pudo comprobar como los alumnos tanto de primaria como de secundaria acuden a clase una vez acabado el curso entre semana, o bien los sábados.



Figura 16. Niños en clase un sábado por la mañana. Fuente: MÁRQUEZ M.N.

Resulta importante, en aras de mejorar la calidad del sistema educativo, dotar a las escuelas con suministro eléctrico.

4.1.2. Seguridad alimentaria

La seguridad alimentaria es otro de los pilares fundamentales del desarrollo humano. La alimentación afecta no solo al bienestar de las personas, sino también al desarrollo de enfermedades, al bajo rendimiento escolar y profesional, así como la longevidad de las personas entre otros aspectos. En países con elevados índices de pobreza extrema, como Burkina Faso, estas consecuencias se acentúan y suponen un riesgo para el desarrollo de las comunidades.

En el caso concreto de Arbolle, la alimentación de las familias está basada en cereales como el mijo y el maíz, el arroz, así como carne de caprino, bovino, porcino y aves de corral, aunque estas no siempre están al alcance de todas las familias de manera regular. La alimentación también se completa con algunos tubérculos como la patata dulce o el ñame.

Debido a la sequedad del terreno, así como la escasez y estacionalidad de las lluvias, las frutas y verduras que pueden encontrarse en los mercados del centro de la comuna provienen de las zonas del sur del país. El acceso a estos alimentos resulta complicado y se da de manera puntual a lo largo del año, sobre todo tras el periodo de lluvias y la recolección de los campos.

A esto se le suma la falta de medios que permitan la conservación de alimentos, lo que favorece la consumición de productos de fácil conservación como los cereales o el arroz.

Una de las principales consecuencias apreciadas durante la estancia en Arbolle, ha sido el bajo rendimiento escolar de los niños, quienes en muchas ocasiones sólo realizan una ingesta de comida diaria, con lo que las carencias y desequilibrios nutricionales son muy importantes. En muchos casos los niños se ven obligados a ingerir alimentos con un gran aporte de calorías vacías lo que supone una importante limitación para el correcto desarrollo cognitivo y físico de los niños.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

4.2. Alternativas a la solución de los problemas

De forma previa a la adopción de una solución a los dos problemas planteados, se ha realizado un estudio de las diferentes posibilidades y soluciones que se podrían aplicar. En las siguientes líneas se resumen y justifican brevemente las conclusiones a las que se ha llegado. Se trata de alcanzar una solución que dote de autonomía a los usuarios, con un coste bajo de manera que pueda llegar a aplicarse mediante financiación externa, y con el mayor grado de sencillez posible, adaptándose a la tecnología disponible en el país.

4.2.1. Energía

Frente al problema de la autonomía energética se plantea el uso de distintas fuentes de energía e instalaciones productoras de electricidad.

Debido a las distancias existentes entre las diferentes escuelas y centros de salud a los cuales se pretende dotar de electricidad, se descarta la opción de construir una única central de producción de energía. Los costes de construcción, los permisos y licencias necesarias, y sobre todo, los costes que supondría la distribución de la electricidad a los diferentes usuarios, hacen inviable esta opción.

La alternativa de realizar las pertinentes conexiones a la red eléctrica ya existente queda descartada por diversos motivos, entre ellos, la distancia existente desde el punto de conexión hasta las escuelas y CSPS, la escasa fiabilidad del suministro eléctrico de la red nacional y la abundancia de cortes de suministro y sus costes. En definitiva, la conexión a red no supone una solución que dote de independencia y autonomía a los usuarios, que es precisamente lo que se busca.

Una vez se ha establecido que la solución consistirá en diversas instalaciones aisladas, es momento de valorar qué tecnología es la más adecuada.

Las energías convencionales, tales como el carbón, el gas u otros combustibles fósiles, suponen incrementar los niveles de contaminación, y depender de recursos no disponibles en la zona y de la volatilidad de sus precios. El escaso recurso hídrico disponible en la zona imposibilita la viabilidad de la energía hidroeléctrica.

Dentro de las energías no convencionales, se valoran como alternativas, la eólica, la biomasa y la fotovoltaica. El recurso disponible en suelo burkinés para el aprovechamiento de la energía geotérmica está todavía poco desarrollado y actualmente los datos disponibles sobre el potencial en estas regiones es muy escaso.

El potencial de energía eólica en la zona de Arbolle es bastante bajo. El escaso desnivel topográfico, tal y como se muestra en la figura A del documento de anexos, no favorece la generación de corrientes de viento aprovechables por aerogeneradores. Además, la velocidad media de los vientos en la zona, a una altura de 80 metros, no superan los 5 m/s. Considerando los 3m/s como velocidad de arranque de un aerogenerador y los 25 m/s como velocidad máxima a la que este debe entrar en posición de bandera para dejar de producir energía por motivos de seguridad. Se puede considerar una velocidad de en torno a 13m/s como velocidad a la que el aerogenerador obtendría la máxima potencia. Acorde con lo expuesto, una velocidad cercana a los 5 m/s resulta un potencial eólico muy bajo como para que el uso de esta energía resulte viable.

La biomasa tampoco resulta una opción factible debido a la escasez de cultivos herbáceos en la zona aprovechables para la producción de electricidad. Los terrenos cultivables en esta área están destinados íntegramente a la producción de alimentos. Además, para conservar la biomasa durante la época de lluvias, sería necesario un gran espacio de almacenamiento. Este debería ser construido

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

en las proximidades de cada escuela y CSPS, pues durante esta época muchos caminos quedan intransitados y diversos pueblos permanecen aislados, por lo que su transporte sería caro e inviable.

Por último, se estudia la opción de la energía solar fotovoltaica. Los mapas de radiación extraídos de la base de datos de PVGIS (CM SAF) muestran el gran recurso solar existente en esta zona del planeta.

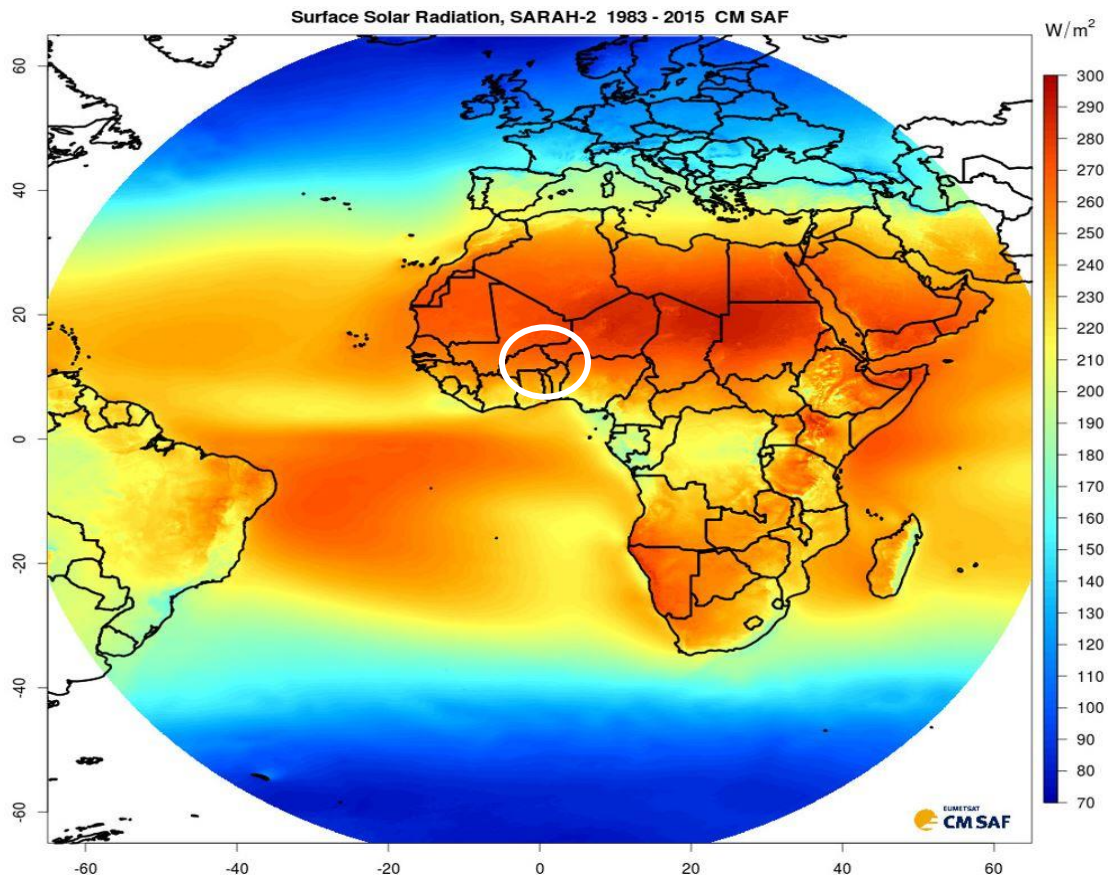
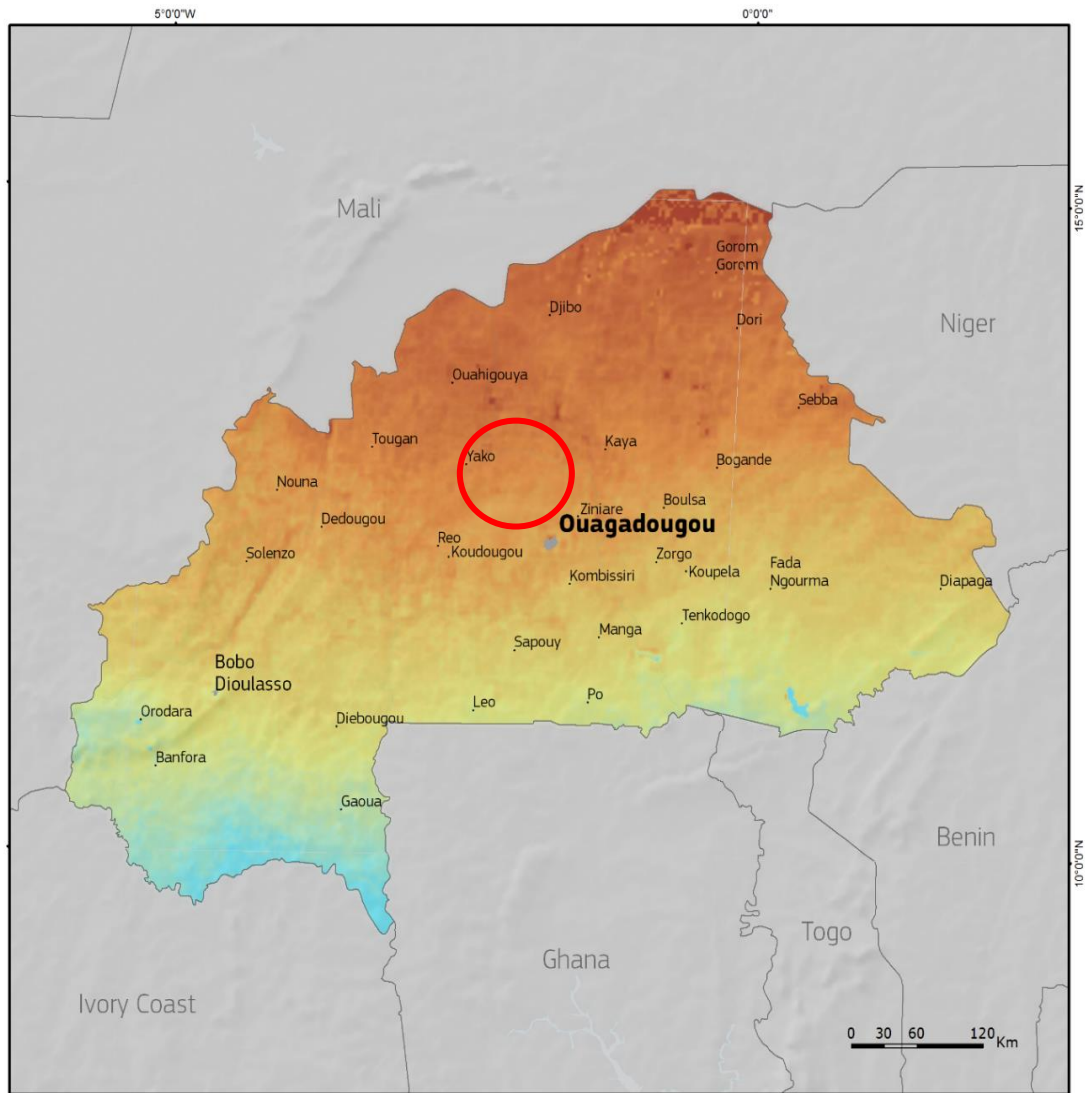


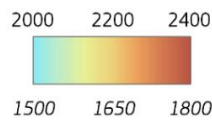
Figura 17. Mapa radiación solar global sobre una superficie inclinada 15°. Fuente CM SAF.

En el siguiente mapa se representa la suma de radiación global anual en una superficie inclinada de manera óptima, expresada en kWh/m². La misma leyenda de colores representa a su vez, el potencial de generación de electricidad expresado en kWh/kWp generados por un sistema de 1kWp al año, con módulos fotovoltaicos montados sobre una superficie orientada de manera óptima y asumiendo un rendimiento global del sistema de 75%.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolé (Burkina Faso)



Yearly sum of global irradiation
[kWh/m²]



Yearly sum of solar electricity generated by 1kW_p
system with performance ratio 0.75
[kWh/kW_{peak}]

Urban area (grey polygon symbol)
Water body (blue polygon symbol)

Projection: Lambert Azimuthal Equal Area, WGS84, lat 0°N lon 18°E
Sources: CORINE Land Cover
Geonames
Natural Earth

Figura 18. Potencial energía solar fotovoltaica. Burkina Faso. Fuente: PVGIS.

Por otro lado, el precio del kWh solar ha experimentado una bajada muy considerable en los últimos años debido a los avances en la tecnología y la bajada de los precios de las células de silicio. En 2014 el precio del módulo cristalino fabricado en China se situaba, según la IRENA (International Renewable Energy Agency) sobre 0.5€/Wp, y actualmente continúa con la tendencia a la baja.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

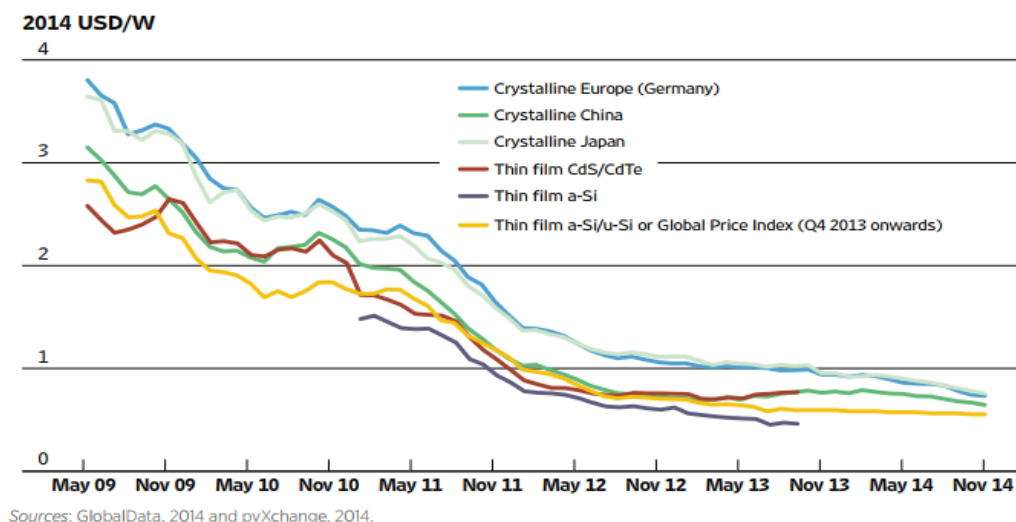


Figura 19. Evolución precio células fotovoltaicas 2009-2014. Fuente: IRENA.

Se trata además de una tecnología de generación energética que permite la electrificación de edificios de manera aislada con un elevado grado de sencillez y bajos requerimientos de mantenimiento.

4.2.2. Alimentación

Respecto al segundo problema sobre el que se pretende actuar, la seguridad alimentaria, las soluciones que se pueden plantear pasan por dos áreas de actuación, las mejoras agrícolas por un lado, y la conservación de alimentos por otro.

En primer lugar, las mejoras agrícolas pueden consistir en la mejora y modernización de los medios y las herramientas agrícolas de manera que la calidad del trabajo mejore y se aumente la productividad de los terrenos. Frente a esta opción se encuentran dos barreras importantes, la escasez del agua en la zona y la mala calidad de los terrenos de estas regiones del norte del país.

En segundo lugar, se puede actuar sobre la conservación de los alimentos una vez estos han sido cosechados, de manera que las familias puedan almacenar las frutas y verduras que se encuentran disponibles tras la estación de lluvias.

Por un lado, la falta de electricidad en los hogares limita las posibilidades de conservar los alimentos mediante frío. No obstante, existen diversos métodos para preservar las cualidades nutritivas de las frutas y hortalizas en el tiempo sin recurrir a la electricidad, como la adición de azúcar (elaboración de conservas y mermeladas), la conservación mediante ajuste del pH y la deshidratación.

El primero de ellos, la adición de azúcar, resulta un método muy útil pues es extensible a gran variedad de alimentos, no obstante, se transforman las propiedades nutricionales de los alimentos de manera importante pudiendo provocar mayores desajustes alimenticios en la población.

El segundo método, ajuste de pH, puede llevarse a cabo de distintas maneras, como por ejemplo, la preparación de encurtidos mediante fermentación natural y adición de ácido (vinagre). No obstante, no es un método aplicable a todas las frutas y verduras disponibles en la zona.

Por último, la deshidratación de alimentos tiene por objetivo eliminar el agua presente en los alimentos con el fin de reducir la actividad microbiana a los niveles suficientes para evitar la degradación de los mismos. Reduciendo la actividad del agua por debajo de un 60% se consigue

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

que el alimento se pueda conservar en el tiempo, sin perder sus propiedades, nutrientes y vitaminas. Una vez deshidratado este puede volver a hidratarse y consumirse con normalidad. Este proceso representa una enorme ventaja y tiene un especial interés para los habitantes de zonas con condiciones climáticas extremas. Los productos que se pueden deshidratar cubren un amplio abanico, sobre todo frutas y verduras de todas las variedades, las cuales pueden conservar e incluso intensificar sus propiedades organolépticas.

La deshidratación de alimentos permite a su vez la producción de harinas enriquecidas, a base de añadir productos deshidratados triturados previamente. De este modo, se pueden mejorar considerablemente las propiedades de los alimentos y preparados infantiles, tales como papillas. Además, se pueden añadir a otras preparaciones culinarias de la cocina tradicional, mejorando el contenido nutricional de las mismas.

4.3. Soluciones técnicas adoptadas

Cabe destacar que se trata de aportar una solución viable a nivel técnico, económico y social, que sea aplicable y alcanzable, y a su vez, sostenible en el tiempo una vez ejecutado el proyecto.

A nivel técnico, se pretende lograr una solución con un nivel de complejidad accesible a la población, es decir, que mediante unas jornadas de formación, la mayoría de la población beneficiaria pueda comprender su funcionamiento, lo tomen como algo propio y no les resulte ajeno. Esto es imprescindible en aras de conseguir la sostenibilidad real de las instalaciones que se realicen, pues sin la implicación de la población en el proyecto, será prácticamente imposible alcanzar la sostenibilidad. Además, se trata de adaptar la solución a los medios y recursos disponibles en la zona de actuación, esto es importante no sólo a nivel de construcción de las instalaciones y ejecución del proyecto, sino también a nivel de mantenimiento.

4.3.1. Electrificación fotovoltaica

La electrificación de las escuelas rurales y centros de salud objeto de este proyecto mediante energía solar fotovoltaica se justifica a partir de la disponibilidad de recurso solar, el bajo coste de esta tecnología y la escasa necesidad de mantenimiento, frente a las diferentes alternativas estudiadas.

4.3.1.1. Datos de radiación solar

Las fuentes consultadas para la obtención de los datos de radiación en la zona de Arbolle, a partir de los cuales se han elaborado los cálculos de dimensionado, han sido PVGIS y Meteonorm. PVGIS es un software online de acceso gratuito para el cálculo rápido de instalaciones solares fotovoltaicas, ampliamente utilizado para la obtención de datos de radiación solar, que emplea la base de datos de CM SAF. Meteonorm, en cambio, es una base de datos utilizada por diversos programas con licencia de pago como PVsyst, y se considera como la base de datos de referencia. Los datos representativos obtenidos de las fuentes consultadas se muestran en el capítulo de anexos (Figuras B y C).

La comparación entre ambas fuentes de datos se realiza por medio de la irradiancia global horizontal expresada en kWh/m² mensual, por lo que los datos obtenidos con Meteonorm, expresados en W/m² diarios, se deben transformar a las mismas unidades multiplicando por los días del mes y las horas de un día. Los datos comparados se muestran en la siguiente tabla:

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

	Meteonorm	Pvgis	Discrepancia
	Gh (kWh/m2)	Gh (kWh/m2)	%
Enero	174	178	2,3
Febrero	176	176	0,0
Marzo	205	221	7,8
Abril	186	193	3,8
Mayo	197	199	1,0
Junio	187	184	-1,6
Julio	182	181	-0,5
Agosto	170	171	0,6
Septiembre	179	178	-0,6
Octubre	187	191	2,1
Noviembre	176	176	0,0
Diciembre	167	172	3,0
Total anual	2198	2220	1,0

Tabla 2. Comparativa de la Irradiancia global horizontal recibida en Arbolle según Meteonorm y PVGIS.

Tras consultar y analizar los datos de ambas fuentes, se comprueba que existe cierta discrepancia entre unos y otros. En primer lugar se observa que los meses de menor radiación no coinciden, en un caso es diciembre (altura solar menor) y en otro es agosto (mes central de la estación de lluvias). En cualquier caso, la discrepancia en los meses más desfavorables, los que condicionarán el diseño de la instalación, no es elevada.

En el caso de las escuelas, junio se considerará como el mes más desfavorable, puesto que es el periodo final de exámenes y por tanto, cuando las necesidades energéticas serán mayores. Para los CSPS, se considerará el mes de mayo, cuando mayor saturación de enfermos hay y en consecuencia mayor será la demanda del sistema.

Teniendo en cuenta lo anterior, y considerando la accesibilidad a los datos, se tomarán como referencia para los cálculos de dimensionado de las instalaciones, los datos obtenidos con PVGIS.

4.3.1.2. Partes de una instalación solar fotovoltaica aislada

La aplicación de la solución de la electrificación fotovoltaica se materializa a través de instalaciones aisladas, independientes de la red eléctrica. Además por cuestiones de costes, y de recursos disponibles, las instalaciones que se diseñan en el marco del presente proyecto, no contarán con generación auxiliar (generadores diésel, eólica, etc.).

Los elementos básicos que componen una instalación eléctrica de este tipo son los siguientes: módulo solar fotovoltaico, estructuras de soporte de los módulos, baterías, regulador de carga, inversor (en caso de disponer de consumos en energía alterna), cableado y cuadro de mando y protecciones.

Módulo fotovoltaico

Se trata del elemento fundamental de cualquier instalación solar fotovoltaica, siendo su función principal la generación de energía eléctrica en forma de corriente continua.

La generación de corriente en un módulo se produce gracias al efecto fotoeléctrico, según el cual, al incidir la radiación solar sobre las células, se produce una transmisión de energía a los electrones del silicio que componen las células fotovoltaicas. Esta transmisión de energía produce que los

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolé (Burkina Faso)

electrones se desplacen de su banda de valencia a su banda de conducción generando pares electrón-hueco, creando así una corriente eléctrica proporcional a la irradiancia (W/m^2) recibida.

Para la construcción de un módulo fotovoltaico se asocian células en serie y paralelo, para obtener así la potencia de panel deseada. La unión de células se encapsula con Etil Vinil Acetato (EVA) mediante una capa por la cara delantera y trasera de la unión de las células. Se protege la cara exterior mediante cristal de vidrio templado y por la parte trasera, se añade una hoja de color blanco y se encuadra en el marco. En la siguiente imagen se puede apreciar el esquema de composición de un módulo fotovoltaico tipo.

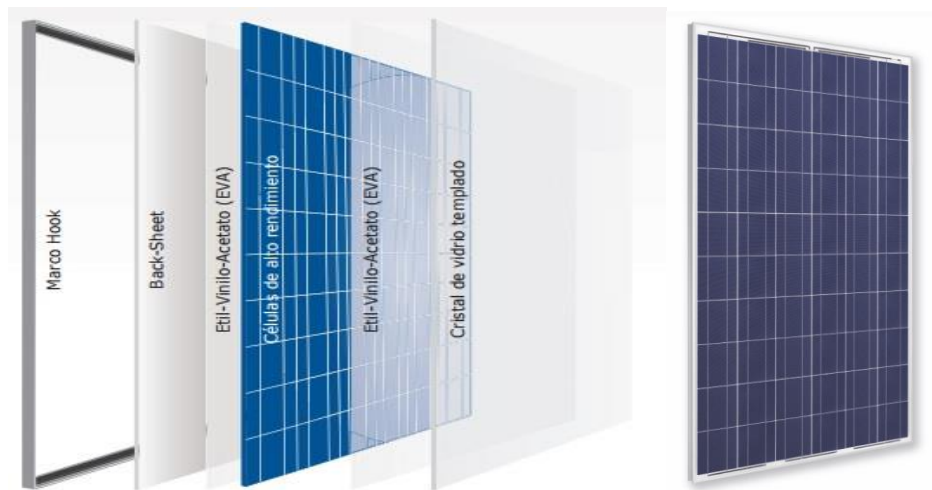


Figura 20. Composición y aspecto de un módulo fotovoltaico policristalino. Fuente: ATERSA. <http://www.atera.es/es/>

Con el fin de obtener la potencia deseada en la instalación, los módulos fotovoltaicos deben ser asociados en serie y/o paralelo. Mediante la asociación serie se consigue aumentar la tensión del sistema, y mediante la asociación en paralelo se consigue aumentar la corriente de trabajo. La configuración vendrá determinada según las limitaciones de corriente del resto de equipos, como regulador e inversor, así como la tensión de trabajo que se desee para el sistema. En conjunto, la potencia obtenida no depende de la configuración de los módulos sino de la cantidad de los mismos.

Estructura de soporte

Se trata de una parte fundamental de una instalación solar fotovoltaica, puesto que es la encargada de dar el adecuado soporte a los módulos proporcionando la inclinación óptima que se adecue mejor a cada instalación en particular con el fin de maximizar el aprovechamiento de la radiación solar según las necesidades.

En el caso de las instalaciones aisladas de la red, las estructuras con seguidor del punto de máxima potencia, que varían inclinación y orientación según convenga, no suelen ser viables debido a los costes de mantenimiento de las mismas, así como el propio sobrecoste derivado de la complejidad de este tipo de estructuras.

Teniendo en cuenta que cuanto más perpendicularmente incida la radiación solar sobre el la superficie útil del módulo, mayor será la producción energética, la inclinación seleccionada para los módulos será aquella que por diseño, resulte óptima en relación a las necesidades del sistema.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolé (Burkina Faso)



Figura 21. Ejemplos de estructura soporte. Fuente: ATERSA. <http://www.atersa.es/es/>

Para seleccionar la orientación de los módulos se toma como criterio de base, que las instalaciones situadas en el hemisferio norte se orientaran al sur, y viceversa.

Baterías

Las baterías conforman la parte de acumulación de una instalación de energía solar fotovoltaica aislada. Permiten almacenar la energía generada por los módulos cuando no está siendo consumida, así como dar suministro en los momentos del día en los que no hay generación solar.

En la actualidad se trata de elemento más caro de un sistema solar fotovoltaico aislado, además son el elemento de la instalación con menor vida útil. Por ello su dimensionamiento acorde a las necesidades es fundamental, en función de las mismas, las baterías deberán proporcionar un mayor o menor grado de autonomía al sistema.

Los tipos de baterías más empleados en instalaciones aisladas son de electrolito líquido (litio), electrolito gelificado, monobloc, AGM (Absorbed Glass Mat) y estacionarias.



Figura 22. Ejemplo de baterías empleadas en instalaciones fotovoltaicas. Fuente: Exide Technologies. <http://www2.exide.com/es/es/product-solutions/network-power/product/classic-solar.aspx>

Las baterías serán asociadas en serie para conseguir la tensión de trabajo que se desee para la instalación. Esta será establecida en general en función de la potencia pico de panel existente. Se puede estimar que para potencias inferiores a los 1200Wp la tensión de trabajo sea de 12V, y para potencias superiores a los 4000Wp, 48V, y en el rango intermedio, de 1200 a 4000Wp, 24V se considera una tensión aceptable. No obstante, el criterio y la elección final quedan a cargo de quien diseña la instalación.

Los parámetros que caracterizan una batería, a parte de la tensión de trabajo de la misma, son la capacidad y la profundidad de descarga. La capacidad se expresa en Ah y es una medida de la energía que la batería puede almacenar. En las fichas técnicas de los fabricantes, se expresa como C_n , donde n es el número de horas de descarga. En otras palabras, la capacidad se mide según la

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

velocidad a la que se descarga la batería. La profundidad de descarga, indica la cantidad máxima de energía extraíble de la batería, expresada en valor porcentual respecto a la capacidad nominal.

Regulador de carga

El regulador de carga juega un papel fundamental en una instalación solar fotovoltaica, pues es el que se encarga de proteger la batería frente a descargas profundas o sobrecargas. Actúa como cerebro de la instalación gestionando el flujo de energía en el sistema en función del estado de carga de las baterías. Es por tanto un elemento fundamental para la gestión de carga de la batería.

En la actualidad, la etapa de regulación viene incorporada en muchos casos en los inversores fotovoltaicos, simplificando así la instalación, sus costes y mantenimiento.



Figura 23. Ejemplo reguladores solares. Fuente: ATERSA y Victron Energy. <https://www.victronenergy.com/es/>

Los reguladores más empleados en el mercado solar son de dos tipos: seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT) o por modulación de anchura de pulso (PWM). El primero de ellos se encarga de realizar un seguimiento del PMP del módulo fotovoltaico, ajustando la tensión de salida del mismo para obtener la máxima potencia disponible incluso durante el paso de nubes. Los reguladores PWM por el contrario, son equipos con una electrónica más sencilla, y por tanto más económicos. Su funcionamiento se puede comparar con el de un interruptor que conecta los módulos y la batería, haciendo trabajar ambos prácticamente a la misma tensión. El punto de funcionamiento del módulo variará por tanto en función del estado de carga de la batería.

En general la selección entre ambos tipos de reguladores se realiza en función de la aplicación del sistema, pues no siempre compensa la diferencia de costes en relación a la diferencia de potencia que se obtiene del sistema.

Inversor fotovoltaico

El inversor fotovoltaico es un equipo electrónico que permite la transformación de la corriente continua en corriente alterna. Recibe a su entrada una señal continua a una tensión de 12, 24 o 48 V y la convierte en una señal senoidal con una frecuencia constante de 50Hz o 60Hz (dependiendo del país), a una tensión de aproximadamente 230 o 415 V, según la aplicación y la red a la que se conectará.

Se trata de un elemento indispensable en aquellos casos en que los consumos requieran ser alimentados en corriente alterna o si la instalación está preparada para inyectar energía a la red eléctrica. Para ello se distingue entre dos tipos de inversores fotovoltaicos principalmente, los de aislada y los inversores de conexión a red, utilizados en cada caso según la aplicación.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)



Figura 24. Ejemplo de inversor fotovoltaico. Fuente: SMA. <http://www.sma-iberica.com/>

Cuadro de mando y protecciones

En una instalación fotovoltaica aislada las protecciones necesarias en el lado de CC son:

- Diodos de paso en los strings: Incorporados normalmente a los módulos por los fabricantes.
- Fusibles de protección: En ambos polos para evitar sobrecargas en los strings.
- Interruptores seccionadores tanto en los strings como en el cuadro de mando para proceder a la separación de los circuitos cuando sea pertinente.
- Puesta a tierra de todas las carcasas metálicas de la instalación: módulos fotovoltaicos, estructuras de soporte, cajas de conexión, etc.

En el lado de CA, las protecciones necesarias son las habituales de cualquier instalación eléctrica doméstica en CA, incluyendo: elemento de corte general, interruptor automático diferencial y relé magnetotérmico.

Además de estas protecciones, se deberán incluir y tener en cuenta todos aquellos elementos necesarios exigidos por la normativa de cada país.

4.3.2. Formación en energía solar fotovoltaica

La formación es uno de los pilares de este proyecto, fundamentado en la idea de la generación de capacidades. Esta sirve como herramienta de transmisión y difusión del proyecto entre la población beneficiaria.

En esta primera etapa del proyecto, se ha escogido a los alumnos de secundaria del instituto de Arbolle como grupo objetivo. El principal motivo es que en un periodo breve de tiempo se producirá su salida hacia el mundo laboral y resulta de especial interés transmitirles las ventajas del uso de esta energía, así como las posibilidades que les aporta de cara a su futuro laboral. Se trata, en definitiva, de motivarles hacia la formación y especialización en esta área tecnológica.

En una segunda etapa, una vez se proceda a la realización del proyecto de electrificación, la formación se extenderá a los miembros de la comunidad educativa y profesionales sanitarios. En este caso, la formación irá encaminada, no solo a fomentar el interés en las energías renovables, sino también al conocimiento del funcionamiento de las instalaciones y su mantenimiento.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolé (Burkina Faso)

4.3.3. Deshidratador solar de alimentos¹

Para afrontar el problema de la seguridad alimentaria, la solución adoptada es la deshidratación de alimentos, aprovechando la energía térmica proveniente del sol. La idea es dotar a la población de una solución que con los medios y herramientas disponibles sea fácilmente aplicable y escalable según las necesidades de las familias.

Una de las principales ventajas de la técnica de deshidratación es que el alimento una vez deshidratado puede conservarse en un sitio fresco, seco y ventilado durante un periodo de hasta dos años, siempre que se encuentre en un recipiente cerrado, a fin de evitar que este recupere su contenido en agua. De esta forma, se consigue solventar el inconveniente de la periodicidad de las cosechas generando productos conservables en el tiempo. La estrategia consiste por tanto, en deshidratar los alimentos tras la época de lluvias y la recolección de los campos, pudiendo conservar los frutos para su consumo posterior en los meses donde la producción de los campos es inexistente.

Se trata de una técnica con una larga trayectoria en el continente africano, donde la estacionalidad de las lluvias y la falta de medios para conservar los alimentos han impulsado el uso de técnicas de deshidratación solar. Pese a que se han desarrollado diversas propuestas a lo largo de la historia de diseño de equipos empleando esta técnica, bien sea deshidratadores solares directos o indirectos, con apoyo de fuentes de energía externas, o sin las mismas, el método más extendido en Burkina Faso es la deshidratación solar directa. Consiste en disponer los productos sobre una tela o tejido que lo proteja del contacto directo con el suelo, y su exposición al sol durante el tiempo necesario hasta que el producto esté seco.



Figura 25. Deshidratación solar directa de judías, método tradicional. Arbolé, 2016. Fuente: MÁRQUEZ M.N.

La manera tradicional supone la recepción de la radiación solar de manera directa. Esto implica la pérdida de propiedades como el olor, el color o el sabor, y de sus nutrientes y vitaminas, restando al producto sus características que le confieren la utilidad para su consumo. Además, de esta manera los alimentos están directamente expuestos a la contaminación de los insectos, el polvo y otros contaminantes presentes en el aire.

¹ Este apartado y el apartado 4.4.3. más adelante aprovecha el trabajo de tesis doctoral del tutor Juan ángel Saiz Jiménez. Los contenidos se han utilizado con su permiso.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

El método aplicado en este caso es el de deshidratación solar indirecta, mediante un deshidratador solar fabricado con madera y plástico. El equipo combina la simplicidad de funcionamiento y construcción con el uso de materiales fácilmente localizables en la mayoría de emplazamientos, además del bajo coste.



Figura 26. Deshidratador solar de alimentos construido en Arbolle, 2016. Fuente: MÁRQUEZ. M.N.

Se trata de un equipo pensado para el uso por familias, con opción de almacenar los productos deshidratados para el propio consumo o bien para su venta al por menor. Se pretende empezar a trabajar con el grupo de mujeres de la Asociación ALFA de Arbolle con el deshidratador solar, con el objetivo de comprobar su aplicabilidad al entorno rural donde las condiciones ambientales son severas, a la vez que adaptabilidad a la cultura local y a los hábitos de vida de la población.

4.3.4. Formación en deshidratación solar de alimentos

Para la implementación de la solución técnica del deshidratador solar de alimentos, resulta imprescindible la realización de unas jornadas de formación en técnicas de deshidratación solar, higiene a la hora de preparar los alimentos y principios de funcionamiento del equipo. Se trata de conseguir que la solución se integre con el mayor grado posible a la vida de las mujeres beneficiarias.

Para ello se ha preparado un curso de formación específica a impartir en Arbolle, así como la planificación de diversas jornadas prácticas de deshidratación de alimentos.

4.4. Desarrollo de las soluciones planteadas

4.4.1. Proyecto de electrificación fotovoltaica

4.4.1.1. Escuelas

Debido al elevado número de escuelas incluidos en este proyecto, el proceso de modelado matemático, cálculo de perfiles de carga, así como dimensionado de las instalaciones se describe con detalle para una escuela representativa, dejando indicados los resultados para el resto de instalaciones. La escuela para la cual se detallan los cálculos es la de Arbolle centro, que cuenta con seis aulas y 502 alumnos (datos del curso escolar 2015/2016) distribuidos en seis niveles de enseñanza.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbollé (Burkina Faso)

4.4.1.1.1. Carga energética del sistema

En primer lugar se procede a determinar la carga energética de cada una de las escuelas, para lo cual se tendrán en cuenta las necesidades observadas durante la estancia en Arbollé.

En base al estudio de las necesidades de los usuarios de las escuelas, se ha establecido como consumos a cubrir, los siguientes:

- Iluminación interior y exterior
- Ventilación
- Alimentación de equipos electrónicos de oficina (PC, impresora, etc.)

Estas tres necesidades básicas a cubrir, permitirán la mejora sustancial de las condiciones en las que la comunidad educativa desempeña diariamente sus funciones, con lo que se incrementará su rendimiento y productividad. Además, esto permitirá un mejor aprovechamiento de los espacios de la escuela, con actividades nocturnas como por ejemplo formación para adultos, alfabetización en la lengua local, etc.

La cobertura de estas necesidades se traduce en la instalación de un ventilador de techo por cada despacho, un ordenador de sobremesa y una impresora por escuela, luces en cada clase, despacho y almacén en función de la superficie de las salas, luces en el exterior a razón de una luminaria por clase, así como la instalación de un punto de acceso a la electricidad por aula y dos adicionales en cada despacho.

Las luminarias que se prevé instalar son luminarias de bajo consumo de 12W de potencia nominal. El criterio para la selección de la cantidad a instalar ha sido la superficie de las salas. Teniendo en cuenta que, según los datos recogidos, se sitúa entre 30m² de mínimo y 70m² de máximo, se ha establecido que si la superficie es superior a 48m², se instalarán 6 luminarias, en caso contrario, se instalarán 4 luminarias de la potencia indicada.

4.4.1.1.2. Modelado de consumos y perfiles de carga

A continuación, se modelan las necesidades definidas anteriormente, creando los correspondientes perfiles de carga.

En la siguiente tabla se presentan a modo de resumen los valores de potencia para los distintos equipos electrónicos considerados.

Equipo	Potencia diseño (W)
Ventilador	75
Impresora	110
Ordenador sobremesa	115
Ordenador portátil	80
Luminaria	12

Tabla 3. Potencias diseño equipos para el dimensionado de las instalaciones fotovoltaicas de las escuelas.

Para la obtención de los perfiles de consumo se ha considerado que todas las escuelas tienen las mismas necesidades, y que únicamente varía el número de equipos a instalar en función del tamaño de cada escuela. Esta elección se explica por el hecho de que todas las escuelas que se han considerado están normalizadas, es decir, cumplen con los estándares que el país establece para la construcción de las escuelas.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

Los parámetros tenidos en cuenta para crear el perfil de carga han sido la superficie de las clases, el número de aulas con que cuenta la escuela, el número de despachos y almacenes. Además se han tenido en cuenta los días lectivos esperados en cada mes, se trata de una aproximación en base al calendario oficial del curso escolar 2016-2017.

En la tabla 4 se muestra el número de equipos eléctricos tenidos en cuenta para el dimensionamiento de las instalaciones, así como las horas de consumo al día de los mismos. De igual modo, se puede observar el resultado del consumo diario expresado en Wh/día para un día estándar de cada mes. Este consumo ha sido calculado en base a la siguiente expresión:

$$Consumo\ diario = \sum (P_i \times h_i) \quad (1)$$

Donde:

P_i es la potencia nominal de cada equipo conectado a la instalación (W)

h_i es el número de horas medio diario de utilización de cada equipo eléctrico

Consumos	Ventilador	Impresora	Ordenador sobremesa	Ordenador Portátil	Lámparas clases						Lámparas Despacho	Lámparas Almacén	Lámparas exterior	TOTAL
Nº equipos	1	1	1	6	6	6	4	4	6	2	1	6	50	
Consumo equipo (W)	75	110	115	80	12	12	12	12	12	12	12	12	488	
MES	Horas consumo/día												Consumo diario (Wh/día)	
Enero	4	0,5	2	1	1	1	3	3	3	3	3	0,1	3	2023,2
Febrero	7	0,5	2	1	1	1	3	3	3	3	3	0,1	3	2248,2
Marzo	8	0,5	2	1	1	1	3	3	3	3	3	0,1	3	2323,2
Abril	9	0,5	2	1	1	1	3	3	3	3	3	0,1	3	2398,2
Mayo	9	1	2	1	1	1	3	3	3	3	3	0,1	3	2453,2
Junio	5	1	3	2	2	2	4	4	4	4	4	0,1	4	3157,2
Julio	5	0,5	1	1	2	2	4	4	4	4	4	0,1	4	2392,2
Agosto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Septiembre	5	1	3	1	1	1	2	2	2	2	2	0,1	2	2003,2
Octubre	6	1	3	2	1	1	3	3	3	3	3	0,1	3	2823,2
Noviembre	5	0,5	2	1	1	1	3	3	3	3	3	0,1	3	2098,2
Diciembre	4	0,5	3	2	1	1	3	3	3	3	3	0,1	3	2618,2
														26538,2

Tabla 4. Consumo diario estimado en escuela 6 aulas.

Según los cálculos realizados, la máxima energía consumida en un día por la escuela de Arbolle una vez disponga de suministro eléctrico, se prevé será de 3.16kWh/día, en el mes de junio, lo que supone un total de 94.7 kWh/mes.

Para obtener los consumos mensuales, se ha aplicado un coeficiente de simultaneidad k. Dicho coeficiente expresa la posibilidad de que todos los días del mes sean exactamente según establece el perfil de un día tipo (perfil base), como los indicados en la tabla 4. Además, para obtener los consumos mensuales, se han tenido en cuenta los días laborables que tendrá cada mes, de manera estimada. En la tabla 5 se muestran los resultados de consumos mensuales esperados en un año tipo, calculados mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$C_{mensual} = \frac{C_{diario} \times d \times k}{V_{instalación} \times \eta_{inv}} \quad (2)$$

Siendo:

C_{diario} : consumo diario [Wh/día]

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

d : número de días laborables de cada mes [días]

k : coeficiente de simultaneidad

$V_{instalación}$: tensión de la instalación en el lado de CC [V]

η_{inv} : rendimiento mínimo esperado del inversor

El consumo mensual se ha expresado en Ah/mes de manera referenciada a la tensión de la instalación en el lado de CC. Se trata de un consumo equivalente en corriente continua, lo que será de gran utilidad para realizar el cálculo de la generación de energía necesaria. Se han considerado igualmente las pérdidas que se espera se produzcan como mínimo en el inversor en la etapa de conversión a CA y que actúan como un consumo adicional. En este caso se ha considerado una tensión de 24 Vdc debido al reducido tamaño de las instalaciones y a la flexibilidad que ofrece trabajar a esta tensión para la elección de módulos fotovoltaicos e inversores; y un rendimiento del inversor del 95%, valor típico en inversores fotovoltaicos.

Mes	Días/mes	Días laborables	k	Energía consumida		
				Wh/día	kWh/mes	Ah/mes
Enero	31	22	0,9	2023,2	40,1	1757,0
Febrero	28	20	0,9	2248,2	40,5	1774,9
Marzo	31	14	0,9	2323,2	29,3	1283,9
Abril	30	20	0,85	2398,2	40,8	1788,1
Mayo	31	23	0,9	2453,2	50,8	2227,2
Junio	30	22	1	3157,2	69,5	3046,4
Julio	31	21	0,85	2392,2	42,7	1872,8
Agosto	31	0	0	0,0	0,0	0,0
Septiembre	30	5	0,9	2003,2	9,0	395,4
Octubre	31	22	0,9	2823,2	55,9	2451,7
Noviembre	30	22	0,85	2098,2	39,2	1720,9
Diciembre	31	16	0,85	2618,2	35,6	1561,7

Tabla 5. Energía consumida por las escuelas de 6 aulas.

El perfil de consumo resultante se muestra a continuación.

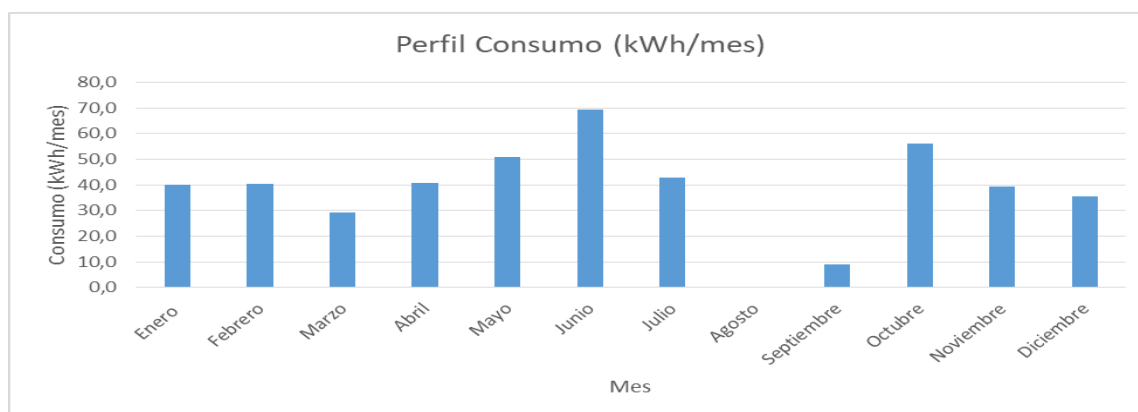


Figura 27. Perfil consumo escuelas 6 aulas.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

Se observa que el mes de junio, en plena estación lluviosa, es el mes más crítico en cuanto a consumo, puesto que en este periodo la radiación solar es menor y por tanto la necesidad de luz artificial será mayor. Además, coincide con la preparación de los exámenes de final de curso, cuando los alumnos necesitan estudiar más, y por tanto es previsible que las luces estén encendidas durante más horas. Igualmente, el mes de octubre supone un consumo elevado, debido principalmente a las elevadas temperaturas, que alargan el uso de los ventiladores. Asimismo, coincide con el inicio y preparación del curso escolar, donde la actividad académica es más intensa y los profesores emplearán durante más horas los ordenadores y las luces. El mes de agosto, por el contrario, por no ser un mes lectivo, no supone ninguna carga para el sistema. El mes de septiembre cuenta con una única semana de actividad escolar, siendo los profesores quienes acuden a la escuela para comenzar a preparar las clases, de ahí que el consumo energético en este mes sea tan reducido.

4.4.1.1.3. Dimensionado de las instalaciones

Para dimensionar los diferentes equipos que conformarán las instalaciones, una vez se dispone de los datos de energía que es necesario suministrar, es necesario disponer de los datos de radiación disponible en el lugar, con la inclinación que tendrán los módulos.

Por ello, en primer lugar se comparan los datos de radiación a distintas inclinaciones.

Mes	Días/mes	H0°		H16°		H15°		H30°		lopt °
		Wh/m2/dia	kWh/m2/mes	Wh/m2/dia	kWh/m2/mes	Wh/m2/dia	kWh/m2/mes	Wh/m2/dia	kWh/m2/mes	
Enero	31	5730	177,63	6620	205,22	6570	203,67	7060	218,86	41
Febrero	28	6270	175,56	6890	192,92	6870	192,36	7100	198,8	31
Marzo	31	7120	220,72	7340	227,54	7340	227,54	7200	223,2	17
Abril	30	6440	193,2	6260	187,8	6280	188,4	5820	174,6	0
Mayo	31	6410	198,71	5950	184,45	5990	185,69	5270	163,37	-14
Junio	30	6140	184,2	5580	167,4	5620	168,6	4840	145,2	-20
Julio	31	5820	180,42	5360	166,16	5400	167,4	4720	146,32	-16
Agosto	31	5510	170,81	5270	163,37	5300	164,3	4830	149,73	-6
Septiembre	30	5930	177,9	5970	179,1	5980	179,4	5730	171,9	10
Octubre	31	6160	190,96	6580	203,98	6570	203,67	6650	206,15	26
Noviembre	30	5880	176,4	6680	200,4	6640	199,2	7050	211,5	38
Diciembre	31	5560	172,36	6530	202,43	6480	200,88	7050	218,55	43
Año	365	6080		6250		6250		6100		16

Tabla 6. Radiación global en Arbolle sobre un plano inclinado 0°,16°,15° y 30°; e inclinación óptima.

Como se observa en la tabla 6, para la ubicación de Arbolle, las inclinaciones óptimas se sitúan entre -20° (Orientación Norte) y +43° (Orientación Sur) en función del mes del año, siendo la óptima anual de +16°. Debido a esta gran variabilidad, es importante seleccionar adecuadamente la inclinación de los módulos.

Dado que la inclinación de la instalación será fija todo el año, un sistema con seguidor sería inviable, se centran los casos de estudio en dos alternativas. Una de ellas sería inclinar los módulos según el ángulo óptimo anual y la otra opción sería inclinar los módulos acorde con el mes más desfavorable en cuanto a radiación, que en este caso, según las estimaciones realizadas, también lo es en consumo energético.

Para obtener el ángulo de inclinación óptimo anual se realiza una pequeña corrección eliminando los meses de agosto y septiembre de la media, puesto que en estos meses la utilización de las instalaciones será muy reducida. Realizando una media en los 10 meses restantes se obtiene una inclinación óptima de +14,6°, lo que en la instalación real, por cuestiones de practicidad equivaldría

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

a +15° (Orientación Sur). Por tanto, se realizarán los cálculos con la radiación sobre un plano inclinado 15° con orientación Sur, y sobre un plano inclinado 20° al Norte.

A continuación, se realiza el cociente entre el consumo energético esperado y la radiación solar sobre los dos planos seleccionados. El resultado de esta operación nos proporciona la relación entre las necesidades del sistema y la radiación disponible para cubrirlas, coeficiente Cmd. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Mes	Consumo	Radiación 15° S	Cmd 15° S	Radiación 20°N	Cmd 20°N
	Ah/mes	kWh/m2/mes	Am2/kW	kWh/m2/mes	Am2/kW
Enero	1756,99	203,67	8,63	129,89	13,53
Febrero	1774,89	192,36	9,23	140,28	12,65
Marzo	1283,87	227,54	5,64	195,3	6,57
Abril	1788,13	188,40	9,49	185,1	9,66
Mayo	2227,25	185,69	11,99	201,19	11,07
Junio	3046,42	168,60	18,07	191,4	15,92
Julio	1872,84	167,40	11,19	185,07	10,12
Agosto	0,00	164,30	0,00	167,71	0,00
Septiembre	395,37	179,40	2,20	162,6	2,43
Octubre	2451,73	203,67	12,04	159,96	15,33
Noviembre	1720,89	199,20	8,64	132,6	12,98
Diciembre	1561,73	200,88	7,77	121,52	12,85

Tabla 7. Coeficiente Cmd, escuelas 6 aulas.

En ambos casos se ha resaltado el valor máximo de Cmd, que es 18.07 Am²/kW en un caso y 15.92 Am²/kW en el otro. Ambos máximos se producen en el mes de junio, lo que indica que, en efecto, este es el mes más desfavorable entre las necesidades del sistema y la radiación recibida.

A partir de este coeficiente se obtendrá el número de líneas de módulos fotovoltaicos en paralelo que son necesarias N_{lp} para cubrir la demanda. Para ello, se tendrán en cuenta las pérdidas del sistema mediante un coeficiente de sobredimensionamiento representado por K_s. En este caso, a partir de la experiencia acumulada en instalaciones reales supervisadas por el Grupo de Energía Solar de la UPV, se aplica un porcentaje de pérdidas del 20%, equivalente a un valor de K_s de 1.2. La expresión empleada es la siguiente:

$$N_{lp} = \frac{C_{md} \times K_s}{I_p} \quad (3)$$

Donde I_p es la corriente máxima que puede proporcionar el módulo seleccionado en condiciones estándares (STC, 1000W/m², 25°C, AM 1.5), que equivale a la corriente de cortocircuito I_{sc} del módulo, valor dado por el fabricante en la ficha técnica del módulo. Por cuestiones de simplicidad, se han escogido módulos capaces de trabajar a 24Vdc, tensión de trabajo definida anteriormente para el sistema en el lado de CC. De esta forma, sólo serán necesarias series formadas por un único módulo, con tantas en paralelo como sea oportuno para cubrir las necesidades del sistema. Los módulos propuestos para este proyecto son los de la Gama Ultra de Atersa policristalinos, con potencias comprendidas entre 240Wp y 320Wp. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

15°S	Isc (A)	Nlp	20°N	Isc (A)	Nlp
A-240P	8.73	2.48	A-240P	8.73	2.19
A-255P	8.88	2.44	A-255P	8.88	2.15
A-265P	9.01	2.41	A-265P	9.01	2.12
A-320P	8.93	2.43	A-320P	8.93	2.14

Tabla 8. Número de módulos en paralelo a 15°S (izda.) y a 20°N (dcha.)

Se aprecia que en todos los casos estudiados, el número de módulos en paralelo supera las dos unidades, por lo que sería necesario instalar tres en paralelo.

El criterio para la elección del número de módulos, en este caso está muy influenciado por el contexto del proyecto. En primer lugar, los módulos estarán sujetos a la acumulación de grandes cantidades de polvo, pues durante un mínimo de 8 meses al año, las precipitaciones son prácticamente nulas. A esto se suman los graves problemas de mantenimiento de instalaciones con que cuenta la población de Arbolle y el país en general. Conviene dejar un margen de seguridad adicional entre la generación y el consumo, de manera que la pérdida de rendimiento por acumulación de polvo por falta de limpieza quede cubierta. Por otro lado, es de esperar que las instalaciones fotovoltaicas de las escuelas sean en muchos casos el único punto de luz con que cuenten muchos pueblos, por lo que la utilización que se le dará a las instalaciones puede aumentar, por ejemplo mediante cursos para adultos en horario nocturno, o con el uso de estudiantes de secundaria que deseen estudiar por las tardes. En definitiva, el objetivo del proyecto pasa también por generar un bien de uso común en el pueblo, la electricidad, de manera que se impulse el desarrollo de las diferentes comunidades, por lo que el sobredimensionamiento que supone instalar un módulo adicional queda justificado.

En conclusión, una vez vistas las distintas alternativas, se ha determinado que las escuelas de Arbolle cuenten cada una con tres módulos de 240Wp orientados al Sur con una inclinación de 15°.

El siguiente paso es el dimensionado y selección de los diferentes equipos que conforman la instalación.

El regulador de carga necesario se determina en base a la corriente máxima que pueden proporcionar los módulos fotovoltaicos, que se puede obtener según la siguiente expresión:

$$I_{m\acute{a}x,sist PV} = N_{lp} \times I_{sc} \quad (4)$$

En este caso, con 3 módulos en paralelo, cada uno de ellos con una Isc de 8.73A, por lo que el regulador debe soportar 26.19 A. Las corrientes nominales de los reguladores que normalmente se encuentran disponibles son 10A, 15A, 20A, 30A y sucesivos. Por tanto, el regulador que se seleccionará será uno de 30A, que trabaje a 24 Vdc.

Para la selección del inversor, tendremos en cuenta la suma de potencias de los distintos equipos en el lado de alterna a los que el inversor deberá alimentar. Es decir:

$$P_{inv,m\acute{i}n} = \sum P_N \text{ equipos CA} \quad (5)$$

En este caso, la suma de potencias de todos los equipos considerados es igual a 1272Wp, por lo que se seleccionará un inversor de 1500Wp de potencia mínima, con el objetivo de dejar margen de cara a futuras ampliaciones de la instalación. Además debe trabajar a una tensión de 24 V en la entrada de continua, y 230V 50 Hz en el lado de alterna.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

Se ha seleccionado un equipo XPERT MKS 2K-24 que incluye las etapas de regulación y conversión de energía, dotando de simplicidad a la instalación, tanto en el montaje como en su mantenimiento. Esto se traduce en el ahorro de tiempo y dinero.

La parte de acumulación de energía formada por las baterías, se dimensiona en base a la autonomía de que se pretende dotar al sistema. En este caso, se ha establecido una autonomía de 3 días (72h), periodo en el cual, los consumos podrán ser alimentados aun cuando no haya radiación solar, gracias a la carga de las baterías. Transcurrido este periodo, si las baterías llegan a su nivel mínimo de carga, el sistema será incapaz de proporcionar energía a los consumos hasta que el estado de carga aumente.

Dado que el consumo medio de la instalación es 1656.7 Ah/mes, lo que equivale aproximadamente a 55.2 Ah/día, la energía que deberá ser capaz de suministrar la batería en total, en los tres días de autonomía, debe ser de 165.67 Ah.

Las baterías que se ha decidido emplear son de gel, sin necesidad de mantenimiento, con tecnología VRLA de la marca Sonnenschein, modelo Solar Block, debido a la buena relación entre número de ciclos y profundidad de descarga.

El sistema de baterías debe trabajar a 24 Vdc, con lo que se deberán seleccionar dos baterías de 12V. En C72, deberán tener una capacidad útil superior a 166 Ah. Para ello, se consulta la ficha técnica del fabricante donde se detallan los datos de capacidades en C_1 hasta C_{100} a 20°C.

Type	C_1 1.70 Vpc	C_5 1.70 Vpc	C_{10} 1.70 Vpc	C_{20} 1.75 Vpc	C_{100} 1.80 Vpc
SB 6/200 A	104	153	162	180	200
SB 6/330 A	150	235	260	280	330
SB12/60 A	34.0	45.0	52.0	56.0	60.0
SB12/75 A	48.0	60.0	66.0	70.0	75.0
SB12/100 A	57.0	84.0	89.0	90.0	100
SB12/130 A	78.0	101	105	116	130
SB12/185 A	103	150	155	165	185

Tabla 9. Capacidad en C_1 hasta C_{100} (20°C). Baterías Solar Block, Sonnenschein. Fuente: <http://www2.exide.com/es/es/>

Interpolando entre los valores de la tabla anterior, se obtiene que la batería SB12/130 en C72 tiene una capacidad de 125.1 Ah, y la SB12/185, 178 Ah. De manera que el sistema de baterías de esta instalación estará formado por dos baterías SB12/185 en paralelo, con una tensión del sistema de 24 V y una capacidad de 178 Ah.

Los resultados obtenidos en el caso de las escuelas de 3 aulas se muestran en la tabla siguiente:

Escuelas 3 AULAS							
Módulos	$I_{m\acute{a}x}$ (A)	I_{reg} (A)	P_{max} (W)	P_{inv} (W)	Inversor-regulador	Consumo autonomía (Ah)	Baterías
2 A-240P	17.46	20	828	1000	Axpert MKS 1-24	117.85	2xSB12/130

Tabla 10. Resultados dimensionado instalaciones escuelas de 3 aulas.

Para el dimensionado de los cables se aplican los criterios de corriente máxima admisible (superior al 125% de la $I_{m\acute{a}x}$) y de tensión máxima admisible (inferior al 1.5%), tomando como resultado el más restrictivo de ambos. Ambos criterios se aplican de acuerdo con el Reglamento Electrotécnico

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolé (Burkina Faso)

de Baja Tensión y la Norma AENOR EA 0038. Además, los cables que se encuentren expuestos a la luz solar deberán ser resistentes a la degradación por la acción de la luz solar (tensión de aislamiento 0.6/1 kV).



Figura 28. Esquema código cableado instalación FV aislada.

La unión entre los módulos se realiza con el propio cable que incluyen los módulos fotovoltaicos, cable solar de 4 mm² de sección, ya que la norma permite hasta 55A con cable de esta sección. Los tramos 2 y 4 en este caso son el mismo tramo, puesto que el regulador e inversor son el mismo equipo.

El criterio de caída de tensión máxima en el cableado de CC se aplica teniendo en cuenta que las caídas de tensión son puramente resistivas, lo que resulta en que la sección del cable debe cumplir que:

$$S \geq \frac{2LN_p I_{mod-MPP}}{\frac{\Delta V(\%)}{100} \sigma(T_{max}) N_s V_{max_MPP}} \quad (6)$$

Siendo:

S: Sección del cable [mm²]

L: Longitud del cable [m]

N_p: Número de módulos en paralelo

I_{mod_MPP}: Corriente del módulo en punto de máxima potencia [A]

ΔV(%): Caída de tensión porcentual

σ (T_{max}) : Conductividad del cable [Ω⁻¹m/mm²]

N_s: Número de módulos en serie

V_{max_MPP}: Tensión del módulo en el punto de máxima potencia

La conductividad del cobre se ha tomado a 90°C, adquiriendo un valor de 44 Ω⁻¹m/mm².

Los resultados obtenidos son:

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

	Tramo	CC/CA	L(m)	Np	Impp (A)	$\Delta V(\%)$	σ	Ns	Vmpp (V)	S (mm ²)
6 AULAS										
pv-reg	1	CC	5	3	8.21	3	44	1	29.21	6.39
reg-bat	3	CC	2	3	8.21	1	44	1	29.21	7.67
3 AULAS										
pv-reg	1	CC	5	2	8.21	3	44	1	29.21	4.26
reg-bat	3	CC	2	2	8.21	1	44	1	29.21	5.11

Tabla 11. Resultados cálculo según criterio de caída de tensión máxima, tramos 1 y 3.

En el tramo de CA desde la salida del inversor hasta el cuadro general se ha considerado que dada la corta distancia existente, la cdt debida a la reactancia de los cables es despreciable, por lo que solo se considera la cdt de tipo resistivo.

$$S \geq \frac{2LI_{CA_MAX}\cos\varphi}{\frac{\Delta V(\%)}{100}\sigma(T_{max})V_{CA1}} \quad (7)$$

Siendo:

S: Sección del cable [mm²]

L: Longitud del cable [m]

I_{CA_MAX}: Corriente máxima a la salida del inversor [A]

$\Delta V(\%)$: Caída de tensión porcentual

σ (Tmax) : Conductividad del cable [$\Omega^{-1}m/mm^2$]

V_{CA_1}: Tensión salida del inversor [V]

La conductividad del cobre se ha tomado a 90°C, adquiriendo un valor de 44 $\Omega^{-1}m/mm^2$. La corriente máxima se ha extraído de la ficha técnica del fabricante de los inversores.

Los resultados obtenidos son:

	Tramo	CC/CA	L(m)	I _{max} (A)	cos φ	$\Delta V(\%)$	σ	Vca1(V)	S (mm ²)
6 AULAS									
inv-cg	2 y 4	CA	1	55.00	0.95	1.5	44	230	0.69
3 AULAS									
inv-cg	2 y 4	CA	1	45.00	0.95	1.5	44	230	0.56

Tabla 12. Resultados cálculo según criterio de caída de tensión máxima, tramos 2 y 4.

A continuación, se repite el cálculo de las diferentes secciones mediante el criterio de corriente máxima. Para lo cual se ha consultado la norma UNE 20460-5-523:2004, la tabla 52-B1.

TABLA 52-B1 (UNE 20460-5-523:2004) Métodos de instalación de referencia

Instalación de referencia		Tabla y columna				
		Intensidad admisible para los circuitos simples				
		Aislamiento PVC		Aislamiento XLPE o EPR		
		Número de conductores				
		2	3	2	3	
	Conductores aislados en un conducto en una pared térmicamente aislante	A1	Tabla A.52-1 bis columna 4	Tabla A.52-1 bis columna 3	Tabla A.52-1 bis columna 7	Tabla A.52-1 bis columna 6
	Cable multiconductor en un conducto en una pared térmicamente aislante	A2	Tabla A.52-1 bis columna 3	Tabla A.52-1 bis columna 2	Tabla A.52-1 bis columna 6	Tabla A.52-1 bis columna 5
	Conductores aislados en un conducto sobre una pared de madera o mampostería	B1	Tabla A.52-1 bis columna 6	Tabla A.52-1 bis columna 5	Tabla A.52-1 bis columna 10	Tabla A.52-1 bis columna 8
	Cable multiconductor en un conducto sobre una pared de madera o mampostería	B2	Tabla A.52-1 bis columna 5	Tabla A.52-1 bis columna 4	Tabla A.52-1 bis columna 8	Tabla A.52-1 bis columna 7
	Cables unipolares o multipolares sobre una pared de madera o mampostería	C	Tabla A.52-1 bis columna 8	Tabla A.52-1 bis columna 6	Tabla A.52-1 bis columna 11	Tabla A.52-1 bis columna 9
	Cable multiconductor en conductos enterrados	D	Tabla A.52-2 bis columna 3	Tabla A.52-2 bis columna 4	Tabla A.52-2 bis columna 7	Tabla A.52-2 bis columna 6
	Cable multiconductor al aire libre Distancia al muro no inferior a 0,3 veces el diámetro del cable	E	Tabla A.52-1 bis columna 9	Tabla A.52-1 bis columna 7	Tabla A.52-1 bis columna 12	Tabla A.52-1 bis columna 10
	Cables unipolares en contacto al aire libre Distancia al muro no inferior al diámetro del cable	F	Tabla A.52-1 bis columna 10	Tabla A.52-1 bis columna 8	Tabla A.52-1 bis columna 13	Tabla A.52-1 bis columna 11
	Cables unipolares espaciados al aire libre Distancia entre ellos como mínimo el diámetro del cable	G	---	Ver UNE 20460-5-523	---	Ver UNE 20460-5-523

XLPE: Polietileno reticulado (90°C) EPR: Etileno-propileno (90°C) PVC: Policloruro de vinilo (70°C)

TABLA A.52-1 BIS (UNE 20460-5-523:2004)
Intensidades admisibles en amperios
Temperatura ambiente 40 °C en el aire

Método de instalación de la tabla 52-B1	Número de conductores cargados y tipo de aislamiento												
	A1	PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2							
A2	PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2								
B1				PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2					
B2			PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2						
C				PVC3		PVC2	XLPE3			XLPE2			
E						PVC3	PVC2	XLPE3		XLPE2			
F							PVC3	PVC2	XLPE3	XLPE2			XLPE2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Sección mm²													
Cobre													
1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	16,5	19	20	21	24	.	.
2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	23	26	26,5	29	33	.	.
4	20	21	23	24	27	30	31	34	36	38	45	.	.
6	25	27	30	32	36	37	40	44	46	49	57	.	.
10	34	37	40	44	50	52	54	60	65	68	76	.	.
16	45	49	54	59	66	70	73	81	87	91	105	.	.
25	59	64	70	77	84	88	95	103	110	116	123	140	.
35	.	77	85	96	104	110	119	127	137	144	154	174	.
50	.	94	103	117	125	133	145	155	167	175	188	210	.
70	.	.	.	149	160	171	185	199	214	224	244	269	.
95	.	.	.	180	194	207	224	241	259	271	296	327	.
120	.	.	.	208	225	240	260	280	301	314	348	380	.
150	.	.	.	236	260	278	299	322	343	363	404	438	.
185	.	.	.	268	297	317	341	368	391	415	464	500	.
240	.	.	.	315	350	374	401	435	468	490	552	590	.
Aluminio													
2,5	11,5	12	13,5	14	16	17	18	20	20	22	25	.	.
4	15	16	18,5	19	22	24	24	26,5	27,5	29	35	.	.
6	20	21	24	25	28	30	31	33	36	38	45	.	.
10	27	28	32	34	38	42	42	46	50	53	61	.	.
16	36	38	42	46	51	56	57	63	66	70	83	.	.
25	46	50	54	61	64	71	72	78	84	88	94	105	.
35	.	61	67	75	78	88	89	97	104	109	117	130	.
50	.	73	80	90	96	106	108	118	127	133	145	160	.
70	.	.	.	116	122	136	139	151	162	170	187	206	.
95	.	.	.	140	148	167	169	183	197	207	230	251	.
120	.	.	.	162	171	193	196,5	213	228	239	269	293	.
150	.	.	.	187	197	223	227	246	264	277	312	338	.
185	.	.	.	212	225	236	259	281	301	316	359	388	.
240	.	.	.	248	265	300	306	332	355	372	429	461	.

XLPE: Polietileno reticulado (90°C) EPR: Etileno-propileno (90°C) PVC: Policloruro de vinilo (70°C)

Tabla 13. Métodos de instalación de referencia (izda.) e intensidades máximas admisibles a 40°C de temperatura ambiente.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolé (Burkina Faso)

Las secciones resultantes son:

	Tramo	CC/CA	Np	Imp (A)	I max (A)	S(mm ²)
6 AULAS						
pv-reg	1	CC	3	8.33	31.24	4
reg-bat	3	CC	3	8.33	31.24	4
3 AULAS						
pv-reg	1	CC	2	8.33	20.83	1.5
reg-bat	3	CC	2	8.33	20.83	1.5

Tabla 14. Resultado dimensionado de cables según criterio I máxima admisible, tramo 1 y 3.

	Tramo	CC/CA	Np	I max (A)	S(mm ²)
6 AULAS					
inv-cg	2 y 4	CA	3	55.00	10
3 AULAS					
inv-cg	2 y 4	CA	2	45.00	6

Tabla 15. Resultado dimensionado de cables según criterio de I máxima admisible, tramo 2 y 4.

En el caso de los cables de CC el criterio más desfavorable es el de la caída de tensión máxima, mientras que en el caso de los cables de CA, el criterio más desfavorable es el de la corriente máxima. En base a esto y teniendo en cuenta las secciones comerciales, se determina que los cables a emplear tendrán las siguientes secciones:

	Tramo	CC/CA	6 AULAS	3 AULAS
S (mm ²)				
pv-reg	1	CC	10	6
reg-bat	3	CC	10	6
Inv-cg	2 y 4	CA	10	6

Tabla 16. Secciones finales cables.

Las protecciones que se incluirán en las instalaciones de las escuelas son un fusible para proteger el campo fotovoltaico, toma de tierra de toda la instalación y un seccionador para separar el circuito de la instalación fotovoltaica cuando sea necesario.

Para el dimensionado del fusible se han empleado las expresiones 8 y 9.

$$I_{fusible} \geq I_{GFV-M-STC} = N_p I_{mod_MPP_STC} \quad (8)$$

$$V_{fusible} \geq 1.2 V_{GFV_OC} \quad (9)$$

Resultando que es necesario emplear un fusible de 17A y 45V para las escuelas de 6 aulas, y de 17A y 45V para las escuelas de 3 aulas.

4.4.1.2. CSPS

De manera similar a como ocurre con las escuelas, los centros de salud son similares entre ellos, estando todos normalizados según la normativa del estado. Se considerará la carga energética, así como los perfiles de carga y los resultados, iguales para los 8 CSPS incluidos en este proyecto. Por ello, los cálculos mostrados en los siguientes puntos se realizan únicamente para uno de ellos, para

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

cada uno de sus edificios, maternidad y dispensario. Los cálculos se muestran para el CSPS de Ouissiga.

4.4.1.2.1. Carga energética del sistema

La carga energética se ha determinado en base a la información recogida durante la visita a las distintas poblaciones, el uso que se hace de las distintas instalaciones sanitarias, así como las necesidades energéticas que requieren ser cubiertas a la mayor brevedad posible.

Según esto, se ha observado que los consumos a cubrir son:

- Iluminación interior y exterior
- Ventilación de las salas de atención y hospitalización de los pacientes
- Alimentación de equipos eléctricos de oficina (PC, impresora, etc.) así como equipos médicos.
- Alimentación de equipos de refrigeración de vacunas

La cobertura de estos consumos permitirá la mejora de manera considerable de las condiciones de trabajo de los profesionales médicos y sanitarios, así como de los pacientes.

La cobertura de estas necesidades energéticas se traduce en la instalación de los siguientes equipos:

- Luminarias de bajo consumo de 12W. Se considera la instalación de 1 luminaria por cada 12 m² de habitáculo. Lámparas portátiles en las salas donde se requiera mayor potencia lumínica en momentos concretos, como por ejemplo la sala de partos o la sala de curas.
- Ventiladores de techo en las salas interiores de uso habitual por pacientes, excluyendo sala de mantenimiento, pasillos y demás habitáculos empleados de manera esporádica.
- Neveras eléctricas para la conservación de medicamentos y vacunas.
- Puntos de acceso a la electricidad a través de enchufes donde conectar todos aquellos equipos de uso médico que sean necesarios, así como equipos ofimáticos.

4.4.1.2.2. Modelado de consumos y perfiles de carga

A continuación, se modelan las necesidades definidas anteriormente, creando los correspondientes perfiles de carga.

En la siguiente tabla se presentan a modo de resumen los valores de potencia para los distintos equipos eléctricos considerados.

Equipo	Potencia diseño (W)
Ventilador	75
Impresora	110
Ordenador sobremesa	115
Luminaria	12
Lámpara portátil	8
Nevera	190

Tabla 17. Potencias diseño equipos para el dimensionado de las instalaciones FV de los CSPS.

Los parámetros tenidos en cuenta para crear el perfil de carga han sido la superficie de las distintas salas, el número de salas con que cuenta cada dispensario y cada maternidad. Para los cálculos se ha supuesto que los CSPS están abiertos los 365 días al año, las 24 horas del día.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolé (Burkina Faso)

En la tabla 18 se muestra el número de equipos eléctricos, así como las horas de consumo al día, tenidos en cuenta. De igual modo, se expresa el resultado del consumo diario en Wh/día para un día estándar de cada mes, calculado según la expresión 1.

Dispensario									
Consumos	Ventilador	Impresora	Ordenador sobremesa	Lámparas interior	Lámparas exterior	Lámpara portátil	Nevera	Varios	TOTAL
Nº equipos	4	1	1	15	2	2	1	1	27
Consumo equipo (W)	75	110	115	12	18	8	190	100	628
MES	Horas consumo/día								Consumo diario (Wh/día)
Enero	5	0.5	2	7	12	1	24	1	8155
Febrero	6	0.5	2	7	12	1	24	1	8455
Marzo	6	0.5	2	7	12	1	24	1	8455
Abril	7	0.5	2	7	12	1	24	1	8755
Mayo	7	0.5	2	8	12	1	24	1	8935
Junio	5	0.5	2	10	12	1	24	1	8695
Julio	4	0.5	2	10	12	1	24	1	8395
Agosto	3	0.5	2	10	12	1	24	1	8095
Septiembre	3	0.5	2	10	12	1	24	1	8095
Octubre	5	0.5	2	11	12	1	24	1	8875
Noviembre	6	0.5	2	9	12	1	24	1	8815
Diciembre	6	0.5	2	7	12	1	24	1	8455

Tabla 18. Consumos diarios estimados en los dispensarios.

Se aprecia que el máximo consumo esperado es de 8935 Wh/día, lo equivale a un consumo máximo mensual de 277 kWh/mes y se produciría en el mes de mayo. Cabe notar que en el mes de mayo se produce un ligero pico de hospitalizaciones debido a enfermedades respiratorias producidas por los vientos del Harmatán. Se trata de un viento caliente proveniente del desierto cargado de polvo y partículas finas que penetran en el tracto respiratorio con facilidad provocando diversas infecciones en la población.

En los meses de lluvias la utilización de las luces interiores será previsiblemente mayor debido a la menor luminosidad natural. Las luces exteriores en cambio, se prevé que permanezcan encendidas 12 horas durante cada día todos los meses.

Además, se ha incluido un consumo tipificado como “varios”, que incluiría diversos equipos electrónicos que pudieran conectarse a las distintas tomas de corriente que se instalarán.

En la tabla 19 se detallan el consumo mensual de un año tipo, expresado en kWh así como en Ah/mes, calculado según la expresión 2. Se han tenido en cuenta, además, diferentes coeficientes k, en base a la ocupación que se prevé tenga el dispensario. Este coeficiente equivale a la probabilidad estimada de simultaneidad entre los diferentes consumos y permite dotar de mayor grado de semejanza de las previsiones realizadas con respecto a la realidad.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

Mes	Días/mes	k	Energía consumida		
			Wh/día	kWh/mes	Ah/mes
Enero	31	0.5	8155.0	126.4	5544.0
Febrero	28	0.4	8455.0	94.7	4153.3
Marzo	31	0.4	8455.0	104.8	4598.3
Abril	30	0.4	8755.0	105.1	4607.9
Mayo	31	0.6	8935.0	166.2	7289.1
Junio	30	0.5	8695.0	130.4	5720.4
Julio	31	0.5	8395.0	130.1	5707.1
Agosto	31	0.5	8095.0	125.5	5503.2
Septiembre	30	0.5	8095.0	121.4	5325.7
Octubre	31	0.6	8875.0	165.1	7240.1
Noviembre	30	0.55	8815.0	145.4	6379.3
Diciembre	31	0.5	8455.0	131.1	5747.9

Tabla 19. Energía mensual consumida en los dispensarios

En total, se prevé que el dispensario, con todos los consumos incluidos, pueda consumir en torno a 1.5 MWh/año. Como ya se ha mencionado con anterioridad, el mes con mayor consumo energético es mayo, seguido de octubre, mes en que finaliza el periodo de lluvias y se producen importantes brotes de malaria, con lo que los dispensarios atienden a un gran número de enfermos.

El perfil de consumo resultante es el siguiente:

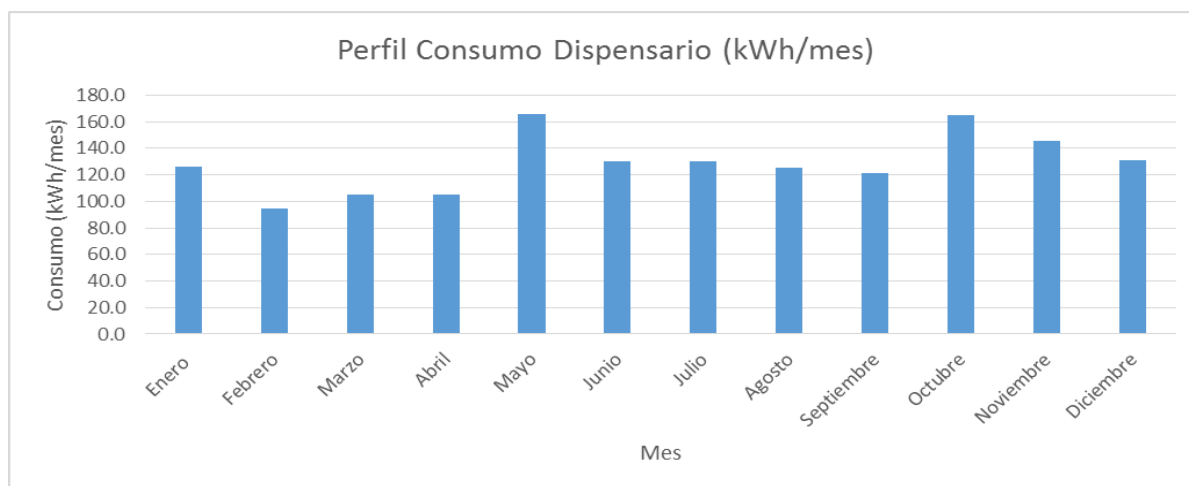


Figura 29. Perfil de consumo dispensario.

Se observa que el perfil de consumo es relativamente plano durante todo el año, con una media de 129kWh/mes, siendo el menor consumo 94.7 kWh y el mayor, 166kWh.

Por lo que respecta a las instalaciones eléctricas en los edificios de las maternidades, el proceso seguido para determinar y cuantificar las cargas energéticas es el mismo, obteniendo los siguientes resultados:

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

Maternidad									
Consumos	Ventilador	Impresora	Ordenador sobremesa	Lámparas interior	Lámparas exterior	Lámpara portátil	Nevera	Varios	TOTAL
Nº equipos	4	1	1	18	2	2	1	1	30
Consumo equipo (W)	75	110	115	12	18	8	190	100	628
MES	Horas Consumo/día								Consumo diario (Wh/día)
Enero	5	0.25	2	5	12	1	24	1	7947.5
Febrero	6	0.25	2	5	12	1	24	1	8247.5
Marzo	6	0.25	2	5	12	1	24	1	8247.5
Abril	7	0.25	2	5	12	1	24	1	8547.5
Mayo	7	0.25	2	5	12	1	24	1	8547.5
Junio	5	0.25	2	6	12	1	24	1	8163.5
Julio	4	0.25	2	7	12	1	24	1	8079.5
Agosto	3	0.25	2	7	12	1	24	1	7779.5
Septiembre	3	0.25	2	6	12	1	24	1	7563.5
Octubre	5	0.25	2	5	12	1	24	1	7947.5
Noviembre	6	0.25	2	5	12	1	24	1	8247.5
Diciembre	6	0.25	2	5	12	1	24	1	8247.5

Tabla 20. Consumos diarios estimados en las Maternidades

Mes	Días/mes	k	Energía consumida		
			Wh/día	kWh/mes	Ah/mes
Enero	31	0.5	7947.5	123.2	5402.9
Febrero	28	0.5	8247.5	115.5	5064.3
Marzo	31	0.5	8247.5	127.8	5606.9
Abril	30	0.5	8547.5	128.2	5623.4
Mayo	31	0.5	8547.5	132.5	5810.8
Junio	30	0.5	8163.5	122.5	5370.7
Julio	31	0.5	8079.5	125.2	5492.6
Agosto	31	0.5	7779.5	120.6	5288.7
Septiembre	30	0.5	7563.5	113.5	4976.0
Octubre	31	0.5	7947.5	123.2	5402.9
Noviembre	30	0.5	8247.5	123.7	5426.0
Diciembre	31	0.5	8247.5	127.8	5606.9

Tabla 21. Energía mensual consumida en las maternidades.

En este caso, se ha empleado el mismo coeficiente k para todos los meses, puesto que la ocupación de la maternidad no es estacional, sino que responde en mayor grado al nivel de partos que se produzcan, por lo que se ha establecido una simultaneidad de los consumos en general de 0.5. Esta decisión puede dar lugar a un elevado sobredimensionamiento de la instalación. No obstante, la asistencia de partos es un servicio fundamental, que debe quedar siempre cubierto. Por este mismo motivo, todos los consumos se han considerado constantes a lo largo del año, a excepción de la iluminación interior que aumenta en la época de lluvias y los ventiladores, cuyo consumo disminuye en la época de lluvias.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

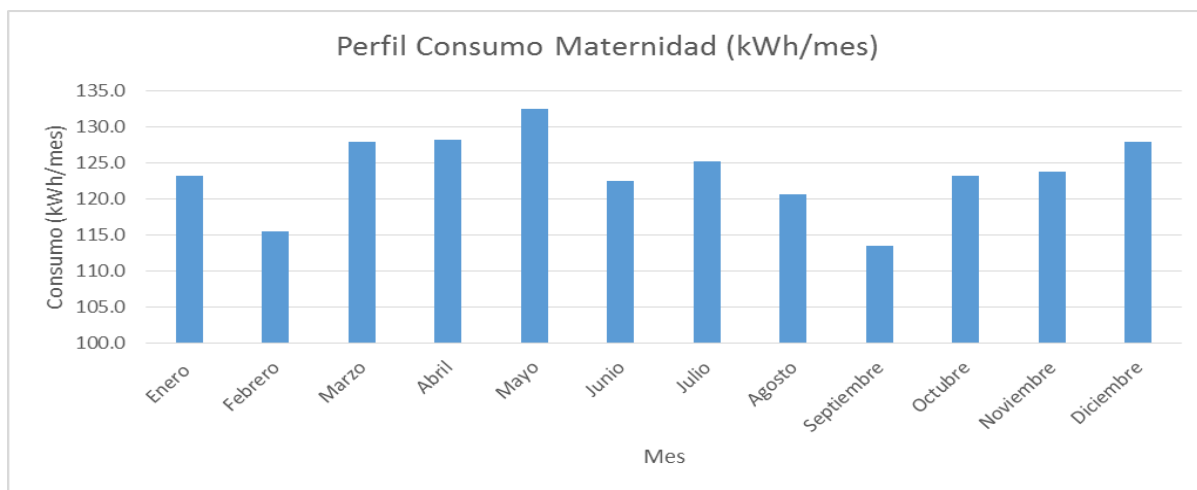


Figura 30. Perfil de consumo de las maternidades

A partir de la gráfica de consumos se aprecia que no existen grandes diferencias respecto al consumo medio anual, 123.6 kWh/mes. El mínimo consumo que se produce es de 113.4 kWh/mes y el máximo, de 132.5 kWh/mes.

4.4.1.2.3. Dimensionado de las instalaciones

De igual manera que se ha procedido para el dimensionado de las escuelas, se dimensionan las instalaciones de los dispensarios y las maternidades.

Los datos de radiación solar considerados han sido los mismos que en el caso de las escuelas, puesto que no se conocen las coordenadas exactas de cada CSPA por falta de recursos cartográficos, y en el radio en el que se encuentran los 8 CSPAs las diferencias de radiación no son significativas.

Tanto para las instalaciones de los dispensarios como las maternidades, se ha considerado una inclinación de 15° con orientación sur, el óptimo anual, puesto que no existe ningún mes del año que se considere prioritario en cuanto a consumos.

Para el caso de los dispensarios se obtienen los siguientes resultados de Cmd.

Mes	Consumo	Radiación 15° S	Cmd 15° S
	Ah/mes	kWh/m ² /mes	Am ² /kW
Enero	5543.97	203.67	27.22
Febrero	4153.33	192.36	21.59
Marzo	4598.33	227.54	20.21
Abril	4607.89	188.4	24.46
Mayo	7289.08	185.69	39.25
Junio	5720.39	168.6	33.93
Julio	5707.13	167.4	34.09
Agosto	5503.18	164.3	33.49
Septiembre	5325.66	179.4	29.69
Octubre	7240.13	203.67	35.55
Noviembre	6379.28	199.2	32.02
Diciembre	5747.92	200.88	28.61

Tabla 22. Coeficiente Cmd dispensarios.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

El valor máximo de C_{md} , es 39.25 y se da en el mes de mayo, donde peor es la relación entre necesidades energéticas del sistema y radiación. En base a este coeficiente se realiza el cálculo del número de módulos en paralelo necesarios mediante la expresión 3, obteniendo los siguientes resultados:

15°S	Isc (A)	Nlp
A-240P	8.73	5.40
A-255P	8.88	5.30
A-265P	9.01	5.23
A-320P	8.93	5.27

Tabla 23. Resultados del número de módulos en paralelo dispensarios.

De entre los modelos considerados, todos ellos dan como resultado más de 5 módulos. Con el objetivo de mantener el sobredimensionado mínimo del 20% para cubrir las pérdidas del sistema, se han de seleccionar 6 módulos, el entero inmediatamente superior, y por cuestiones de costes económicos, se seleccionan los de menor potencia. En resumen, se tienen 6 módulos A-240P conectados en paralelo, inclinados 15° al sur.

A continuación se dimensiona el regulador de carga, para lo cual, se calcula la corriente que ha de soportar el equipo, empleando la expresión 4. Dado que se tienen 6 módulos en paralelo (tensión nominal instalación 24Vdc) la corriente máxima será 52.38 A, por lo que el regulador a escoger debe tener una corriente nominal de 60A.

Para dimensionar el inversor, se aplica la fórmula 5 y se obtiene una potencia nominal de 1047Wp. La tensión de trabajo es de 24Vdc en la entrada de continua, 230 Vac y 50 Hz en la salida de alterna.

Para cumplir con las funciones de regulación e inversión de corriente se ha seleccionado el equipo AXPERT MKS 5KP 24 capaz de aunar ambas funciones en un solo equipo, permitiendo un ahorro de costes significativo, así como de tiempo de instalación y mantenimiento.

El dimensionado de las baterías se realiza teniendo en cuenta que se esperan 3 días de autonomía de la instalación, es decir, 72h. El consumo que las baterías deben alimentar durante el periodo de autonomía se ha calculado en base al consumo en Ah/mes medio, que es 5651.4 Ah, que equivale a 565.14 Ah en el periodo de autonomía.

Las baterías seleccionadas en este caso son las A600 SOLAR del fabricante TUDOR Exide. Para determinar qué baterías son necesarias, se consulta la ficha técnica del fabricante, mostrada en la tabla 24, según la cual, las baterías necesarias son las A602/625, cuya capacidad nominal en C72 es 604Ah. A fin de disponer de la tensión de trabajo adecuada son necesarios doce vasos de 2V.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

Type	C ₁ 1.67 Vpc	C ₃ 1.75 Vpc	C ₅ 1.77 Vpc	C ₁₀ 1.80 Vpc	C ₂₄ 1.80 Vpc	C ₄₈ 1.80 Vpc	C ₇₂ 1.80 Vpc	C ₁₀₀ 1.85 Vpc	C ₁₂₀ 1.85 Vpc
A602/295 SOLAR	124	167	193	217	248	273	289	285	294
A602/370 SOLAR	155	209	241	272	310	342	362	357	367
A602/440 SOLAR	186	251	289	326	372	410	434	428	440
A602/520 SOLAR	229	307	342	379	435	471	503	505	519
A602/625 SOLAR	275	369	410	455	523	565	604	606	623
A602/750 SOLAR	321	431	479	531	610	659	705	707	727
A602/850 SOLAR	368	520	614	681	729	782	827	822	845
A602/1130 SOLAR	491	694	818	908	973	1043	1102	1096	1126
A602/1415 SOLAR	614	867	1023	1135	1216	1304	1378	1370	1408
A602/1695 SOLAR	737	1041	1228	1362	1459	1565	1654	1644	1689
A602/1960C SOLAR	867	1222	1371	1593	1803	1942	2016	1957	1994
A602/2600 SOLAR	1047	1548	1782	2024	2276	2472	2599	2547	2613
A602/3270 SOLAR	1309	1935	2227	2530	2846	3090	3249	3184	3266
A602/3920 SOLAR	1571	2322	2673	3036	3415	3708	3899	3821	3919

Tabla 24. Capacidades C1-C120 en Ah a 20°C de las baterías A600 Solar. Fuente: <http://www2.exide.com/es/es/>

Para el caso de las maternidades se tiene que el coeficiente Cmd más desfavorable es 32.81 Am²/kW. El número de módulos necesarios necesario para cubrir la demanda es 5 unidades del modelo A-240P, conectado en paralelo, formando una tensión de 24V.

Mes	Consumo	Radiación 15° S	Cmd 15° S
	Ah/mes	kWh/m2/mes	Am2/kW
Enero	5402.91	203.67	26.53
Febrero	5064.25	192.36	26.33
Marzo	5606.85	227.54	24.64
Abril	5623.36	188.40	29.85
Mayo	5810.80	185.69	31.29
Junio	5370.72	168.60	31.85
Julio	5492.64	167.40	32.81
Agosto	5288.70	164.30	32.19
Septiembre	4975.99	179.40	27.74
Octubre	5402.91	203.67	26.53
Noviembre	5425.99	199.20	27.24
Diciembre	5606.85	200.88	27.91

Tabla 25. Coeficiente Cmd Maternidades

15°S	Isc (A)	Nlp
A-240P	8.73	4.51
A-255P	8.88	4.43
A-265P	9.01	4.37
A-320P	8.93	4.41

Tabla 26. Número de módulos en paralelo maternidades.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

Para el dimensionado del resto de equipos se repite el mismo procedimiento que en los casos anteriores. La corriente máxima del sistema es 43.65 A, con lo que el regulador debe soportar como mínimo, en torno a 45A.

El inversor debe soportar como mínimo 1100 W, pues la suma de las potencias nominales que se han considerado a la hora de modelar los consumos es de 1083W.

Al igual que en el resto de instalaciones, el equipo seleccionado para realizar ambas funciones es el Axpert MKS 5KP-24.

Las baterías seleccionadas, son las A602/625 de Tudor Exide, puesto que el consumo que deben soportar en tres días es de 542.27 Ah, según las estimaciones realizadas.

El procedimiento para el cálculo de las secciones de los cables ha sido el mismo que en el caso de las escuelas. Los resultados obtenidos mediante el método de la caída de tensión máxima son los mostrados en las tablas 27 y 28.

	Tramo	CC/CA	L(m)	Np	Impp (A)	$\Delta V(\%)$	σ	Ns	Vmpp (V)	S (mm ²)
DISPENSARIO										
pv-reg	1	CC	5	6	8.21	3	44	1	29.21	12.78
reg-bat	3	CC	2	6	8.21	1	44	1	29.21	15.33
MATERNIDAD										
pv-reg	1	CC	5	5	8.21	3	44	1	29.21	10.65
reg-bat	3	CC	2	5	8.21	1	44	1	29.21	12.78

Tabla 27. Resultados aplicación criterio CDT máxima en tramos 1 y 3.

	Tramo	CC/CA	L(m)	Imax (A)	cos ϕ	$\Delta V(\%)$	σ	Vca1(V)	S (mm ²)
DISPENSARIO									
inv-cg	2 y 4	CA	1	140.00	0.95	1.5	44	230	1.75
MATERNIDAD									
inv-cg	2 y 4	CA	1	140.00	0.95	1.5	44	230	1.75

Tabla 28. Resultados aplicación criterio CDT máxima en tramos 2 y 4.

Según el criterio de la corriente máxima admisible se obtienen los resultados siguientes:

	Tramo	CC/CA	Np	Impp (A)	I max (A)	S(mm ²)
DISPENSARIO						
pv-reg	1	CC	6	8.33	62.48	4
reg-bat	3	CC	6	8.33	62.48	4
MATERNIDAD						
pv-reg	1	CC	5	8.33	52.06	4
reg-bat	3	CC	5	8.33	52.06	4

Tabla 29. Resultados aplicación criterio I máxima admisible en tramos 1 y 3.

	Tramo	CC/CA	Np	I max (A)	S(mm ²)
DISPENSARIO					
inv-cg	2 y 4	CA	6	140.00	4
MATERNIDAD					
inv-cg	2 y 4	CA	5	140.00	4

Tabla 30. Resultados aplicación criterio I máxima admisible en tramos 2 y 4.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

	Tramo	CC/CA	DISPENSARIO	MATERNIDAD
			S (mm ²)	
pv-reg	1	CC	16	16
reg-bat	3	CC	16	16
Inv-cg	2 y 4	CA	4	4

Tabla 31. Secciones finales.

Para el dimensionado del fusible se han empleado las expresiones 7 y 8. Resultando que es necesario emplear un fusible de 50A y 45V en los dispensarios y de 42A y 45V en las maternidades.

4.4.1.3. Instalación piloto

4.4.1.3.1. Definición

Este proyecto piloto ha consistido en el diseño, cálculo y puesta en marcha de una instalación fotovoltaica aislada de 300 Wp para la iluminación de 4 aulas de la escuela de secundaria de Arbolle centro.

El propósito de la realización de esta instalación piloto es el de comprobar la disponibilidad de materiales y mano de obra, así como la aceptación por parte de la población de las instalaciones de energía solar fotovoltaica aisladas. Para la realización del mismo, se ha partido de un presupuesto base de 1000 €.

Para llevar a cabo la instalación piloto se escogió el instituto de secundaria de Arbolle y no las escuelas o centros sanitarios que es donde se pretende posteriormente realizar la electrificación mediante energía solar. El motivo de esta decisión viene unido a la formación en energía solar fotovoltaica que se ha realizado con los estudiantes de este centro y la idoneidad de la oportunidad de poner los conocimientos aprendidos en práctica.

Uno de los beneficios principales de este proyecto piloto es, por tanto, el disponer de los equipos de la instalación tan cerca de su espacio habitual de trabajo y siendo los mismos estudiantes los principales beneficiarios de la misma, se genera una mayor conciencia de la necesidad de mantenimiento de las instalaciones, uno de los principales problemas encontrados en la zona.

En el siguiente mapa se aprecia con exactitud la disposición de los diferentes espacios del instituto de secundaria de Arbolle. El edificio señalado en rojo es el espacio donde se ha decidido realizar la instalación fotovoltaica. Se trata de un conjunto formado por 4 aulas construido por la Organización Ingenieros Sin Fronteras (UPV, Valencia) gracias a la colaboración local de ASFES y con la financiación de la Generalitat Valenciana en el año 2012.

Se trata del edificio más nuevo y en mejor estado, utilizado por los alumnos de últimos cursos, que además son quienes mayoritariamente aprovechan las horas de la tarde posteriores a las clases y los sábados para estudiar y hacer sus tareas. Es por ello que se ha decidido invertir los fondos disponibles para este proyecto en estas cuatro aulas. En la siguiente imagen se puede apreciar el edificio objeto de este proyecto piloto, señalado en rojo.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbollé (Burkina Faso)



Figura 31. Situación edificio 4 aulas objeto del proyecto piloto.

Tal y como se aprecia en la imagen, este es el edificio que menos sombras sufre a lo largo del día, por lo que también resulta por este lado, el más indicado para hacer una instalación fotovoltaica de estas características.

Pese a que las aulas que forman parte del objetivo de este proyecto piloto ya disponen de acceso a la red eléctrica, los cortes en el suministro son tan frecuentes que en muchas ocasiones los alumnos se ven con serias dificultades para estudiar por las tardes.

Se trata de alumnos que acuden al instituto desde pueblos en un radio de 5 a 15 km, la mayoría de ellos no disponen de electricidad en sus casas por lo que para poder estudiar después de las clases necesitan quedarse en el instituto largas jornadas para aprovechar la luz eléctrica. Los docentes del centro han observado como los alumnos se desmotivan a causa de los frecuentes e imprevisibles cortes de suministro eléctrico.

Los usuarios de la instalación son los 1300 alumnos que estudian en instituto y que se benefician actualmente de la instalación, la cual abastece de luz a 4 aulas en las ocasiones en que el suministro eléctrico de la red sufre cortes.

4.4.1.3.2. Dimensionado de la instalación

En primer lugar, se ha hecho un sondeo para ver cuáles eran los consumos en el centro educativo antes de realizar la instalación fotovoltaica. Observando la manera de consumir la electricidad, realizando encuestas a alumnos, profesores, y demás miembros de la comunidad educativa, se dedujeron los consumos medios del centro.

Los datos de partida han sido el consumo medio mensual, que es de 500 kWh/mes, además de una recopilación de los equipos que consumen electricidad ya instalados en el instituto. A continuación se muestra una tabla con el detalle de los equipos, las potencias estimadas, así como las horas de uso, con lo que se obtiene un perfil medio de carga mensual. Para ello se ha asumido que todos los

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

días de la semana los consumos son muy similares, lo que se comprobó que no dista mucho de la realidad. Para los cálculos además se han considerado sólo los días de lunes a viernes, excluyendo fines de semana. Esto es también una aproximación bastante acertada, pues si bien muchos alumnos acuden a clase los sábados para estudiar, lo hacen por la mañana o a primera hora de la tarde, sin hacer uso de la luz en las clases. Los profesores y personal administrativo del centro no acuden los sábados a sus puestos de trabajo, por lo que todos los consumos están apagados, a excepción del frigorífico, que trabaja las 24h del día todos los días de la semana.

Consumos		Ventilador	TV plasma	Frigorífico	Fotocopiadora	Ordenador sm	Ordenador Pt	Lámparas clases	Lámparas admin	Impresora peq	
Nº equipos		7	1	1	1	3	7	80	13	1	
Consumo equipo (W)		75	125	200	350	115	80	36	36	110	
Días/mes	Lab.	Horas consumo/día									
MES											
31	22	Enero	6	5	24	1	5	5	3	6	0,5
28	20	Febrero	8	5	24	1	5	5	3	6	0,5
31	23	Marzo	9	5	24	1	5	5	3	6	0,5
30	20	Abril	10	5	24	1	5	5	3	6	0,5
31	23	Mayo	10	5	24	1	5	5	3	6	0,5
30	22	Junio	6	3	24	1	6	6	5	6	0,5
31	21	Julio	6	3	24	1	6	6	5	6	0,5
31	0	Agosto	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	5	Septiembre	6	5	24	1	5	5	3	6	0,5
31	22	Octubre	6	5	24	1	7	7	3	6	1
30	22	Noviembre	6	5	24	1	5	5	3	6	0,5
31	21	Diciembre	6	5	24	1	5	5	3	6	0,5

Tabla 32. Estimación de consumos escuela de secundaria de Arbolle.

Para obtener el consumo de cada mes, se ha diferenciado el consumo del frigorífico por ser el único equipo que siempre está en carga (consumiendo), excepto el mes de agosto que el centro está cerrado y el frigorífico se desconecta.

Consumos sin frigorífico		Consumo frigorífico		TOTAL
Wh/día	kWh/mes	Wh/día	kWh/mes	kWh/mes
20153	443.366	4800	148.8	592.166
21203	424.06	4800	134.4	558.46
21728	499.744	4800	148.8	648.544
22253	445.06	4800	144	589.06
22253	511.819	4800	148.8	660.619
26568	584.496	4800	144	728.496
26568	557.928	4800	148.8	706.728
0	0	0	0	0
20153	100.765	4800	144	244.765
22018	484.396	4800	148.8	633.196
20153	443.366	4800	144	587.366
20153	423.213	4800	148.8	572.013

Tabla 33. Consumo escuela secundaria diferenciado por consumo del frigorífico.

El perfil de carga resulta como se detalla a continuación:

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

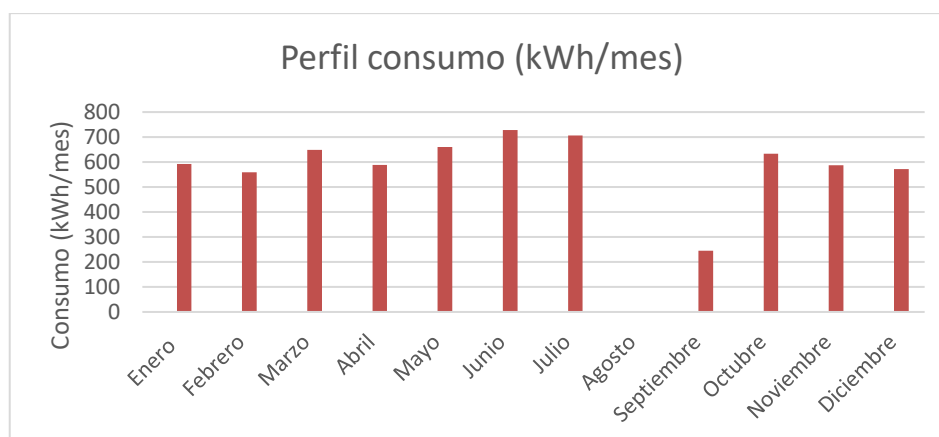


Figura 32. Perfil de consumo escuela de secundaria de Arbolle.

De acorde con este perfil de carga se ha dimensionado la instalación de manera que quedara cubierto únicamente el consumo correspondiente a la iluminación de un edificio de 4 clases. El dimensionado se ha realizado para cubrir la iluminación de estas cuatro clases en el peor de los escenarios, es decir, que todas las clases estén ocupadas a la vez y con las luces encendidas. Para ello se ha seguido el mismo procedimiento que en los apartados 4.4.1.1.3 y 4.4.1.2.3.

Los datos de radiación de los que se ha partido han sido los mismos que en los casos de las escuelas y los CSPS. La inclinación de diseño adoptada ha sido de 15º Sur, siguiendo el mismo razonamiento que en el caso de las escuelas de primaria.

En la tabla 34 se muestran los consumos esperados del conjunto de luminarias expresados en Ah/mes. Para realizar los cálculos se ha tomado como tensión nominal de la instalación, 12V, debido al reducido tamaño de la instalación. Además se ha previsto que las luminarias sean de 12W, de bajo consumo, que estarán funcionando 4h/día durante todos los días. Se han considerado 4 luminarias en el interior y 1 en el exterior de cada aula, con un total de 4 aulas, realizando la instalación eléctrica de manera independiente de la ya existente. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

Mes	Días laborales	Energía consumida			Radiación 15º S	Cmd 15º S
		Wh/día	kWh/mes	Ah/mes	kWh/m2/mes	Am2/kW
Enero	22	900	19.8	1650.0	203.67	8.10
Febrero	20	900	18	1500.0	192.36	7.80
Marzo	14	900	12.6	1050.0	227.54	4.61
Abril	20	900	18	1500.0	188.40	7.96
Mayo	23	900	20.7	1725.0	185.69	9.29
Junio	22	900	19.8	1650.0	168.60	9.79
Julio	21	900	18.9	1575.0	167.40	9.41
Agosto	0	900	0	0.0	164.30	0.00
Septiembre	5	900	4.5	375.0	179.40	2.09
Octubre	22	900	19.8	1650.0	203.67	8.10
Noviembre	22	900	19.8	1650.0	199.20	8.28
Diciembre	16	900	14.4	1200.0	200.88	5.97

Tabla 34. Energía consumida y coeficiente Cmd de la escuela de secundaria.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

El mes más crítico es junio, con el coeficiente C_{md} más elevado. Se ha considerado una I_{sc} de 8.65 A, con lo que, según la expresión 3, considerando un margen de seguridad por cuestiones de rendimiento del 20%, se obtiene que es necesario instalar 1.36 módulos de 150W. Por tanto, se instalarán 2 módulos de 150Wp en paralelo, con una tensión de 12Vdc y 300Wp en total.

La corriente máxima que se podría obtener es de 17.3 A, por lo que el regulador de carga debe tener una tensión nominal de trabajo de 20A, o su inmediatamente superior.

Para el dimensionado de las baterías se ha considerado un periodo de autonomía de 72h (3 días), siendo el consumo a cubrir, de 129.4 Ah, el equivalente del consumo medio mensual.

El amplio margen de seguridad resultante del dimensionado anterior deja lugar a la posible ampliación de la instalación, además de permitir la cobertura de las pérdidas que se producirán debido a la suciedad y envejecimiento de los módulos. Este margen es muy importante, para alargar la vida útil de la instalación puesto que Arbolle se encuentra en un área muy seca, y con temperaturas diurnas elevadas. Durante los 8 meses que dura como mínimo la estación seca, los módulos acumularán polvo y suciedad, y es muy probable que no sea hasta el periodo de lluvias cuando esta empiece a limpiarse.

Se pueden estimar unas pérdidas debido a la suciedad del sistema de en torno a un 5%. Mientras que el desgaste del módulo fotovoltaico se puede estimar en un 3% el primer año y un 0.7 % de pérdida de potencia cada año durante los 4 siguientes años, es decir, que al cabo de 5 años, la instalación habría perdido por desgaste de los módulos, un 5.8% de la potencia disponible. Si se establece que la vida útil del sistema debe ser como mínimo de 10 años, al cabo del transcurso de este tiempo la pérdida de potencia que sufrirán los módulos será aún superior, rondando el 10% más la suciedad.

La etapa de inversión de corriente se ha evitado, habiendo considerado los siguientes motivos:

- Simplicidad de la instalación y costes
- Reducción de pérdidas en el sistema, con la consiguiente ganancia de energía disponible.
- Evitar que en caso de avería del inversor, el sistema quede inutilizable.
- Mayor control de los consumos, limitando las posibles intrusiones de consumo eléctrico no previsto.

Por tanto, la instalación y sus consumos deben ser en corriente continua. Para ello ha sido necesario la concepción de una nueva instalación eléctrica completamente independiente de la existente.

Para el dimensionado de los cables, se han aplicado los criterios de CdT máxima y corriente máxima admisible. El resultado indica que los cables necesarios son de 6 mm² para el cableado de los módulos con el regulador y este con las baterías, y de 4 mm² para el conexionado de los dos módulos fotovoltaicos y el conexionado del regulador con la carga. La conexión entre las distintas luminarias se ha realizado con cable de 1.5mm².

Además, se ha empleado un fusible de 20A para la protección de las series de módulos, y un seccionador para el aislamiento del circuito en caso de necesidad.

La estructura soporte para los módulos y la caja que alberga la batería, se fabricaron a medida en el taller de soldadura. Este último asegura la integridad de la batería protegiéndola de los posibles robos, dado que se trata del elemento más caro de la instalación y debido a su gran utilidad, es muy susceptible de sufrir robos.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)



Figura 33. Caja batería (izda.) y módulos pre-montados sobre estructura (dcha.) Fuente: MÁRQUEZ. M.N.

El diseño de la estructura se realizó de manera que fuera fácilmente atornillable al techo de las escuelas, construido con láminas de chapa. Además, se ha concebido de manera que los módulos estén adecuadamente ventilados, para optimizar el rendimiento de la instalación, evitando pérdidas por temperatura.

El siguiente paso importante ha sido la búsqueda de mano de obra con la formación adecuada, así como la compra de los materiales. El objetivo principal, más allá de la instalación de los equipos para este proyecto piloto era encontrar mano de obra local para los futuros proyectos de electrificación de escuelas y centros de salud. Se trataba de una oportunidad muy valiosa para poner a prueba la capacidad de trabajo de los profesionales electricistas que se encargarían en un futuro de llevar a cabo el proyecto de mayor envergadura.

La elección del electricista encargado de ejecutar esta instalación se ha basado en una serie de entrevistas realizadas en la que se le explicó a los diferentes candidatos el proyecto a realizar, además, se comprobó la experiencia previa en instalaciones fotovoltaicas, así como la formación con que contaban.

Por su parte, la compra de los materiales fue un proceso largo, para el que se emplearon cuatro días, debido al laborioso proceso de negociación final de precios, formulación de manera correcta de las facturas necesarias para justificar los gastos, así como el transporte de los materiales hasta un almacén central en la capital, propiedad de ASFES, para su almacenamiento y posterior traslado a Arbolle.

Llegados a este punto, se decide que el día para realizar el proyecto será un sábado, dado que no es un día lectivo, aunque sí que una parte importante de los alumnos acuden a clase para estudiar y realizar sus tareas. Así se consigue no interrumpir o interferir en el ritmo normal de las clases.

Para la ejecución de la instalación, ha sido necesario en primer lugar transportar los materiales desde la capital hasta Arbolle (80 km). Para ello se ha empleado un vehículo particular más transporte público local para las estructuras soporte y la caja para las baterías.

A continuación se recopilaron todos los materiales, se comprobaron las tensiones de paneles y batería, y se revisó que todo el material necesario estuviera preparado (escaleras, pequeño material eléctrico, etc.).

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)



Figura 34. Cables, luminarias, protecciones y pequeño material eléctrico. Fuente: MÁRQUEZ. M.N.

En primer lugar, se procedió a la instalación de los módulos FV en el techo del edificio. Se ha considerado este como el primer paso a seguir, debido a que en las horas centrales del día, la temperatura y la radiación son mayores, y en consecuencia también lo son las condiciones para manipular los equipos. Se optó por dejar los módulos y su estructura instalados en primera instancia, para después proseguir con la instalación eléctrica de las luminarias, baterías y demás elementos de la instalación.

El sistema se ha compuesto de 2 módulos fotovoltaicos de 150Wp cada uno. Las características eléctricas del mismo se detallan en la siguiente imagen:

PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CPMDOTOPMS(STC)	
Maximum Power(Pmax)	150W
Maximum Power current(Imp):	8.3A
Maximum power voltage(Vmp):	18.7V
Open Circuit Voltage(Voc):	22.5V
Short Circuit Current(Isc):	8.65A
STC:1000W/M ² .25°C . AM1.5	
Size:	1480*670*35MM

Figura 35. Placa de características de módulo fotovoltaico empleado. Fuente: MÁRQUEZ. M.N.

La orientación ha variado por cuestiones prácticas de instalación. Con el objetivo de hacer concordar los tornillos de fijación del techo con los elementos de sujeción de la estructura de soporte de los módulos, se ha variado la orientación de los módulos en 5º al este. Esta pequeña variación con respecto al Sur (0º) puede beneficiar incluso la producción de energía del sistema. Esto se justifica porque de esta manera los módulos están mejor orientados de cara a recibir la radiación solar de las primeras horas del día, momento en que la temperatura del módulo es menor. De este modo se mejora el rendimiento del módulo ligeramente, puesto que la temperatura influye de manera inversa en el rendimiento, es decir, a mayor temperatura, menor es el rendimiento. En las horas de la tarde, posteriores al mediodía solar, la radiación es prácticamente la misma, recordemos que el perfil de radiación diaria tiene forma de campana de Gauss (Figura 15), simétrica respecto al mediodía. Sin embargo, en estas horas, el módulo tiene una temperatura mayor, pues ha estado todo el día recibiendo radiación, siendo así, su rendimiento menor.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)



Figura 36. Estructura de soporte de los módulos. Fuente: MÁRQUEZ. M.N.

En segundo lugar se ha procedido a la instalación del regulador de carga, sujetándolo a la pared del aula central, optimizando la cantidad de cable empleado. Se trata de un regulador de tensión de trabajo 12/24V seleccionable automáticamente, con una corriente máxima admisible de 30A.



Figura 37. Regulador de carga. Fuente: MÁRQUEZ. M.N.

A continuación se ha instalado la batería, cuya capacidad es 250Ah (C100), tensión nominal de 12V, de la marca Super-K. Se trata de una batería de plomo-ácido sellado, libre de mantenimiento.

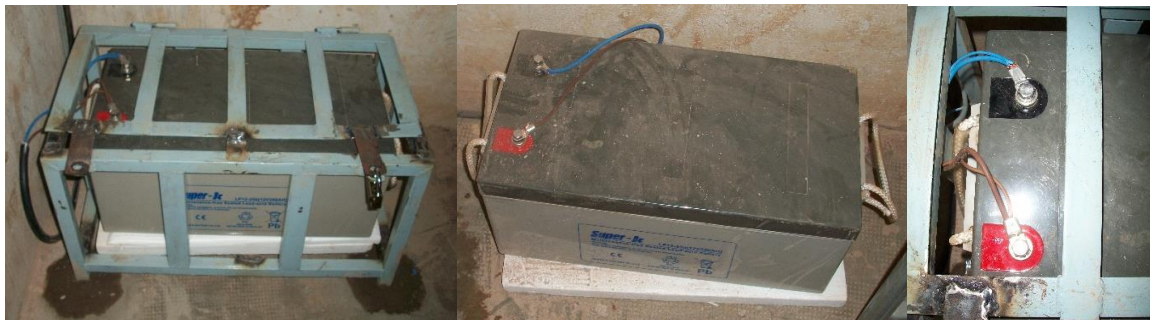


Figura 38. Instalación de la batería. Fuente: MÁRQUEZ. M.N.

Las lámparas de bajo consumo instaladas, con una potencia de 12W y una tensión de trabajo de 12V DC, han sido 4 en el interior y una en el exterior de cada aula. Para el encendido y apagado de las mismas se dispuso 1 interruptor doble por aula, centralizando en un mismo interruptor el control de la luminaria exterior e interior.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)



Figura 39. Luminarias e interruptores. Fuente: MÁRQUEZ. M.N.

Por último, la puesta a tierra del sistema ha sido una de las etapas más laboriosas de toda la instalación, pues se trata de un terreno duro, seco y rocoso. Ha sido necesario excavar un agujero de 1 metro de profundidad y 50-60cm de diámetro.

Para asegurar la buena conducción de la corriente hacia la tierra en caso de fallo del sistema, ha sido necesario humedecer el terreno, con aproximadamente 40 litros de agua, a lo que se suma el relleno con compost orgánico del ganado de la zona. Cabe destacar que como parte fundamental del mantenimiento de la instalación, se ha dejado indicado a las personas responsables, la humidificación del agujero de la toma de tierra con cierta periodicidad, para asegurar la seguridad del sistema. Es necesario tener en cuenta que durante 8 meses seguidos el volumen de precipitaciones es nulo, sumado a la sequedad del terreno, se trata de condiciones desfavorables para la conducción de corriente en caso de fuga.



Figura 40. Toma de tierra de la instalación. Fuente: MÁRQUEZ. M.N.

La realización de esta instalación eléctrica supone diversos beneficios y ventajas, adicionalmente a la disponibilidad de energía en los momentos de corte del suministro. En primer lugar, la instalación ha permitido que los alumnos de la escuela que han asistido al curso de formación básica en energía solar fotovoltaica dispongan de un ejemplo práctico de lo visto en clase. Además, se comprueba la acogida entre la población de Arbolle, de este tipo de instalaciones de producción de energía de manera aislada, en cuanto a aceptación, uso adecuado y mantenimiento. Por último, permite crear conciencia de las ventajas pero también los inconvenientes de las instalaciones fotovoltaicas de este tipo, como es la no disponibilidad infinita de energía.



Figura 41. Resultado final del proyecto. Fuente: MÁRQUEZ. M.N.

Uno de los puntos clave para la sostenibilidad de este proyecto piloto es la formación y concienciación de los usuarios en cuestiones de mantenimiento básico de la instalación. Para ello, se ha aprovechado los conocimientos teóricos adquiridos por los alumnos durante el curso de introducción a la energía solar fotovoltaica impartido con los alumnos de los últimos cursos de secundaria, y la implicación y buena disposición del personal docente. Se trata de que toda la comunidad educativa forme parte del proyecto y se vea involucrado, a la vez que sean conscientes de la nueva instalación que tienen a su disposición.

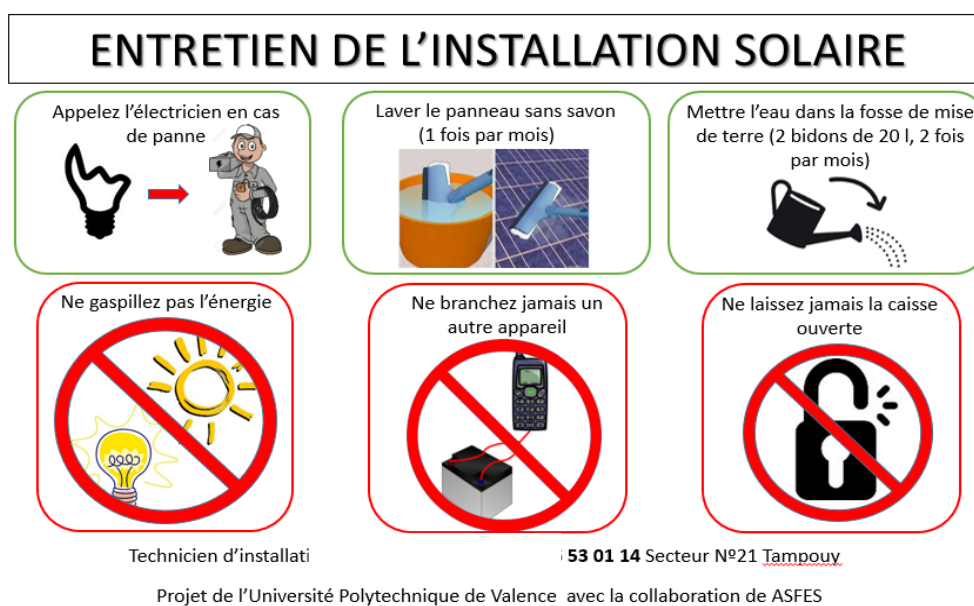


Figura 42. Cartel con instrucciones de mantenimiento de la instalación. Fuente: MÁRQUEZ. M.N.

A modo de recordatorio de las normas y consejos más básicos, se dejó el siguiente cartel junto a la instalación eléctrica interior (batería y regulador). Para cuestiones de mantenimiento de mayor índole, se prevé acudir al electricista que realizó la instalación quien será el encargado del mantenimiento de la instalación en los próximos cinco años.

4.4.1.4. Gestión de la demanda

Con el objetivo de gestionar la demanda de energía por parte de los usuarios hacia los sistemas de producción aislados, está previsto realizar, al mismo tiempo que se construyen las instalaciones, formaciones relativas al modo óptimo de consumir la energía disponible. De lo contrario, si los usuarios no están concienciados del tipo de instalación de que disponen, el consumo puede superar de manera importante lo previsto, acortando así la vida útil de la instalación sustancialmente.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

Es importante que los usuarios de las instalaciones comprendan cómo se genera la energía y las limitaciones existentes en cuanto a producción y almacenaje de la misma. Cabe resaltar la diferencia entre las instalaciones de conexión a red, donde el único límite en la energía a consumir viene establecido por el límite de potencia contratada, y las instalaciones aisladas de la red, donde las limitaciones vienen dadas por la potencia de panel y la capacidad de baterías. De este modo, se busca que los usuarios adecuen su forma de consumir la electricidad disponible acorde con el tipo de instalación y racionalicen de manera óptima sus consumos.

4.4.1.5. Búsqueda y selección de componentes

Tras el proceso de dimensionado de la instalación el siguiente paso ha sido la búsqueda de materiales disponibles en la capital del país que es donde mayor variedad es posible encontrar, pese a lo cual, la calidad de los materiales eléctricos necesarios resultaba en muchas ocasiones dudosa. En el proceso de búsqueda de los componentes de la instalación fue necesaria una minuciosa inspección técnica y visual en el mayor grado posible, pues las garantías de producto que se ofrecen son escasas.

Las partes de la instalación más comprometidas a la hora de encontrar los materiales adecuados han sido las baterías y el inversor.

En el caso de las baterías, la información recopilada en cuanto a experiencias previas en otras instalaciones y aplicaciones (instalaciones de riego y bombeo, instalaciones de autoconsumo, etc.) ha sido de gran utilidad para encontrar una marca de baterías fiable. Se trataba de asegurar que la batería instalada tuviera la mayor vida útil posible. Para ello, de una parte es determinante el uso que se haga de la misma, es decir, los ciclos de carga y descarga y las condiciones de trabajo a las que estará sujeta la batería, así como el tiempo que la batería ha estado sin cargarse antes de comprarse, el tiempo transcurrido desde la fabricación de la batería, etc.

El asegurar que la batería tendrá una vida útil mínima de 5-7 años es de vital importancia, por un lado por el esfuerzo de la inversión inicial; para poder asegurar el suministro eléctrico a los usuarios en el periodo de lluvias donde la radiación es considerablemente menor; y para evitar crear una mala imagen sobre este tipo de instalaciones en los usuarios y población implicada en general debido a un rendimiento inferior al esperado.

Por lo que respecta al inversor fotovoltaico, los problemas encontrados han sido, por un lado la escasez de modelos de la potencia y tensión requeridos tras la etapa de dimensionado. Por otro lado, la mala calidad de aquellos equipos que sí estaban disponibles en las tiendas de electricidad consultadas.

Para valorar rápidamente la calidad de los inversores se ha tomado en consideración el peso de los equipos, encontrándose que este era demasiado bajo en comparación con los inversores encontrados en España durante los meses de formación previa. Esto podía traducirse en la electrónica que incorporaban los equipos en su interior, es decir, la cantidad y calidad de los filtros. La etapa de filtrado es muy importante en un inversor, pues de ello depende directamente la calidad de la onda senoidal de salida. Además de esto, el rendimiento del inversor es previsiblemente bajo, lo que implica que parte de la energía generada por los módulos se pierda en la conversión de energía y deje de estar disponible para los usuarios (lo que se sumaría a las pérdidas de potencia del sistema debido a la degradación con el paso del tiempo, las temperaturas elevadas y la suciedad acumulada).

En el capítulo de Anexos (Tabla C) se muestra un listado que resume los modelos y precios encontrados durante el periodo de búsqueda de materiales en Uagadugú.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

Esta búsqueda ha supuesto un paso muy importante para la definición del proyecto de electrificación de las escuelas y centros de salud, pues ha permitido comprobar la disponibilidad real de materiales en la zona, su calidad y precio. En base a esto, se ha decidido que para la electrificación de las escuelas y CSPS el material empleado sea importado desde España, enviado en contenedores marítimos.

4.4.1.6. Factores de riesgo

Uno de los principales factores a considerar son las sombras que pueda sufrir la instalación y que puedan perjudicar el rendimiento de la misma. A modo de ejemplo, uno de los edificios que forman la escuela primaria de Arbolle centro, está rodeado de una gran cantidad de árboles de gran tamaño, que provocan sombras parciales en el techo del edificio durante un gran número de horas al día.

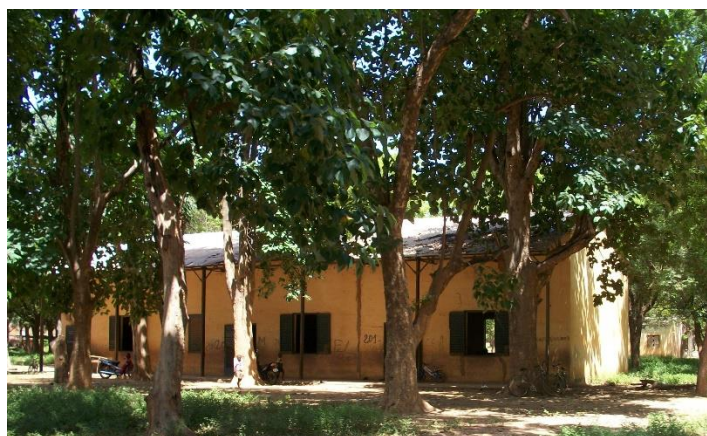


Figura 43. Ejemplo de escuela con sombras parciales en el tejado. Fuente: MÁRQUEZ. M.N.

Para resolver este inconveniente, se ha recopilado información del número de escuelas que cuentan con sombras que puedan afectar al proyecto. Recapitulando la información recogida, se detecta que menos del 5% de las escuelas pueden verse afectadas por este problema, por lo que no supone un factor de riesgo importante que pueda imposibilitar el desarrollo del proyecto. En el caso que se considere inevitable, se procederá a la tala o poda de los árboles que sea necesario.

Otro factor de riesgo a considerar, son las inundaciones, fenómeno habitual en estas regiones en la estación de lluvias. Según la situación geográfica de la escuela, las inundaciones podrían llegar a suponer un factor de riesgo importante, en caso de que estas se sitúen en cotas inundables. En dicho caso sería necesario, para asegurar la vida de las baterías, elevar las mismas a una distancia del suelo, que variaría entre 0.5 y 1 metro, con lo que la estructura de soporte de las baterías se vería encarecida.

Puesto que no se ha podido visitar el total de las infraestructuras, los costes adicionales relativos a las estructuras de las baterías así como a la poda de árboles, se han contemplado en la partida presupuestaria de imprevistos.

4.4.1.7. Situación actual del proyecto

Una vez el proyecto está completamente definido, se ha realizado el dimensionado de las instalaciones que se desean construir, así como el presupuesto de materiales, transporte y mano de obra, el paso necesario para la ejecución del proyecto pasa por la búsqueda de financiación.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

Desde los meses de febrero hasta la actualidad, junto con la Asociación ASFES, CIM Burkina, y con el incondicional apoyo del equipo humano de la UPV, formado por profesores de diversos departamentos y personal administrativo, se ha llevado a cabo un proceso de búsqueda exhaustiva de financiación que posibilite el desarrollo del proyecto. Hasta el día de hoy, se ha presentado el proyecto a las convocatorias de proyectos de cooperación al desarrollo de la Fundación Probitas (febrero, 2017), así como a NORAD, la Agencia Noruega de Cooperación al Desarrollo (abril 2017). Se han estudiado y descartado otras convocatorias, por falta de adecuación de los criterios de selección. Así mismo, en la actualidad, se están valorando las convocatorias de la Generalitat Valenciana y el Ayuntamiento de Valencia.

4.4.2. Formación alumnos de secundaria en energía solar fotovoltaica

Uno de los aspectos clave para que el proyecto sea sostenible en el tiempo es la formación. Formación con el objetivo de generar nuevas capacidades en la población, que sirvan para que ellos mismos obtengan sus propios recursos. La beca Meridies otorgada a la alumna por el Centro de Cooperación al Desarrollo de la UPV ha permitido precisamente transferir conocimientos a la población rural de Arbolle; a quienes de otra manera, les hubiera sido realmente difícil acceder a esta formación, debido a la falta de recursos económicos.

La formación impartida ha servido, por un lado, a la propia alumna, para ampliar y asentar sus conocimientos en energía solar fotovoltaica, y por otro lado, a los alumnos de secundaria de Arbolle con quienes se ha impartido el curso.

El grupo objetivo ha sido el formado por los alumnos del instituto de secundaria de Arbolle con edades comprendidas entre los 15 y los 18 años aproximadamente. La justificación de dicha elección se basa en que se trata de jóvenes que próximamente concluirán sus estudios secundarios y la mayoría de los cuales se preparan para incorporarse al mercado laboral en un futuro cercano. Las opciones laborales en las zonas rurales del país se limitan básicamente a la agricultura o la ganadería, empleos estacionales que dificultan enormemente la prosperidad económica de la población. El comercio a pequeña escala es la tercera y última opción más probable para estos jóvenes, la cual tampoco garantiza el poder disfrutar de un nivel de vida digno. Los estudios universitarios no están al alcance de todos los jóvenes y sus familias, y tampoco aseguran el empleo, por lo que la formación profesional es una opción más viable.

El objetivo de este curso de formación ha sido el de mostrar a los jóvenes una vía que les puede permitir en un futuro su empleabilidad. Se trata de una fuente de energía con elevado potencial dados los elevados niveles de radiación solar que se perciben en la zona y la falta de electrificación en una parte importante del país.

Durante los meses de estancia en el país africano, se ha percibido la falta de personal cualificado para la realización adecuada de instalaciones fotovoltaicas. Se han visitado además otras instalaciones en el centro y sur del país, comprobando que en la mayoría de ocasiones, las instalaciones no se llevan a cabo con las medidas de seguridad pertinentes ni se dotan con todo el material necesario para que sean seguras para los usuarios. Esto en muchas ocasiones provoca accidentes, en la mayoría de casos evitables. No sólo esto, sino también se consigue generar una falsa imagen de peligrosidad en torno a esta fuente de energía renovable como son los sistemas fotovoltaicos.

En las instalaciones de las escuelas y CSPS se espera que no causen estos efectos adversos gracias a las jornadas de formación que se han realizado con los estudiantes y a la participación de la

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

población en el proyecto, a través del nombramiento de diversos miembros de las comunidades de familias como equipos de gestión de las instalaciones.

Hay que tener en cuenta además, la bajada de precios que han sufrido los módulos fotovoltaicos en los últimos años, lo que otorga a esta tecnología de un elevado grado de accesibilidad a la población. Actualmente, resulta relativamente fácil encontrar módulos fotovoltaicos en cualquier puesto callejero del país.



Figura 44. Puesto de venta de material eléctrico en Ouagadougou. Fuente: MÁRQUEZ. M.N.

El curso formativo se ha diseñado y estructurado de manera que resultara fácil de entender por alumnos con nociones básicas de electricidad. El curso describe los componentes de una instalación solar fotovoltaica, así como los fundamentos básicos que permiten entender su funcionamiento.

Recibieron la formación 200 alumnos de los últimos cursos de la etapa secundaria distribuidos en 4 clases, para lo que se ocuparon 4 días distintos, teniendo el curso una duración de dos horas.

A continuación se muestran algunas de las diapositivas que formaban parte del curso de formación, a modo de ejemplo del trabajo realizado.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

3. Parts d'un installation photovoltaïque

- La rayonnement solaire
 - C'est l'ensemble des ondes électromagnétiques émises par le soleil. Il comprend toute la gamme de rayonnement, lumière visible, rayonnement ultraviolet, etc.



4. Groupement des modules et des batteries

- Montage des modules en série/parallèle
- Montage des batteries en série

Permet augmenter la tension des batteries.

$$U_{total} = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$
$$C_{total} = C_1 = C_2 = C_n$$


BRANCHEMENT EN SERIE
Les tensions s'additionnent

6. Entretien et maintenance

- On s'assurera qu'il n'y a plus de trace de poussière sur les panneaux. Il est recommandable nettoyer la surface des panneaux chaque certain temps.
- PRECAUTION : ne pas utiliser une grande quantité d'eau à proximité des cellules pendant leur nettoyage, car l'eau est un conducteur de l'électricité.
- Faire le nettoyage quand les panneaux ne sont pas exposés à un fort ensoleillement.
- On évitera de marcher sur les panneaux ou de s'y appuyer.
- Les éléments connectés à une installation solaire photovoltaïque doit être énergétiquement efficaces.

Figura 45. Diapositivas extraídas del curso de formación en energía solar FV impartido en la escuela de secundaria de Arbolle. Fuente: MÁRQUEZ. M.N.

Los resultados han sido muy satisfactorios por todas las partes implicadas. En primer lugar, los alumnos acogieron las jornadas de formación con mucho entusiasmo y gran interés. Al final de las clases realizaban numerosas preguntas relativas no sólo a los contenidos del curso, sino también referente a la manera correcta de realizar las instalaciones, y dudas sobre ejemplos que habían visto en sus pueblos y comunidades. Se consiguió despertar el interés de muchos de estos alumnos en la energía solar fotovoltaica, cumpliendo así con el objetivo principal del curso. También se les explicó el proyecto que está en marcha para la electrificación de las escuelas y centros de salud de la comuna de Arbolle, a lo que respondieron de manera muy positiva, ofreciéndose como voluntarios para colaborar en las tareas de instalación y acondicionamiento de los montajes eléctricos.



Figura 46. Clase con los alumnos de secundaria de la escuela de Arbolle durante el curso de energía solar FV.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

Para la realización del curso se contó con el apoyo y la coordinación de dos profesores de física y química, más el personal administrativo del centro.

4.4.3. Deshidratador solar de alimentos

El deshidratador se compone fundamentalmente de dos partes claramente diferenciadas, el colector solar y una cámara/armario de secado. Se trata de dos partes independientes, montables y desmontables con facilidad, lo que permite su practicidad a la hora de guardar el equipo en la estación de lluvias cuando el equipo quede inutilizado temporalmente, su transporte y manipulación. La unión entre ambas partes se realiza a través de pernos.

Con el objetivo de maximizar la radiación captada por el colector solar, se realizan diversos agujeros por donde pasan los pernos, a distintas alturas de manera que según convenga, se pueda variar la inclinación del colector obteniendo el ángulo óptimo de forma que la radiación incida de manera perpendicular.

El tercer elemento más importante del equipo son las bandejas sobre las cuales se apoyan los alimentos. Las bandejas son rectangulares y están formadas por cuatro listones de madera y cubierta por rejilla. Es imprescindible que la rejilla permita el paso del aire para que el aire caliente interfiera con la superficie de los alimentos y pueda así, absorber el agua contenida en los mismos.

El principio de funcionamiento del deshidratador solar de alimentos se basa en el secado por aire caliente, según el cual, el aire sirve como medio para transportar el agua contenida en los alimentos que están depositados en el interior del equipo hacia el exterior del mismo. Este proceso se produce gracias a los gradientes de temperatura que tienen lugar dentro del equipo lo cuales facilitan la generación de corrientes de aire en el interior del equipo.

El aire a temperatura ambiente entra por la parte inferior delantera (frontal) y eleva su temperatura a su paso por el colector solar, hasta llegar al armario donde se encuentran los alimentos a secar. Una vez aquí, debido a la diferencia de densidades entre el aire frío que se alberga en el armario y el caliente procedente del colector, este último se eleva ocupando la posición del aire frío. El aire caliente, con mayor capacidad de absorción de agua, al contacto con los alimentos que están depositados sobre las bandejas, retira el agua de los mismos. Como resultado, por la parte trasera superior del equipo escapa el aire caliente con el porcentaje de agua que ha absorbido de los alimentos.

Se trata de un proceso cíclico, pues la salida del aire caliente da lugar a la entrada de nuevo aire a temperatura ambiente, generando así una corriente de aire que al elevar su temperatura, es capaz de deshidratar los alimentos en unas horas. El tiempo necesario para que la actividad del agua de los alimentos esté por debajo de los límites necesarios para que no se deteriore dependerá de diversos factores, entre ellos, el alimento y su contenido inicial en agua, la temperatura exterior, el viento, etc.

El plástico que recubre la estructura de madera del colector va distribuido de manera que se favorezca el efecto invernadero dentro del equipo. La base del colector se cubre con plástico completamente negro, creando una doble capa. Para ello se fija el plástico mediante grapas, empleando el grosor de los listones de madera que forman la estructura para crear una capa de aire entre ambas láminas de plástico, de manera que se crea una capa aislante entre ambas. Los laterales del colector van recubiertos por la cara externa con plástico transparente y por la cara interna con negro, dejando una capa de aire a modo de cámara aislante entre ambas. La cara superior del colector se recubre con una capa simple de plástico transparente.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

El armario o cámara de secado se cubre con plástico transparente por la cara accesible, es decir el lado por donde se introducen los alimentos. Los laterales se cubren con una capa doble de plástico transparente dejando una cámara de aire entre la cara externa e interna. La parte trasera y la parte superior se cubren con una capa simple de plástico negro.

Con esta distribución de los plásticos se consigue crear cámaras de aire, aprovechando el grosor de los listones de madera, de manera que el aire caliente no escape hacia el exterior y se reduzcan las fugas de energía hacia el exterior. De esta manera se optimiza el proceso y se acelera.

Con el objetivo de captar la máxima radiación posible el plástico negro debe ser de la tonalidad lo más oscura posible. El plástico transparente por el contrario debe ser transparente con el fin de dejar pasar la máxima radiación posible. Ambos son plásticos flexibles de fácil manipulación cuya fijación a la estructura de madera se realiza a través de grapas.

Resulta muy importante entender el concepto de actividad del agua para comprender el funcionamiento del deshidratador. Para ello se aprovecha la diferencia entre la actividad del agua del alimento (A_{w1}) y la del ambiente exterior (A_{w2}), de manera que cuando la actividad del agua en el alimento sea superior a la del ambiente se producirá una transferencia de agua desde el alimento hacia el exterior. Se produce por tanto una transferencia de calor y materia a través del contacto entre un gas (aire) y un sólido (alimento).

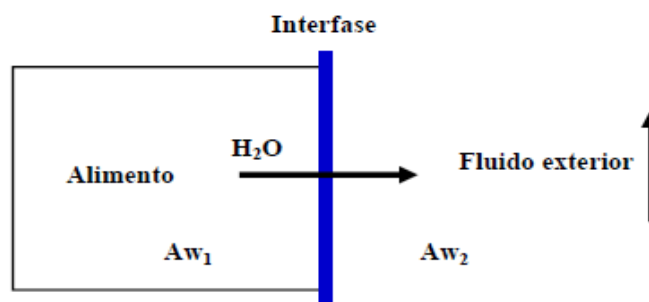


Figura 47. Transferencia de agua entre alimento y ambiente exterior. Fuente: SAIZ J.A.

Este proceso se volverá estable y cesará cuando la diferencia entre A_{w1} y A_{w2} sea nula. No obstante, en este caso, se puede interrumpir el proceso cuando la actividad del agua del alimento esté por debajo del 60%, pues se considera que el mismo se puede mantener estable evitando la proliferación de microorganismos y por tanto su degradación.

Actividad del agua	Crecimiento de los microorganismos
0,91	Mayoría de bacterias dañinas
0,88	Mayoría de levaduras dañinas
0,80	Mayoría de hongos dañinos
0,75	Bacterias halófilas
0,65	Mohos xerófilos
0,60	Levaduras osmófilas

Tabla 35. Relación entre los niveles de actividad del agua y la proliferación de distintos microorganismos. (Gascón, A. 2013)

Matemáticamente la actividad del agua se expresa como la relación entre la presión parcial de vapor de agua de un alimento y la presión parcial de vapor de agua pura a la misma temperatura. A nivel práctico, teniendo en cuenta las limitaciones existentes para aplicar métodos de medida exactos en las comunidades rurales de Burkina Faso, se puede medir introduciendo la muestra en un recipiente sellado junto con un higrómetro. Transcurrido un tiempo la humedad relativa del aire contenido en el recipiente se equilibrará con la del alimento, por lo que la medición del higrómetro coincidirá con la actividad del agua del alimento. Se deberá dejar transcurrir un periodo de tiempo hasta que el valor indicado por el higrómetro sea estable para disponer de una medida aceptable.

El tiempo necesario para alcanzar los niveles aceptables de actividad del agua, dependen de cada alimento en concreto, pues el contenido en agua de cada uno es diferente. En la siguiente gráfica se expresa la pérdida de peso de distintos alimentos deshidratados durante el periodo de formación previo a la estancia en Burkina Faso. La pérdida de peso está relacionada con la disminución de la actividad del agua y se observa claramente, que al final de la jornada, la cereza y la coliflor no han alcanzado los mismos niveles que el resto de alimentos, siendo sus actividades del agua de 77 y 85 respectivamente. Estos dos alimentos, a diferencia del resto deshidratados en la misma tanda, necesitaron más horas para alcanzar los niveles adecuados de deshidratación. De este modo, la energía consumida en el proceso dependerá de cada alimento.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

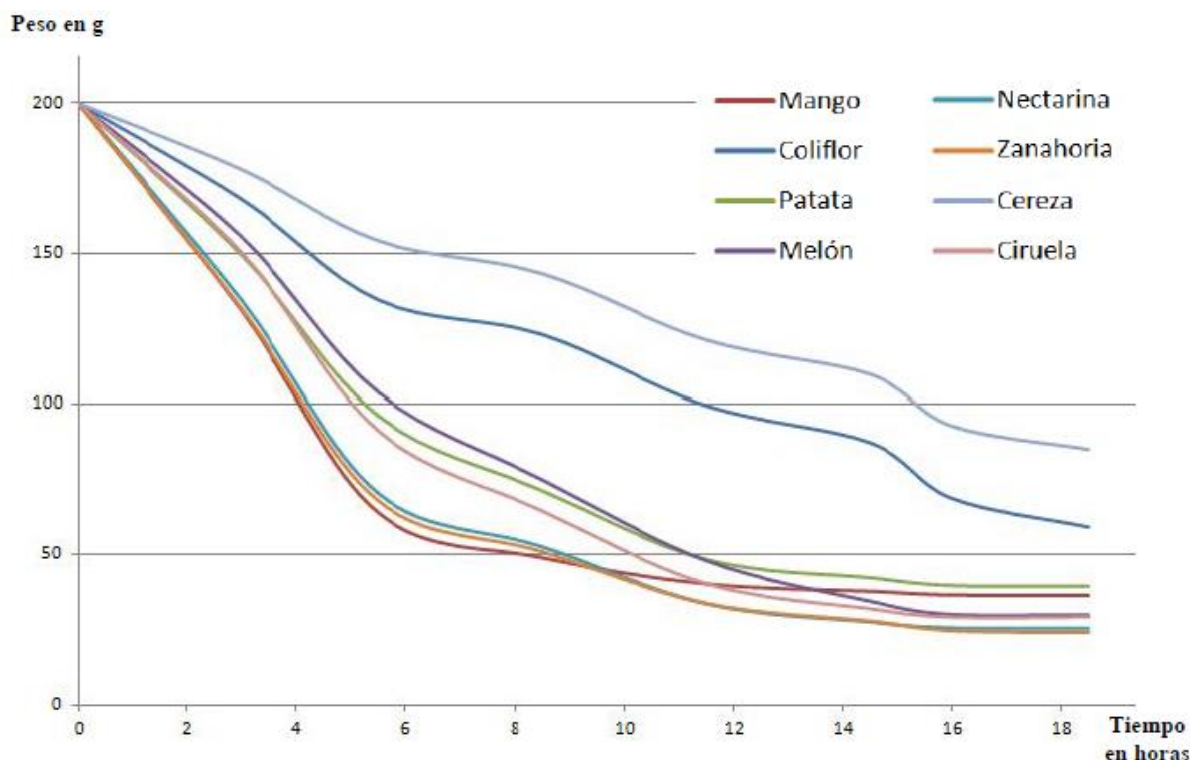


Figura 48. Pérdida de peso de diversos alimentos, tandas deshidratado julio 2016. Fuente: SAIZ. J.A.

A continuación se realiza un balance de energías del deshidratador solar, donde se calcula la energía absorbida o recibida por el deshidratador y la energía consumida.

La energía recibida o absorbida por el deshidratador se puede obtener a partir de la siguiente expresión:

$$E_{absorbida} = H_{\alpha} \times S_{captación} \times t_{deshidratación} \quad (10)$$

Donde H_{α} es la irradiación sobre un plano inclinado un ángulo α en $Wh/m^2/día$, $S_{captación}$ es la superficie disponible para la captación de radiación, que es de $1.19 m^2$ y $t_{deshidratación}$ es el tiempo en horas, necesario para alcanzar los niveles adecuados de actividad del agua.

La energía consumida por el sistema se podría obtener a partir de la siguiente expresión:

$$E_{consumida} = Q_L \times m_{agua} \times \frac{1}{3600} \quad (11)$$

Donde Q_L representa el calor latente del agua expresado en kJ/kg , que es función de la temperatura, y m_{agua} es la cantidad de agua que es necesario evaporar para que la actividad del agua alcance los niveles adecuados.

Los cálculos se han realizado en base a los resultados obtenidos en las tandas de deshidratado del tomate en Arbolle, realizadas en el mes de octubre de 2016. Se trata de unos valores aproximados, pues la temperatura de los alimentos varía a lo largo del proceso y por tanto, el calor latente toma un valor distinto en cada caso. Se ha considerado la irradiancia global sobre un plano fijo inclinado 15° con orientación Sur en un día del mes de octubre, durante el tiempo que se tardó en deshidratar el tomate que fue de 8 horas. Para ello se ha representado gráficamente los valores de radiación obtenidos de PVGIS y se ha obtenido la ecuación de la línea de tendencia.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

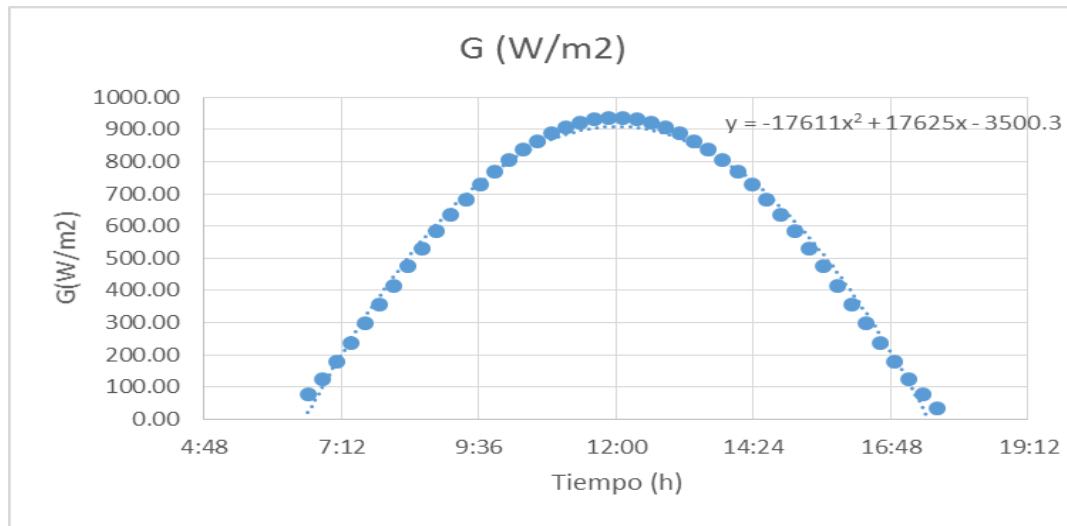


Figura 49. Radiación global Arbolle y ecuación de la línea de tendencia.

Realizando una integral definida entre los intervalos horarios de principio y fin de la tanda de deshidratado, se obtiene el valor de energía en Wh/m² a considerar.

$$\int_{9:30h}^{17:30h} -17611x^2 + 17625x - 3500.3 dx = [-2 * 17611x]_{9:30}^{17:30} + 17625 = 5884.33Wh/m^2 \quad (12)$$

Considerando la superficie de captación del deshidratador de 1.19 m², se obtiene una energía absorbida de 7002.4Wh.

Para el cálculo de la energía consumida se ha supuesto una temperatura constante de 40°C en el compartimento de las bandejas, se trata de una aproximación para poder realizar los cálculos estimativos, ya que la temperatura a lo largo del día varía considerablemente, entre los 20°C y los 65°C o más. El calor latente del agua a esta temperatura es de 574.7 kcal/kg, lo que equivale a 2406.154 kJ/kg, o 668.34Wh/kg.

Según las fuentes consultadas, los valores habituales de contenido en agua del tomate fresco y deshidratado son 95% y 14%, respectivamente. Considerando 3 kg de tomate, valor aproximado de la capacidad del deshidratador, se obtiene que el contenido inicial en agua es de 2.85 kg y al final del proceso, 0.42kg. Por tanto, la masa de agua a evaporar es la diferencia, 2.43 kg.

Con estos valores y consideraciones, se obtiene que la energía consumida para deshidratar 3 kg de tomate es 1624Wh.

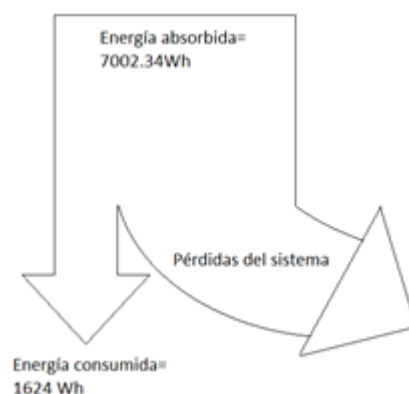


Figura 50. Balance de energía del sistema, deshidratación tomate.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

- Tornillos y escuadras
- Velcro, grapas, grapadora, celo y 4 pernos metálicos

En las siguientes imágenes se ilustra el proceso de construcción y montaje del equipo. La estructura se construyó con ayuda de un carpintero de la capital quien disponía de las herramientas necesarias para cortar y ensamblar las piezas. A continuación se transportó la estructura a Arbolle en autobús y una vez aquí, se llevó hasta la sede de la asociación de mujeres ALFA en motocarro.



Figura 52. Fases de construcción y transporte de la estructura del deshidratador. Fuente: MÁRQUEZ. M.N.

Una vez conseguidos todos los plásticos y herramientas necesarias se procedió al montaje final del equipo. Los plásticos se fijaron a la madera realizando un doble pliegue sobre el mismo, en lugar de simple, de manera que la unión queda reforzada. De esta manera, se previenen roturas debido a las altas temperaturas, las ráfagas de viento y otros efectos indeseados.

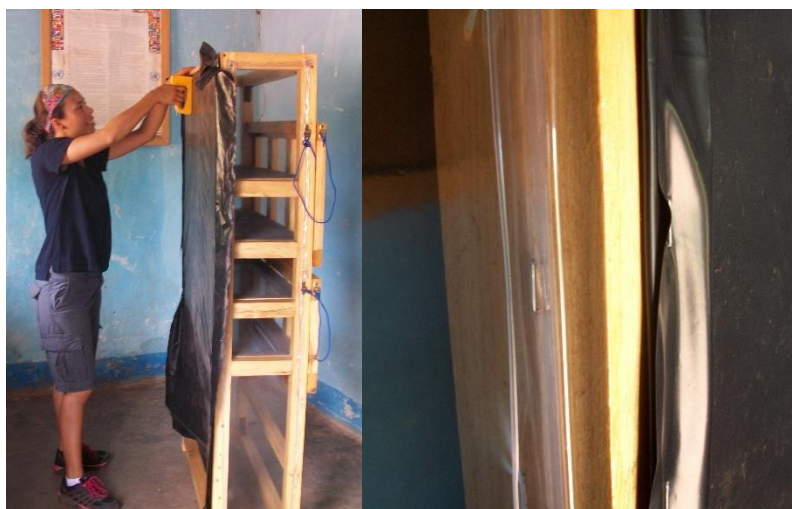


Figura 53. Fase de fijación de los plásticos a la estructura del deshidratador y detalle del pliegue en las uniones. Fuente: MÁRQUEZ. M.N.

Como se aprecia en las imágenes, el cierre del compartimento de los alimentos se realizó mediante puertas, empleando dos bisagras por puerta, 2 juegos de imanes en la parte superior y cordel para la sujeción a la estructura en el momento de la apertura. Por otro lado, la entrada de aire al colector se realizó mediante una doble capa de plástico transparente combinada con tela de mosquitera a

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolé (Burkina Faso)

tresbolillo. De esta manera se minimiza la entrada de insectos y polvo al colector, evitando que los mismo acaben por depositarse sobre los alimentos.



Figura 54. Detalle de las puertas del compartimento de alimentos (izda.) y entrada de aire (dcha.) Fuente: MÁRQUEZ. M.N.

El ensamblado final de ambas partes se realizó mediante cuatro pasadores o pernos de acero, dotando de estabilidad y rigidez al conjunto de la estructura. Se realizaron diversos pares de agujeros a distintas alturas a fin de disponer de flexibilidad a la hora de inclinar el colector y maximizar la captación de energía.

A su vez, en el cierre trasero para evitar fugas de aire caliente en la comunicación del colector con el armario, se ha empleado velcro grapado a la madera.



Figura 55. Equipo montado y en funcionamiento. Fuente: MÁRQUEZ. M.N.



Figura 56. Detalle de la parte trasera del deshidratador, unión de colector y armario. Fuente: MÁRQUEZ. M.N.

4.4.3.2. Deshidratación de alimentos por energía solar

Una vez construido el deshidratador y realizada la formación con las mujeres usuarias finales del equipo, se procedió a realizar diversas tandas de deshidratado para que las mujeres pudieran practicar. Cabe destacar que en la zona de Arbolle, los meses en los que comienzan a abundar frutas y verduras son diciembre y enero, en que la recolección de los campos ha concluido.

No obstante, con el objetivo de que las usuarias del equipo pudieran practicar a deshidratar alimentos y estar preparadas para la época de mayor abundancia. Se realizaron diversas tandas de deshidratación, incluyendo los siguientes productos: tomate, jengibre, cebolla, berenjena, banana, patata dulce y calabaza.

El primer paso es el lavado del producto y pelado en caso de que sea necesario. A continuación se corta en láminas, rodajas o gajos según sea más adecuado.

En las siguientes imágenes se ilustra el proceso seguido para la deshidratación del jengibre.



Figura 57. Tanda de deshidratado del jengibre. Estado del producto inicial y en la fase de corte. Fuente: MÁRQUEZ. M.N.

A continuación se distribuye el producto en las bandejas del deshidratador y se introducen las mismas dentro del equipo. La distribución de los productos debe dejar el espacio suficiente para que el aire pueda circular entre el mismo con mayor facilidad, acelerando así el proceso de secado.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolé (Burkina Faso)



Figura 58. Disposición del jengibre en las bandejas del equipo. Fuente: MÁRQUEZ. M.N.

Cabe destacar que en esta tanda de deshidratado se empleó únicamente jengibre y la realizaron íntegramente las mujeres de la asociación de manera autónoma.

Una vez deshidratado, el jengibre presenta múltiples ventajas de uso. Uno de los principales atractivos del jengibre deshidratado es su aplicación en polvo como condimento para las comidas. Se trata de uno de los productos que, junto con el tomate, suscitó más interés entre los miembros de la Asociación debido a los posibles beneficios económicos que ofrece su comercialización.

El tomate es uno de los vegetales con mayor disponibilidad en la zona y su deshidratación es de las más rápidas. En una de las tandas realizadas, se comprobó que en un día es posible deshidratar el tomate hasta alcanzar unos niveles de actividad de agua aceptables para su conservación.



Figura 59. Tanda deshidratado de tomate. Aspecto inicial del producto (izda.) y final (dcha.). Fuente: MÁRQUEZ. M.N.

En las siguientes imágenes se muestran algunos de los resultados de las tandas de deshidratado adicionales que se han realizado en los meses de noviembre y diciembre en Arbolé.



Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)



Figura 60. Aspecto inicial de la cebolla (superior izda.) y final (superior dcha.). Aspecto inicial del mango (central izda.) y final (central dcha.). Medida de la humedad del alimento (inferior izda.) y embolsado del producto final (inferior dcha.). Fuente: MÁRQUEZ. M.N

4.4.3.3. Formación de mujeres en la deshidratación solar de alimentos.

Una de las tareas más importantes en lo que concierne al deshidratador solar ha sido la formación de las mujeres de la Asociación ALFA de Arbolle en las técnicas adecuadas para utilizar el equipo, así como unas normas y consejos básicos de higiene.

Tras el curso de formación se realizaron diversas tandas de deshidratado para que las mujeres pudieran poner en práctica los conocimientos adquiridos. El curso de formación tuvo una excelente acogida entre las participantes en el mismo.



Figura 61. Grupo de mujeres de la Asociación ALFA de Arbolle tras la formación en técnicas de deshidratación solar.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

5. Conclusiones

Con el trabajo expuesto se puede concluir que la energía solar ofrece, en Burkina Faso, elevadas posibilidades para hacer frente a las barreras al desarrollo, tales como la dificultad en el acceso a la electricidad y la inseguridad alimentaria, dado el elevado potencial de recurso solar.

El uso de la energía solar para la obtención de electricidad en escuelas y centros de salud mediante instalaciones fotovoltaicas aisladas ofrece grandes ventajas. Entre ellas destacan el bajo coste frente a otras tecnologías y el bajo nivel de mantenimiento necesario; factores que la convierten en una tecnología ideal para emplazamientos rurales como el de este proyecto.

Por su parte, el trabajo desarrollado en la escuela de secundaria de Arbolle, ha permitido comprobar la viabilidad del proyecto de electrificación, a la vez que se ha probado la acogida del proyecto entre la población beneficiaria. Ha sido un proceso fructífero que ha permitido valorar aspectos prácticos reales, importantes a la hora de la puesta en marcha del proyecto.

Los resultados fueron satisfactorios, con una excelente acogida entre los alumnos y profesores del centro. Además, resalta el gran beneficio que se obtiene con un presupuesto tan reducido.

Por último, el trabajo realizado a lo largo de los tres meses de estancia en Arbolle con las mujeres de la asociación ALFA, permitió dar difusión entre la población local del deshidratador solar de alimentos. La acogida fue positiva, sobre todo, vistas las posibilidades de obtener beneficios económicos a través de la venta de los productos deshidratados. Por otro lado, se pudo comprobar que lo que a priori se presenta como ventajas, el bajo coste, el poco mantenimiento y la accesibilidad de los materiales, no siempre tiene la misma percepción por parte de los usuarios finales.

Así mismo, se ha observado y comprobado la importancia de introducir de manera adecuada las soluciones que se plantean a nivel teórico, adaptando al máximo nivel posible la solución adoptada, a la realidad y cultura de la población local.

Finalmente, cabe resaltar que el uso de la energía solar tanto por el lado de la energía eléctrica como térmica, como solución a los problemas planteados, supone una solución reproducible en otras zonas del planeta donde se dan condiciones similares. Además, se ha comprobado, tras el análisis del contexto y las posibles alternativas planteadas, que se trata de una solución viable a nivel social, económico y técnico.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

6. Bibliografía

Banco Mundial. 2017. Banco de Datos de Indicadores de Desarrollo mundial. <http://databank.bancomundial.org/data/reports.aspx?source=2&country=BFA>

Central Intelligence Agency. 2017. The World Factbook. <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/uv.html>

Société Nationale d'Electricité du Burkina. 2015. Documents. <http://sonabel.net/index.php/service-clientel/documents>

SOFA Team and Cheryl Doss. 2011. The role of women in agriculture. <http://www.fao.org/docrep/013/am307e/am307e00.pdf>

Juan Ángel Saiz Jiménez. 2017. Diseño y realización de un equipo de deshidratación de alimentos mediante energía solar para la aplicación a países en desarrollo.

Bureau EdPA, Ouagadougou. 2014. Étude diagnostique de la commune rurale de Arbolle.

Bureau EdPA, Ouagadougou. 2008. Plan Communale de Développement de la commune rurale d'Arbolle.

ATERSA. 2017. Productos y servicios. <http://www.atersa.es/es/>

EXIDE Technologies. 2017. Sonnenschein Solar Batteries. <http://www2.exide.com/as/en/product-solutions/network-power/product/sonnenschein-solar.aspx>

Voltronic Power. 2017. Axpert MKS Off-grid Inverters. <http://www.voltronicpower.com/>

Victron Energy Blue Power. 2017. Controladores de carga solar. <https://www.victronenergy.com.es/solar-charge-controllers>

Google Maps. <https://www.google.com/maps/@6.4502906,1.9037568,3.25z?hl=es>

Juan Ángel Saiz. 2015. Cálculo del número de paneles. Apuntes de energía solar fotovoltaica.

Emilio Figueres Amorós. 2014. Unidad Didáctica 3: Instalaciones fotovoltaicas conectadas a red (IFCR). Apuntes de Energía Fotovoltaica y Electrónica de Potencia de GIE.

AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación. 2002. Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias.

Burkina e-mine. 2014. http://www.burkina-emine.com/?page_id=98&lang=fr

Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) 2012. Geographical Assessment of Solar Resource and Performance of Photovoltaic Technology. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Metonorm Software. Irradiation data base. <http://www.meteororm.com/>

International Renewable Energy Agency (IRENA). 2014. <http://costing.irena.org/charts/solar-photovoltaic.aspx>

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle
(Burkina Faso)

Anexos

i. Tablas

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

Escuelas (Inspección de la educación primaria nº1)	Nºaulas	Aulas construidas en cemento	Techos en buen estado	Nº aulas a considerar	CP1		CP2		CE1		CE2		CM1		CM2		Despacho m2	Almacén m2	Nº Total alumnos
					Alumnos	m2	Alumnos	m2	Alumnos	m2	Alumnos	m2	Alumnos	m2	Alumnos	m2			
Arbolle centre	6	6	6	6	95	51	80	51	75	51	73	42	60	42	119	59	15	24	502
Bendogo	3	3	3	3	49	63	0	0	49	63	0	0	43	63	0	0	15	24	141
Boulkon A	6	6	6	6	108	51	78	51	104	51	102	42	80	42	70	59	15	24	542
Boulkon B	6	6	6	6	77	56,76	68	56,76	31	56,76	60	63	49	63	32	63	15	24	317
Dakiegre	6	6	6	6	60	64	71	64	57	64	58	70	78	70	65	70	15	24	389
Ganesse	3	3	3	3	64	56	0	0	43	56	0	0	56	56	0	0	15	24	163
Gninsou	3	3	3	3	0	0	50	63	0	0	23	63	0	0	25	63	15	24	98
Kossoghin	3	3	3	3	30	63	0	0	33	63	0	0	27	63	0	0	15	24	90
Koakin	3	3	3	3	35	49,2	27	49,2		49,2	18	49,2	16	49,2	18	49,2	15	24	114
Maurice Baudon	6	6	6	6	65	56	51	56	59	56	50	56	62	56	54	56	15	24	341
Namassa	6	6	6	6	40	61,7	37	61,7	37	61,7	50	48,2	55	48,2	46	48,2	15	24	265
Ouisga	6	6	6	6	45	66,4	70	66,4	72	66,4	53	66,4	61	66,4	53	66,4	15	24	354
Ramessoum	3	3	3	3	14	52	15	52	27	52	20	52	19	52	37	52	15	24	132
Reanon	3	3	3	3	0	60	63	60	0	0	34	60	0	0	29	60		24	126
Saaba	6	6	6	6	59	72	86	72	96	56	82	56	72	56	76	72	15	24	471
Seguedin	3	3	3	3	101	56	0	0	84	56	0	0	52	56	0	0	15	24	237
Sibalou	6	6	6	6	76	60	62	60	53	60	40	48	46	48	60	48	15	24	337
Sikouinsi	6	6	6	6	32	55	26	55	25	55	17	61	17	61	40	61	15	24	157
Tance	6	6	5	6	57	63	37	63	62	63	42	63	33	63	34	63	15	24	265
Tibou	3	3	3	3	0	0	75	63	0	0	49	63	0	0	25	63	15	24	149
Tibou-Gounghin	6	6	3	6	61	45	57	50	53	45	43	56	48	56	30	56	15	24	292
Tinma	3	3	2	3	72	66,4	0	0	57	66,4	0	0	47	66,4	0	0	15	24	176
Toyende	3	3	3	3	0	0	62	56	0	0	54	56	0	0	34	56	15	24	150
Yarsi	6	6	6	6	40	56	30	56	46	56	20	63	21	63	35	63	15	24	192
Yibi	4	0	0	6	31	30	20	33	0	0	28	48	40	42	0	0	15	24	119
Zoetgomde	3	3	3	3	0	0	72		0	0	57		0	0	45		15	24	174

Tabla A. Información recogida sobre las escuelas de la inspección de educación 1 de Arbolle.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

Escuelas (Inspección de la educación primaria nº2)	Nºaulas	Aulas construidas en cemento	Techos en buen estado	Nº aulas a considerar	CP1		CP2		CE1		CE2		CM1		CM2		Despacho m2	Almacén m2	Nº Total alumnos
					Alumnos	m2	Alumnos	m2	Alumnos	m2	Alumnos	m2	Alumnos	m2	Alumnos	m2			
Bagpelta	3	3	3	3	45	60	0	0	33	60	0	0	24	60	0	0	15	24	102
Banounou	6	4	4	6	32	56	46	56	50	49	26	49	35	49	56	67,5	15	24	245
Banounou yikoudin	4	3	3	6	59	42	54	42	0	0	34	56	34	56	21	56	15	24	202
Bargo	3	3	3	3	71	53,6	0	0	71	53,6	0	0	30	53,6	0	0	15	24	172
Bingo A	6	6	6	6	66	54	65	54	85	54	75	63	83	63	72	63	15	24	446
Bingo B	2	0	0	3													15	24	0
Boura	6	6	6	6	70	54	65	54	50	54	50	54	48	54	45	54	15	24	328
Dagho	6	3	3	6	55	61,25	36	61,25	50	61,25	55	61,25	54	61,3	0	61,25	15	24	250
Donsin	3	3	3	3	56	72	0	0	54	72	0	0	53	72	0	0	15	24	163
Fallou	4	3	3	6	83	49,4	0	0	85	49,4	0	0	75	49,4	0	0	15	24	243
Gomd'hiri	3	3	3	3	0	0	49	56	0	0	46	56	0	0	19	56	15	24	114
Goubi	6	6	3	6	76	59,4	85	59,4	66	50	66	50	48	50	35	50	15	24	376
Gounda	3	3	3	3	95	67	0	0	57	56	0	0	38	56	0	0	15	24	190
Gouroungo(kaba)	2	0	0	3	0	0	54	60	0	0	70	72	0	0	0	0	15	24	124
Kaba	6	6	6	6	109	53,6	98	53,6	90	58,3	90	58,3	47	58,3	52	58,3	15	24	486
Karéó	5	3	3	6	59	32	60	32	46	63	59	63	0	0	58	63	15	24	282
Kavilé	2	0	0	3													15	24	0
Kinsimyiri	3	3	3	3	0	0	63	56	0	0	40	56	0	0	27	56	15	24	130
Koro	3	3	3	3	0	0	90	51	0	0	72	51	0	0	55	51	15	24	217
Mia A	6	6	6	6	70	42	72	42	63	42	60	63	78	63	90	63	15	24	433
Mia B	5	3	3	6	42	30	38	30	27	42	47	42	38	42	0	0	15	24	192
Pathiri	6	6	6	6	85	51,04	71	51,04	55	51,04	42	51,04	36	51	66	51,04	15	24	355
Rassamtoundé	6	3	3	6	35	30	22	30	20	30	32	65	32	63	38	63	15	24	179
Sagaré	3	3	3	3	82	60	0	0	60	60	0	0	40	60	0	0	15	24	182
Séko	3	3	3	3	60	50	0	0	48	50	0	0	27	50	0	0	15	24	135
Tanghin	3	3	3	3	60	63	0	0	30	63	0	0	31	63	0	0	15	24	121
Vohoko	3	3	3	3	45	63	0	0	33	63	0	0	25	63	0	0	15	24	103
Yarbila	5	3	3	6	35	51,3	40	51,3	55	51,3	0	51,3	25	52,4	0	0	15	24	155
Zongbèga	6	6	6	6	107	63	98	63	84	63	71	56	72	56	72	56	15	24	504

Tabla B. Información recogida sobre las escuelas de la inspección de educación 2 de Arbolle.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

Producto	Marca	Precio (FCFA)	Precio (€)
Baterías			
Batería 70 Ah	MES Power Bank	63000	96,04
Batería 100 Ah	MES Power Bank	90000	137,2
Batería 120 Ah	MES Power Bank	108000	164,64
Batería 150 Ah	MES Power Bank	135000	205,81
Batería 200 Ah	MES Power Bank	180000	274,41
Batería 120 Ah	First Power	130000	198,18
Batería 250 Ah	First Power	275000	419,23
Batería 250 Ah	Europsolar	200000	304,9
Batería 250 Ah	superk	175000	266,79
Batería 200 Ah	superk	150000	228,67
Batería 150 Ah	superk	125000	190,56
Módulos FV			
Panel 150 W	Shell	95000	144,83
Panel 200 W	Shell	125000	190,56
Panel 250 W	Shell	140000	213,43
Panel 250 W	Solarsm	130000	198,18
Panel 150 W	Solarsm	95000	144,83
Panel 250 W	French solar	175000	266,79
250	France Solaire	200000	304,9
200	France Solaire	175000	266,79
150	France Solaire	140000	213,43
Reguladores de carga			
Regulador 10A	Nipotech	11000	16,77
Regulador 20A	Nipotech	23000	35,06
Regulador 30A	Nipotech	35000	53,36
Regulador 20 A	--	17500	26,68
Inversores de aislada			
Inversor 300W,12V	Solarinverter	20000	30,49
Inversor 850W,12V	Tuffbull	180000	274,41
Inversor 2000W,24V	Tuffbull	350000	533,57
Inversor 500 W,12V	Power Inverter	50000	76,22
Inversor 800 W,24V	Power Inverter	300000	457,35
Inversor 250 W,12V	Su-Kam	135000	205,81
Inversor 500W 12/24V	--	40000	60,98
Inversor 300W 12/24V	--	35000	53,36

Tabla C. Listado de precios y marcas de baterías, módulos FV, reguladores de carga e inversores encontrados en Ouagadougou en 2016.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

ii. Figuras

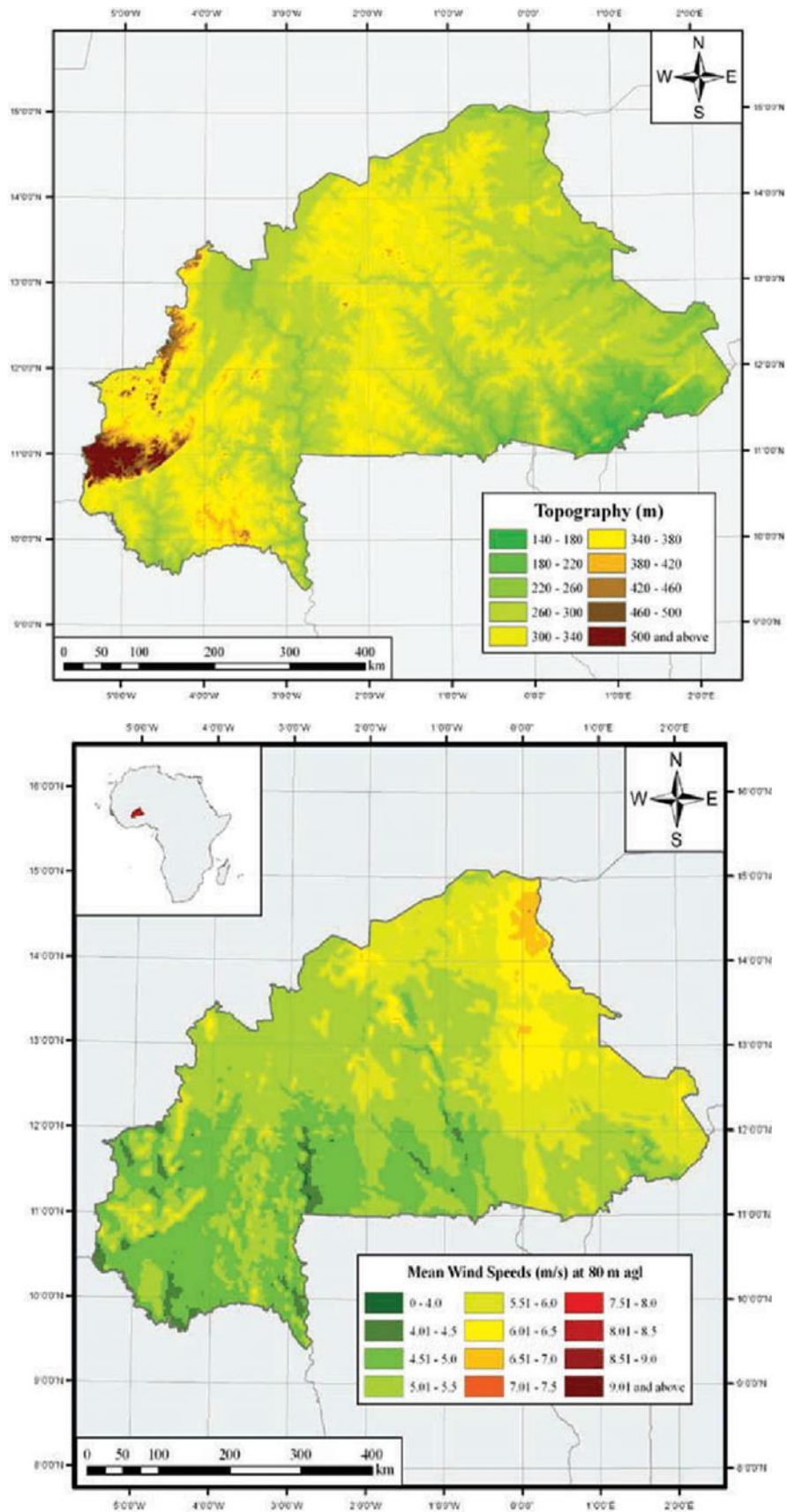


Figura A. Topografía del terreno y velocidad media del viento en Burkina Faso.

Performance of Grid-connected PV

PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 12°50'39" North, 2°2'18" West, Elevation: 337 m a.s.l.,
Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Nominal power of the PV system: 1.0 kW (crystalline silicon)

Estimated losses due to temperature and low irradiance: 14.9% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.6%

Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%

Combined PV system losses: 28.7%

Fixed system: inclination=0 deg., orientation=0 deg.				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	4.16	129	5.73	178
Feb	4.46	125	6.28	176
Mar	4.95	153	7.12	221
Apr	4.44	133	6.44	193
May	4.46	138	6.41	199
Jun	4.33	130	6.14	184
Jul	4.18	130	5.82	181
Aug	3.97	123	5.51	171
Sep	4.26	128	5.93	178
Oct	4.37	135	6.16	191
Nov	4.17	125	5.88	176
Dec	4.02	125	5.56	172
Year	4.31	131	6.08	185
Total for year		1570		2220

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

Figura B. Resultados irradiancia global Arbolle. Fuente: PVgis.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

ARBOLLE CENTRO

Nombre del sitio

12.843

Latitud [°N]

-2.033

Longitud [°E]

344

Altitud [msnm]

V, 3

Región climática

Estándar

Modelo irradiancia

2000–2009

Periodo de temperatura

Estándar

Modelo temperatura

1991–2010

Periodo de radiación

Perez

Modelo irrad. incl.

Información adicional

Incertidumbre de valores anuales: Gh = 6%, Bn = 12%, Ta = 0,8 °C

Tendencia de gh / década: -

Variabilidad de gh / año: 7,9%

Sitios de radiación interpolados: Ouagadougou (1971-1990, 55 km), Fada Ngourma (273 km), Dori (252 km), Navrongo (241 km),

Bobo Dioulasso (309 km), Gaoua (308 km) (Parte de los datos de satélite: 91%)

Temperature interpolation locations: Ouagadougou (55 km), Mopti (291 km), Bobo Dioulasso (309 km), Niamey Airp. (460 km),

Bamako/Senou (642 km), Zinder Airp. (1198 km)

P90 and P10 of yearly Gh, referenced to average: 87,6%, 108,8%

Mes	G_Gh [W/m2]	G_Dh [W/m2]	Ta [°C]	FF [m/s]
Enero	233	76	25.1	3.1
Febrero	262	130	28.2	3.2
Marzo	276	158	31.7	2.9
Abril	259	140	33.4	3.0
Mayo	265	132	32.2	3.5
Junio	259	127	29.8	3.5
Julio	244	115	27.3	2.9
Agosto	229	123	26.5	2.5
Setiembre	248	108	27.3	2.4
Octubre	251	101	29.5	2.3
Noviembre	245	70	28.4	2.3
Diciembre	225	71	26.1	2.8
Año	251	113	28.8	2.9

Ta: Temperatura del aire

FF: Velocidad del viento

G_Gh: Irradiancia media de la radiacion global horizontal

G_Dh: Irradiancia media de la radiacion difusa horizontal



Meteonorm V7.2.1.30023 - Demo mode

1/3

Figura C. Figura 62. Resultado irradiancia Arbolle. Fuente: Meteonorm.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolé (Burkina Faso)

Presupuesto

I. Instalación fotovoltaica

I.I. Centros de salud y promoción social

A continuación se muestra el presupuesto de la instalación fotovoltaica de los dispensarios y las maternidades que forman los 8 CSPS de Arbolé, sin incluir la parte de consumos (equipos e instalación eléctrica de los mismos).

Electrificación fotovoltaica DISPENSARIO					
CÓD.	RECURSOS	MEDICIÓN	UNIDAD	COSTE UNIT. (euro)	COSTE TOTAL (euro)
Ref.1	Módulo fotovoltaico A-240P	6	ud	144	864
Ref.2	Soporte módulo A-240P	6	ud	25,2	151,2
Ref.3	Batería estacionaria de gel de 6 vasos A602/625 SOLAR	2	ud	1353,31	2706,62
Ref.4	Inversor Axpert MKS 5KP-24	1	ud	838,53	838,53
Ref.5	Cable 16mm2 RVk	7	m	0,9	6,3
Ref.6	Cable 4mm2 RVk	1	m	0,85	0,85
Ref.7	Protecciones (puesta a tierra, seccionador y fusible) y pequeño material eléctrico	1	ud	300	300
Ref.8	Mano obra Ingeniería: Definición del proyecto y diseño de la solución	20	h	20	400
Ref.9	Mano obra electricista	20	h	15	300
Ref.10	Transporte Valencia-CIF Lomé 1 TC 40'	1	ud	2200	2200
Ref.11	Aduana Lomé y Ouaga	1	ud	6300	6300
Ref.12	Transporte Terrestre Lomé - Arbolé	1	ud	1800	1800
	TOTAL 1 DISPENSARIO				6505
	TOTAL 8 DISPENSARIOS				52040

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

Electrificación fotovoltaica MATERNIDAD						
CÓD.	RECURSOS	MEDICIÓN	UNIDAD	COSTE UNIT. (euro)	COSTE TOTAL (euro)	
Ref.1	Módulo fotovoltaico A-240P	5	ud	144	720	
Ref.2	Soporte módulo A-240P	5	ud	25,2	126	
Ref.3	Batería estacionaria de gel de 6 vasos A602/625 SOLAR	2	ud	1353,31	2706,62	
Ref.4	Inversor Axpert MKS 5KP-24	1	ud	838,53	838,53	
Ref.5	Cable 16mm2 RVk	7	m	0,9	6,3	
Ref.6	Cable 4mm2 RVk	1	m	0,85	0,85	
Ref.7	Protecciones (puesta a tierra, seccionador y fusible) y pequeño material eléctrico	1	ud	300	300	
Ref.8	Mano obra Ingeniería: Definición del proyecto y diseño de la solución	20	h	20	400	
Ref.9	Mano obra electricista	20	h	15	300	
Ref.10	Transporte Valencia-CIF Lomé 1 TC 40'	1	ud	2200	2200	
Ref.11	Aduana Lomé y Ouaga	1	ud	6300	6300	
Ref.11	Transporte Terrestre Lomé - Arbolle	1	ud	1800	1800	
	TOTAL 1 MATERNIDAD				6526,9	
	TOTAL 7 MATERNIDADES				45688,1	

I.II. Escuelas públicas de educación primaria

A continuación se muestra el presupuesto para la instalación fotovoltaica en las escuelas de Arbolle, sin incluir los materiales e instalación eléctrica de la parte de los consumos (ventiladores, luminarias, etc.)

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

Electrificación fotovoltaica escuela de 6 aulas					
CÓD.	RECURSOS	MEDICIÓN	UNIDAD	COSTE UNIT. (euro)	COSTE TOTAL (euro)
Ref.1	Módulo fotovoltaico A-240P	3	ud	144	432
Ref.2	Soporte módulo A-240P	3	ud	25,2	75,6
Ref.3	Batería SB 12/185	2	ud	317,31	634,62
Ref.4	Caja batería	1	ud	50	50
Ref.5	Inversor Axpert MKS 2K-24	1	ud	372	372
Ref.6	Cable 10mm2 RVk	8	m	0,9	7,2
Ref.7	Protecciones (puesta a tierra, seccionador y fusible) y pequeño material eléctrico	1	ud	300	300
Ref.8	Mano obra Ingeniería: Definición del proyecto y diseño de la solución	20	h	20	400
Ref.9	Mano obra electricista	20	h	15	300
Ref.10	Transporte Valencia-CIF Lomé 1 TC 40'	1	ud	2200	2200
Ref.11	Aduana Lomé y Ouaga	1	ud	6300	6300
Ref.12	Transporte Terrestre Lomé - Arbolle	1	ud	1800	1800
	TOTAL 1 Escuela				2680,94
	TOTAL 21 Escuelas				56299,82

Electrificación fotovoltaica escuela de 3 aulas					
CÓD.	RECURSOS	MEDICIÓN	UNIDAD	COSTE UNIT. (euro)	COSTE TOTAL (euro)
Ref.1	Módulo fotovoltaico A-240P	2	ud	144	288
Ref.2	Soporte módulo A-240P	2	ud	25,2	50,4
Ref.3	Batería SB 12/130	2	ud	247,31	494,62
Ref.4	Caja batería	1	ud	50	50
Ref.5	Inversor Axpert MKS 1K-24	1	ud	276,8	276,8
Ref.6	Cable 6 mm2 RVk	8	m	0,9	7,2
Ref.7	Protecciones (puesta a tierra, seccionador y fusible) y pequeño material eléctrico	1	ud	300	300
Ref.8	Mano obra Ingeniería: Definición del proyecto y diseño de la solución	20	h	20	400
Ref.9	Mano obra electricista	20	h	15	300
Ref.10	Transporte Valencia-CIF Lomé 1 TC 40'	1	ud	2200	2200
Ref.11	Aduana Lomé y Ouaga	1	ud	6300	6300
Ref.12	Transporte Terrestre Lomé - Arbolle	1	ud	1800	1800
	TOTAL 1 Escuela				2081,73
	TOTAL 34 Escuelas				70778,68

I.III. Instalación piloto en instituto de secundaria

A continuación se detalla el presupuesto de la instalación fotovoltaica que se realizó en Arbolle a finales del mes de noviembre de 2016, incluyendo todas las partidas necesarias.

Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)

Instalación piloto Instituto secundaria Arbolle					
CÓD.	RECURSOS	MEDICIÓN	UNIDAD	COSTE UNIT. (euro)	COSTE TOTAL (euro)
Ref.1	Módulo fotovoltaico 150Wp	2	ud	99	198
Ref.2	Soporte 2 módulos 150Wp	1	ud	38,2	38,2
Ref.3	Regulador 30A	1	ud	26,7	26,7
Ref.4	Batería SuperK 250Ah	1	ud	335	335
Ref.5	Caja batería	1	ud	35	35
Ref.6	Cable 2x6 mm2	15	m	2,3	34,5
Ref.7	Cable 2x4 mm2	10	m	2	20
Ref.8	Cable 2x1.5 mm2	200	m	0,45	90
Ref.9	Luminarias 12W,12V	20	ud	1,9	38
Ref.10	Pequeño material eléctrico	1	ud	26	26
Ref.11	Protecciones: puesta a tierra, seccionador y fusible	1	ud	80	80
Ref.12	Mano obra Ingeniería: Definición del proyecto, diseño de la solución y búsqueda de materiales	15	h	15	225
Ref.13	Mano obra electricista	10	h	15	150
Ref.14	Transporte	1	ud	30	30
TOTAL					1296,4

II. Construcción deshidratador

A continuación se muestra el presupuesto del deshidratador construido para la Asociación de Mujeres ALFA de Arbolle en octubre de 2016.

Construcción deshidratador solar de alimentos					
CÓD.	RECURSOS	MEDICIÓN	UNIDAD	COSTE UNIT. (euro)	COSTE TOTAL (euro)
Ref.1	Listones de madera 14x7	18	ud	2,3	41,4
Ref.2	Varios: barniz, clavos, tornillos, escuadras, hilo, pasadores, imanes, tiradores.	1	ud	30,7	30,7
Ref.3	Plástico negro	6	m	3,66	21,96
Ref.4	Plástico transparente	7	m	5	35
Ref.5	Grapadora	1	ud	12	12
Ref.6	Grapas	1	caja	2	2
Ref.7	Tijeras	1	ud	2	2
Ref.8	Cinta adhesiva	2	ud	1	2
Ref.9	Tejido de Rejilla de mosquitera	2	m	3,05	6,1
Ref.10	Transporte	1	ud	15	15
Ref.11	Mano obra carpintería	5	h	10	50
Ref.12	Mano obra montaje	12	h	2	24
TOTAL					242,16