

1. INTRODUCCIÓN

La energía es elemento imprescindible y fundamental para el desarrollo de cualquier índole. Sin embargo, hoy en día, no toda la población mundial puede disfrutar de las mismas facilidades de acceso a las fuentes energéticas ni disponer de la tecnología necesaria para su apropiada explotación. El acceso a la energía es una cuestión de creciente preocupación mundial, hasta tal punto que está provocando graves conflictos geopolíticos y preocupantes desigualdades sociales. De este modo, la energía es un requisito fundamental para luchar contra la pobreza y avanzar en el desarrollo humano. Es indudable que para cumplir algunos de los Objetivos de Desarrollo del Milenio como erradicar la pobreza extrema y el hambre, lograr la enseñanza primaria universal, reducir la mortalidad infantil o mejorar la salud materna es indispensable mejorar el acceso a la energía de gran parte de la población mundial.

Existe una relación directa entre el acceso a la energía y los indicadores de salud, educación y desarrollo humano. Actualmente, hay 1.600 millones de personas en el mundo que no tienen acceso a la electricidad y más de 2.000 millones de personas dependen de la biomasa para cocinar y calentarse.

En este contexto aparece el concepto de las tecnologías apropiadas. Se conoce como tecnología apropiada a aquella que aporta soluciones y que cumple con los siguientes requisitos:

-Respeto a las tradiciones locales técnicas y culturales

-Sostenibilidad mediambiental. Respeto al medio ambiente y a los recursos naturales, de tal forma que no se comprometa a las generaciones futuras.

-Sostenibilidad social: Capacidad de mantener la tecnología por parte de la comunidad receptora.

-Fomento de las capacidades endógenas de las comunidades, a través de la participación en todas las fases de la aplicación de la tecnología.

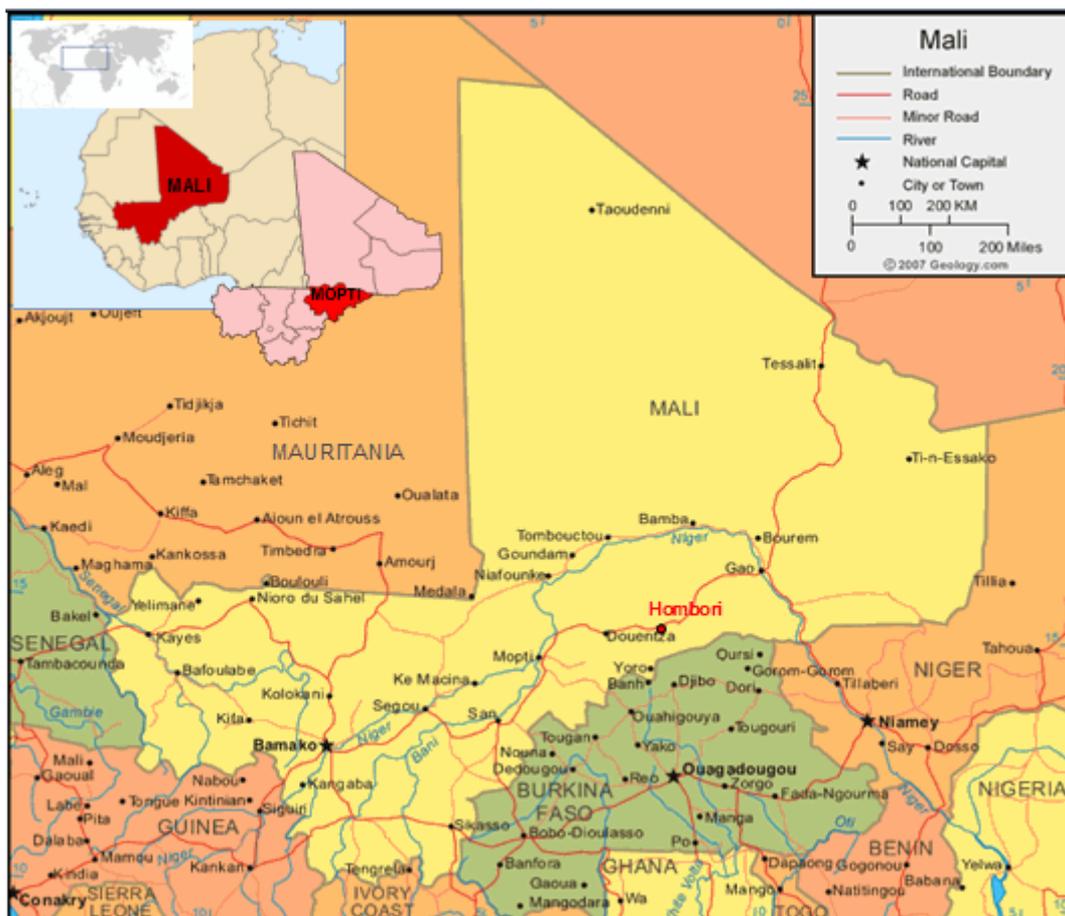
-Impulso del aumento en los ingresos/servicios prestados de los beneficiarios.

Las tecnologías con energías renovables suelen ser la mejor solución para el suministro energético en zonas rurales aisladas. Además de cumplir con los requisitos de las tecnologías apropiadas, su uso es un punto fundamental para frenar el cambio climático.

El objeto del presente proyecto es la mejora del suministro energético del hospital de la región de Hombori (Mali) mediante el uso de las energías renovables. Dicha mejora consistirá básicamente en el desarrollo de una instalación de energía solar fotovoltaica y otro de energía solar térmica ya que se han considerado las tecnologías más apropiadas por la situación geográfica, económica y social del lugar y que permitirán un desarrollo sostenible de la zona.

CONTEXTO Y SITUACIÓN

Situación geográfica



Situación geográfica de Hombori, Mali.

La comuna de Hombori está ubicada entre dos de las ciudades más importantes de Mali, Mopti y Gao y pertenece a la región administrativa de Mopti, Círculo

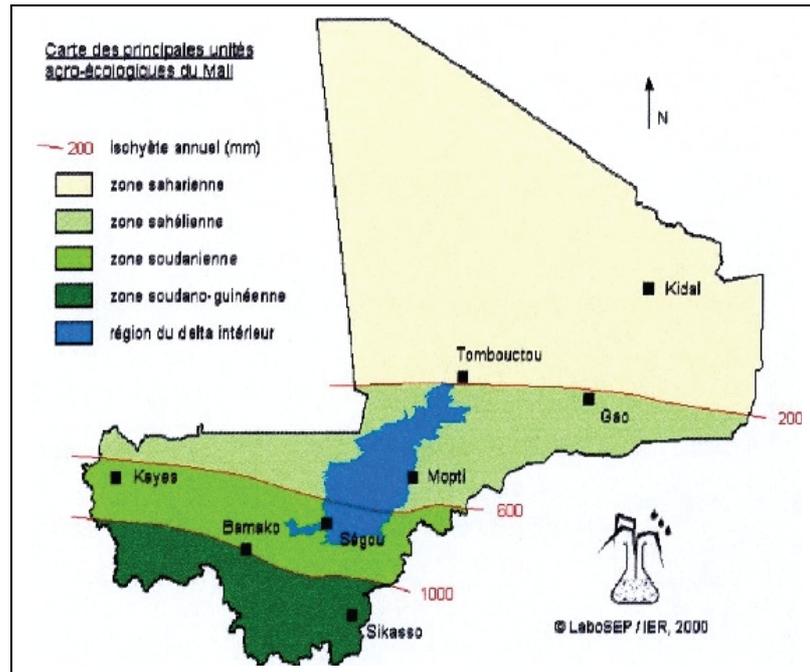
de Douentza. Mali, ubicada en el oeste de África tiene una superficie total de 1 241 238 km² limitando con Mauritania y Algeria por el norte, Níger por el oeste, Burkina Faso y Costa de Marfil por el sud, Guinea por el sud-oeste y Senegal por el oeste.

Hombori, el pueblo más importante de la comuna está situado a los pies del Hombori Tondo (1153m), el punto más alto del país. Alrededor de él, se encuentran el resto de poblaciones que conforman la comuna. Garmi, Barkoussi, Wari, Daari o Kelmi entre otras.



Clima

La comuna está situada en las puertas del Sáhara, en la zona conocida como Sahel (de Sahil que significa frontera en árabe), una sabana tropical semi-árida en la cual la vegetación dominante es la sabana arbolada siendo la acacia la especie más común. Sin embargo, los crecientes problemas de deforestación y sobrepastoreo que sufre toda la región están provocando que el proceso de desertificación se esté acelerando, comprometiendo preocupantemente la sostenibilidad de los ecosistemas de la zona. Actualmente, su fauna es pobre y los grandes mamíferos han desaparecido debido a la caza indiscriminada.



Mapa de las zonas agroecológica de Mali

El clima es tórrido, el Sahel probablemente es la mayor zona ecológica en el mundo cuya temperatura media anual es la más elevada (28-30°C), muy próximas a las del Sáhara meridional. Se caracteriza por la escasez de lluvias y dos estaciones marcadas: una larga, seca e invernal, y otra lluviosa, corta y estival. Las precipitaciones rondan los 300–600 mm anuales y se concentran principalmente entre los meses de Junio a septiembre. La temperatura media varía entre los 34° y 36°C. Durante los meses de invierno aparece el Harmattan, un viento seco y cálido que suele venir acompañado de tormentas de arena y polvo.

ZONES	Sous-zones bioclimatiques	types climatiques	Précipitations Moyennes annuelles(1) (Pmm3)	Indices d'aridité climatique (2)	Mois "secs" et mois "pluvieux"/an (2)
SAHARIENNE	Saharien	Hyper aride	P <150	IAC <0,05	tous les mois sont "secs"
SAHELIENNE	Sahélien Nord	Aride	150 à 350mm	0,05<IAC	9 à 11 mois "secs" 3 à 1 mois "pluvieux"
	Sahélien Sud	Aride	350mm à 600/550mm	< 0,25	
DELTA CENTRAL NIGER IEN(3)	Soudano-Sahélien	Aride	100 à 600 mm	0,25<IAC<0,50	3 à 1 mois "pluvieux" et 9 à 11 mois "secs"
SOUDANIENNE	Soudanien Nord	Semi-Aride	600mm/550 à 800/750mm	0,25<IAC<0,50	7 à 9 mois "secs" 5 à 3 mois "pluvieux"
	Soudanien Sud	sub-humide	800/750mm à 1100mm	0,50<IAC<0,75	7 à 5 mois "secs" 7 à 5 mois "pluvieux"
GUINEENNE	Guinéen Nord	sub-humide	P >1100mm		

(1) : moyennes pluviométriques (PIRT, 1986)

(2) : données d'après Le Houérou et Popov

(3) : les auteurs d'après diverses données

Tabla 1: Zonas bioclimáticas y sus características climáticas

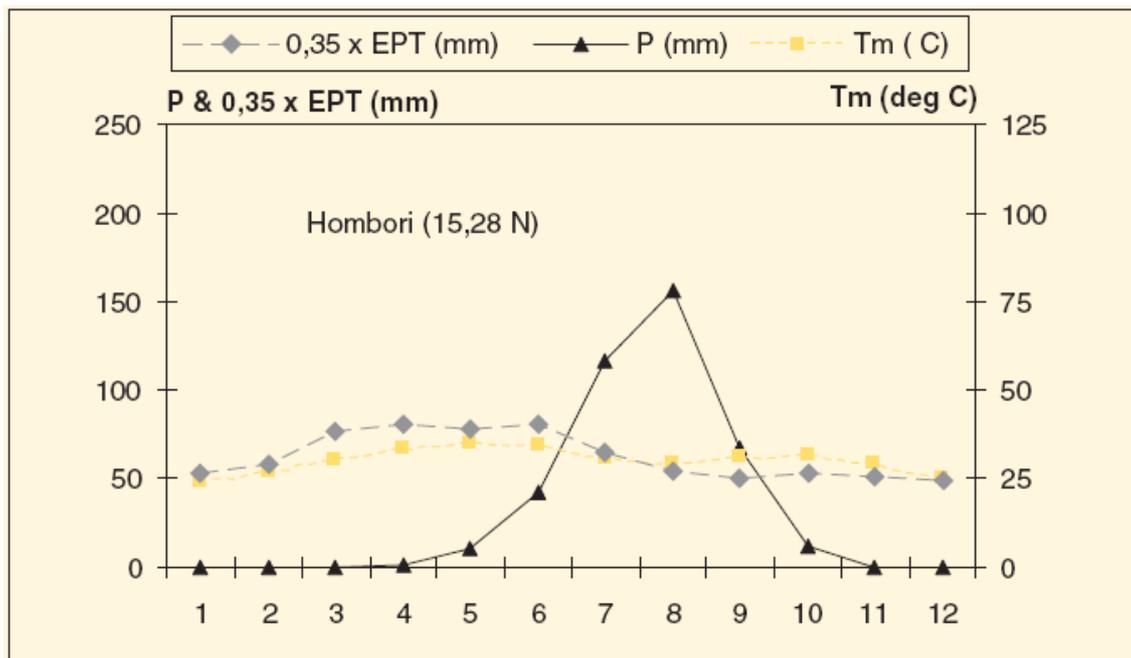
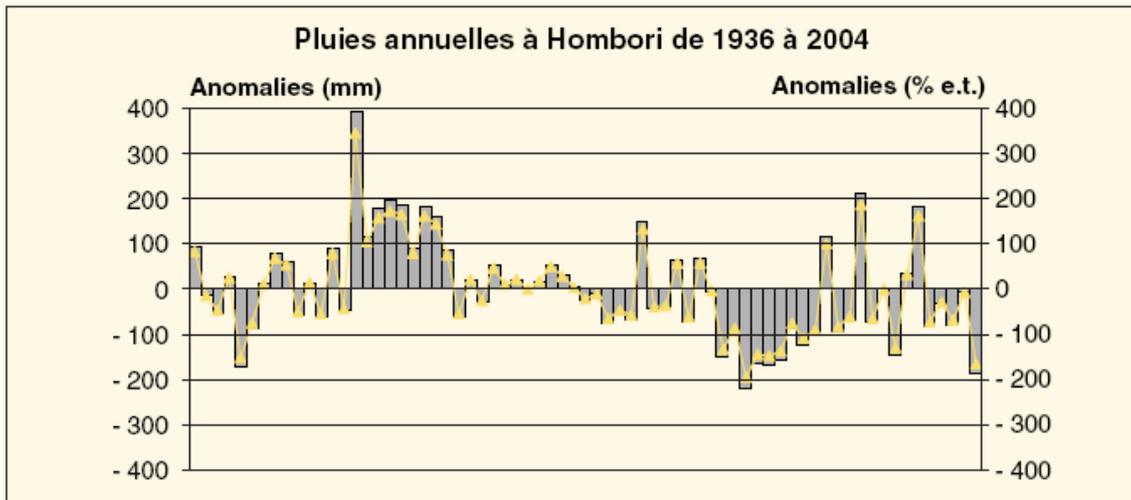


Gráfico 1: Diagrama ombrotérmico de Hombori

Fuente: base de datos de la Dirección nacional de la meteorología de Mali



Gráfica 2: Desviaciones de las lluvias anuales a la media (calculada para los datos disponibles hasta 2004) en mm y en % de la desviación característica
Fuente: base de datos de la Dirección nacional de la meteorología de Mali

La intensidad de la radiación solar en el Sahel, aporta por término medio 2,5 kJ/cm²/día con una oscilación débil y temporal. La energía transmitida al suelo a través de la atmósfera es atenuada en un 20% en temporada seca y hasta el 50% en estación de lluvias por la nebulosidad, pero también por la densidad de los aerosoles frecuentemente elevada en las capas bajas de la atmósfera en temporada seca. La siguiente tabla muestra las horas de sol diarias y su distribución a lo largo del año.



Población

La comuna de Hombori está constituida aproximadamente por unos 12.360 habitantes según el "Research and development in advanced communications

technologies for Europe” repartidos entre 20 pueblos y de los cuales unos 6000 viven en Hombori pueblo. La comuna presenta la particularidad d'albergar una gran variedad de grupos étnicos. En Hombori preominan los Bambara, al igual que Wari, Barkoussi y Kelmi. Los Dogon son mayoritarios en el nordest. Los pueblos de de Wari, Barkoussi y Kelmi. Las poblaciones peul, en vias de sedentarización, se encuentran en Gandamia, a Boni y Garmi. Los Touareg, otra de las etnias más importantes, habitan en la región de Gourma.

Site perché	Caractéristi-ques morpho-logique	Occupation humaine	Ethnie	Popula-tion 1948	Popula-tion 1957	Popula-tion 1968	Popula-tion 1986	Popula-tion 2005	Crois-sance 1968-2005 (%)
Barkoussi	Eboulis perchés	Habité	Dogon	59	74	86	-	-	-
Wari		Habité	Dogon	49	62	92	211	318	2,1
Kelmi		Habité	Dogon	287	356	458	485	854	2,3
Berbeye	Eboulis de piémont	Habité	Songhay	104	104	118	125	193	1,7
Kiri		Abandonné	Songhay et Peul	171	188	208 (13)	339 (0)	425 (0)	2,8
Galou		Abandonné	Songhay	613	611	766 (92)	1121 (0)	1653 (0)	3,1
Koubel		En cours d'abandon	Songhay	?	?	?	?	10	-
Tandara		Abandonné	Dogon	231	246	292	0	0	-
Toundourou		Habité	Songhay	279	283	299	298	507	1,9
Kissim		Habité	Songhay	225	234	263	412	527	2,7
Ouallam		Habité	Songhay	185	249	301	185	631	3,0
Kantaki	Replat d'altitude	Habité	Songhay	89	129	181	263	383	3,0
Hombori		Habité	Songhay et Peul	3400	3706	4126	3846 (?)	6178	1,3
Garmi		Habité	Peul rimaibé	187	231	285	383	686	3,8
TOTAL				5879	6473	7475	7668	12360	1,8

Fig. Demografía del resto de poblaciones de la región de Hombori. Fuente: Gallais (1975) ; Huet (1994) ; Censo comunal 2005.

La distribución de la población es desigual entre los pueblos. La población es joven en su mayoría a la imagen de todo el país (el 60 % tienen menos de 25 años) y aumenta rápidamente (según las estimaciones entre el 2,2 % y el 2,7 % al año).

Es una población bastante móvil ya que consta en su mayoría por ganaderos trashumantes que se desplazan a merced de las necesidades de alimentación y abrevadero del ganado.

La religión dominante es el Islamismo, aunque con una fuerte componente animista.

SITUACIÓN SOCIO-ECONÓMICA

Agricultura

La agricultura es la principal actividad de la comuna, que dispone de tierras

agrícolas, huertos, arrozales y llanuras aprovechables situadas en los pueblos de Toundourou, Gallou, Darawal, Hombori, Diawel, Tondibongo, Seita, Béria y Alcari. Se sigue un sistema esencialmente tradicional, adquiriéndose el material agrícola (muy rudimentario en la mayoría de los casos) con fondos propios.

Los principales cultivos son el mijo, el sorgo, el arroz de hondonada, el cacahuete, el niébé, el wandzou y el sorgo. Las labores de huerta (lechuga, berenjena, chalote, gombo y guindilla) son practicadas sobre superficies muy reducidas.

Ganadería

El pastoreo es practicado sobre el 79% del territorio. La ganadería, extensiva, tradicional y a menudo trashumante, sobre los pastos naturales, es la actividad económica más importante después de la agricultura. La necesidad de forraje sobrepasa la capacidad de las zonas ecológicas.

Este sobrepastoreo provoca una disminución de las cubiertas vegetales naturales y favorece la erosión y la degradación de los suelos. Por consiguiente, observamos una concentración fuerte alrededor de los abrevaderos y una competencia creciente entre agricultura y ganadería.

Después de las grandes sequías de los años 70 y 80, se han puesto en marcha varios programas para la instalación de abrevaderos permanentes y mejorar la organización pastoral.

Las actividades practicadas respecto a la ganadería son:

- pastoreo de los animales
- mantenimiento y vacunación
- alimentación de los rebaños
- recogida del forraje herbáceo
- producción y comercialización de los productos (leche, pieles, carne, mantequilla)

Hombori es famoso por la raza "bodorodji", el cebú de Níger.

Recursos forestales

Según el inventario de los recursos leñosos PIRL 1985-91 estos cubren únicamente el 17 % del territorio nacional. Sin embargo, la leña y el carbón de leña constituyen la principal fuente de energía para cocinar y las necesidades energéticas secundarias, contribuyendo a más del 90% en el balance energético.

Menos del 10% de esta leña proviene de plantaciones y está controlada por los servicios forestales. Visto que la potencialidad anual de regeneración no es del 100%, la cubierta vegetal está marcada por una degradación continua con una disminución efectiva de la superficie arbolada anual.

Las necesidades de madera de servicio y de construcción representarían sólo del 5 al 10% del consumo.

Recursos hidrológicos

Globalmente, los recursos hidrológicos de Mali no son raros sino difíciles de movilizar. En el municipio de Hombori, las principales fuentes están constituidas por aguas subterráneas contenidas en acuíferos profundos.

El recurso en agua renovable de Mali es de aproximadamente 10.000 m³ al año y por habitante, muy lejos de lo que es generalmente admitido como umbral de penuria (1000 m³ al año y por habitante), pero a pesar de que la media queda siempre por encima de los 5000 m³ al año y por habitante, esta abundancia global esconde disparidades bastante fuertes entre el Sur y el Norte (del sahel al desierto), ya que por ejemplo en algunas poblaciones de Hombori apenas se superan los 1000 m³ mencionados anteriormente.

Además del abastecimiento de agua potable de la población, otra característica importante del país según el plan del uso de los recursos hidrológicos es la importancia de la irrigación.

Los consumos actuales del sector de la irrigación son del orden del 90% y en Hombori provienen casi en su totalidad del agua de lluvia aportada durante los 3 meses que dura la estación lluviosa (de julio a septiembre). La irrigación de los cultivos de esta época generalmente no plantea problema. En cambio, los consumos de contra temporada sobrevienen en un período en que los niveles en los pequeños embalses o lagunas existentes son bajos o nulos.

Asegurar el alimento a la población mediante los cultivos irrigados será cada vez más difícil a causa de la salinización de la tierra, fenómeno provocado por técnicas sencillas de irrigación, la extensión de la irrigación sobre los suelos no adaptados y la utilización del agua de los embalses.

La ganadería ocupa un lugar importante y necesita de la movilización de dispositivos específicos: pequeños embalses o lagunas acondicionados y pozos de gran diámetro.

Limitaciones relativas a las aguas subterráneas:

- la irregularidad del régimen pluviométrico e hidrológico y, por tanto, del nivel de los ríos
- las dificultades de localización de los acuíferos con relación a los sitios de utilización (el índice de fracaso alcanza a veces el 30%) y los flujos débiles (menos de 5 m³/h la mayoría de las perforaciones)
- el coste de la perforación y de los trabajos de retención de agua de superficie que es muy elevado y la explotación costosa de las aguas subterráneas

Por consiguiente, hoy en día, una cantidad insignificante de los recursos hidrológicos provenientes de aguas subterráneas es utilizada para la irrigación, sirviendo sobre todo de fuente de agua potable.

Recursos minerales

En Hombori existe un depósito muy importante de piedra caliza cuyas reservas se estiman en 45 millones de toneladas de acuerdo con estudios preliminares de la Dirección Nacional de Geología y Minas (DNGM) de Mali. Lo que pone en una situación privilegiada al municipio para abastecer de cemento a todo el país, ya que desde el cierre de la fábrica de Diamou (población de Hombori) en 1997, éste debe ser importado.

Infraestructuras en la comuna de Hombori

Vías de comunicación

La vía principal es la carretera RN16 Sevaré-Gao y que atraviesa el municipio. Otras vías, constituidas sobre todo por pistas, permiten (pero difícilmente en la época de lluvias) comunicar los pueblos y los municipios vecinos. Existe además un RAC de la administración, del CSCOM y de la Gendarmería que permiten al municipio comunicarse con Douentza.

Infraestructuras de energía

En la actualidad, en toda la comuna de Hombori no existe ninguna red de distribución de electricidad. Por este motivo, el suministro de energía eléctrica se obtiene individualmente mediante grupos electrógenos alimentados con gasóleo, gasolina o queroseno. No obstante, la utilización de combustibles fósiles conlleva grandes inconvenientes. La situación aislada y alejada de la comuna respecto Bamako, el principal centro de distribución del país, provoca que el suministro sea intermitente e irregular con lo que frecuentemente se sucedan situaciones en las que no es posible encontrar combustible. Por otra banda, Mali no dispone de ningún yacimiento de combustibles

fósiles por lo que la totalidad del consumo se cubre mediante su importación. Si se añaden los elevados costes de transporte entre Bamako y Hombori, el precio final resulta bastante inaccesible para la mayoría de habitantes de la comuna. Actualmente el precio ronda las 700 CFA's el litro de gasóleo (1,4 euros/litro). Si se tiene en cuenta que los ingresos de un trabajador se sitúan entorno las 1000 CFA's al día, nos damos cuenta que el coste que supone el uso de esta fuente de energía limita enormemente su acceso. Además, esta situación se está viendo agravada por los constantes aumentos del precio del petróleo.

En cuanto a las fuentes de energía renovables, a pesar del enorme potencial de la región en lo que a energía solar se refiere, solo existen algunos casos puntuales de su utilización. Son pocos los que hasta día de hoy utilizan estas fuentes, siendo en mayor medida los edificios oficiales como el ayuntamiento o el cuartel militar casi los únicos en utilizar placas solares fotovoltaicas. La elevada inversión inicial de estas instalaciones y la falta de profesionales con conocimientos sobre estas tecnologías son en mayor medida los factores que limitan su desarrollo.

Para la generación de energía térmica, la única fuente que se utiliza es la biomasa. A excepción del Hospital que necesita agua caliente para el tratamiento de pacientes, la energía térmica necesaria se limita a usos domésticos como cocinar o hervir agua. Para estos fines, se utiliza únicamente la combustión de leña y arbustos. Sin embargo, este recurso es cada vez más caro y escaso. A la escasez de vegetación propia de la geografía de la comuna hay que sumarle el continuo proceso de desertificación que afecta a todo el país debido a la enorme presión que sufre este recurso. Además, este hecho ha provocado que el gobierno maliense haya aplicado una serie de medidas con el fin de frenar la desertificación. Entre estas acciones, se encuentra la obligación de pagar permisos por la tala y recolección de vegetación y la imposición de multas en caso de no adquirir dichos permisos o sobrepasar el límite de recolección. Esta serie de medidas en ningún momento han ido acompañadas de alternativas a la utilización de la leña como fuente de energía por lo que a parte de enriquecer las arcas del estado lo único que han provocado es que la situación sea cada vez más grave .

2. PROYECTO MEJORA DEL ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO DEL HOSPITAL HOMBORI

Situación actual del Hospital de Hombori

En la actualidad, las instalaciones del Hospital están en una situación precaria. La despreocupación del gobierno maliense tanto en inversiones como en mantenimiento ha sido total y ha provocado que las instalaciones actuales del centro no recojan los mínimos necesarios para una correcta atención sanitaria de la población.

El suministro energético del hospital es prácticamente nulo. El recinto no dispone de ninguna instalación eléctrica y por lo tanto se producen problemas como la dificultad de atender pacientes durante la noche. Por otra banda, las necesidades térmicas como ACS para el tratamiento de pacientes se cubren mediante la combustión directa de biomasa forestal. Tal y como se ha comentado la disponibilidad de este recurso es escasa y su coste económico y ambiental elevada debido a los problemas de deforestación a los que el país está inmerso.

En cuanto al suministro de agua, este viene proporcionado por un sistema de extracción mecánico. Sin embargo resulta insuficiente para las necesidades del hospital.

Mejora de las instalaciones mediante el uso de energías renovables

Vista las carencias actuales del centro hospitalario, el objetivo de este proyecto es la mejora del suministro energético con el fin de facilitar las condiciones mínimas para la correcta atención de los pacientes.

Se ha considerado que para aconseguir esta mejora la tecnología más apropiada es la energía solar. La situación geográfica y la climatología de la zona hacen que el recurso solar sea abundante y regular a lo largo del año. Por otra banda, la energía solar es respetuosa con el medio ambiente y los recursos naturales. En este caso, permitirá reducir las emisiones de CO₂ y el consumo de biomasa forestal que tanto está afectando a la deforestación del país.

EL HOSPITAL DE HOMBORI

En toda la comuna, el Hospital de Hombori es el único centro sanitario que encontramos. Funciona como centro de atención primaria y servicio de farmacia. En él se atiende a toda la población de la comuna a excepción de los pacientes más graves que son trasladados a las ciudades más cercanas con mejores centros hospitalarios.



3.1. Relevamiento del Hospital

El proyecto tiene como finalidad presentar alternativas derivadas de las energías renovables adquiridas durante el cursado de máster, para brindar soluciones a las necesidades del hospital de la comuna de Hombori.

El Hospital de Hombori es el único centro sanitario que encontramos en 400Km a la

redonda hasta el próximo más cercano. En él se atiende a toda la población de la comuna, aproximadamente 12000 personas.

La distribución de las instalaciones del Hospital se encuentran dadas de la siguiente manera; cuenta con un edificio principal que ocupa la mayor parte del hospital, un edificio de maternidad y por ultimo un edificio de viviendas que es utilizado por el personal del hospital.

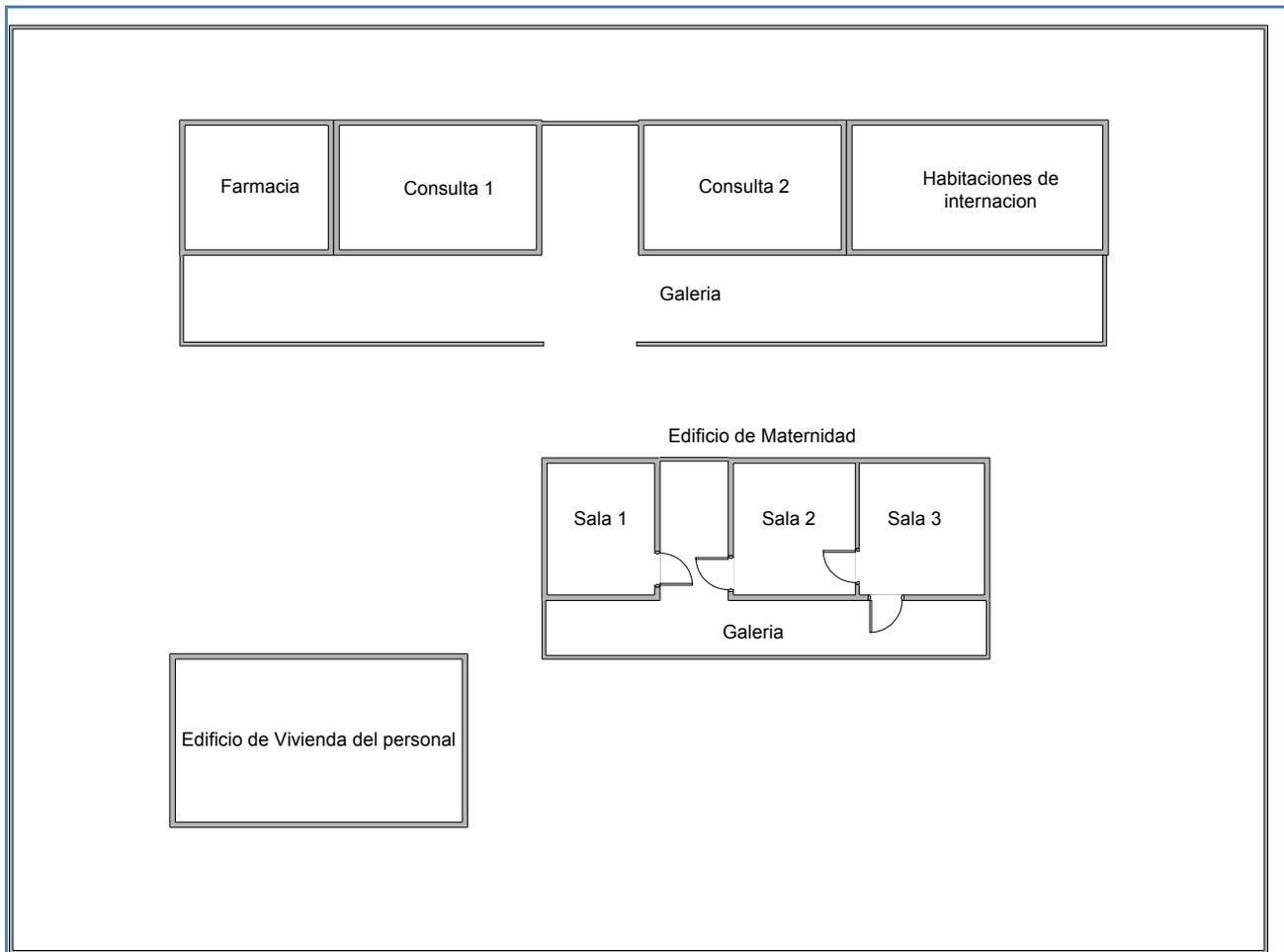
El edificio principal esta subdividido en su interior contando con una farmacia, 2 salas de consultas generales, de las cuales una de ellas es utilizada en situaciones especiales para operaciones y por último una habitación para internación de pacientes, equipada con 5 camas.

El edificio de maternidad cuenta con 5 camas destinadas a los partos y recuperación post parto de las mujeres.

Por último el edificio de viviendas, se encuentra constituido por dos viviendas, en una vive el director del hospital y en la otra viven el personal del hospital.

Se presenta a continuación un plano general de la distribución del hospital, y luego algunas fotografías, en las cuales se irán exponiendo algunos de los problemas encontrados en el relevamiento del mismo, para luego plantear posibles soluciones en los capítulos siguientes del proyecto.

PLANO HOSPITAL



Esquema de la distribución del Hospital.

Presentación de problemas encontrados en el relevamiento.

El relevamiento se realizó con el objetivo principal de mejorar infraestructuralmente las condiciones actuales del hospital, esto se aclara, ya que por las condiciones a día de hoy no hace falta ser un especialista en medicina para ver las carencias que existen en el mismo, tanto a nivel de equipos y herramientas médicas, medicinas, y tantas otras cosas mínimas e indispensables que debería tener un centro con estas actividades para poder brindar el servicio de atención médica a sus habitantes.

Al realizar este estudio in situ se comprobó que este edificio carece totalmente de suministros energéticos, ya que no hay ningún tipo de conexión a red eléctrica simplemente porque no existe la misma en la zona, ni gas. Solo tienen un equipo que funciona con queroseno y suelen alquilar en situaciones especiales grupos electrógenos en caso de necesidades eléctricas

Comenzando con el relevamiento por la farmacia, se vio que la misma tiene estanterías que se utilizan para almacenar medicamentos, situada bajo techo en un

recinto cerrado para intentar mantener condiciones de temperaturas menores a las exteriores por los arduos calores de verano y de esta manera garantizar la conservación de las medicinas que se encuentran allí, esta sala como todas las otras no tiene ningún tipo de iluminación, ni eléctrica ni natural, podemos mencionar que es un tanto oscura también durante el día.

En el viaje que hicimos a África para la realización de este proyecto junto con la ONG nos tocó en persona llevar desde Barcelona material para la farmacia, medicinas, guantes, gasas, materiales descartables y muchos más materiales.



Foto del almacén Farmacia

En la farmacia también cuentan con una nevera que funciona con queroseno. Esta tiene como función principal almacenar vacunas y medicinas especiales que requieren bajas temperaturas para su correcta conservación. El director del hospital es quien se encarga en persona de llenar el tanque de combustible periódicamente para que las medicinas no se echen a perder.



Foto: Nevera alimentada por queroseno de la Farmacia

El principal problema de la nevera es el desabastecimiento de las gasolineras local y su intermitencia de suministro. Por otro lado se puede mencionar el gasto que significa la compra periódica de combustible y programar el llenado del tanque para que la heladera funcione continuamente. En los días que estuvimos visitando las instalaciones, el director que es la única persona que se encarga del funcionamiento de la heladera, estaba enfermo de malaria, y no hay otra persona que lo reemplace en esta tarea, con lo cual, si no está el director tampoco hay posibilidad de mantener estas medicinas en buenas condiciones.

Las dos salas de consultas y la habitación donde se encuentran las camas de internación, no cuentan con suministro eléctrico ni de agua, no tienen tampoco iluminación

para utilizar al caer el sol.



Fotos: Sala de internación.

Con respecto a los otros dos edificios , se pudo comprobar al igual que en el resto que no cuentan con iluminación por la falta de electricidad, como así tampoco de ningún otro tipo de suministro de energía, se pudo ver que toda la cocina es a base de leñas. Este tema, se trata en profundidad en el trabajo realizado por nuestros compañeros de equipo específicamente sobre el uso de biomasa y biogás.



Foto: Cocina tradicional en Hombori

También se encontró un tanque de agua con capacidad de 2.500 litros, este se pensó para ser utilizado principalmente por la demanda de agua del hospital, pero también para los vecinos más cercanos quienes buscan agua diariamente. El tanque está construido pero aun no se encuentra en funcionamiento, se pensó en principio un motor bomba o una instalación fotovoltaica.

A día de hoy la instalación es manual, como se muestra a continuación.





Foto: Tanque de Agua.

El tanque se abastecerá de agua de un pozo que está a unos 5 metros de distancia, este fue realizado hace unos años y a día de hoy funciona con extracción manual.

3. Plan de mejora a las necesidades

Luego del intenso relevamiento de las necesidades infraestructurales del hospital, en la cual hemos profundizado en una exhaustiva búsqueda de problemas, y estudiado las herramientas cuyo dominio hemos adquirido durante el máster, hemos elegido las siguientes tecnologías y brindar las siguientes soluciones. Basándonos en energía Solar Fotovoltaica y energía Solar Termica.

Instalación Energía solar Fotovoltaica

Con esta tecnología y teniendo en cuenta criterios mencionado antes, vemos la

posibilidad de realizar una instalación fotovoltaica para dar suministro eléctrico a necesidades indispensables del hospital que son:

- **Motor y bomba de agua para llenado del tanque:** a día de hoy no se encuentra funcionando y vemos la prioridad de que entre en funcionamiento lo antes posible, dicha instalación se podría explicar brevemente, como una instalación solar aislada, sin inversor, directamente en continua solo con un regulador y un interruptor de nivel
- **Nevera:** se opto por colocar una nevera que funcione solamente con la instalación solar fotovoltaica, de manera de eliminar la dependencia que existe hoy con la nevera a queroseno y garantizar un funcionamiento continuo de la misma 24hs al día a lo largo de todo el año.
- **Alumbrado general del hospital:** es indispensable tener luz durante la noche, al menos por unas 4 horas, de modo que el hospital pudiera seguir funcionando. Hasta la actualidad una vez que oscurece los habitantes de Hombori dejan de ir al hospital, simplemente porque no se les puede atender, por eso creemos en la solución de instalar iluminación logrando que el hospital pudiera funcionar para emergencias durante las horas de oscuridad.
- **Radio de comunicaciones:** pensamos que la alimentación eléctrica para tener en condiciones la radio es una necesidad crítica, dado que el hospital se encuentra totalmente incomunicado y las únicas comunicaciones son por el móvil del director, el problema añadido que debe hacer largos viajes para recargar la batería periódicamente sumado del costo de las llamadas al ser un móvil particular. Por esto, vemos fundamental la alimentación de la radio.

Las instalaciones de energía solar fotovoltaica de este proyecto son dos instalaciones totalmente independientes, una instalación será exclusiva para el bombeo de agua y la otra instalación será para la alimentación de la iluminación, de la radio y la nevera. A continuación se explicarán las instalaciones, el funcionamiento y cálculo de las mismas por separado y su funcionamiento en común.

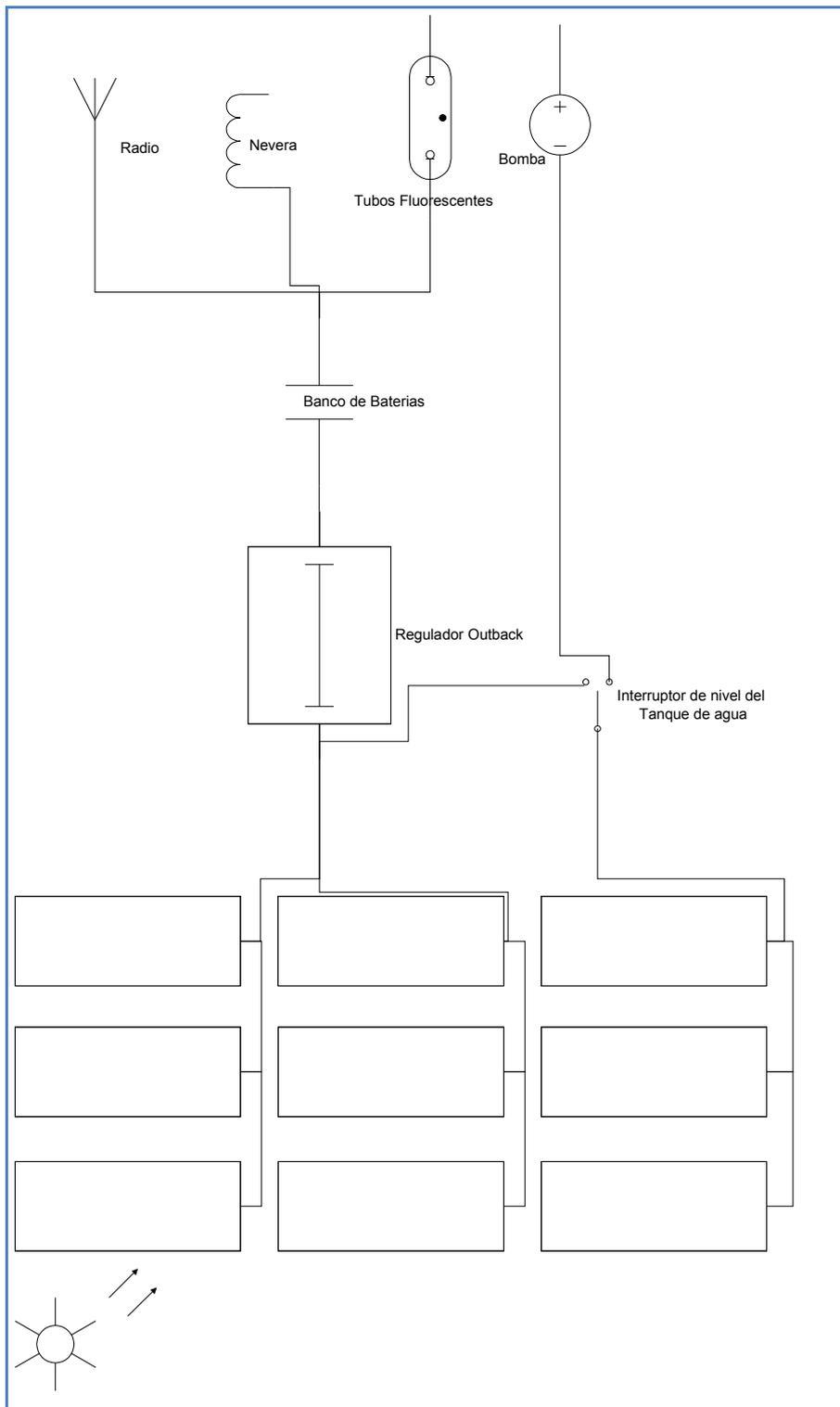
La instalación de iluminación se dimensionó para tener luz durante la noche durante 5 horas. Para la misma se decidió instalar 18 tubos fluorescentes de 8W, alimentados a 12V. Con esto se consigue asegurar el iluminado diario necesario en el hospital.

Para reemplazar la nevera existente hemos seleccionado la nevera FRIGORIFICO CoolMatic HDC 190, que funciona a 12V, con una potencia de 60W. Esta fue elegida ya que por sus condiciones de funcionamiento podemos garantizar el enfriamiento de los medicamentos funcionando al 100% todo el año. (En la memoria se adjuntan los datos técnicos y el folleto de la misma).

La radio tiene una potencia 22W, esta funcionará unas 8 horas al día, y tiene la función de mantener todo el tiempo comunicado al hospital. Más allá de que se calculó para funcionar 8 h/d, la instalación está dimensionada para que se pueda poner en uso las 24h si es necesario.

Con respecto a la instalación de bombeo para el llenado del tanque, se colocaran 3 paneles de 60W en serie que funcionan de manera exclusiva para la alimentación de la bomba. En el tanque de agua se instalará un interruptor de nivel que tienen como función desactivar el bombeo de agua cuando el tanque se encuentra lleno, entonces derivará la energía producida por los paneles al regulador y este a su vez lo enviará al banco de baterías.

En el siguiente esquema se explica el conexionado total del mismo.



La bomba de llenado del tanque funcionará solo cuando los paneles tengan energía solar, es decir que no tendrá almacenamiento con baterías, como así tampoco regulador externo, ya que el regulador viene en un kit incluido con el motor de la bomba. Entonces solo tiene la conexión directa de los paneles en serie a la bomba, y en el caso que el tanque esté lleno como se explicó antes, la energía será derivada por el interruptor de nivel y almacenada a través del regulador al banco de baterías de la instalación paralela.

La elección del regulador fue un punto que hemos pensado en detalle, ya que en principio se pensó reguladores distintos para cada instalación. Sin embargo, estudiando en el mercado los reguladores posibles hemos encontrado un regulador que indiferentemente cual sea la conexión de los módulos, el regulador se programa según se conecten los módulos y también se programa la salida deseada, que en este caso sería la tensión que utilizan los aparatos eléctricos y por la cual se ha elegido la batería.

Si se hiciera de manera convencional tendríamos que haber dimensionado la instalación con dos reguladores, pero de esta manera, se instala un solo regulador, que en principio es más caro que los normales, pero tiene algunas características que hacen diferencias notables con respecto a los que son usados normalmente.

Primordialmente que permite conexionar diferentes configuraciones de módulos en un mismo inversor con una salida en común. Otra importante es que tiene seguimiento de máxima potencia, además maximiza la energía de la batería en relación con la radiación existente y la temperatura instantánea de los módulos fotovoltaicos. Con este regulador se puede obtener hasta un 30% más de energía del sistema solar. Además, permite resetear las baterías de forma automática alargando su vida útil, de 5 años con un regulador normal, a unos 10 años aproximadamente.

A continuación se muestra un resumen de los cálculos de dimensionado.

Cálculos para la instalación de Nevera, Iluminación y Equipo de Radio.

Calculo de energía necesaria total

Para realizar este cálculo se tuvo en cuenta la potencia de cada uno de los aparatos a utilizar de manera que pueda existir una simultaneidad de 1, es decir todos funcionando al mismo tiempo, por ello la instalación se realizó para que pueda darse esta condición y todo el equipo funcione con una autonomía de 5 horas. Claro que si no está todo encendido al mismo tiempo entonces el tiempo de duración será más largo, pero siempre se tiene en cuenta que la nevera tendrá la alimentación necesaria periódicamente para que no se desperdicien las medicinas guardadas en ella.

Equipo	Numero	Potencia(W)	Tensión (V)	Horas/día	kwh
Lámparas	18	8	12	5	720
Radio	1	22	12	7	154
Nevera	1	60	12	8	480
					1354

Determinación de energía según horas sol pico

Se calcula según la energía necesaria y se restan las pérdidas por el rendimiento del banco de baterías y del regulador. Luego, según las horas sol pico que hemos tomado, el valor de mes menos favorable, en este caso 4,9, nos da la energía por hora.

Energía Nec. (kwh)	η Baterías (0,85) (kwh)	η Regulador (0,95) (kwh)	Z/HSP
1354	1592,94	1642,21	335

A partir de aquí, calcularemos la cantidad de módulos necesarios para alimentar nuestra instalación.

Lo que hicimos fue realizar una tabla con las distintas configuraciones posibles de módulos y optar por la que mejor se adecuaba a nuestro regulador y nuestra otra instalación de bombeo de agua que también estará conectada al mismo regulador. (La instalación de bombeo ya se explicara más adelante, pero el panel seleccionado es el óptimo para ambas instalaciones ya que tiene que ser el mismo.)

Posibilidad de selección de módulos según potencias

Calculo de Cantidad de módulos			
Potencia campo FV (W)	Potencia módulo (W)	nº mínimo de módulos	Potencia campo FV (W)
335	45	8	360
	60	6	360
	85	4	340
	260	2	520

El panel solar elegido es el de 60W. En el anexo se adjunta la ficha técnica del mismo.

Determinación de Baterías

Según la tensión de nuestra instalación que en este caso será de 12V que está definida por el instrumental a alimentar, seleccionamos la batería, partiendo desde la energía a almacenar, y nos da el campo de baterías necesario.

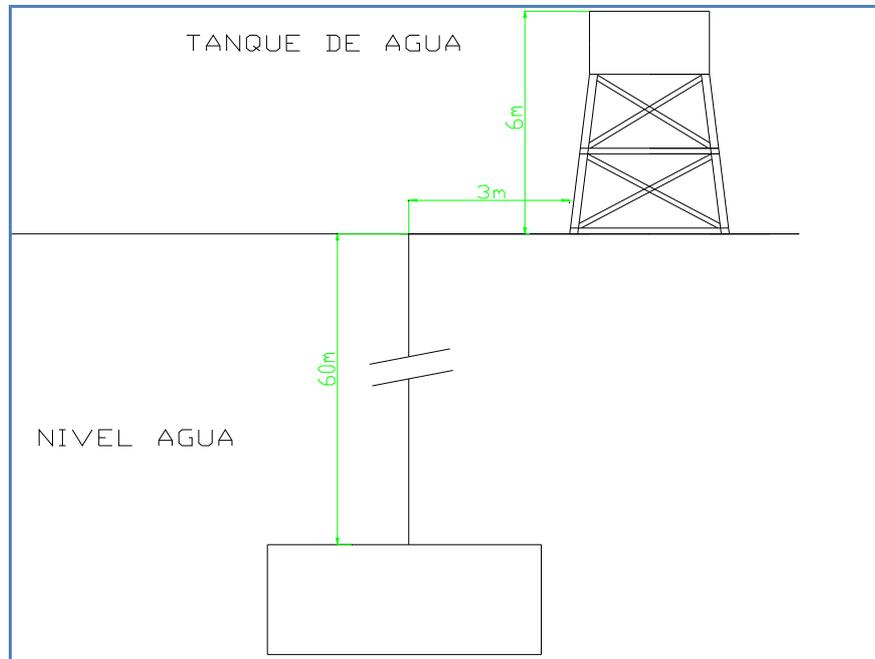
Cálculo de baterías		
Energía(kwh)	Tensión (V)	Ah
1354	12	112,83

Ah	Profundidad	Días	Campo de baterías Ah	
112,83	0,5	1	226	Selección de baterías

La batería seleccionada es la TAB Motion monobloque de 250 Ah, ya que para este dimensionado es la que mejor se adapta. La hoja de características técnicas, se adjunta en el anexo.

Calculo de la instalación de bombeo de agua

Para el cálculo del dimensionado de la instalación de bombeo, el criterio para realizarlo fue un camino inverso ya que primero hemos calculado la energía necesaria partiendo de las características de la instalación que se muestran a continuación:



Calculo de la Altura Manométrica

Calculo de la energía necesaria para bombear			
		Joule	kwh
$E_p = m \cdot d \cdot g \cdot h$	$100 \cdot 1 \cdot 0,98 \cdot 67$	65660	18,24

Una vez calculada la energía, hemos utilizado el software de grundfos. En este solo se entra el número de captadores y el caudal a bombear diario. El este cálculo detallado se adjunta a continuación.

La bomba tiene un controlador que funciona como regulador y alimenta a la bomba de velocidad variable según la captación solar. Como se explico anteriormente, solo trabajara cuando el interruptor de llenado no esté activado ya que cuando esté lleno la energía solar se almacenará.

Presupuesto de materiales Instalación Fotovoltaica

Este es solo un coste estimado de materiales ya que no se pasará coste alguno por la instalación ni por el proyecto, dado que el mismo será financiado por parte de la ONG. Al momento de ejecutarse, se comprarán todos los materiales posibles a algún proveedor de la zona de Mali por cuestiones de simplificar el traslado y asegurar su sostenibilidad de mantenimiento. Este criterio se tendrá tanto para la instalación fotovoltaica como para la Térmica.

	Unitario	Total
MODULOS Monocristalinos 60W (9 unidades).....	2.46 €/W	1328.8 €
Regulador Outback MX60 (1).....	396.88 €	396.88 €
Centrar de bombeo CU200 (1).....	206.78 €	206.78 €
Bateria TAB Motion monobloque de 250 Ah (1).....	222.48 €	222.48 €
		2154.54 €

INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA

INTRODUCCIÓN

Tal y como se ha comentado anteriormente, el Hospital de Hombori es el único centro de atención médica en toda la comuna. El complejo sirve tanto como centro de atención primaria en el que se tratan enfermos y accidentados leves como centro de hospitalización para enfermos más graves. Además, también cuenta con una unidad separada de maternidad en la que se atienden los partos. A pesar del volumen de pacientes que el centro tiene que atender y el tipo de tratamientos que se llevan cabo (o mejor dicho se necesitarían llevar a cabo), el gobierno maliense se ha despreocupado totalmente de realizar una inversión adecuada para que el complejo hospitalario disponga de las instalaciones mínimas para un funcionamiento adecuada. Entre las carencias derivadas de la falta de inversión del gobierno, podríamos citar como una de las más importantes la necesidad de una instalación de Agua Caliente Sanitaria.

DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA

El primer paso en el proceso de dimensionado es la selección de la superficie de captación solar necesaria.

- En primer lugar, debe calcularse las necesidades (demanda energética) del edificio a partir del consumo de agua caliente sanitaria de las viviendas.
- Deben definirse los criterios que se utilizarán para la selección de la superficie de captación solar. Es importante decidir las posibles ubicaciones del campo de captación solar en el edificio, el tipo de captador a utilizar o la fracción solar que se pretende cubrir. En ocasiones, las dimensiones del espacio disponible o la integración en el edificio pueden condicionar la superficie de captación a instalar.
- A continuación, se realizan los cálculos de la producción energética

de la instalación solar. Para ello se tienen en cuenta diferentes factores de diseño, entre los que pueden citarse los siguientes:

1. Características del captador solar empleado (coeficientes característicos de su rendimiento energético).
 4. Tipo de circuito (con o sin bomba de circulación, con intercambiador interno o externo, ...).
 5. Datos climáticos (radiación solar y temperaturas ambiente, normalmente en valores diarios medios mensuales).
 6. Características de la demanda energética (consumo de agua, temperaturas de uso, temperatura agua acumulación y del agua de red)
 7. Orientación e inclinación de los captadores solares
- Como resultado del cálculo energético se obtiene la producción solar esperada y la fracción solar o porcentaje de la demanda que será cubierto por el sistema de captación solar, en valores mensuales. La superficie de captación elegida será aquella que proporcione la producción energética o la fracción solar más adecuada a las necesidades del edificio.

Cálculo de necesidades

Para el diseño de la instalación solar es necesario conocer la cantidad de energía que ésta deberá proporcionar para poder cubrir una determinada demanda. Cuanto más exacta sea esta demanda y más se aproxime al valor real, mejor dimensionada estará la instalación y más se ajustará su comportamiento a los cálculos teóricos.

Es muy importante que la instalación no quede sobredimensionada, de modo que no se alcancen condiciones de estancamiento en el captador que puedan provocar daños en los elementos de la misma.

Como no se dispone de ningún contador ni ningún registro estadístico de consumo de agua la demanda se estimará mediante la aproximación de cantidad consumida por usuario.

En nuestro caso de estudio, se realizará una separación del consumo del hospital según su uso. Por una banda se calcularán las necesidades de ACS para la atención y tratamiento de los pacientes y por otra banda las necesidades relativas a la zona de viviendas en las que se hospeda el personal del hospital.

Estimación de la demanda de ACS

Tal y como se ha comentado, el hospital funciona tanto como centro de atención primaria como para el ingreso y tratamiento de enfermos más graves. También dispone de una unidad especial para la atención de partos. Para el tratamiento de pacientes será necesario el suministro de ACS a 60° para su higiene y para su utilización en algunos tratamientos.

Para la estimación de la demanda se calcularán los litros necesarios en función de las camas que dispone el hospital.

A pesar de que se atiende a una población total de unos 12000 habitantes el hospital dispone únicamente de 7 camas.

Por otra banda, el recinto del hospital también alberga las viviendas en las que se hospeda el personal del hospital. Dicho personal lo conforman:

- 3 matronas
- 2 enfermeros
- 1 médico
- 1 vigilante

Puesto que el personal vive en el mismo edificio se dimensionará la demanda como si se tratara de una vivienda unifamiliar compuesta de 7 personas.

Debido a que actualmente no existe en Mali ninguna normativa que regule el dimensionado de instalaciones con energía solar térmica, se ha tenido en cuenta las aproximaciones propuestas por el código técnico de Edificación (CTE).

Criterio de demanda	Litros ACS/día a 60° C	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hotel ****	70	por cama
Hotel ***	55	por cama
Hotel/Hostal **	40	por cama
Camping	40	por emplazamiento
Hostal/Pensión *	35	por cama
Residencia (ancianos, estudiantes, etc)	55	por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	3	por alumno
Cuarteles	20	por persona
Fábricas y talleres	15	por persona
Administrativos	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por usuario
Lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterías	1	por almuerzo

Por lo tanto los litros días estimados que la instalación tendrá que cubrir serán.

Consumo pacientes	
Consumo CTE por cama	55 l/día
Camas	7 camas
litros día	385 l/día
Consumo zona de vivienda	
personas	7 personas
Consumo CTE	30 l/día
litros día	210 l
TOTAL LITROS DÍA	595 l

Una vez obtenidos los litros al día se calcula la carga mensual con la siguiente ecuación.

$$L_{ACS} = X \cdot \rho_{H_2O} \cdot c_{pH_2O} \cdot (T_{ACS} - T_{red})$$

Siendo:

L_{ACS} ; Energía demandada al mes

X; Total litros día

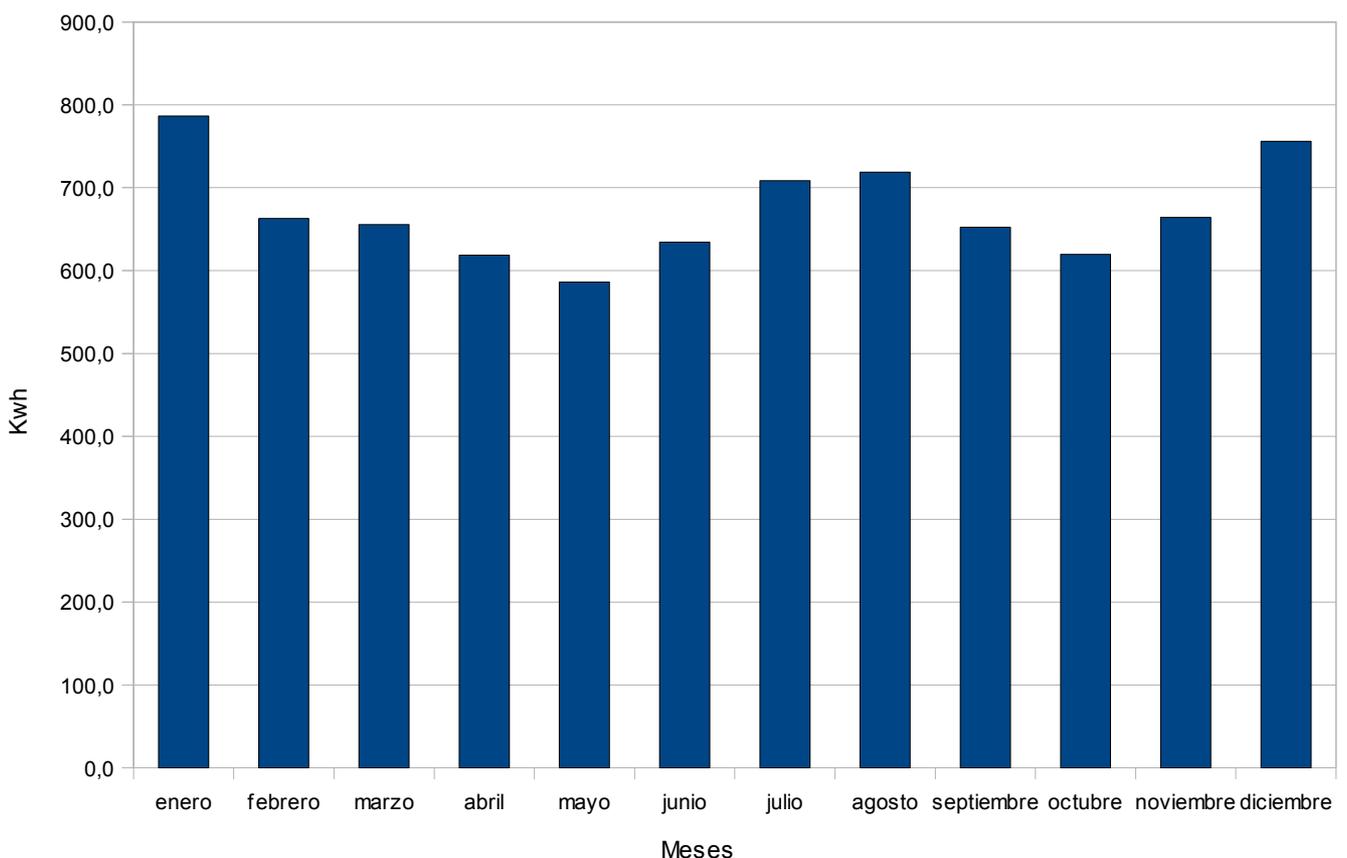
ρ_{H_2O} ; Densidad del agua (1kg / litro)

$T_{ACS} - T_{red}$; Salto térmico entre la temperatura del agua de la red y la temperatura del agua de suministro.

Teniendo en cuenta una ocupación del 100% obtenemos una distribución mensual de la energía demandada tal y como la que se muestra en la siguiente tabla y gráfico.

Mes	Días mes	litros día	% Ocupación	litros mes	Tª agua red°C	T ACS	DT	Energía demandada día en Kwh	Energía demandada mes Kwh
enero	31	595	100	11.935	23,27	60	37	25	786,6
febrero	28	595	100	10.780	25,72	60	34	24	663,1
marzo	31	595	100	11.935	29,39	60	31	21	655,6
abril	30	595	100	11.550	30,15	60	30	21	618,7
mayo	31	595	100	11.935	32,63	60	27	19	586,2
junio	30	595	100	11.550	29,39	60	31	21	634,4
julio	31	595	100	11.935	26,91	60	33	23	708,7
agosto	31	595	100	11.935	26,44	60	34	23	718,7
septiembre	30	595	100	11.550	28,53	60	31	22	652,2
octubre	31	595	100	11.935	31,07	60	29	20	619,6
noviembre	30	595	100	11.550	27,95	60	32	22	664,3
diciembre	31	595	100	11.935	24,7	60	35	24	756,0
ENERGÍA DEMANDA ANUAL									8064,1

Distribución mensual de la demanda



CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LA SUPERFÍCIE

Para calcular la cantidad de energía generada por el sistema y el número de paneles necesarios para suministrarla, se deben definir los criterios que se utilizarán para la selección de la superficie de captación solar. Es importante decidir las posibles ubicaciones del campo de captación solar en el edificio, el tipo de captador a utilizar o la fracción solar que se pretende cubrir. En ocasiones, las dimensiones del espacio disponible o la integración en el edificio pueden condicionar la superficie de captación a instalar.

Ante la problemática de dónde y cómo instalar el campo de captadores es muy importante que primen, sobre todo, los siguientes factores: máxima insolación (para conseguir el mayor rendimiento posible), seguridad de montaje y sujeción (asegurar la fijación de los captadores en la instalación y evitar su desprendimiento ante acciones externas) y cercanía al depósito de acumulación, para evitar pérdidas innecesarias.

UBICACIÓN Y SUPERFÍCIE DISPONIBLE

Se ha considerado que el tejado de los edificios será la ubicación más adecuada ya que:

- Los edificios son de una sola planta y por lo tanto son de fácil acceso.
- Su superficie de hormigón garantiza que se soporte el peso de los captadores y otros elementos de la instalación.
- No disponen de inclinación lo que facilita su integración y orientación
- La superficie de los tejados está disponible en su totalidad.

Por lo tanto la superficie en metros disponible es de 790 m².

Paritorio 130 m²

Edificio principal 480 m²

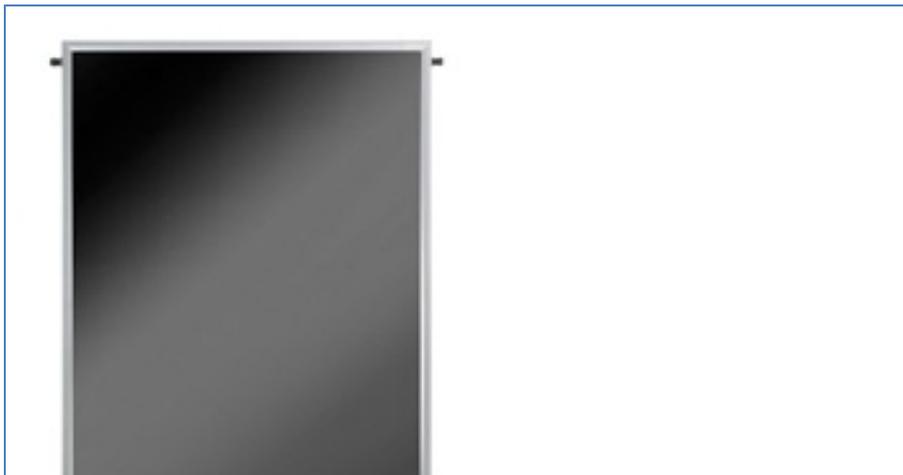
Zona de vivienda 180 m²

ELECCIÓN DEL COLECTOR

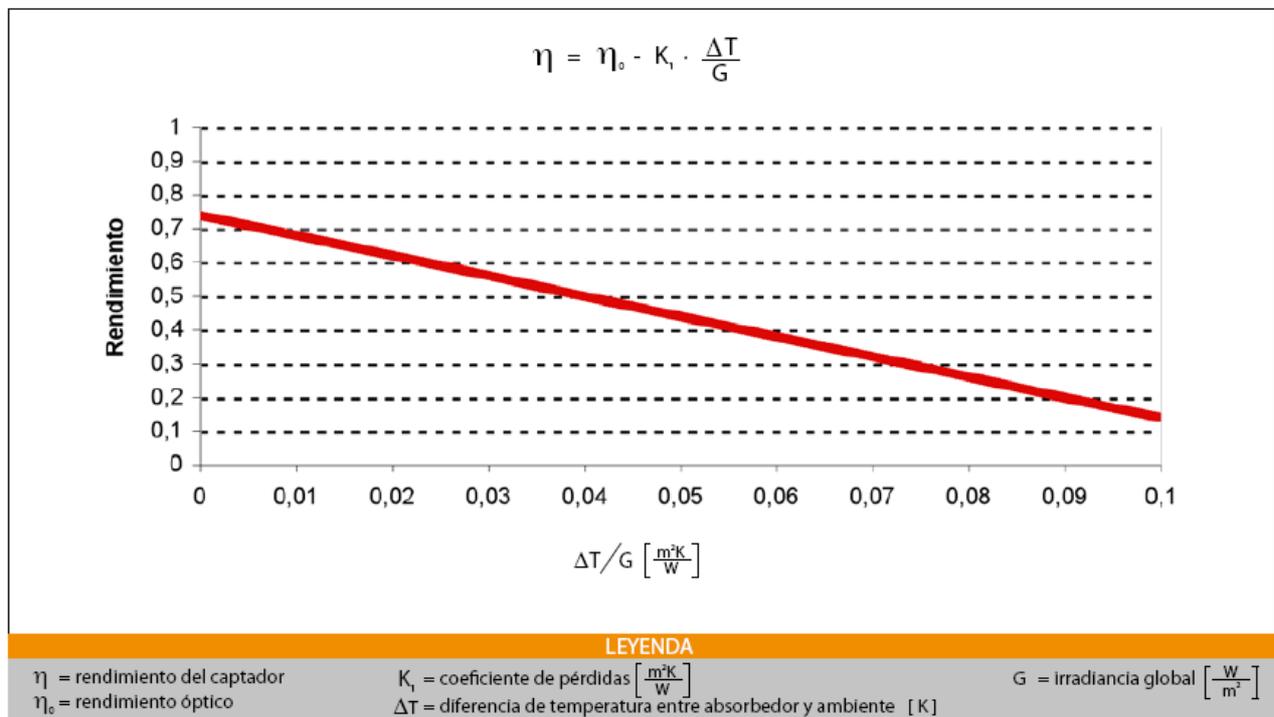
Para la elección del tipo de colector, puesto que la instalación es de pequeña dimensión y la energía demandada no es elevada, no es necesario un colector de altas prestaciones (selectivo o tubo de vacío). Por este motivo, se ha dado prioridad a colectores de menores prestaciones pero que tienen un coste menor. En este caso se ha escogido un captador plano con un absorbedor de aluminio recubierto de pintura negra. Modelo OP-V210 de Ibersolar.

Características principales del colector:

1. Rendimiento óptico: 0,74
2. Coeficiente de pérdidas: 6,14 W/m²K
3. Superficie del captador: 2,09 m²



CURVA DE RENDIMIENTO DEL CAPTADOR PLANO VERTICAL
OP-V210 *

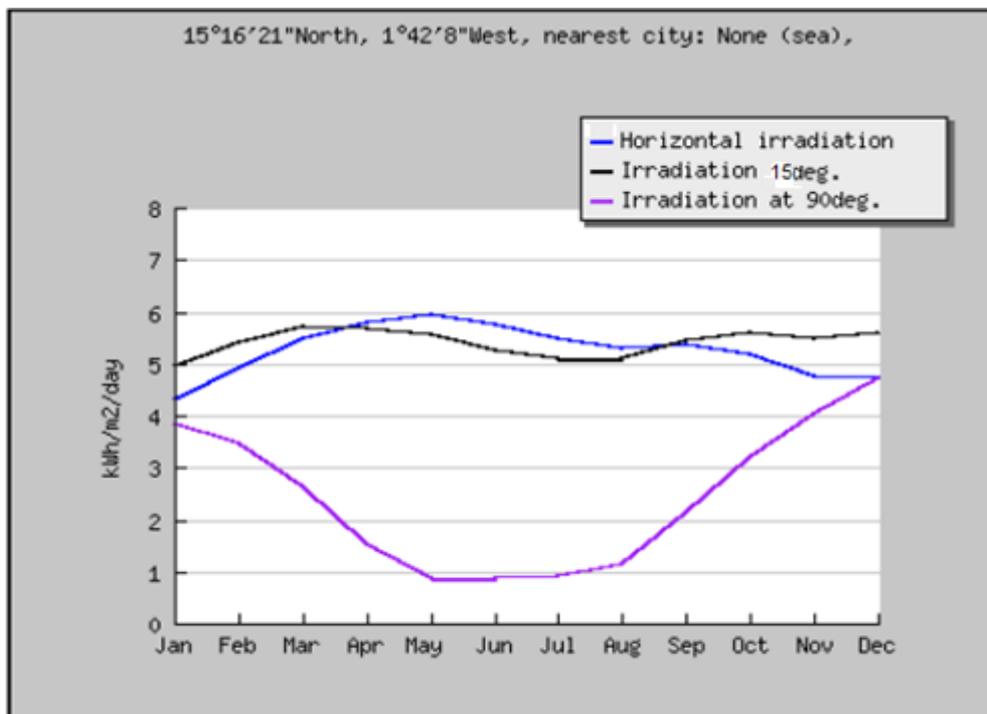


1.3.3. ORIENTACIÓN Y INCLINACIÓN

Para conseguir aprovechar al máximo la energía solar disponible en la instalación es recomendable cumplir los siguientes requisitos:

- Los captadores se orientarán al sur geográfico (ángulo acimut 0°) para aprovechar el movimiento de este a oeste del sol.
- Para la elección de la inclinación óptima se han comparado los kwh/m2 generados con diferentes inclinaciones: 0° , 15° , 90° .

El siguiente gráfico nos muestra que es con una inclinación de 16° con la que obtenemos una distribución más uniforme a lo largo del año de los Kwh producidos por m2.



CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA

Para obtener la producción energética hemos utilizado dos métodos diferentes, uno estático y otro dinámico. Los métodos estáticos suponen que las variables se mantienen constantes para cada mes mientras que los métodos dinámicos contemplan la transitoriedad de algunos fenómenos como son la radiación solar, la temperatura o el consumo.

Para realizar el cálculo de ambos métodos hemos desarrollado un archivo Excel durante el modulo de energía solar térmica, y el cual hemos utilizado para todos los cálculos que se describen en esta sección.

Como estático se ha utilizado el método ICAEN y como dinámico el método f-chart.

MÉTODO ICAEN

Para obtener la producción de energía, el primer paso ha sido calcular la cantidad de energía incidente en el campo de captación. Para obtener este valor se han utilizado los datos de radiación incidente diaria y las horas de sol al día de Hombori. Tal y como se ha comentado en el apartado de criterios diseño, la cantidad de radiación incidente corresponde a los valores obtenidos con la inclinación óptima del colector, 15°. Estos valores se han extraído del Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS).

		horas de sol	Radiación incidente campo de captación	Radiación incidente campo de captación	Radiación incidente campo de captación
Mes	dias mes	h/dia	Wh/m2/dia	MJ/m2/dia	MJ/m2/mes
enero	31	11	4950	17,82	552,4
febrero	28	11,5	5410	19,48	545,3
marzo	31	11	5720	20,59	638,4
abril	30	12	5670	20,41	612,4
mayo	31	12,5	5580	20,09	622,7
junio	30	13	5270	18,97	569,2
julio	31	12,5	5090	18,32	568,0
agosto	31	12,5	5110	18,4	570,3
septiembre	30	12	5440	19,58	587,5
octubre	31	12	5610	20,2	626,1
noviembre	30	11	5470	19,69	590,8
diciembre	31	11	5610	20,2	626,1

Una vez calculada la radiación incidente efectiva en el campo de captación se calcula el rendimiento del colector con la siguiente fórmula.

$$\eta = F_R \cdot (\tau \cdot \alpha) - F_R \cdot U_L \cdot \frac{(T_e - T_a)}{I_s}$$

$$\eta = F_R \cdot (\tau \cdot \alpha) - F_R \cdot U_L \cdot \frac{(T_e - T_a)}{I_s}$$

Siendo:

FR(τ α) factor de eficiencia óptica del colector = 74%

FrUL el coeficiente global de pérdidas del colector = 1 W/ m²·K

Te la temperatura de entrada al captador, en K

Ta la temperatura ambiente exterior, en K I la intensidad de la radiación solar incidente en el plano del captador, en W/m².

Aplicando la ecuación para cada mes obtenemos los siguientes valores de rendimiento.

	T media captador Tm	T amb	Tm-Ta	Rendimiento captador
Mes	° C	° C	° C	%
enero	40,0	24	16,0	47,73%
febrero	40,0	27	13,0	52,59%
marzo	45,0	31	14,0	53,03%
abril	45,0	33	12,0	53,97%
mayo	50,0	36	14,0	50,30%
junio	50,0	34	16,0	45,33%
julio	50,0	32	18,0	42,42%
agosto	45,0	30	15,0	47,03%
septiembre	45,0	31	14,0	50,60%
octubre	45,0	32	13,0	52,49%
noviembre	40,0	29	11,0	55,98%
diciembre	40,0	25	15,0	51,50%

Una vez obtenido el rendimiento del captador y la radiación efectiva se calcula la radiación aprovechada por cada m² de captador a la cual se le aplica un coeficiente de pérdidas por el sistema Cp.

Este coeficiente se determina en función del tipo de instalación:

- 0.92 Instalaciones muy eficientes (Por ejemplo polideportivos).
- 0.9-0.85 Instalaciones en generalmente
- 0.8 Instalaciones con desfase horario.

En este caso tomaremos el valor de una instalación general, 0.9.

La siguiente tabla muestra los valores de energía solar que será posible obtener mensualmente por cada m² de captador.

Energía solar instalación en 1m ²	Energía solar instalación en 1m ²	
MJ/m ² /mes	kWh/m ² /mes	Mes
237,30	65,92	enero
258,12	71,70	febrero
304,66	84,63	marzo
297,42	82,62	abril
281,93	78,31	mayo
232,18	64,49	junio
216,86	60,24	julio
241,38	67,05	agosto
267,55	74,32	septiembre
295,74	82,15	octubre
297,63	82,67	noviembre
290,19	80,61	diciembre

ELECCIÓN DE LA SUPERFICIE DE CAPTACIÓN

Una vez obtenida la demanda energética del hospital y la cantidad de energía que puede producir cada m² de nuestro captador, se calcula la superficie de captación necesaria para cubrir un tanto por ciento de nuestra demanda con la instalación solar térmica (fracción solar). En el caso de España existen exigencias legales, tales como las del CTE, las ordenanzas municipales o el “decret de ecoeficiència”, los cuales obligan a unos valores mínimos de fracción solar a cubrir por la instalación.

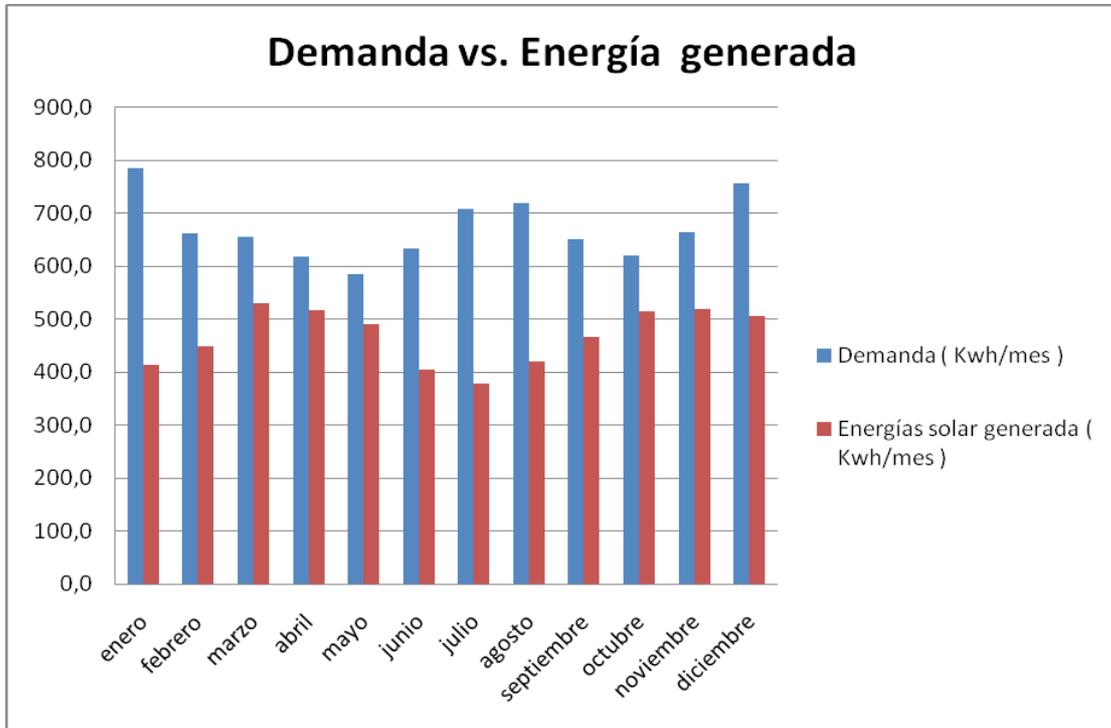
Hasta día de hoy en Mali aún no existe ningún tipo de regulación para el diseño de instalaciones solares térmicas. En nuestro caso la fracción solar vendrá limitada por la falta de elementos de disipación de energía. Si la fracción solar fuera superior al 70% sucedería que en los meses de una mayor radiación, sería necesario disipar una parte de la energía generada y por lo tanto disponer de elementos de disipación. Como estos elementos necesitan alimentación eléctrica y el complejo no dispone de una instalación, no será posible utilizarlos. Por lo tanto, con una fracción solar del 70% se garantizará la seguridad de la instalación simplemente con el vaso de expansión cuando se sobrepase la temperatura de estancamiento.

		Energía demandada mes	Energía solar con 3 colectores OP-V210	Fracción solar
Mes	días mes	Kwh/mes	Kwh/mes	%
enero	31	786,6	413,29	52,54%
febrero	28	663,1	449,56	67,80%
marzo	31	655,6	530,62	80,94%
abril	30	618,7	518,01	83,73%
mayo	31	586,2	491,03	83,77%
junio	30	634,4	404,38	63,74%
julio	31	708,7	377,70	53,30%
agosto	31	718,7	420,41	58,49%
septiembre	30	652,2	465,98	71,44%
octubre	31	619,6	515,09	83,13%
noviembre	30	664,3	518,36	78,04%
diciembre	31	756,0	505,42	66,85%
		8.064,10	5.609,85	69,57%

Por lo tanto nuestra instalación deberá ser capaz de cubrir un 70% de la demanda energética anual mediante los captadores solares.

Para llegar a cubrir esta demanda se necesitarán 3 captadores OP-V210.

La siguiente tabla muestra la demanda del hospital, la energía generada por la instalación y la fracción solar que se cubre.



MÉTODO F-CHART

Una vez obtenidos los valores de fracción solar y energía producida mediante la instalación con el método ICAEN, se han realizado el cálculo siguiendo el método f-chart para contrastar los datos y corroborar la veracidad del cálculo obtenido.

La siguiente tabla nos muestra que los valores de energía producida por la instalación y la fracción solar que se consigue son muy similares.

mes	Fracción solar	Energía sola (kWh)
enero	0,56	442,95
febrero	0,65	432,34
marzo	0,75	491,00
abril	0,76	470,33
mayo	0,80	468,57
junio	0,70	446,64
julio	0,64	454,93
agosto	0,63	455,32
septiembre	0,70	459,10
octubre	0,77	474,52
noviembre	0,69	461,11
diciembre	0,66	496,41
Anual	0,69	5553,23

SOLUCIÓN PROPUESTA

Tal y como se ha comentado anteriormente, el mercado de la energía solar en Mali aún está poco desarrollada, en especial en la zona de Hombori. Esto se traduce en una falta de empresas que distribuyan el material necesario para estas instalaciones y una importante falta de personal con los conocimientos técnicos necesarios para la instalación y el mantenimiento de los equipos solares térmicos.

Por este motivo, uno de los criterios más importantes a la hora de la elección del diseño de la instalación en su totalidad será la sencillez de la misma. Se tratará que la instalación lo menos complicada posible y funcione con los mínimos elementos. De este modo, se reducirá la complejidad tanto de la instalación como de su mantenimiento.

Por otra banda, como se ha visto anteriormente, se necesitarán 3 captadores para cubrir la demanda del complejo, el cual está distribuido en 3 edificios separados cada uno con una demanda similar y con funcionalidades diferentes.

Teniendo en cuenta estas particularidades, se ha considerado que la

configuración más adecuada para el hospital sería la instalación de un sistema de Termosifón para cada uno de los edificios.

Sistemas Termosifón

Son equipos compactos prefabricados especialmente diseñados para la producción de agua caliente sanitaria con energía solar en viviendas unifamiliares y otros edificios con unas necesidades de agua caliente similares.

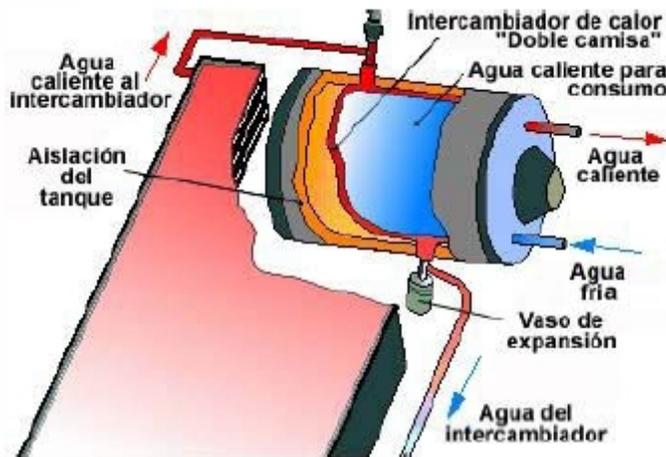
Básicamente, estos equipos constan de:

- Uno, dos o tres captadores solares, generalmente del tipo plano.
- Un depósito acumulador, con una capacidad comprendida entre 150 y 500 litros, en general, y provisto de un intercambiador de calor de doble envolvente

El acumulador se encuentra dispuesto horizontalmente y por encima de los captadores solares. Unas tuberías conectan el intercambiador de calor del acumulador con los captadores, formando un circuito cerrado lleno del fluido primario, compuesto de agua y anticongelante. El agua de consumo se encuentra en el interior del acumulador, con la entrada del agua fría en la parte inferior y la salida del agua caliente por la parte superior.

El funcionamiento del equipo prefabricado es muy simple, no precisa de bomba de circulación ni elemento electrónico de regulación alguno, funciona con circulación natural por diferencia de temperatura.

La velocidad de circulación depende de la diferencia de temperatura entre la parte inferior del equipo, es decir, los captadores, y el acumulador situado en la parte superior. En consecuencia, cuanto mayor sea la radiación solar incidente mayor será la velocidad del fluido y mejor será la transferencia de calor al acumulador solar.



Fotografía y esquema de un sistema de termosifón. Apuntes de energía solar térmica.

VENTAJAS DEL DISEÑO PROPUESTO

- Alta fiabilidad
- Poca complejidad que simplifica su instalación y mantenimiento
- No necesita bomba y por lo tanto alimentación con energía eléctrica.
- Debido a que es un edificio funcional del que simplemente importa su utilidad la falta de estética de estos equipos no es un inconveniente.
- El fácil acceso a la cubierta del edificio donde irán instalados permite poder llegar al depósito para realizar las tareas de mantenimiento.
- El cálido clima de la comuna de Hombori no impide que el acumulador pueda estar en el exterior, ya que las pérdidas energéticas durante las noches no son significativas.
- La demanda de cada edificio es similar por lo que permite poder descentralizar su instalación. De este modo se consigue eliminar metros de tuberías y separar su control de la instalación. Como cada edificio tiene una funcionalidad diferente, maternidad,

consultas y hospitalización y viviendas, la descentralización del control permitirá parar su el suministro de cada edificio en el caso que no haya demanda. Por ejemplo, en el caso que no haya ninguna paciente en maternidad, simplemente cubriendo con una lona el colector del edificio se podrá detener el funcionamiento de la instalación sin afectar al suministro de la zona de consultas y la de viviendas.

CARACTERIACIÓN DE LOS ELEMENTO DE SISTEMA TERMOSIFÓN

Los sistemas termosifón son elementos compactos prefabricados. Sin embargo, es necesario calcular algunos de sus elementos para adecuarlos a las necesidades de la instalación. Por lo tanto, a la hora de elegir el sistema termosifón más adecuado para la el hospital habrá que determinar el tipo de colector y el volumen de acumulación adecuado. El resto de elementos, como el vaso de expansión o el intercambiador ya vienen prediseñados en el sistema compacto en función del estos dos elementos.

Como el colector ya se ha escogido anteriormente para dimensionar la superficie solo faltará la caracterización del acumulador. El resto de elementos hidráulicos necesarios ya vienen prediseñados e incorporados en el kit en función del colector y el acumulador.

La acumulación del agua calentada por los captadores solares permite almacenar energía durante los periodos en los que la captación solar es elevada para su consumo cuando se producen picos de demanda

Además, la acumulación de agua permite reducir la temperatura media de funcionamiento de los captadores solares. El rendimiento energético de un captador solar disminuye cuando aumenta su temperatura de funcionamiento. En consecuencia, un volumen de acumulación suficiente permitirá aumentar la producción energética anual de la instalación solar. Sin embargo, no es ilimitado. A partir de un cierto valor, la influencia del tamaño del acumulador sobre la productividad anual de la instalación es muy pequeña y se reduce la temperatura disponible en el acumulador.

Como regla general, la capacidad del acumulador solar en instalaciones de producción de agua caliente sanitaria en edificios de viviendas y viviendas unifamiliares puede establecerse entre 50 y 100 litros por m² de captador solar instalado.

Para la producción de ACS, un valor muy habitual para la determinación del volumen de acumulación, es el de unos 75 litros por m² de captador solar. La superficie

de captación solar para cada termosifón será la equivalente a el área de apertura de un colector, 1,92 m². Si tomamos el valor de 75 litros por m² de captador instalado se obtiene un valor de acumulación de 144 litros.

Una vez se ha escogido el captador más apropiado y el volumen de acumulación necesario ya se puede escoger el equipo termosifón más adecuado para nuestra instalación.

En nuestro caso, se ha escogido el equipo compacto 140 de Ibersolar el cual tiene las siguientes características:

- Captador plano de 2,09 m² con absorbedor de aluminio y recubrimiento de pintura negra (OP-V210).
- Acumulador de 145 litros. V
Vitrificado de doble envoltente con cubierta de protección de acero galvanizado lacado gris. Aislamiento de 40 mm de espesor de poliuretano rígido. Doble ánodo de protección anticorrosión.
- Tuberías de conexión flexibles de acero inoxidable.
- Estructura de soporte de acero galvanizado.

Por lo tanto, la instalación del hospital estará compuesta por tres quipos termosifón del modelo 140, uno para cada edificio del recinto hospitalario.

Presupuesto de materiales Instalación Térmica

	Unitario	Total
Kit completo Termisifón (x3).....	1.336,2€	4.008,6 € 4.008,6€

FUNDAMENTOS SOBRE ENERGÍA SOLAR

INTRODUCCIÓN

Esta sección pretende presentar el marco teórico sobre la energía solar, tanto térmica como fotovoltaica, necesario para la comprensión y el desarrollo del proyecto de una instalación basada en esta tecnología. Se resumen los conceptos fundamentales sobre la radiación solar, los componentes de una instalación solar térmica y fotovoltaica y los principios que rigen su funcionamiento.

LA RADIACIÓN SOLAR

El Sol es una fuente inagotable de recursos para la humanidad. Provee una energía limpia, abundante y disponible en la mayor parte de la superficie terrestre y puede por lo tanto, ser una solución a los problemas ambientales generados por los combustibles convencionales.

El Sol genera su energía mediante reacciones nucleares de fusión (dos átomos de hidrógeno que producen helio por ejemplo) llevadas a cabo en su núcleo. Por tanto, la pérdida de masa del Sol es lo que se convierte en energía según la ecuación $E = mc^2$ de Einstein.

En el núcleo solar la temperatura es del orden de 10^7 K y la densidad de 10^5 kg/m³. En la fotosfera (superficie opaca aparente del Sol) la temperatura cae hasta 5000 o 6000 K y la densidad a 10^{-5} kg/m³.

La combinación de tres factores: la distancia Tierra-Sol, el diámetro solar y la temperatura del Sol determinan un flujo de energía que incide sobre la Tierra. Podemos considerar para su aplicación al campo de la ingeniería, que la emisión de energía es constante (el recurso energético está más sujeto a cambios meteorológicos que solares). Esto da lugar a la definición de constante solar (flujo de energía proveniente del Sol que incide sobre una superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación solar ubicado a la distancia media de la Tierra al Sol, fuera de la atmósfera) cuyo valor teórico aceptado por la NASA (National Aeronautics Space Administration) y la ASTM (American Society for Testing Materials) es de:

$$G_{SC} = 1353 \text{ Wm}^{-2}$$

El Sol emite radiación en toda la gama del espectro electromagnético (desde los rayos gamma hasta las ondas de radio) sin embargo, sólo nos interesa la radiación térmica que incluye sólo el ultravioleta (UV), la radiación visible (VIS) y la infrarroja (IR).

Para alcanzar la superficie terrestre la radiación solar debe atravesar la atmósfera donde experimenta diversos fenómenos físicos (reflexión, absorción y difusión) que disminuyen la intensidad final. Así pues, la radiación solar que recibe una superficie horizontal es del orden de 1000 W/m^2 al mediodía, variando según la latitud del lugar, nubosidad, humedad y otros factores.

La radiación que llega directamente del Sol es la denominada radiación directa y la que previamente es absorbida y difundida por la atmósfera (muy significativa en días nublados por ejemplo) es la radiación difusa. Además, la radiación solar, tanto directa como difusa, se refleja en todas las superficies en las que incide dando lugar a la radiación reflejada. La suma de estos tres tipos da lugar a la radiación solar global y es la aprovechable para su transformación térmica.

La captación térmica de la energía solar es el procedimiento de transformación de la energía radiante del Sol en calor. Nos referimos a aplicaciones de la energía solar a baja temperatura cuando la energía captada se utiliza para generar temperaturas inferiores a 80°C .

Los problemas técnicos que se plantean para el aprovechamiento de la energía solar son la gran dispersión de la energía solar sobre la superficie de la tierra y el carácter incontrolable y variable en el tiempo de la intensidad de radiación solar.

ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN

En una instalación solar térmica pueden identificarse las siguientes partes esenciales:

- Un **subsistema de captación**, que recibe la energía del Sol y la transmite al fluido caloportador que la transporta hasta los elementos de intercambio y acumulación.
- Un **subsistema de intercambio y acumulación**, cuya finalidad es producir y almacenar agua caliente para utilizarla cuando se produzca su demanda.
- Un **subsistema de apoyo** a partir de gas natural, que aporta la energía adicional necesaria para garantizar la disponibilidad permanente del servicio de agua caliente, incluso cuando no existe aportación energética del sistema de captación solar.

Finalmente, existen unos **elementos de regulación** que se encargan de hacer actuar los diferentes componentes de la instalación de forma adecuada, con la finalidad de garantizar la calidad del servicio de agua caliente aprovechando al máximo la energía.

El subsistema de captación solar

Por subsistema de captación solar se entiende el conjunto de elementos encargados de recibir la radiación procedente del Sol, transformarla en energía calorífica y hacerla llegar al subsistema de intercambio y acumulación.

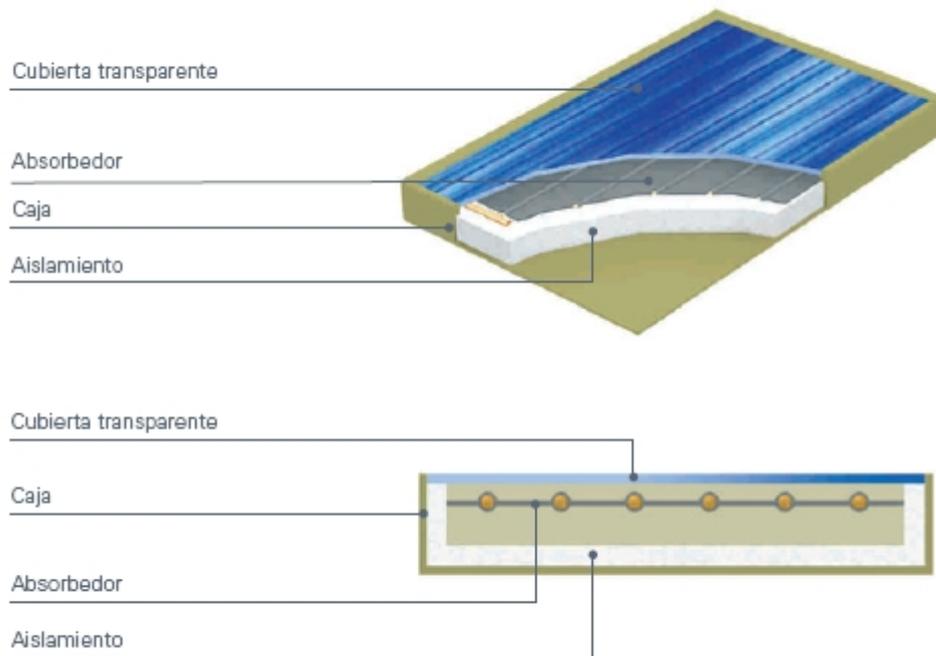
El captador solar

El captador solar es el elemento característico de una instalación de aprovechamiento de la energía solar térmica.

El tipo de captador solar utilizado generalmente en instalaciones de producción de agua caliente sanitaria en edificios de viviendas es el captador solar plano con cubierta de vidrio, que puede estar fabricado en distintos materiales: acero, cobre, aluminio,... y cuyo principio de funcionamiento se basa en el efecto invernadero, consistente en retener en su interior la energía solar recibida, transformándola en energía térmica e impidiendo su salida al exterior.

Se compone básicamente de los siguientes elementos:

- Una caja exterior, con aislamiento en los laterales y en el fondo.
- Una cubierta transparente situada en la cara frontal del captador.
- Un absorbedor metálico, encargado de transformar la radiación solar en energía térmica y transmitirla al fluido caloportador que circula por su interior.



El absorbedor está compuesto por una placa metálica negra, de cobre en la mayoría de los casos, unida a una parrilla de tubos también de cobre por los que circula el fluido caloportador. La superficie frontal del absorbedor puede ser objeto de un tratamiento especial para mejorar su comportamiento energético. Los denominados **tratamientos selectivos** logran mantener una alta capacidad para captar la energía procedente de la radiación solar incidente (alta absorción para radiación de pequeña longitud de onda) y un bajo coeficiente de emisión de energía al exterior (baja emitancia para radiación de mayor longitud de onda).

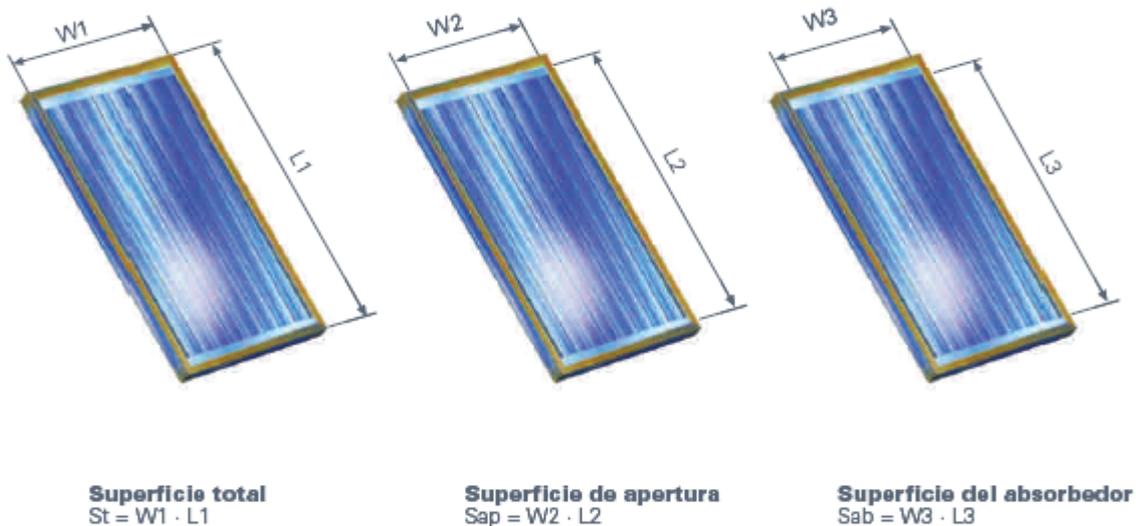
La cubierta transparente y el aislamiento contribuyen a reducir las pérdidas de calor y aumentar el rendimiento energético del captador, provocando el efecto invernadero en el interior.

La mayoría de captadores solares presentes en el mercado español tienen una superficie comprendida entre 1,5 y 2,5 m². En este punto debe tenerse en cuenta que existen diferentes definiciones para el área de un captador solar.

- La **superficie del absorbedor** es el área máxima de la proyección del absorbedor.
- La **superficie de apertura** es el área máxima del captador por la que penetra la radiación solar perpendicular al captador.

- La **superficie total** es el área máxima de proyección del captador completo, sin incluir los soportes y tubos de conexión hidráulica.

Tal y como se indica en la Figura 3.8, la superficie de apertura es, en general, algo inferior a la superficie total, y mayor que la superficie del absorbedor. En captadores planos con cubierta de vidrio, estas diferencias pueden ser del orden del 5 al 10%.



Rendimiento de un captador solar

El rendimiento de un captador solar se define como el cociente entre la cantidad de energía que se obtiene (es decir, el calentamiento que experimenta el agua o fluido caloportador que circula por su interior) y la cantidad de energía recibida (es decir, la radiación solar incidente sobre el captador). Siendo **Qu** la cantidad de energía entregada al fluido caloportador y **Qr** la cantidad de energía procedente de la radiación solar, el rendimiento η se podría expresar del siguiente modo:

$$\eta = Qu / Qr$$

Desarrollando las expresiones de **Qu** y **Qr** en función de la temperatura del agua, la temperatura ambiente, la radiación recibida y los factores que determinan las pérdidas ópticas y térmicas, el rendimiento de un captador solar puede expresarse del siguiente modo:

$$\eta = F_R \cdot (\tau \cdot \alpha) - F_R \cdot U_L \cdot \frac{(T_e - T_a)}{I_s}$$

Siendo:

$F_R(\tau\alpha)$ factor de eficiencia óptica

$F_R U_L$ el coeficiente global de pérdidas en $W/m^2 \cdot K$

T_e la temperatura de entrada al captador, en K

T_a la temperatura ambiente exterior, en K | la intensidad de la radiación solar incidente en el plano del captador, en W/m^2

Si se admite que los coeficientes $F_R(\tau\alpha)$ y $F_R U_L$ son constantes, la representación gráfica de la expresión anterior es una recta, donde la ordenada en el origen $F_R(\tau\alpha)\eta$, indica el rendimiento del captador considerando solamente el valor de las pérdidas ópticas y la pendiente $F_R U_L$, es indicativa de las pérdidas térmicas, que dependen de la temperatura de entrada del fluido al captador. En definitiva, el comportamiento energético de un captador solar se puede caracterizar con un par de coeficientes $F_R(\tau\alpha)\eta$ y $F_R U_L$, de los cuales el primero es adimensional y el segundo se expresa en $W/(m^2 \cdot K)$.

La determinación de los coeficientes característicos de los captadores solares se realiza mediante un ensayo normalizado efectuado en laboratorio. El fabricante o distribuidor de los captadores dispone de esta información y debe facilitarla al proyectista.

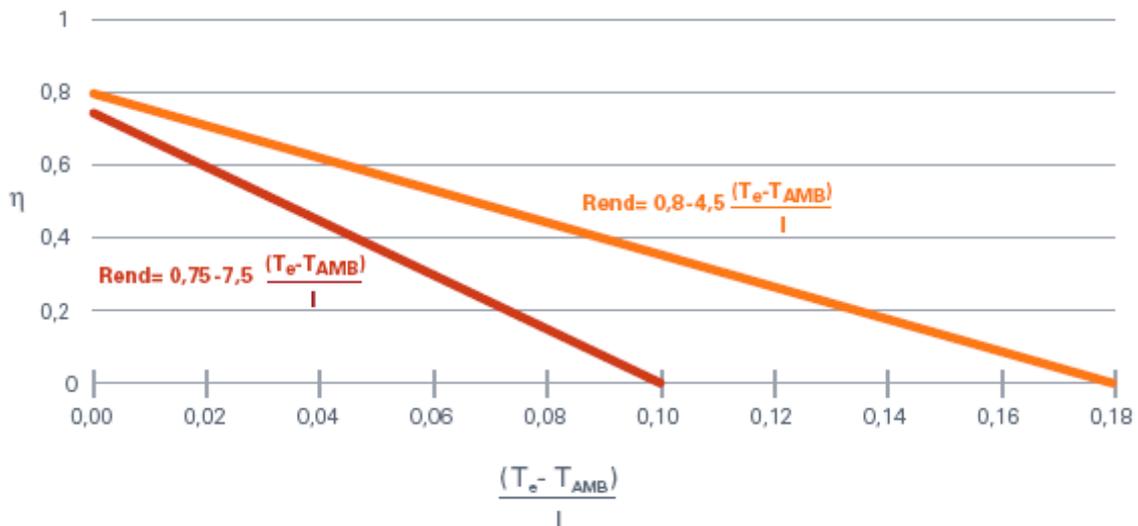
La mayor parte de los captadores solares presentes en el mercado español tienen unos coeficientes característicos comprendidos entre los siguientes límites:

- Factor de eficiencia óptica $F_R(\tau\alpha)$: entre 0,65 y 0,82
- Coeficiente global de pérdidas $F_R U_L$: entre 4,0 y 8,0 $W/(m^2 \cdot K)$

Para un mismo captador solar, los coeficientes característicos son diferentes si están referidos a la superficie de apertura, del absorbedor o la superficie total. Por tanto, no basta con conocer los coeficientes característicos del captador $F_R(\tau\alpha)$ y $F_R U_L$ sino que es necesario saber a que superficie están referidos. Normalmente, se utiliza la superficie de apertura como referencia para la obtención de los coeficientes característicos del captador solar.

Cuanto mayor sea el factor de eficiencia óptica de un captador $FR(\tau\alpha)$ y menor su coeficiente global de pérdidas $FRUL$, mejor será su rendimiento.

El siguiente gráfico compara las curvas de rendimiento de dos captadores solares diferentes.



Como se puede observar, a medida que las condiciones de trabajo del captador son más desfavorables, mayor salto de temperatura $T_e - T_{AMB}$ y menor radiación incidente I , el rendimiento del captador solar disminuye. Esta disminución es más acusada para captadores que tienen un elevado coeficiente global de pérdidas **FRUL**.

Otros elementos del circuito primario solar

Además del captador solar, existen otros elementos que forman parte del circuito primario solar. En general, se trata de componentes habituales en instalaciones de calefacción y agua caliente sanitaria y por ello no serán objeto de una descripción detallada en este documento.

Fluido caloportador

El líquido que circula por el circuito primario solar se conoce con el nombre de fluido

caloportador. Normalmente se trata de una mezcla de agua y líquido anticongelante en la proporción adecuada para que su temperatura de congelación sea inferior a las temperaturas mínimas que se pueden alcanzar en la zona en la que se encuentra situada la instalación.

La utilización de agua sin aditivos en el circuito primario es sólo admisible cuando se prevean otras medidas que garanticen la total ausencia de riesgo de congelación del agua en el interior de las tuberías.

Tuberías

Las tuberías del circuito primario solar suelen ser de cobre sanitario en la mayoría de casos. Otros materiales empleados son el acero negro (especialmente cuando son necesarios grandes diámetros) y materiales plásticos, principalmente el polipropileno.

Aislamiento

Las tuberías del circuito primario deben estar convenientemente aisladas para minimizar las pérdidas energéticas al exterior. En las Tablas J y K del Anexo I se indican los espesores mínimos de aislamiento para las tuberías que discurren por espacios interiores y exteriores respectivamente.

Bomba de circulación

La circulación del fluido caloportador por el circuito primario se realiza mediante una bomba de circulación. En la mayoría de casos se utilizan bombas de rotor húmedo, del tipo empleado normalmente en circuitos de calefacción. Para instalaciones de tamaño medio o grande (superficie de captación superior a 50 m²), es usual la instalación de dos bombas idénticas, una de las cuales permanece en reserva.

Vaso de expansión

Como en cualquier circuito cerrado de calefacción, debe preverse la instalación de un vaso de expansión para absorber las dilataciones del fluido caloportador debidas a su calentamiento. Normalmente, los vasos de expansión utilizados son de tipo cerrado.

Purgadores de aire

Es importante que la circulación del fluido caloportador no se vea interrumpida por la formación de bolsas de aire en la instalación. Por este motivo, se instalan purgadores de aire en los puntos más elevados del circuito, concretamente a la salida de los captadores solares.

Válvulas de corte

La instalación de válvulas de corte, normalmente de esfera, permite interrumpir manualmente la circulación del fluido caloportador en los diferentes tramos del circuito, por ejemplo para proceder a reparaciones o acciones de mantenimiento.

Válvulas de equilibrado

Las válvulas de equilibrado permiten regular el caudal y/o la pérdida de carga del circuito permitiendo el equilibrado hidráulico de la instalación y evitando caminos preferentes del fluido.

Válvulas antirretorno

La función de las válvulas antirretorno es impedir la circulación del fluido en sentido contrario al deseado. Se instalan generalmente en las tomas de llenado de la instalación y en el circuito primario solar para evitar la circulación del fluido caloportador en sentido inverso al de trabajo.

Válvulas de vaciado

La instalación de válvulas de vaciado permitirá eliminar el agua de la instalación para

facilitar los trabajos de reparación o sustitución. Deberán preverse válvulas de vaciado en puntos bajos de la instalación, como por ejemplo en las columnas de distribución y en la parte inferior de los depósitos de acumulación.

Válvulas de seguridad

Las válvulas de seguridad tienen por objeto evitar que en los circuitos se puedan producir sobrepresiones excesivas que puedan perjudicar elementos de la instalación y de las personas que la manipulan o utilizan.

Se instalará siempre una válvula de seguridad en el circuito primario.

Filtros

Las bombas y válvulas automáticas deberán protegerse mediante la instalación de filtros que retengan las impurezas que puedan existir en el interior de las conducciones de la instalación.

El subsistema de intercambio y acumulación

El almacenamiento de la energía térmica procedente de los captadores solares se realiza en forma de agua caliente en depósitos de acumulación. El calentamiento del agua acumulada se realiza mediante intercambiadores de calor, que pueden ser exteriores o estar incorporados en el interior de los acumuladores.

Existen dos tipos de acumuladores para ACS:

- Depósito **Acumulador de ACS**. En este caso, el calentamiento del agua acumulada se produce en el exterior del depósito, mediante su recirculación a través de un intercambiador de calor externo.
- Depósito con intercambiador incorporado o **Interacumulador de ACS**.

El calentamiento y la acumulación del agua se producen en el mismo depósito,

que ya incorpora su propio intercambiador. Se pueden distinguir dos tipos de interacumuladores:

- Interacumulador de doble pared. Acumulador de agua caliente cuyo intercambiador de calor está constituido por una doble envolvente que rodea el depósito, dentro de la cual circula el fluido del circuito primario.
- Interacumulador de serpentín. Acumulador de agua caliente cuyo intercambiador de calor está formado por un tubo curvado en espiral o serpentín, por el interior del cual circula el fluido del circuito primario.

Algunos acumuladores pueden disponer de más de un serpentín de calentamiento.

Los depósitos han de ser preferentemente verticales y con una relación altura/diámetro elevada. Las conexiones de las tuberías al acumulador deben realizarse de modo que se contribuya a la estratificación de temperaturas en el interior, acumulando el agua más caliente en la parte superior y el agua más fría en la parte inferior.

En el caso de equipos prefabricados, el acumulador suele ser horizontal y está ubicado en la parte superior del conjunto de captadores.

La estratificación permite tener un suministro instantáneo de agua a temperatura de consigna sin necesidad de que todo el depósito esté a dicha temperatura.

Además contribuye a obtener un mejor rendimiento de los captadores solares.

- La conexión de la aspiración del circuito hidráulico hacia el intercambiador de calor exterior o hacia los captadores debe estar situada en el tercio inferior del acumulador
- El retorno del intercambiador de calor exterior o de los captadores debe conectarse preferentemente a una boca situada a una altura comprendida

entre el 50% y el 75% de la altura del acumulador

- La entrada de agua fría de red debe realizarse en la parte baja del acumulador. En el caso de que la entrada esté situada en la cara inferior del acumulador (y no lateralmente), es necesario que dicha boca disponga de un deflector
- El agua caliente debe extraerse de la parte superior del acumulador. Normalmente, los materiales empleados para los acumuladores son el acero inoxidable y el acero al carbono con tratamientos interiores a base de vitrificado de simple o doble capa y recubrimientos resinas epoxi. El acumulador debe ser capaz de admitir temperaturas interiores superiores a 70°C y disponer de un sistema de protección catódica.

Los acumuladores deben estar convenientemente aislados para minimizar las pérdidas energéticas al exterior. El grosor de aislamiento que establece el *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios* es de 30 mm si la superficie exterior del depósito es inferior o igual a 2 m² y de 50 mm si la superficie es superior a 2 m².

Los acumuladores de capacidad superior a 750 litros deberán disponer de una boca de hombre con un diámetro mínimo de 400 mm, fácilmente accesible, que permita su limpieza periódica como parte de las operaciones de mantenimiento de la instalación.

En el caso de que los acumuladores tengan el intercambiador de calor interno éste debe ser de un material compatible con el fluido caloportador y la superficie de intercambio debe ser suficiente para garantizar una correcta transmisión de calor de los captadores al agua acumulada. Para asegurar esta condición, la superficie de intercambio debe ser superior a 0,20 m² por cada m² de captador solar.

El empleo de acumuladores con intercambiador interno simplifica la instalación solar, ya que la conexión del circuito primario solar se realiza directamente en las tomas que para ello tienen previstas. Sin embargo, la potencia de intercambio está limitada por las dimensiones del acumulador. Además, la presencia de los serpentines interiores dificulta la limpieza periódica del interior del depósito.

Tipo intercambiadores

Placas	Externo al depósito acumulador Alto rendimiento de intercambio (sistema más eficiente) Superficie de intercambio muy elevada Dimensiones reducidas Mayor pérdida de carga Diseño a medida de las necesidades Necesidad de incorporar dos bombas en la instalación
Doble Pared	Incorporado al depósito acumulador Rendimiento bajo Gran superficie de intercambio Baja pérdida de carga Coste de adquisición económico
Serpentín	Incorporado al depósito acumulador Rendimiento de intercambio medio Superficie de intercambio baja Pérdida de carga media Coste de adquisición medio

La utilización de intercambiadores de calor externos de placas para el calentamiento de depósitos centralizados permite adaptar la potencia de intercambio a las condiciones concretas de cada instalación y permiten una fácil limpieza tanto del acumulador como del propio intercambiador. La elección del modelo de intercambiador y del número de placas necesario se realiza a partir de los caudales y temperaturas nominales de diseño de la instalación.

Los dos parámetros que mejor definen un intercambiador son el rendimiento y la eficacia de intercambio.

El rendimiento es la relación entre la energía obtenida y la aportada. La diferencia entre una y otra se debe a las pérdidas térmicas.

La eficacia de intercambio se define como la relación entre la potencia térmica intercambiada y la máxima que teóricamente podría intercambiarse. Para un caudal de fluido caloportador determinado, la eficacia es una constante que dependerá de la superficie de intercambio, de su forma y geometría y del material empleado.

Cuanto menor sea la eficacia del intercambiador de calor, mayor será la temperatura que retorna a los captadores y por tanto menor será el rendimiento de la instalación solar.

Para el caso de interacumuladores, el intercambio se produce por convección natural y la **eficacia** es:

$$\varepsilon = \frac{T_e - T_s}{T_e - T_{acum}}$$

siendo

- ε eficacia del intercambiador
- T_e temperatura de entrada del fluido caloportador, en °C
- T_s temperatura de salida del fluido caloportador, en °C
- T_{acum} temperatura del agua acumular, en °C

En el caso de intercambiadores exteriores de placas, la expresión de la eficacia es la siguiente:

$$\varepsilon = \frac{T_{ss} - T_{es}}{T_{ep} - T_{es}}$$

siendo

- ε eficacia del intercambiador
- T_{ss} temperatura de salida del intercambiador del circuito secundario, en °C
- T_{es} temperatura de entrada al intercambiador del circuito secundario, en °C
- T_{ep} temperatura de entrada al intercambiador del circuito primario, en °C

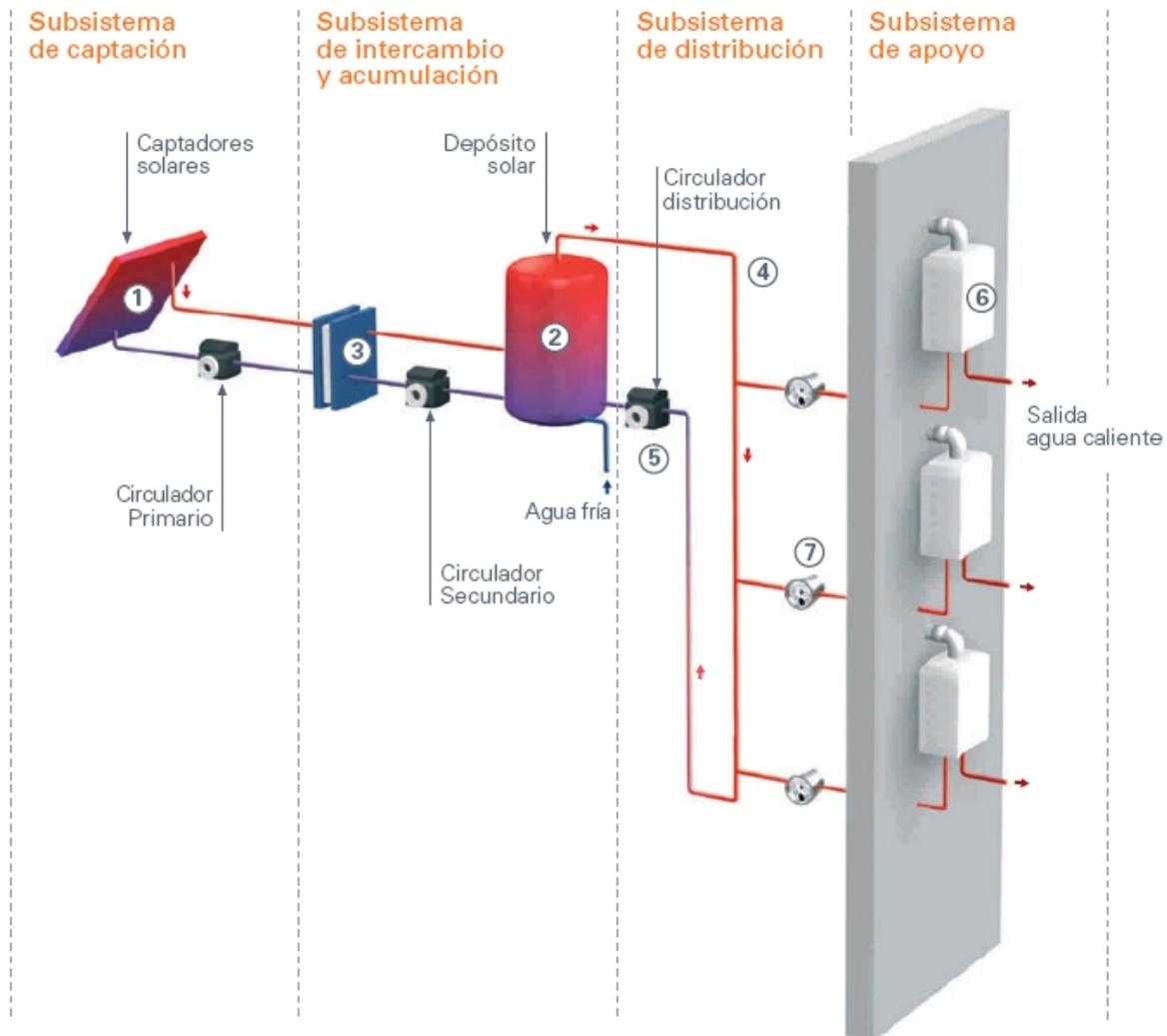
ESQUEMAS DE INSTALACIÓN

La producción de agua caliente sanitaria en edificios mediante la utilización de energía solar puede realizarse siguiendo diferentes esquemas de principio.

Configuración con acumulación solar centralizada

Este esquema presenta las siguientes características principales:

- La captación de energía solar se realiza de forma colectiva, a través de un conjunto de captadores solares **(1)** situados en una zona soleada del edificio (normalmente en la cubierta).
 - La acumulación de la energía captada es también comunitaria y tiene lugar en uno o más acumuladores de agua caliente **(2)**. El agua de red se calienta en el depósito solar mediante un intercambiador de calor exterior de placas **(3)** o un intercambiador de calor incorporado en el acumulador.
 - El agua procedente del acumulador solar se distribuye hasta cada vivienda mediante una red de distribución de agua precalentada **(4)**. El circuito cuenta con un retorno **(5)** conectado al propio acumulador solar. La temperatura de suministro del agua a las viviendas será variable en el tiempo en función de la disponibilidad de energía solar y de las puntas de consumo.
 - La aportación de la energía de apoyo necesaria para alcanzar la temperatura de servicio tiene lugar en el interior de cada vivienda, mediante una caldera mixta o un calentador instantáneo **(6)**.



Con esta solución, el consumo de gas natural como energía de apoyo es individual y, por tanto, sus gastos son soportados directamente por cada usuario.

El consumo de agua caliente es, por el contrario, colectivo. Su coste puede repartirse entre los diferentes usuarios en función de su consumo real, medido con un contador de agua situado a la entrada de cada vivienda (7).

Configuración con acumulación solar individual

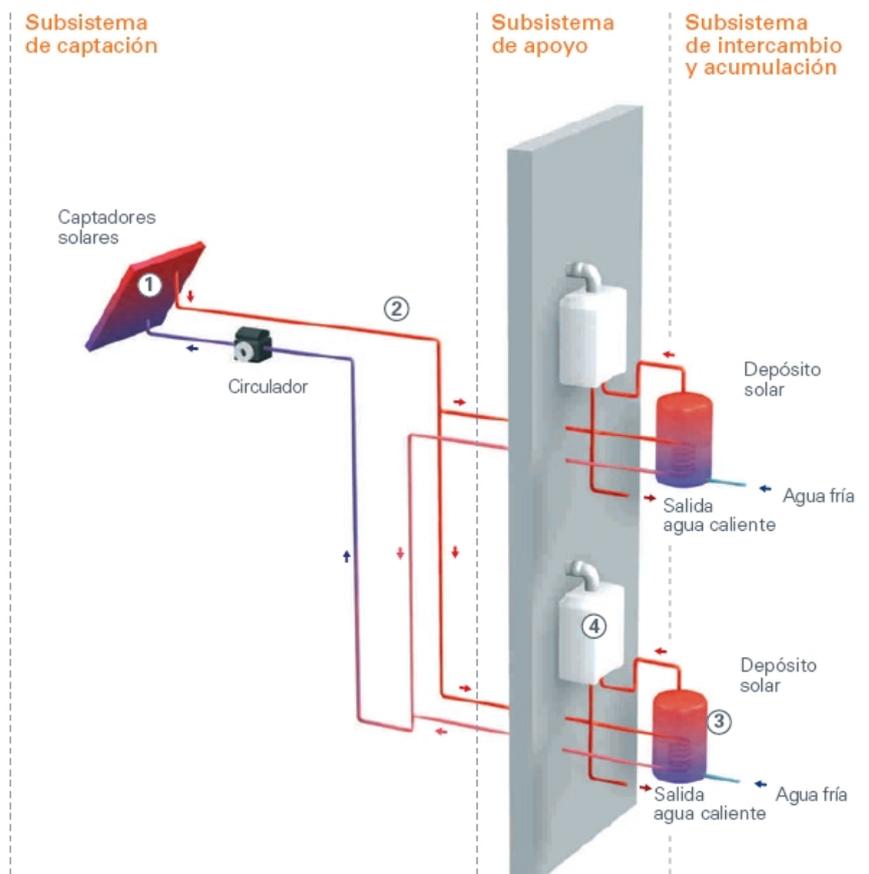
A diferencia con el caso anterior, en este esquema la acumulación de agua se realiza en unos acumuladores instalados en cada vivienda, a través de intercambiadores de calor conectados al circuito primario de captación solar.

Las características principales de este esquema se indican a continuación:

- Como en el caso anterior, la captación de energía solar se realiza de forma colectiva, a través de los captadores solares **(1)** situados en la cubierta del edificio.
- El circuito primario **(2)** de captación solar llega hasta cada vivienda y calienta los depósitos individuales de acumulación **(3)** a través de un intercambiador de calor incorporado a los mismos.
- El agua fría de red, calentada en el interior de los acumuladores individuales, se envía a la caldera mixta o el calentador mural **(4)** para recibir la energía adicional necesaria.

En este caso, el consumo de agua caliente de cada vivienda procede exclusivamente de su acometida particular y, por tanto, cada usuario responde directamente de su gasto ante la compañía distribuidora.

Obviamente, el consumo de gas natural en la caldera o calentador mural es también individual.

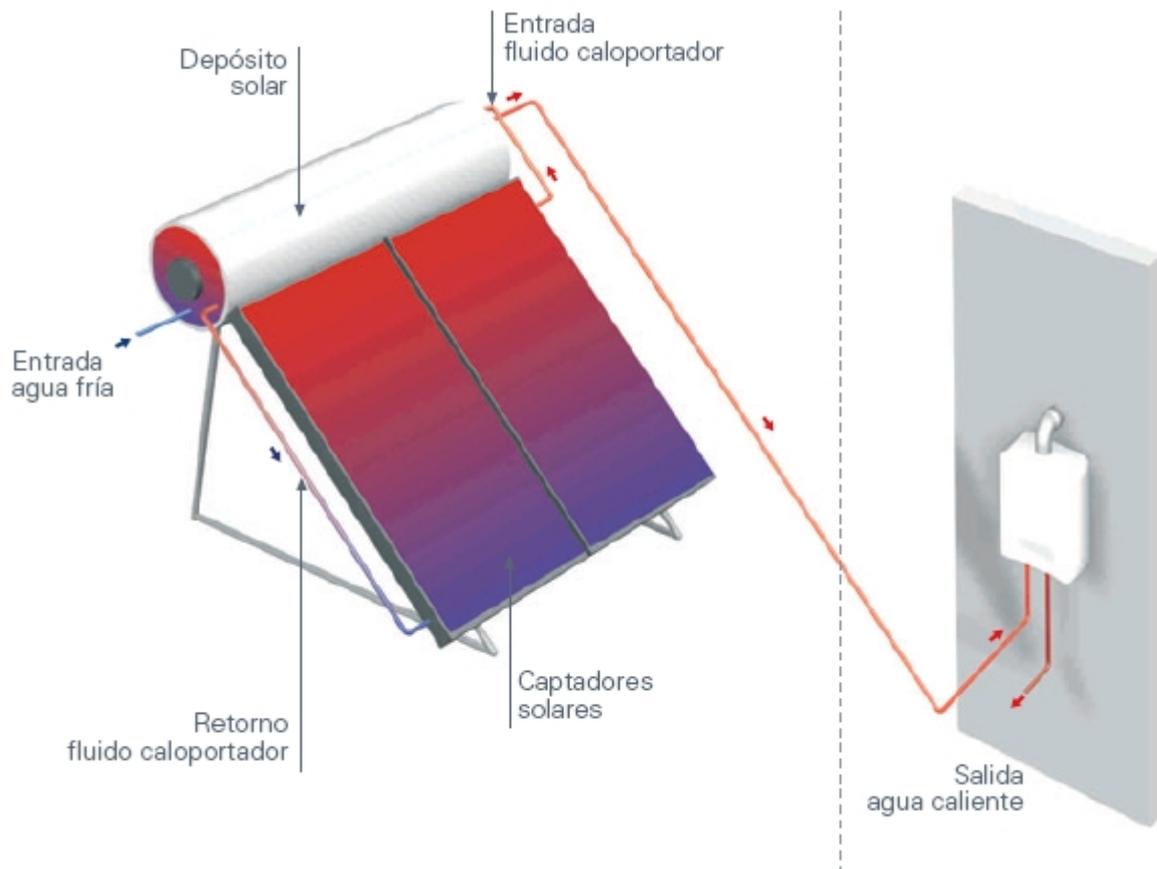


Sistemas termosifón

Otra variante de las instalaciones solares térmica es la utilización de equipos compactos prefabricados. Estos productos están especialmente diseñados para la producción de agua caliente sanitaria con energía solar en viviendas unifamiliares y otros edificios con unas necesidades de agua caliente similares.

Básicamente, estos equipos constan de:

- Uno, dos o tres captadores solares, generalmente del tipo plano
- Un depósito acumulador, con una capacidad comprendida entre 150 y 500 litros, en general, y provisto de un intercambiador de calor de doble envolvente



El acumulador se encuentra dispuesto horizontalmente y por encima de los captadores solares. Unas tuberías conectan el intercambiador de calor del acumulador con los captadores, formando un circuito cerrado lleno del fluido primario, compuesto de agua y anticongelante.

El agua de consumo se encuentra en el interior del acumulador, con la entrada del agua fría en la parte inferior y la salida del agua caliente por la parte superior.

Existen en el mercado algunos equipos prefabricados sin intercambiador de calor, llamados directos, en los que la propia agua de consumo es la que circula por los captadores solares. Estos modelos no permiten la utilización de anticongelante en el circuito de captación solar y sólo se pueden utilizar en zonas donde no exista riesgo de heladas. Además, las incrustaciones calcáreas del agua en el interior de los captadores pueden acortar su vida útil. En general, se recomienda la utilización de equipos compactos con intercambiador de calor o también llamados indirectos.

El funcionamiento del equipo prefabricado es muy simple, ya que no precisa de bomba de circulación ni elemento electrónico de regulación alguno. Cuando el Sol incide sobre los captadores calienta el fluido caloportador contenido en su interior que aumenta de temperatura y, en consecuencia, disminuye su densidad. Al ser menos denso, el fluido caliente tiende a subir hacia el intercambiador que rodea el acumulador, calentándolo y empujando el fluido más frío hacia los captadores. De este modo se establece una circulación natural por efecto termosifón entre los captadores y el intercambiador del depósito de acumulación que permite el calentamiento del agua acumulada. Por este motivo, a estos equipos se les suele conocer como equipos compactos termosifón.

La velocidad de circulación depende de la diferencia de temperatura entre la parte inferior del equipo, es decir, los captadores, y el acumulador situado en la parte superior. En consecuencia, cuanto mayor sea la radiación solar incidente mayor será la velocidad del fluido y mejor será la transferencia de calor al acumulador solar.

El funcionamiento de los equipos domésticos de funcionamiento por termosifón es muy fiable, ya que carecen de actuadores susceptibles de avería y, por su constitución compacta permite su verificación y ensayo completo en origen.

Estos equipos tienen además la ventaja de su fácil instalación, ya que sólo es necesario fijarlo en un lugar soleado, normalmente la cubierta de la vivienda y conectar las tuberías de agua caliente hasta la caldera mixta o calentador instantáneo y la fría a la red de suministro a la vivienda.

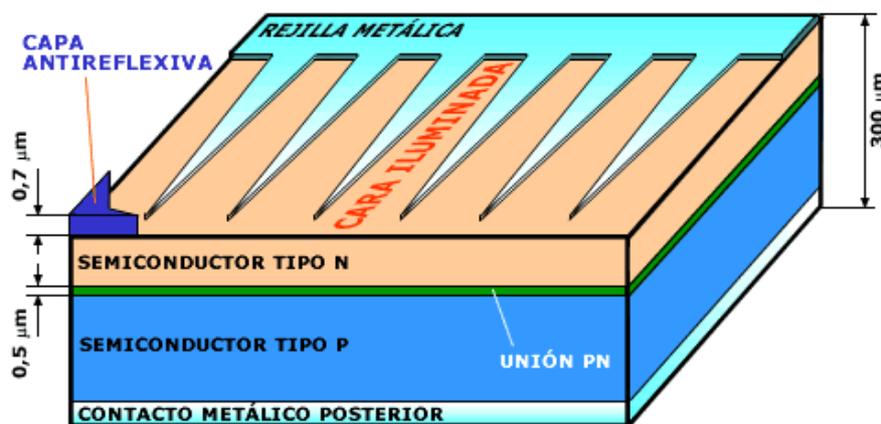
Uno de los principales inconvenientes de los equipos prefabricados es su efecto sobre la estética de la edificación, que en ocasiones puede ser determinante para rechazar esta opción, en beneficio de una solución a medida con acumulador solar separado. En el caso de situar el equipo en una cubierta inclinada, el acceso al depósito para la realización de tareas de mantenimiento puede ser complicado. Además, al estar situado el acumulador en el exterior, las pérdidas energéticas durante la noche en el invierno pueden ser significativas, principalmente en zonas de clima más frío.

Los equipos prefabricados existentes en el mercado pueden proporcionar servicio de agua caliente sanitaria a viviendas de hasta 8 personas. Del mismo modo que en las instalaciones a medida, la vivienda debe disponer de un equipo de apoyo que proporcione la energía necesaria para complementar la aportación solar hasta los niveles de confort requeridos.

ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

CÉLULA FOTOVOLTAICA

Una **célula solar** es un dispositivo capaz de convertir la energía proveniente de la radiación solar en energía eléctrica. La gran mayoría de las células solares que actualmente están disponibles comercialmente son de Silicio mono o policristalino. El primer tipo se encuentra más generalizado y aunque su proceso de elaboración es más complicado, suele presentar mejores resultados en cuanto a su eficiencia.



Por otra parte, la experimentación con materiales tales como el Telurio de Cadmio o el Diseleniuro de Indio-Cobre está llevando a las células fabricadas con estas sustancias a situaciones próximas ya a aplicaciones comerciales, contándose con las ventajas de poderse trabajar con tecnologías de láminas delgadas.

Cuando conectamos una célula solar a una carga y la célula está iluminada, se produce una diferencia de potencial en extremos de la carga y circula una corriente por ella (efecto fotovoltaico).

La corriente entregada a una carga por una célula solar es el resultado neto de dos componentes internas de corriente que se oponen. Estas son:

Corriente de iluminación: debida a la generación de portadores que produce la iluminación.

$$I_{ph} = I_L$$

Corriente de oscuridad: debida a la recombinación de portadores que produce el voltaje externo necesario para poder entregar energía a la carga.

$$I_D(V) = I_0 \left[\exp \frac{eV}{KT_c} - 1 \right]$$

Los fotones serán los que formaran, al romper el enlace, los pares electrón-hueco y, debido al campo eléctrico producido por la unión de materiales en la célula de tipo P y N, se separan antes de poder recombinarse formándose así la corriente eléctrica que circula por la célula y la carga aplicada.

Algunos fotones pueden no ser aprovechados para la creación de energía eléctrica por diferentes razones:

- Los fotones que tienen energía inferior al ancho de banda prohibida del semiconductor atraviesan el semiconductor sin ceder su energía para crear pares electrón-hueco.
- Aunque un fotón tenga una energía mayor o igual al ancho de banda prohibida puede no ser aprovechado ya que una célula no tiene la capacidad de absorberlos a todos.
- Además, los fotones pueden ser reflejados en la superficie de la célula.

$$I = I_L - I_0 \left[\exp \frac{e(V + IR_s)}{KT_c} - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_p}$$

También se puede expresar como:

$$I = I_{SC} \cdot \left(1 - e^{-\frac{e(V_{OC} - V)}{m \cdot K \cdot T}} \right)$$

PUNTO DE MAXIMA POTENCIA "PMP" (P_M): Es el producto del valor de tensión máxima (V_M) e intensidad máxima (I_M) para los que la potencia entregada a una carga es máxima.

FACTOR DE FORMA (FF): Se define como el cociente de potencia máxima que se puede entregar a una carga entre el producto de la tensión de circuito abierto y la intensidad de cortocircuito, es decir:

$$FF = \frac{I_M \cdot V_M}{V_{OC} \cdot I_{SC}}$$

EFICIENCIA DE CONVERSIÓN ENERGÉTICA O RENDIMIENTO: Se define como el cociente entre la máxima potencia eléctrica que se puede entregar a la carga (P_M) y la irradiancia incidente (P_L) sobre la célula que es el producto de la irradiancia incidente G por el área de la célula S :

$$\eta = \frac{P_M}{P_L} = \frac{I_M \cdot V_M}{P_L}$$

Dichos parámetros se obtienen en unas **condiciones estándar** de medida de uso universal según la norma EN61215.

Irradiancia: 1000W/m² (1 KW/m²)

Distribución espectral de la radiación incidente: AM1.5 (masa de aire)

Incidencia normal.

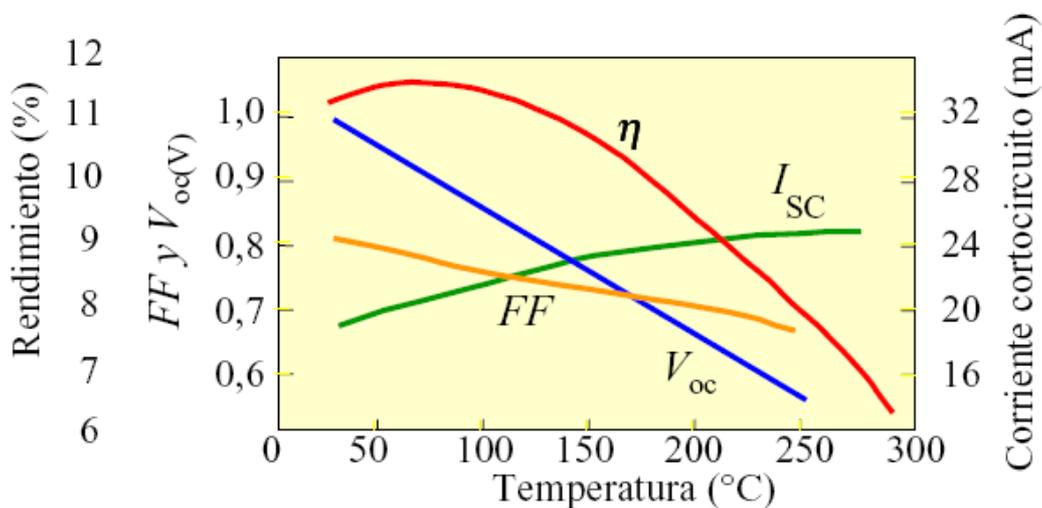
Temperatura de la célula: 25°C

Velocidad del viento: 1m/s

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LOS PARÁMETROS BÁSICOS DE UNA CÉLULA FOTOVOLTAICA

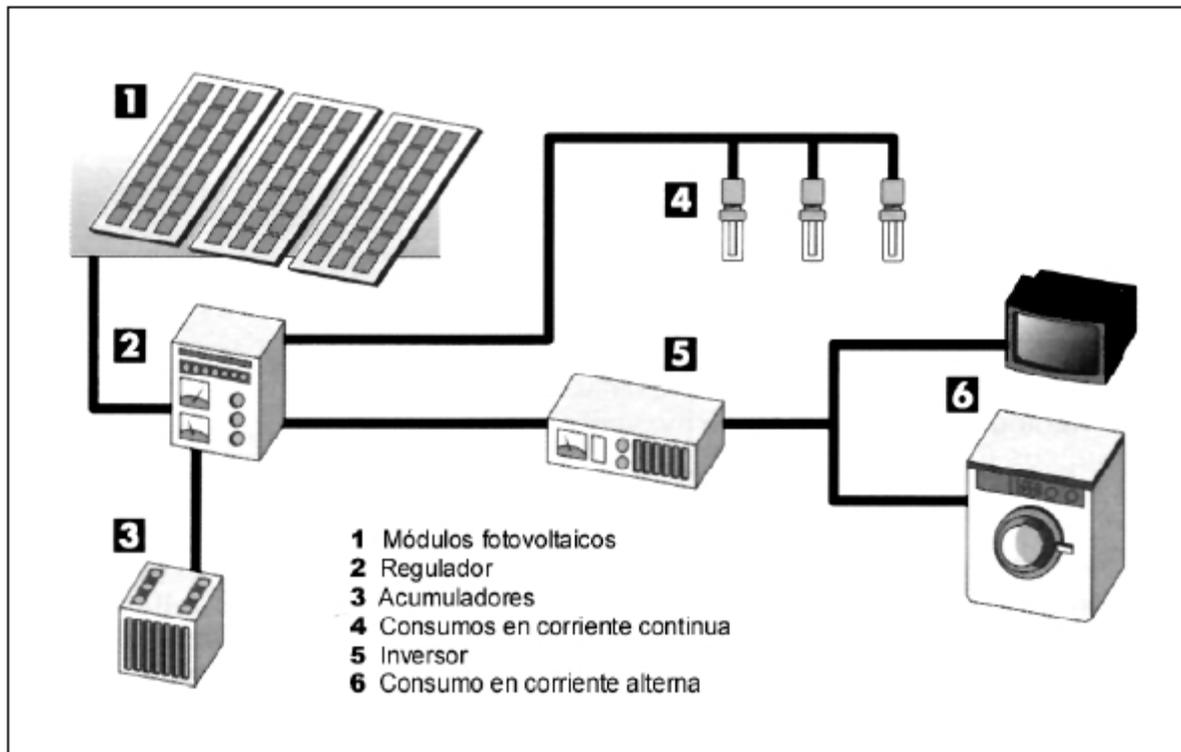
Al aumentar la temperatura de la célula empeora el funcionamiento de la misma:

- Aumenta ligeramente la Intensidad de cortocircuito.
- Disminuye la tensión de circuito abierto, aprox: -2.3 mV/°C
- El Factor de Forma disminuye.
- El rendimiento decrece.



COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

El siguiente esquema muestra de forma general los principales elementos que forman una instalación fotovoltaica:



LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

La potencia que proporciona una célula solar por si sola, es muy pequeña, como lo son también su rigidez y su resistencia. Es por este motivo que, para poder utilizar células solares en aplicaciones convencionales, es necesario interconectar varias y encapsularlas, para darles mayor manejabilidad y operatividad. Los módulos suelen ser de 36 células, conectadas en serie, ya que este número proporciona una tensión de salida de 12 voltios y permite la carga de los distintos tipos de acumulador comercial. En algunas aplicaciones, también se pueden conectar en paralelo.

CONEXIONADO DE PANELES

Las conexiones de módulos fotovoltaicos siguen, evidentemente, las reglas básicas de la electricidad. Se pueden conectar módulos fotovoltaicos en serie, en paralelo y combinando las anteriores por tal de conseguir sumar la potencia de los módulos conectados y a la vez adaptar el funcionamiento al voltaje del circuito de carga de batería.

CONEXIÓN EN SERIE

Este tipo de conexión se basa en conectar el terminal de un modulo con el negativo del siguiente, y así, sucesivamente hasta acabar la serie completa. Finalmente, la salida será entre el terminal positivo del último modulo conectado y el negativo del primero.

En la conexión en serie, la intensidad eléctrica que genera el modulo fotovoltaico tiene que atravesar al resto de módulos, de forma que el aumento de potencia se basa en mantener la intensidad que puede dar un modulo y la suma del voltaje se los módulos conectados. Normalmente, se hacen conexiones en serie para conseguir voltajes de 24 o 48 V, en instalaciones autónomas de electrificación y superiores, de 96 a 144 V, en instalaciones de conexión a red o alimentación de variadores de frecuencia para bombeos directos.

El voltaje de un modulo fotovoltaico, cuando funciona en el punto de máxima potencia, puede llegar a ser de 1,4 veces el voltaje nominal.

CONEXIÓN EN PARALELO

Este tipo de conexión se basa en conectar juntos los terminales positivos de todos los módulos y, de otro lado, todos los terminales negativos. Finalmente, la salida será entre el terminal positivo común y el negativo también común.

En la conexión en paralelo, la intensidad eléctrica que genera el modulo fotovoltaico se añade a la que generan los otros módulos, de forma que el aumento de potencia se basa en mantener el voltaje que puede dar un modulo y la suma de intensidades que generan los módulos conectados. Normalmente, se hacen conexiones en paralelo hasta conseguir

intensidades de 20 o 25 A, en instalaciones autónomas de electrificación y/o bombeo y superiores, en instalaciones de conexión a red de elevada potencia.

El aumento de intensidad produce un aumento de las pérdidas por el efecto Joule de forma cuadrática $P=R \cdot I^2$, hecho que obliga a montar conductores de mucha sección por tal de que puedan soportar intensidades elevadas.

SISTEMA DE ACUMULACIÓN

La principal función de un acumulador dentro de un sistema solar fotovoltaico, consiste en suministrar la energía demandada por la carga, independientemente de la producción eléctrica del generador FV en ese momento, lo que implica:

- Suministrar energía en periodos de baja o nula insolación, que pueden ser de horas, días o meses.
- Garantizar, junto con el regulador, una estabilidad de la tensión de funcionamiento de la instalación.

En general, y dependiendo de la aplicación, los acumuladores pueden funcionar de tres modos distintos:

- Acumuladores de ciclo diario superficial.
- Acumuladores de ciclo diario profundo.
- Acumuladores de ciclo anual.

Los acumuladores de ciclo diario superficial deben abastecer el consumo diario en horas sin insolación y garantizar un número determinado de días de autonomía. La descarga típica diaria se encuentra entre el 10% y el 15% de su capacidad y, esporádicamente, pueden descargarse a valores más profundos (40-50%), por ejemplo, en periodos nublados.

Para el caso de acumuladores de ciclo diario profundo, las descargas pueden llegar hasta el 80% de su capacidad, fijando su descarga media en un 20%- 25% diario.

Por último, en los acumuladores que funcionan en modo de ciclo anual, el estado de carga medio decrece, lentamente, desde el periodo de producción favorable (verano), al periodo de baja producción (invierno). Han de suministrar energía durante los meses sin insolación, debiendo permanecer durante largas temporadas en estado de baja carga.

Términos operacionales más usuales:

- **Carga/descarga:** Son procesos de conversión de energía. eléctrica en química (carga), o de energía química en eléctrica (descarga), por el paso de corriente.

- **Capacidad:** Es la cantidad de electricidad que puede obtenerse durante una descarga completa del acumulador plenamente cargado. Se mide en amperios-hora para un determinado tiempo de descarga.

Capacidad nominal: Capacidad asignada por el fabricante para una batería nueva y para ciertas condiciones de operación.

Capacidad disponible: Capacidad obtenida en función de un conjunto de condiciones de operación como régimen de descarga, temperatura, estado de carga inicial y voltaje final de descarga.

Capacidad energética: Número total de watios-hora que pueden ser extraídos de una batería plenamente cargada.

- **Régimen de carga/descarga:** Es la corriente aplicada a la batería para restablecer/extraer la capacidad disponible. Este régimen está, generalmente, normalizado para la capacidad de la batería. Por ejemplo, el régimen de descarga de 10 horas de una batería de 300 Ah es:

Capacidad nominal/Tiempo de descarga = $300\text{Ah}/10\text{h} = 30\text{ A}$ (régimen C/10).

- **Profundidad de descarga:** Son los amperios-hora extraídos de una batería plenamente cargada, expresada como un porcentaje de la capacidad nominal.

- **Voltaje de corte:** Voltaje para el cual se finaliza la descarga de la batería. Es función del régimen de descarga y del tipo y modelo de cada batería.

- **Estado de carga:** La capacidad disponible en una batería expresada como un porcentaje de la capacidad nominal.

- **Ciclo:** Secuencia de carga/descarga para una profundidad y régimen de descarga determinados.

- **Ciclo de vida:** Número de ciclos que una batería puede soportar bajo determinadas condiciones.

Vida: Periodo durante el cual una batería es capaz de operar para determinadas condiciones, manteniendo la capacidad y el nivel de rendimiento.

- **Rendimiento energético (Wh):** Es la relación entre la energía extraída de la batería durante la descarga y la energía total requerida para restablecer el estado inicial de carga.

- **Densidad de energía:** Relación entre la energía disponible (nominal) de una batería y su peso (incluyendo todos sus componentes: electrodos, electrolito, separadores, rejilla, etc.) o volumen.

- **Densidad de potencia:** Relación entre la potencia disponible (nominal) de la batería y su peso o volumen.

- **Autodescarga:** Es la pérdida de capacidad de una batería cuando ésta se encuentra en circuito abierto. Tiene su origen en reacciones químicas internas de descarga.

Todo y que hay acumuladores de diferentes tecnologías, como las baterías alcalinas de Niquel-Cadmi, los acumuladores que se hacen servir en energía solar son en un 99% del tipo plomo-ácido, es decir que están formados por unos electrodos (placas) de plomo como material básico, inmersos en una solución electrolítica (agua con ácido sulfúrico).

Las operaciones de mantenimiento de una batería

El mantenimiento preventivo en pequeñas instalaciones pasa principalmente por tener cuidado de la batería.

- Rellenarla con agua destilada para restituir las pérdidas por vaporización y electrólisis (en caso de no tener agua destilada, se puede hacer servir agua de lluvia recogida en recipientes limpios). Hay que tener cuidado de no llenarla demasiado ya que la podríamos hacer rebosar y perder materia activa.

- Verificar los bornes de la batería y las conexiones. Eliminar los restos de óxidos y de sales. Proteger las conexiones con vaselina neutra y collarlas fuerte.

Las operaciones que hay que evitar en el mantenimiento y funcionamiento de una batería

- Descargarla por debajo del 20% de la capacidad absoluta que tenga.
- Dejar el nivel de electrolito por debajo del nivel de cubierta de las placas de plomo.
- Hacer la conexión directa a módulos sin pasar por un regulador de carga.
- Tocar el electrolito con las manos.
- Rellenar las baterías con ácido.
- Conectar baterías diferentes en serie o en paralelo.
- Cambiar la moralidad de la conexión.
- Manipular la batería solar con herramientas no protegidas.
- Hacer servir la batería solar como elemento de arrancada de vehículos.
- Añadir agua de consumo a la batería.
- La proximidad de llamas (bufadores, cigarrros, etc.).

REGULADOR

El regulador es un controlador de carga de la batería. Este sistema es imprescindible para obtener un buen funcionamiento y durabilidad del sistema fotovoltaico, excepto en los casos en que usemos paneles autorregulados, los cuales llevan incorporado ya un regulador.

El regulador no es más que un interruptor-conmutador automático que dirige energía a las baterías cuando éstas están descargadas, y corta el suministro cuando se encuentran totalmente cargadas, para evitar procesos de gaseo. Además, corta el suministro de corriente si las baterías están muy descargadas, para evitar que se sobredescarguen. Para alertar de ello, existen reguladores que llevan incorporada una alarma acústica y luminosa de advertencia. Si la instalación no es desconectada en ese momento por el usuario, el sistema procederá a la desconexión automática.

INVERSOR

El inversor se encarga de adaptar la corriente continua a 12V que produce la instalación a corriente de red, para que los dispositivos que funcionan con corriente alterna puedan ser alimentados correctamente. Los inversores utilizados actualmente en aplicaciones fotovoltaicas se pueden dividir en dos categorías: autoconmutados y conmutados por red. Los inversores autoconmutados pueden funcionar como fuente de tensión y fuente de corriente, mientras que los conmutados por la red sólo como fuente de corriente. Por ello, los autoconmutados se pueden utilizar en aplicaciones aisladas de red y conectadas a red, y los conmutados por red, como su nombre indica, sólo pueden utilizarse conectados a ella.

Los inversores autoconmutados pueden operar independientemente, siendo activados, únicamente, por una fuente de potencia a la entrada (fotovoltaica, batería, rectificador, etc). Pueden alimentar cargas en fuente de tensión, así es que aunque varíe la carga, la tensión no varía; y en fuente de corriente, fijando la corriente aunque se varíe la carga.

Los inversores conmutados por red pueden funcionar sólo cuando la tensión alterna de la red está presente. En realidad, son puentes rectificadores (convertidores CA/CC) basados

en tiristores, en los cuales, disparando con ángulos entre 90° y 180° , se consigue que el flujo de potencia vaya desde la fuente en continua a la red eléctrica, y funcionen, por tanto, como inversores.

La eficiencia de todos los inversores se ve afectada no sólo por las pérdidas producidas en la conmutación, sino también por las pérdidas debidas a elementos pasivos, como son los transformadores, filtros, bancos de condensadores etc. Así, la eficiencia de la conversión del sistema completo, el cual incluye filtros de entrada, dispositivos de conmutación, filtros de salida y transformador, es más apropiada que únicamente la eficiencia del inversor. Si se está comparando la eficiencia de inversores basados en tiristores e IGBT, se deberá evaluar la calidad de la señal de salida (armónicos y factor de potencia), para una eficiencia dada. Los inversores fuente de tensión, generalmente, tienen una eficiencia a plena carga de entre el 90 y 94% para sistemas de baja tensión de entrada (220 V), y de 90 a 95% para sistemas con alta tensión continua de entrada (> 400 V).

CONCLUSIÓN

Con la realización de este proyecto hemos intentado brindar soluciones a problemas habituales que toca vivir en esta región del planeta en la que se encuentra la comuna de Hombori, realizando nuestro mejor esfuerzo y comprometiéndonos con esta gente para dar herramientas a problemas realmente necesarios y trascendentes.

Creemos que la aplicación de las energías renovables para el suministro energético en este contexto se puede considerar como una tecnología apropiada para el problema que se pretende resolver

Al inicio del proyecto, se desarrolló el concepto de tecnología apropiada. Consideramos que la solución propuesta aporta las soluciones necesarias cumpliendo con los requisitos de una tecnología apropiada:

- Respeto a las tradiciones locales puesto que la utilización de la energía solar no interfiere ni con la idiosincrasia de la comunidad, ni con los modos de trabajo ni con ningún tipo de creencia o tradición.
- Sostenibilidad medioambiental. La utilización de este recurso permite el desarrollo de una solución respetuosa con el medio ambiente y a los recursos naturales.
- Sostenibilidad social: Se ha desarrollado el proyecto con los criterios de diseño que más faciliten la capacidad de mantener la tecnología por parte de la comunidad receptora.
 - Tecnología lo más simplificada posible
 - Equipos y materiales disponibles en el lugar de aplicación
- Tanto en el momento de la instalación como para el posterior mantenimiento se va a fomentar de las capacidades endógenas de las comunidades, a través de la participación en todas las fases de la aplicación de la tecnología y sobre todo mediante la formación de los interesados.
- La solución propuesta va a permitir una mejora de los servicios

prestados a los beneficiarios de la comuna.

Si es cierto para considerar una tecnología como apropiada es necesario un estudio exhaustivo del contexto tanto ambiental como social y económico. Las tecnologías con energías renovables suelen ser la mejor solución para el suministro energético en zonas rurales aisladas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] MITJÀ, A. Energía Solar Fotovoltaica: Curso De Formación. Ed. S. L. Intiam Ruai; ICAEN, Institut Català d'Energia. 2002.
- [2] ALCOR CABRERIZO E. Instalaciones solares fotovoltaicas. Año 2003
- [3] ALONSO ABELLA M. Sistemas fotovoltaicos: Introducción al diseño y dimensionado de instalaciones de energía solar fotovoltaica., Primera Edición 2001, S.A.P.T. Publicaciones Técnicas S.L.
- [4] CASTRO M., CARPIO J., GUIRADO, A. COLMENAR, L. DÁVILA, Energía solar fotovoltaica. Primera Edición, noviembre de 2000, PROGNSA.
- [5] MINGUELLA, J.A., TORRENS, M^a C. Energía Solar. Manual de instalaciones térmicas. Barcelona, Editorial CEYSA. 1^a edición, 1982.
- [6] FERNANDEZ, J.M., GALLARDO, V. Energía Solar Térmica en la Edificación. Madrid: AMV Ediciones. 1^a edición, 2004.
- [7] CENSOLAR, Centro de estudios de la energía solar. Instalaciones de energía solar. Sistemas de aprovechamiento térmico I. Sevilla, Editorial PROGNSA. 3^a edición, 1992.
- [8] CENSOLAR, Centro de estudios de la energía solar. Instalaciones de energía solar. Sistemas de aprovechamiento térmico II. Sevilla, Editorial PROGNSA. 3^a edición, 1992.
- [9] CENSOLAR, Centro de estudios de la energía solar. Instalaciones de energía solar. Energética Solar. Sevilla, Editorial PROGNSA. 3^a edición, 1992.
- [10] MITJÀ, A., N. REOL , and P. SÓRIA. Energia solar tèrmica. Quadern pràctic per a instal·ladors. Generalitat de Catalunya. Departament de Treball, Indústria, Comerç i Turisme. ICAEN, Institut Català d'Energia ed. 2003.
- [11] Ajuntament de Barcelona. Ordenança sobre la incorporació de sistemes de captació d'energia solar a edificis. Barcelona, 1999.
- [12] CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN, DB-HE: Ahorro de energía.
- [13] Reglamento de Instalaciones Térmicas en los edificios (RITE) y les seves instruccions complementàries (ITE). Real Decreto 1751/1998 del 31 de juliol.
- [14] A. PÉREZ FOGUET, M. MORALES LOBO, A. SAZ CARRANZA, Introducción para la cooperación al desarrollo para las ingenierías. Primera edición: Febrero 2005

WEBS CONSULTADAS

INSTITUT CATALÀ D'ENERGIA.

[<http://www.icaen.es>]MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO. INSTITUTO PARA LA
DIVERSIFICACIÓN Y EL AHORRO DE LA ENERGÍA, IDAE.[<http://www.idae.es>][<http://www.censolar.es>][<http://www.energias-renovables.com>][<http://www.energiasrenovables.ciemat.es>]

MAPAS INTERACTIVOS DE RADIACIÓN SOLAR (PVGIS)

[<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/imaps/index.htm>]

Ibersolar

[<http://www.ibernsolar.es>]

Bombas hidráulicas

[<http://www.grundfos.com>]