

Proyecto de cooperación con CCONG en la región de Hombori (Mali):

Uso de las energías renovables para la mejora integral del aprovechamiento hídrico en la provincia de Hombori (Mali)

Autores: Raquel Ruiz, Angelo Zinni

Tutor: Xavier Villasevil

Fecha: 8 de Octubre de 2008

Resumen: El proyecto tiene como objeto el estudio, para su posterior implementación en cooperación con la organización CCONG, de distintos sistemas basados en el uso de las energías renovables que permitan satisfacer las necesidades de agua (tanto para la población como la agricultura) del poblado de Kantakine en el municipio de Hombori (Mali). Los sistemas analizados son bombeo de agua mediante energía solar fotovoltaica, distintos tratamientos del agua extraída para consumo de la población local mediante el uso de energía solar fotovoltaica y térmica, almacenaje, transporte y distribución de ésta, además de un sistema de regadío que permita aplicar nuevas técnicas de cultivo para mejorar la productividad. Tras haber llevado a cabo un exhaustivo estudio de la zona se llega a la conclusión de que la mejor solución a aplicar es un sistema de bombeo indirecto con solar fotovoltaica, para la extracción; filtrado del agua con arena y posterior tratamiento con luz ultravioleta, sistema éste que funcionará haciendo uso de un dispositivo fotovoltaico; almacenamiento en un tanque en altura, y transporte y distribución por gravedad a través de tuberías de PVC que acerquen lo máximo posible el agua a la población, teniendo en cuenta que se deberá salvar una distancia de aproximadamente 1 km y 200 m de desnivel entre el pozo más cercano y el centro del poblado. Finalmente, y debido a las características de los cultivos de la zona (principalmente el mijo) y la forma de explotación de estos (en pequeñas terrazas) como sistema de regadío se ha optado por la inundación. Debido a las dificultades tanto técnicas como económicas para la implementación de estos sistemas, se ha propuesto como medida preventiva y temporal, el tratamiento de agua mediante energía solar térmica (SODIS) que se puede aplicar de forma sencilla hasta la ejecución del proyecto. Para terminar, hacer hincapié en que el éxito de la implantación está estrechamente ligado a un proceso de sensibilización y formación adecuadas de la población local y evitar en la medida de lo posible la dependencia de recursos humanos o tecnológicos externos.

Índice

Proyecto de cooperación con CCONG en la región de Hombori (Mali):.....	1
Uso de las energías renovables para la mejora integral del aprovechamiento hídrico en la provincia de Hombori (Mali).....	1
Índice.....	2
1 PRÓLOGO.....	4
2 RESUMEN.....	6
2.1 Introducción.....	6
2.2 Objetivos.....	7
2.3 Estudio de la zona.....	7
2.4 Sistema de bombeo de agua solar fotovoltaico.....	8
2.5 Transporte y almacenamiento del agua.....	9
2.6 Distribución del agua y sistema de riego.....	10
2.7 Tratamiento del agua.....	10
2.8 Sensibilización y formación.....	11
2.9 Conclusiones.....	11
3 ESTUDIO DE LA ZONA.....	12
3.1 HOMBORI.....	12
3.1.1 Situación geográfica.....	12
3.1.2 Características físicas.....	14
3.1.3 Características demográficas y sociales.....	24
3.1.4 Situación socio - económica.....	26
3.1.5 Política medioambiental.....	32
3.2 KANTAKINE.....	34
3.2.1 Situación geográfica.....	34
3.2.2 Demografía.....	35
3.2.3 Climatología.....	36
3.2.4 Recursos hidrológicos.....	36
3.2.5 Recursos forestales.....	36
3.2.6 Agricultura.....	36
3.2.7 Ganadería.....	37
4 BOMBEO SOLAR FOTOVOLTAICO.....	38
4.1 Cálculo de la energía necesaria.....	38
4.2 Selección de la bomba, inversor, regulador y baterías del sistema.....	39
4.3 Dimensionado del campo fotovoltaico.....	41
4.4 Dimensionado del banco de baterías y de todos los elementos de conexión, cableado y protección.....	45

<u>Las baterías son los elementos que almacenan la energía eléctrica para proporcionarla cuando haga falta. Para dimensionar el banco de baterías tenemos que tener en cuenta varios factores como:</u>	<u>45</u>
<u>4.5 Esquema unifilar de la instalación</u>	<u>48</u>
<u>5 TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DEL AGUA</u>	<u>49</u>
<u>5.1 Transporte</u>	<u>49</u>
<u>5.2 Almacenamiento</u>	<u>49</u>
<u>6 DISTRIBUCIÓN DEL AGUA Y SISTEMA DE RIEGO</u>	<u>51</u>
<u>7 TRATAMIENTO DEL AGUA</u>	<u>53</u>
<u>7.1 Introducción</u>	<u>53</u>
<u>7.2 Consideraciones sobre la desinfección</u>	<u>54</u>
<u>7.3 Métodos y tecnologías de desinfección del agua</u>	<u>56</u>
<u>7.3.1 Desinfección solar. Método SODIS</u>	<u>57</u>
<u>7.3.2 Desinfección con UV</u>	<u>68</u>
<u>7.4 Sistema seleccionado de filtrado y desinfección</u>	<u>74</u>
<u>7.4.1 Etapa 1. Filtrado</u>	<u>75</u>
<u>7.4.2 Etapa 2. Destilación solar</u>	<u>75</u>
<u>7.4.3 Filtro de arena</u>	<u>76</u>
<u>7.4.4 Desinfección con sistema de lámpara de rayos UV alimentada mediante energía solar FV</u>	<u>79</u>
<u>8 SENSIBILIZACIÓN Y FORMACIÓN</u>	<u>84</u>
<u>9 CONCLUSIONES</u>	<u>86</u>

1 PRÓLOGO

¿Cómo nace nuestro proyecto?

La vida a menudo pasa a través de una serie de acontecimientos más o menos afortunados, situaciones buscadas o casuales y encuentros que a veces te cambian o que simplemente dejan salir a la luz aspectos de tu personalidad que por miedo o por alguna extraña razón se han quedado dentro de ti.

El destino quiso que en la misma aula de Master se encontrasen un alemán, un andorrano, una andaluza, un argentino, un asturiano y un italiano con diferentes orígenes, personalidades, capacidades, objetivos y que, a pesar de estos obstáculos aparentes, estas personas se unieran para llevar a cabo un proyecto de cooperación internacional en un país, Mali, que cualquiera hubiera tenido más que una dificultad a encontrar en un mapa.

Todo empezó en una noche de Enero delante de una cerveza cuando nos planteamos la posibilidad de hacer algo juntos aprovechando la heterogeneidad de nuestras formaciones y procedencias. La idea en principio iba más allá del Master, se hablaba de encontrar la forma de trabajar juntos, de como podíamos aunar esfuerzos y disfrutar trabajando en algo que nos gustara. Entonces fue cuando pensamos en darnos una estructura de empresa y aprovechar este trabajo de cara al proyecto del Master (optimización de esfuerzos).

En un segundo momento la parte menos ingenieril y más soñadora del grupo nos hizo dar un cambio sustancial a la idea de base: decidimos aplicar nuestras experiencias y nuestros conocimientos para promover el uso de las energías renovables en países en vías de desarrollo con la múltiple finalidad de ayudar a quien más lo necesita, de enfrentarnos a todo tipo de dificultades de tipo técnico, logístico y financiero y de tener la oportunidad y el privilegio de realizar el proyecto.

Empezamos entonces a buscar informaciones de todo tipo, ONGs, fondos de

financiación, contactos potencialmente útiles, y todo sin ningún tipo de organización: el caos total. Y como *"errare è umano però perseverare è diabolico"* (equivocarse es humano, perseverar es diabólico) nos dimos cuenta de que ya era hora de que nos organizáramos. Entonces definimos una estructura con tareas y responsabilidades para cada uno y creamos una herramienta informática para centralizar toda la información recopilada: un espacio virtual en línea para compartir informaciones, ficheros y discusiones y para gestionar las citas entre nosotros y, más tarde, con toda la gente que empezó a llamarnos. Producimos documentación de uso interno como bases de datos para recopilar las informaciones de todas las ONGs y todos los fondos de financiación que fuimos encontrando. La base de datos de ONGs nos sirvió para filtrar, entre las miles asociaciones presentes en España, las que potencialmente hubieran podido necesitar nuestro apoyo. Entonces empezamos a producir documentación de uso externo para promover nuestras ideas, un tríptico digno de la mejor empresa de marketing y una memoria descriptiva de todas las tecnologías aplicables en países en vías de desarrollo. Abrimos una cuenta de correo (<mailto:cooperacionrenovables@gmail.com>) y empezamos a enviar tríptico y memoria a todas las ONGs anteriormente seleccionadas. Con gran alegría y tal vez sorpresa empezaron a llegar muchas respuestas positivas, también desde el otro lado del océano.

Nos encontramos entonces en una situación que no habíamos previsto, tener que elegir entre una asociación y otra, entre un proyecto y otro hasta que conocimos al señor Rafael Jarrod Franco, presidente de CCONG y de la agrupación de medianas y pequeñas ONGs de España entre otras cosas. Su entusiasmo para el proyecto nos contagió y nos sentimos cómodos con él también por tenerlo cerca de Barcelona, cosa importante sobre todo por ser nuestra primera experiencia en este campo. Nos habló de diferentes proyectos entre Mali, Perú y Asia y al final decidimos empezar con un proyecto piloto en Mali en la comuna de Hombori que es donde vimos las mayores necesidades. Decidimos entonces centrarnos en tres macro proyectos, uno sobre la mejora del aprovechamiento del recurso hídrico, otro sobre el aprovechamiento de la biomasa y otro sobre la mejora integral de estructuras públicas como escuelas y hospitales. Llevamos mucho tiempo hablando, a veces discutiendo sobre cómo hacer el qué y finalmente llegó el momento de mirar con nuestros ojos y de tocar con nuestras manos la realidad de África. Después de varias vacunas llegó el momento, no para todos, de subirse al avión con destino a Mali. Un viaje que ha sido sólo el primero de lo que esperamos sea una larga serie que nos lleve hasta poner en práctica los proyectos que en estas páginas hemos tratado.

Hemos recorrido mucho camino y mucho más nos espera.

2 RESUMEN

2.1 Introducción

El proyecto tiene como objeto el estudio, para su posterior implementación en cooperación con la organización CCONG, de distintos sistemas basados en el uso de las energías renovables que permitan satisfacer las necesidades de agua (tanto para la población como la agricultura) del poblado de Kantakine en el municipio de Hombori (Mali).

El poblado de Kantakine, situado en una de las montañas de los alrededores de la ciudad de Hombori, tiene grandes dificultades de acceso al agua ya que el pozo del que se abastece se encuentra a más de un km en cuanto a distancia horizontal, aunque lo que más dificulta su aprovechamiento es el desnivel a superar, unos 170 m de escarpados y, a veces, peligrosos caminos que, como es habitual en África, son las mujeres y los niños quienes recorren a pie para satisfacer las necesidades de agua de todo el poblado.

Sin embargo, lo que realmente es un gran problema a salvar es la dependencia de los cultivos de las lluvias que anualmente sólo caen entre julio y septiembre. Su escasez o abundancia podría ser determinante para la cosecha y con ello para la alimentación de la población.

Debido a todas estas consideraciones y siempre pensando en la mejor solución para la situación social, económica y cultural concreta y tan especial de la zona, se planteó la posibilidad de construir un sistema continuo de abastecimiento hídrico formado por los siguientes elementos:

- Sistema de bombeo solar fotovoltaico
- Cañería para el transporte del agua
- Tanque de almacenamiento
- Sistema de filtrado
- Sistema de desinfección para agua de consumo humano
- Sistema de distribución para agua de riego

Se tendrá siempre en cuenta que cada uno de estos sistemas y la implantación de los mismos deberán ir unidos a un proceso de sensibilización y formación de la población local para así asegurar el éxito.

2.2 Objetivos

Los objetivos principales del proyecto son los siguientes:

1. Satisfacer la demanda de agua para la población y el desarrollo de la agricultura
2. Estudiar y aplicar los posibles sistemas de distribución del agua
3. Formar a la población local en el uso y correcto mantenimiento de las instalaciones

A partir de estos objetivos principales, surgen una serie de objetivos particulares a alcanzar:

- Diseñar e implantar un sistema de bombeo solar fotovoltaico capaz de satisfacer las necesidades específicas de abastecimiento de la población
- Diseñar e implantar un sistema de almacenamiento y transporte de agua extraída
- Analizar las distintas posibilidades de tratamiento del agua, proceso que constará en todo caso de las siguientes fases principales:
 - sistema de filtrado
 - sistema de desinfección para agua de consumo humano
- Analizar los distintos sistemas de distribución para agua de riego que se pueden aplicar al tipo de cultivo y características específicas de la zona
- Valoración socio-económica de las distintas alternativas y elección siempre de la que más adecuada
- Establecer un plan de sensibilización y formación de la población local

Y todo siempre con el fin de cooperar al desarrollo de la zona a través de la mejora del acceso a algo tan básico como es el agua.

2.3 Estudio de la zona

Antes de llevar a cabo un análisis de las distintas posibilidades que se pueden plantear, lo más importante es hacer un estudio de la zona y sus necesidades.

Kantakine, es una pequeña población situada en una de las montañas de los alrededores de la ciudad de Hombori. Debido a su situación geográfica particularmente aislada de las poblaciones de la llanura y de difícil acceso, tiene grandes dificultades para abastecerse de agua ya que sólo disponen de una pequeña laguna o embalse con agua de lluvia que se seca tras la época de lluvias (de julio a septiembre) y el pozo del que se nutre se encuentra en la llanura, próximo a la carretera nacional que pasa por la ciudad de Hombori, a más de un km en cuanto a distancia horizontal, y una diferencia en altura de unos 170 m, lo que hace que superar este desnivel sea la máxima dificultad para su aprovechamiento.

Teniendo en cuenta que, como es habitual en África, son las mujeres y los niños los que principalmente recorren a pie estas distancias para satisfacer las necesidades de agua de todo el poblado, se considera primordial el desarrollo de un sistema sostenible de extracción, transporte y distribución de agua.

Además se presenta como algo imprescindible para el desarrollo de estos pueblos, el implantar un sistema de tratamiento de este agua para su consumo por la población de forma que conlleve el mínimo riesgo posible. Al igual que ocurre en el resto de zonas rurales del país, la tasa de alfabetización es muy baja, por lo que el principal trabajo para que el proyecto tenga éxito, estará centrado en la sensibilización de la población ante esta necesidad.

La subsistencia de la población depende principalmente de la agricultura, siendo los principales cultivos el mijo, el sorgo, el cacahuete, el dah y el wandzou, éste último utilizado principalmente para la alimentación del ganado (cabras, gallinas, pequeños burros de carga y alguna vaca).

Las variaciones de **temperatura** son importantes, pudiendo alcanzar a menudo más de 45°C a la sombra en abril y mayo. El **clima** es árido con una temporada seca larga desde finales de septiembre hasta junio y una temporada lluviosa aleatoria que va de julio a septiembre, siendo la media anual **pluviométrica** de alrededor de 200 mm, la intensidad media de la **radiación solar**, 2,5 kJ/cm²/día con una oscilación débil y temporal.

2.4 Sistema de bombeo de agua solar fotovoltaico

A partir de los datos geográficos y de la energía potencial a superar podrá determinarse el sistema fotovoltaico más adecuado.

Las dos posibles alternativas son las siguientes:

Bombeo solar directo. Sistema muy sencillo compuesto por los módulos solares que sean necesarios, una bomba sumergible en continua y una caja de conexiones. Este tipo de sistema tiene la ventaja de ser muy sencillo siendo capaz de bombear cada vez que haya sol y pudiendo integrar un interruptor de nivel para el apagado automático de la bomba cuando el depósito esté lleno. La desventaja que tiene es que sólo puede bombear hasta 115 m de altura.

Bombeo solar indirecto. Básicamente se trata de un sistema fotovoltaico autónomo compuesto por los módulos que sean necesarios, un regulador de carga, una o más baterías, un inversor DC/AC y una bomba, sumergible o no, tradicional. La gran desventaja que tiene es justamente el hecho de estar compuesto de muchos elementos, cada uno con los problemas que podría tener en un ambiente tan difícil, y también los costes más elevados que esta instalación supondría.

En el caso de estudio, el desnivel a salvar es mayor de 115 m, por lo que se descarta el uso de la primera alternativa. De esta forma, pensemos cómo podemos mejorar esta segunda alternativa. Podemos plantear, por un lado, una forma de ahorrar sobre la instalación sería usar baterías con capacidad limitada y que simplemente tengan la función de "pulmón" de carga para el inversor, simulando de esta forma un bombeo solar directo. Por otro lado, para evitar que el inversor (parte más delicada de la instalación por problemas de temperatura) se sobrecaliente durante el día se podría dejar el sistema almacenar energía en las baterías durante el día para luego bombear durante la noche el tiempo que se decida.

2.5 Transporte y almacenamiento del agua

El **transporte** del agua desde el pozo hasta el depósito se realizará mediante tubería, posiblemente en PVC por costes, aunque realmente el cobre o el aluminio serían las mejores opciones por tema de desgaste que podrían sufrir los materiales plásticos al estar expuestos a todo agente atmosférico.

El **almacenamiento** del agua se realizará posiblemente en un depósito en altura y que se puede adquirir en la zona. Se pensó también, en un principio, utilizar el antiguo sistema del aljibe pero realmente parece más útil para recuperar el agua de lluvia por estar bajo tierra; podría plantearse también este sistema como complemento al citado anteriormente para aprovechar la lluvia que cae durante la época lluviosa como alternativa a los pequeños embalses descubiertos existentes actualmente. El aljibe podría ser viable debido a la gran presencia de arcilla en la zona que podría utilizarse como revestimiento natural.

2.6 Distribución del agua y sistema de riego

En cuanto a la distribución, la aplicación más importante sería no tanto para el uso humano sino para el riego.

La forma de cultivo que se lleva a cabo en la zona es el cultivo en terrazas de modo que, aprovechando la energía potencial del agua en el depósito en altura, no sería complicado hacer llegar el agua hasta los cultivos mediante tubería para luego distribuirse en canaletas abiertas estructuradas para inundar las terrazas y pasar de una terraza a la siguiente mediante pequeños saltos.

El riego por inundación aparece como la mejor opción ya que el cultivo principal de la zona, el mijo, es un cereal que casi no necesita agua siendo suficiente la cantidad normalmente aportada por la época de lluvias. El problema está en que a veces las lluvias no son suficientes, así que sería vital poder inundar los cultivos por lo menos con frecuencia semanal.

2.7 Tratamiento del agua

Uno de los objetivos del estudio es intentar proporcionar un agua para uso humano de la mejor calidad posible. Hoy en día el único método de "potabilización" del que disponen consiste en filtrar el agua con una tela o tamiz y dejarla en botellas transparentes durante un día expuestas a la luz del sol, cosa que seguramente baja la carga bacteriana presente pero no tanto como para considerar esa agua de buena calidad.

Los problemas relacionados con la calidad del agua no aparecen tan graves como en otras partes de África pero según su origen (pozo o pequeño embalse) hay una repercusión sobre la salud más o menos importante.

La idea sería proveer de un sistema de potabilización solar mediante la utilización de lámparas de **rayos UV** a la salida de la fuente para el consumo humano. Los sistemas de tipo comercial están compuestos normalmente por una bomba necesaria para sacar agua desde un río, un lago o un pozo, un etapa de filtrado, una etapa de exposición del líquido a los rayos UV y finalmente la distribución, con o sin almacenamiento previo; todo alimentado por un módulo solar fotovoltaico.

En nuestro caso se podría evitar la bomba aprovechando la gravedad (imaginando el agua almacenada en el depósito elevado), el filtrado de las partículas más gruesas mediante un sistema de destilación por evaporación o filtros de arena y la potabilización con bombilla de rayos UV alimentada por el módulo fotovoltaico. Se podría plantear una mini planta de potabilización en la que tratar diariamente la cantidad de agua necesaria para el poblado.

Fieles a la idea de proporcionar siempre la tecnología más barata y sencilla, como posible alternativa al sistema de potabilización fotovoltaico se podría plantear la utilización de un sistema solar térmico para elevar la temperatura del agua y destruir las bacterias como es el llamado sistema **SODIS**, siglas de “Solar Water Disinfection”.

2.8 Sensibilización y formación

Debido a la baja tasa de escolarización del lugar objeto de estudio, resulta necesario pensar en un plan de formación para cada tecnología propuesta, aunque sea simplemente centrada en la parte de mantenimiento de los equipos, para asegurar que las instalaciones tengan la vida más larga posible.

Objetos del plan de formación deberán ser uno a uno los aparatos propuestos, con una descripción de los mismos y una pequeña guía de uso, mantenimiento y, sobre todo, precauciones a la hora de manejarlos con el fin de evitar accidentes que podrían perjudicar la salud de los usuarios.

Y parte imprescindible junto con la formación es la figura de una persona local que se encargue de la sensibilización del resto de la población, ya que de nada sirve implantar estos sistemas si no se consiguen integrar dentro de las costumbres socio-culturales y no se deja clara la necesidad de estos para el desarrollo de todo el pueblo a través de mejoras en la salud, la alimentación y la economía.

2.9 Conclusiones

Después de un análisis exhaustivo tanto de la situación geográfica, socio-económica y cultural del poblado como de los distintos sistemas de bombeo de agua con energía fotovoltaica, transporte, almacenamiento, distribución y tratamiento del agua disponibles, se concluye con que la mejor opción a implementar es la formada por el siguiente esquema:

- **Bombeo** solar indirecto, ya que el desnivel a salvar es mayor de 115 m
- **Transporte** mediante tubería de PVC, que es la más accesible en la zona
- **Almacenamiento de agua** en depósito en altura, también por ser lo más accesible en la zona, además de ayudar luego en su distribución por gravedad
- **Sistema de riego por inundación**
- **Tratamiento de agua** consistente en la **desinfección** con lámpara de rayos UV alimentada por placas solares, previo **filtrado** mediante filtros de arena. Se plantea como alternativa más económica y mientras se puede implantar el sistema mencionado anteriormente, el método **SODIS** de tratamiento térmico del agua

- **Sensibilización y formación** de la población local para asegurar el correcto uso y mantenimiento del sistema. Es importante aclarar que lo ideal es que esta formación y, sobre todo, la sensibilización se lleven a cabo por personas concretas de la población u organizaciones locales o estatales especializadas

3 ESTUDIO DE LA ZONA

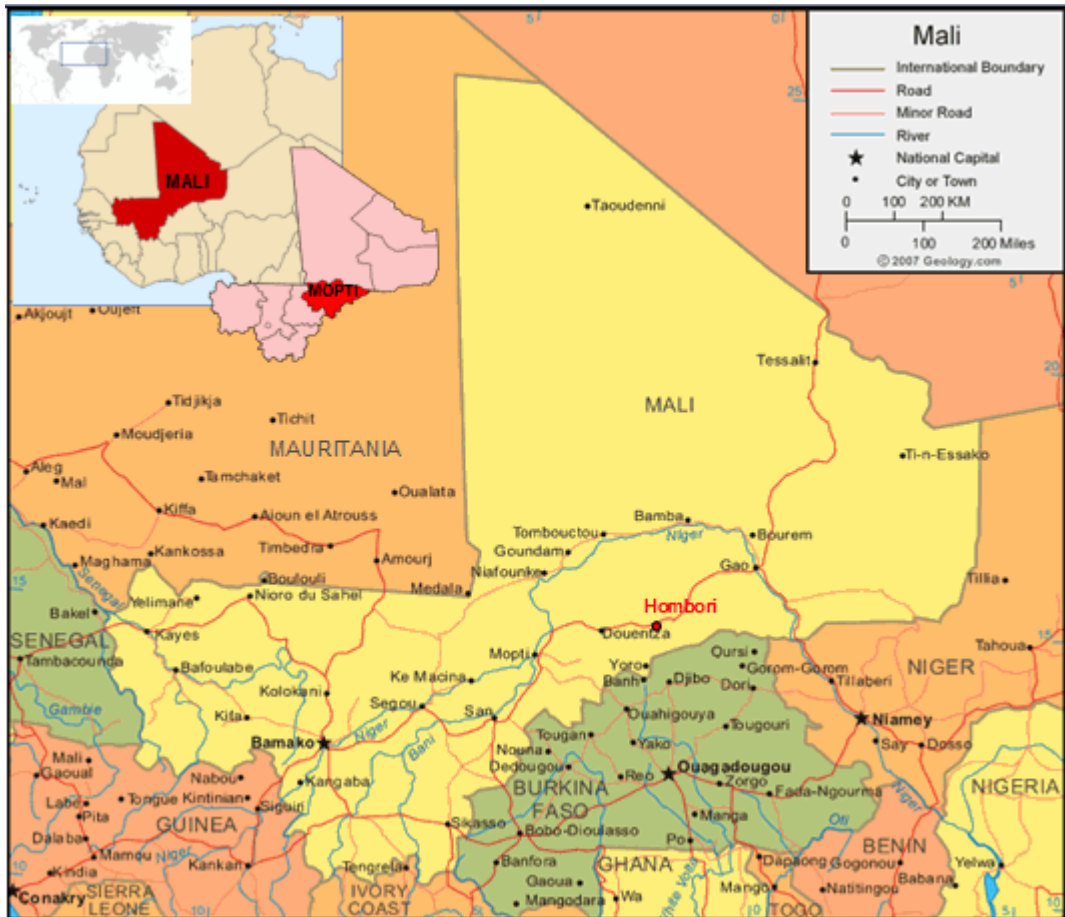
3.1 HOMBORI



3.1.1 Situación geográfica

Cubriendo una superficie de 2923 km², Hombori es un municipio del círculo de Douentza en la región de Mopti, Mali, país del Sahel enclavado en el corazón de África del Oeste que comparte más de 7000 km de frontera con 7 países limítrofes: Argelia en el Norte, Níger y Burkina Faso al Este, Costa de Marfil y Guinea - Conakry en el Sur, Senegal y Mauritania al Oeste.

El municipio de Hombori limita al Norte con el municipio de Inadiatafane (círculo de Rharous), al Sur con el municipio de Mondoro, al Oeste con el municipio de Haïre y al Este con el de Gossi.



Mapa 1: Mapa geográfico general de Mali

Coordenadas geográficas de la ciudad de Hombori, capital del municipio, obtenidas de la web de Falling Rain Genomics, Inc., www.fallingrain.com:

Latitud	15.2833	Longitud	-1.7000	Altitud (ft)	1076
Lat (DMS)	15° 16' 60N	Long (DMS)	1° 42' 0W	Altitud (m)	327



Imagen 1: Vista aérea a 46m de altitud de la zona geográfica donde se ubica Hombori

Fuente: Google maps

3.1.2 Características físicas

Los datos de clima, pluviometría y viento que en este estudio se muestran son obtenidos gracias a la información enviada por la estación meteorológica de Hombori.

3.1.2.1 Estación meteorológica

La estación meteorológica en Hombori que envía diariamente los datos de temperatura, lluvia y viento a la Direction Nationale de la Météorologie (DNM) en Bamako.

Datos de la estación según Worldwide Station List de www.wetterzentrale.de:

Identificador numérico	Identificador Metar	Nombre	País/Estado	Latitud (DMS)	Longitud (DMS)	Altitud (m)
612400	GAHB	HOMBORI	MI	1520N	00141W	0288

Se toman datos de viento (velocidad, dirección, visibilidad), temperatura (Tseca, Thúmeda, Humedad relativa, Pvapor, Trocío, Termo, Presión absoluta, higrómetro), radiación solar y datos agro-meteorológicos, se anotan cada 3h y se comunican diariamente por radio (aunque actualmente no funciona) y/o sms a la DNM los datos recopilados.

La DNM publica, y envía posteriormente a cada estación meteorológica, un informe cada 10 días con la información Agro-Hidro-Meteorológica de forma que la población rural esté informada lo mejor posible para ayudar al desarrollo agrícola de la zona.

Además de la instrumentación habitual y necesaria (aunque rudimentaria y obsoleta en algunos casos), el Institut de Récherche et Developement (IRD) ha instalado 2 torres de viento:

- Una a una altura de 12m que mide en continuo
- Otra dedicada a estudio estatal a una altura de 40m y de la que no se envía información habitualmente

Persona de contacto:

Drissa Konaté. Chef Station Météo, Hombori

TF: 5391213

Direction Nationale de la Météorologie en Bamako:

Route de l'aéroport Bamako Senou

TF: (223) 2206204

3.1.2.2 Clima

El clima de Mali es de tipo sudano-saheliano y está caracterizado por temperaturas medias muy elevadas y por la alternancia entre una temporada húmeda lluviosa (de junio a septiembre) y una seca de una duración que varía entre cinco y nueve meses (de octubre-noviembre a mayo-junio).

Las precipitaciones medias anuales disminuyen de Sur a Norte, lo que permite dividir el país en cuatro grandes zonas agroclimáticas:

- la **zona sudano-guineana o subhúmeda** en el Sur, que ocupa un 6% del territorio nacional, está caracterizada por una sabana arbolada y bosques; las precipitaciones sobrepasan allí 1200mm/año.
- la **zona sudaniana** en el centro, que ocupa un 17% del territorio nacional, se caracteriza por una cubierta vegetal más o menos densa y variada (sabana sudaniana); las precipitaciones varían de 600 a 1200 mm/año.
- la **zona saheliana** al Norte, que ocupa un 26% del territorio nacional, recibe precipitaciones de 200 a 600 mm/año. Esta zona ocupa la parte principal del Delta Interior del Níger (que constituye una zona agro-ecológica separada) caracterizado por numerosas zonas inundadas parte del año y zonas de agricultura pluvial.
- la **zona sahariana** (el 51% del territorio) se extiende sobre toda la región más septentrional, donde las precipitaciones son inferiores a 200 mm/año.

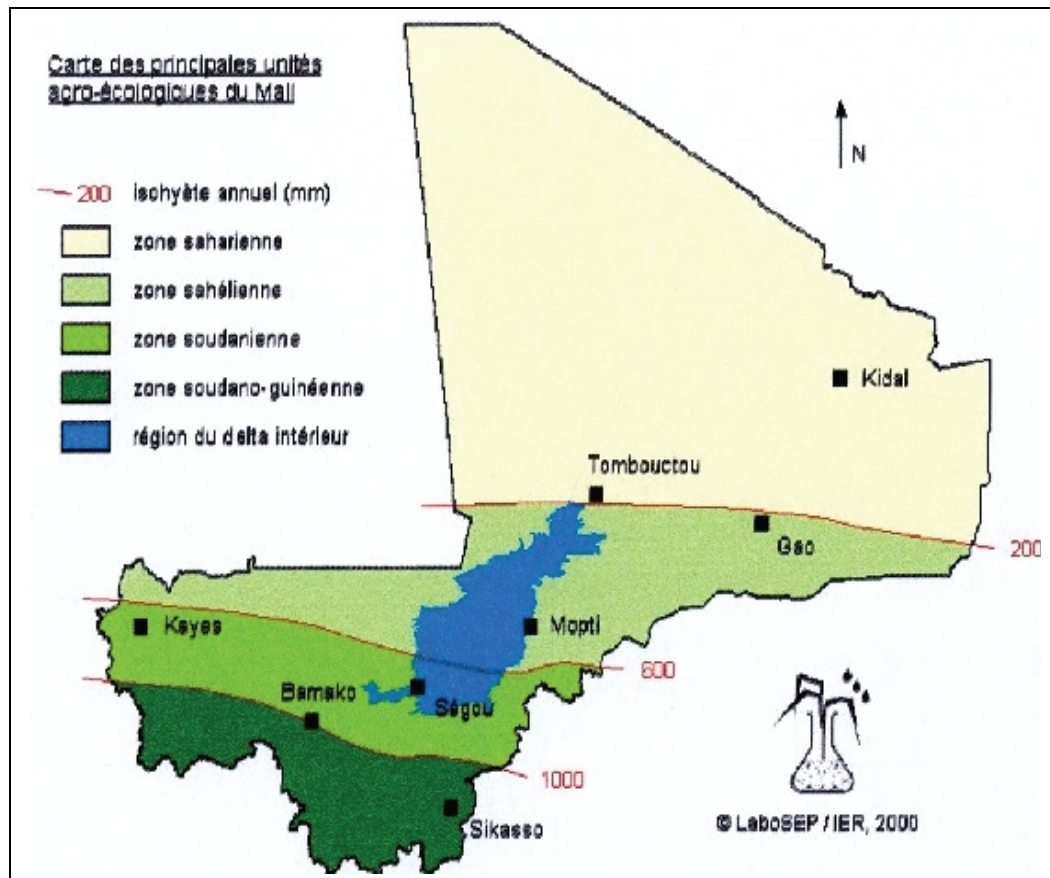
ZONES	Sous-zones bioclimatiques	types climatiques	Précipitations Moyennes annuelles(1) (Pmm3)	Indices d'aridité climatique (2)	Mois "secs" et mois "pluvieux"/an (2)
SAHARIENNE	Saharien	Hyper aride	P <150	IAC <0,05	tous les mois sont "secs"
SAHELIENNE	Sahélien Nord	Aride	150 à 350mm	0,05<IAC	9 à 11 mois "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



Mapa 2: Mapa de las principales zonas agro-ecológicas de Mali

En el curso de los treinta últimos años, la aridez climática de Mali ha aumentado, pasando de 95,3 mm a 70,7 mm en el Norte y de 1380,8 mm a 1121,1 mm en el Sur.

Mali, viviendo principalmente de la agricultura, es fuertemente vulnerable a los factores climáticos que encadenan períodos de sequedad y de pluviometría abundante, que arrastran a la desertificación a la parte Norte del país y a las inundaciones al Sur. Se añade hoy el problema de la contaminación del aire sobre todo en los centros urbanos (circulación por carretera, industrias) pero igual en las zonas rurales (emisiones por la utilización de leña y carbón y la combustión de los residuos).

Tal como se puede apreciar en la tabla y mapas anteriores, el municipio de Hombori pertenece a la zona climática saheliana, por lo que se prestará más atención a ésta.

3.1.2.2.1 Zona saheliana

La zona saheliana comprende cinco regiones naturales: Gourma, Meseta de Bandiagara-Hombori, Gondo-Mondoro, Hodh y Guidimagha.

Régions Naturelles	Pluviométrie	Zones agro-écologiques(km ²)	
		Dénomination	Superficie
Gourma	250 mm au Nord à 600 mm au Sud	Gandéras	15 140
		Tin Bilal	14 330
		In Tillit	27 370
			RN = 56.840
Plateau de Badiangara Hombori	800 mm au Sud à 450 mm au Nord	Bas Plateau Bobo	7 750
		Haut Plateau Dogon	8 750
		Djounde-ErensI	10 320
			RN = 26 820
Gondo-Mondoro	800 mm à 450 mm	Plaine du Gondo	6 520
		Plaine du Sourou	4 880
		Le Séno	5 990
		Le Mondoro	9 400
			RN = 26 790
Hodh	350 mm au Nord-Est à 750 mm au Sud	Mamanan Guidé	3 020
		Toronké	5 030
		Bas Kaarta	17 990
		Haut Kaarta Occid	12 740
		Ouagadou	26 420
		Tyemandali	17 340
		Daounas	17 271
			RN = 99 811
Guidimagha	350 mm à 550 mm	Bérédji G1	5 100
		Séro G-2	12 150
			RN = 17250

Source: PIRT, 1986

Tabla 2: Características de la zona saheliana

El régimen de las **temperaturas** del aire está influido por la circulación atmosférica general que en el Sahel está marcada por el equilibrio temporal del monzón africano que se traduce en un vaivén S-N-S de la zona de contacto entre la masa de aire intertropical, caliente y húmeda, y la subtropical sahariana, caliente y extremadamente

seca, centrada sobre el Sahara central. 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 Sahara meridional.

De esta forma, en el municipio de Hombori las variaciones de temperatura son importantes, pudiendo alcanzar a menudo más de 45°C a la sombra en abril y mayo. El clima es árido con una temporada seca larga desde finales de septiembre hasta junio y una temporada lluviosa aleatoria que va de julio a septiembre.

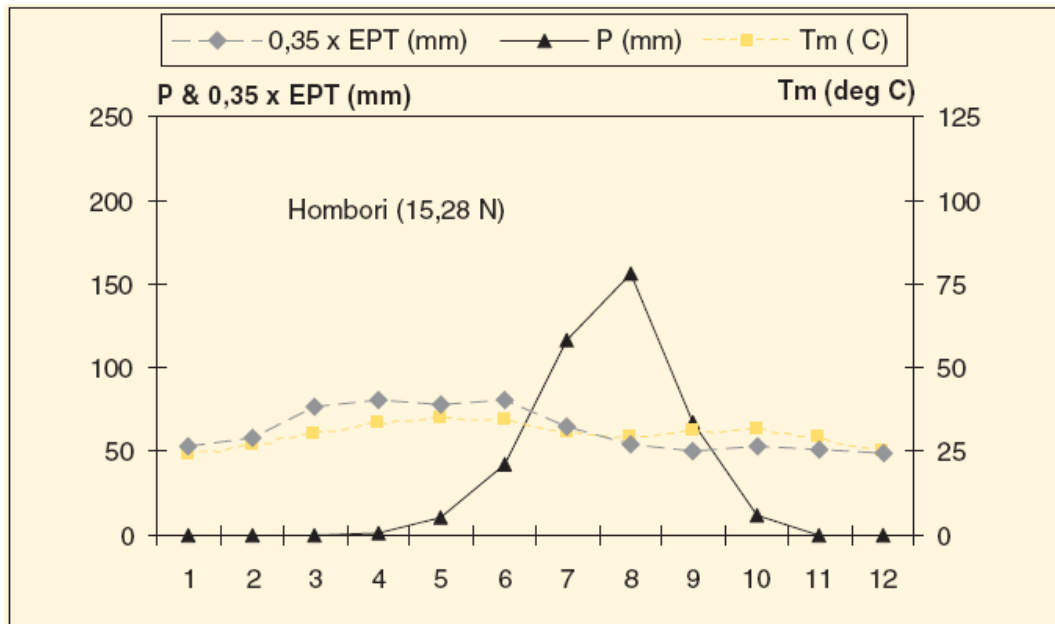
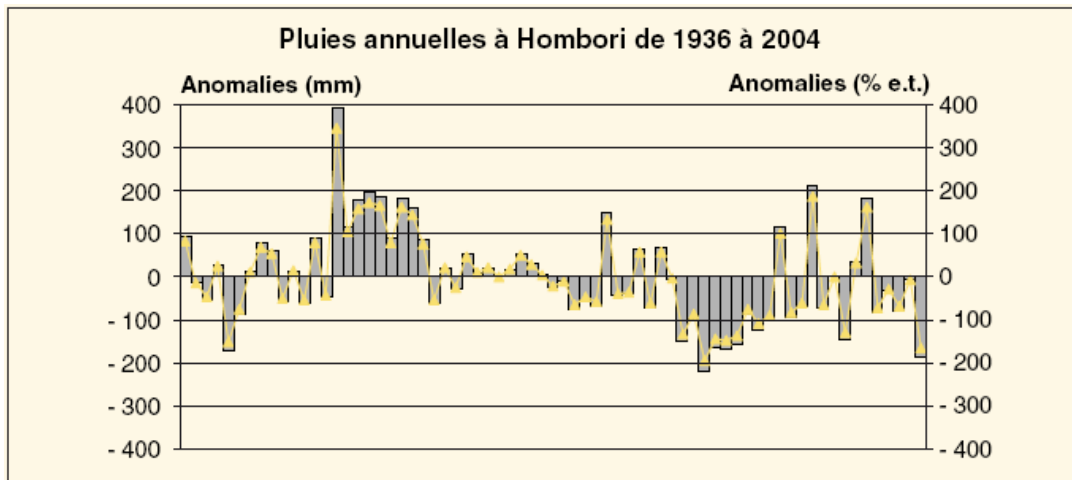


Gráfico 1: Diagrama ombrotérmico de Hombori

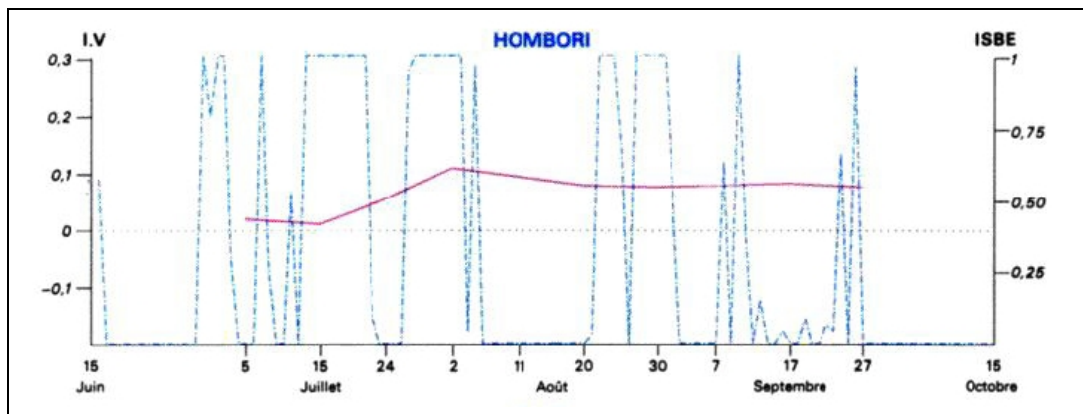
Fuente: base de datos de la Dirección nacional de la meteorología de Mali

3.1.2.3 Pluviometría

Dos temporadas se reparten el año: una temporada seca de noviembre a mayo y una temporada invernal de junio a octubre. La media anual pluviométrica se sitúa alrededor de 200mm.



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



Gráfica 3: Representación del índice de vegetación (I.V.) calculado a partir de las imágenes NOAA y el índice de satisfacción de las necesidades de agua (ISBE)
Fuente: base de datos de la Dirección nacional de la meteorología de Mali

Se puede deducir de la gráfica 3, que existe una relación estrecha entre el I.V. y el ISBE, presentándose en este caso un déficit cuantitativo y un mal reparto espacial y temporal de las lluvias.

3.1.2.4 Viento

Según los datos obtenidos de web www.meteored.com para la estación meteorológica de Hombori en el último año, ésta es la gráfica de velocidades medias y máximas de viento:

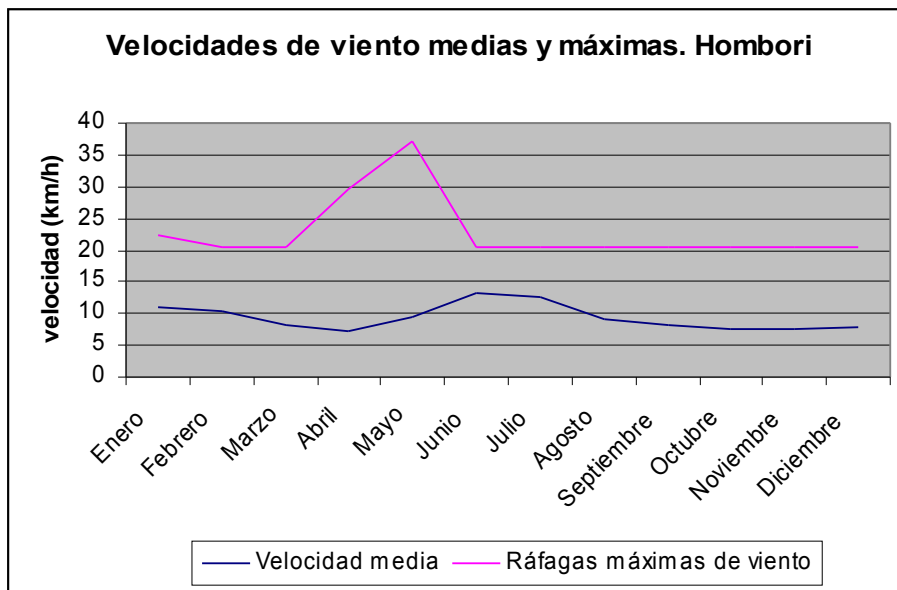


Gráfico 4: Velocidades de viento medias y máximas obtenidas por la estación meteorológica de Hombori.

Fuente: www.meteored.com

3.1.2.5 Radiación Solar

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.

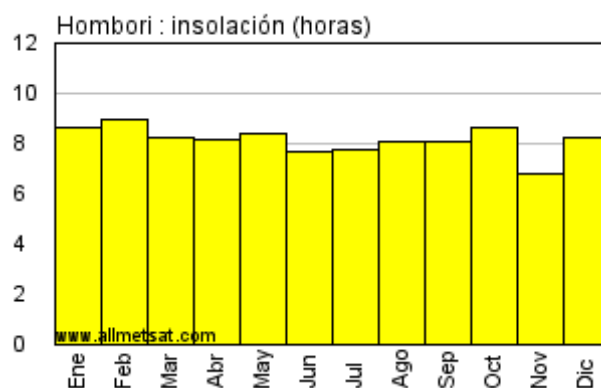


Gráfico 5: Diagrama insolación de Hombori

Fuente: web www.allmetsat.com

3.1.2.6 Suelo

En general los suelos sufren una degradación inquietante y continua causada por el efecto de las erosiones hídricas y eólicas, la actividad y la sobreexplotación que tiene

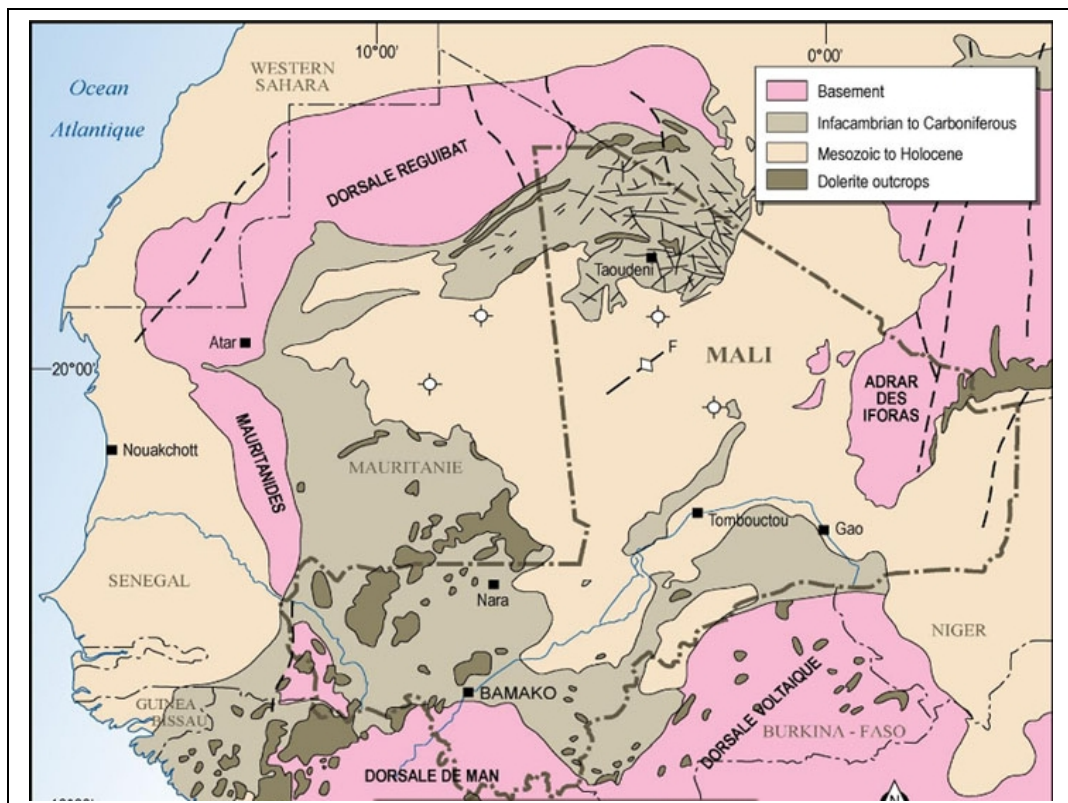
como consecuencias la disminución del recurso y la pérdida de fertilidad, uno de los factores principales del empobrecimiento de la población en las zonas rurales como el municipio de Hombori.

El relieve está dominado por llanuras propicias al cultivo del arroz y la presencia de cordilleras entre las que se encuentra el monte "Hombori-Tondo" con una altitud de 1150m y la "mano de Fátima", 950m, que son objeto de una gran atracción turística, sobre todo por los escaladores.

Se caracteriza por una vegetación en la que predomina la sabana enarbolada y arbustiva, entre las que se encuentran especies como el tamarindo y las acacias.

3.1.2.7 Geología

Sedimentos del Infracambrian y del Paleozoico se acumulan en grandes cuencas sedimentarias, que cubren más de dos tercios del territorio de Mali, dentro de los que se encuentra el municipio de Hombori, donde se pueden apreciar lomas formadas por areniscas del Proterozoico y sedimentos del Infracambrian.



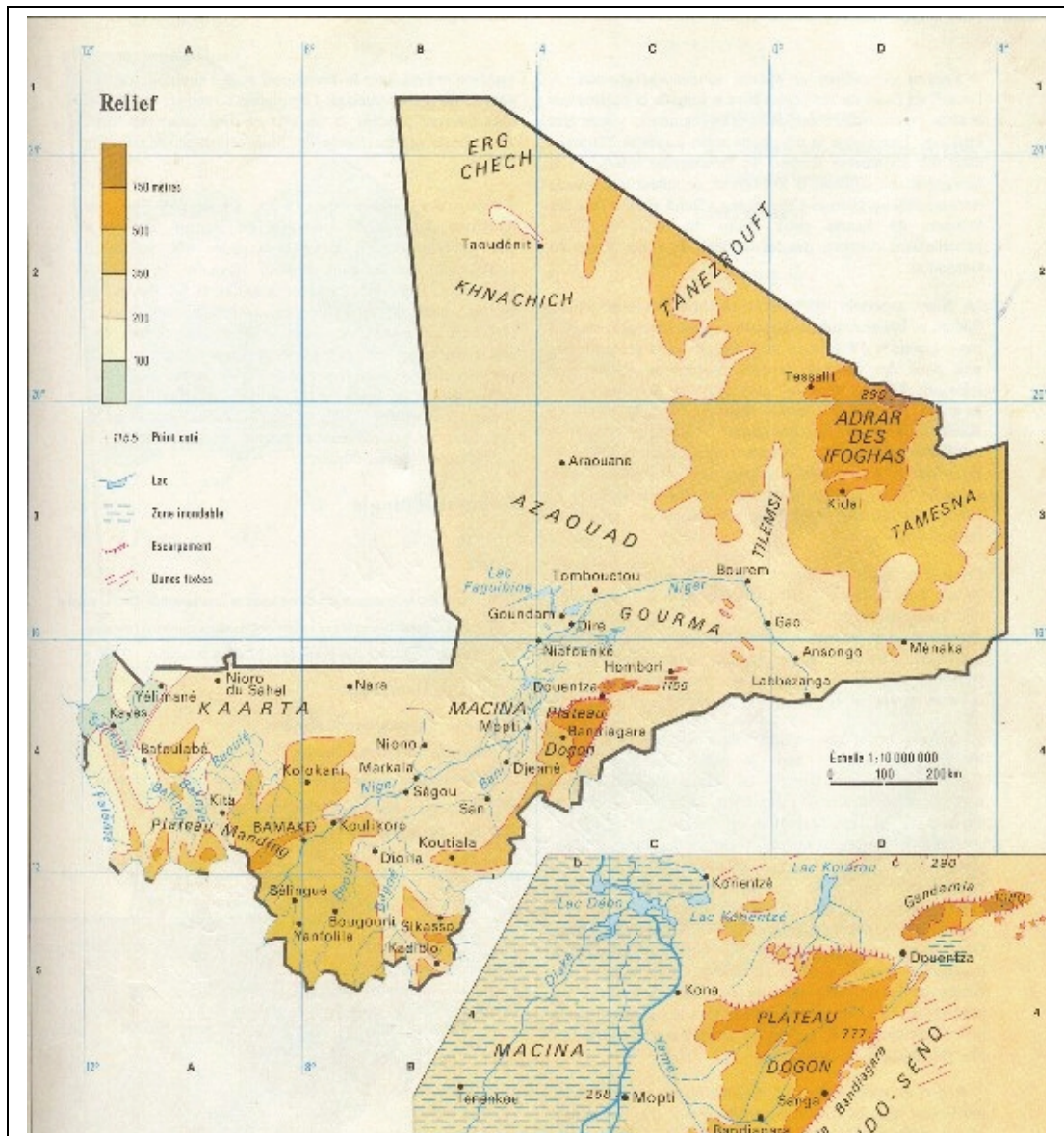
Mapa 3: Mapa de las zonas tectónicas del NO de África
Fuente: Sphere Petroleum QSC (www.spherepetroleum.com)

3.1.2.8 Hidrografía

Los recursos hidrográficos están constituidos por 2 ríos temporales, un lago y pequeñas lagunas que se secan en general en temporada seca y que son alimentadas por las lluvias y las aguas de los barrancos.

También podemos citar los pozos utilizados para la satisfacción de las necesidades humanas y del ganado, además las aguas subterráneas disponibles en las formaciones endurecidas del Infracambrian y Paleozoico (entre las que se encuentra el territorio de Hombori) dependiendo de la litología local y el grado de fractura. Las areniscas forman los mejores acuíferos, y estos constituyen el principal suministro de agua en la zona.

Sin embargo, la permeabilidad es limitada, sobre todo donde las rocas están atravesadas por intrusiones de rocas dolomíticas. Las aguas subterráneas están concentradas principalmente alrededor de los 20-60 m y el nivel al que se encuentran normalmente entre 10-25 m por debajo de la superficie (Naciones Unidas, 1988).



Mapa 4: Mapa del relieve de Mali

3.1.2.8.1 Calidad de las aguas subterráneas

Pocos datos están disponibles para evaluar la calidad inorgánica de las aguas subterráneas de Mali. La Información disponible sugiere que las aguas subterráneas son principalmente frescas y de buena calidad. Sin embargo, se ha observado un aumento de la salinidad esporádicamente en algunos de los acuíferos.

Los siguientes datos han sido extraídos de un estudio sobre la calidad de las aguas subterráneas de Mali realizado en el 2002 por la organización Water Aid en colaboración con British Geological Survey.

3.1.2.8.1.1 Salinidad y dureza

La información limitada disponible sugiere que las aguas subterráneas de los acuíferos de formaciones del Infracambrian son generalmente frescas y suaves, aunque a menudo agresivas (pH ácido)

3.1.2.8.1.2 Hierro y manganeso

Las concentraciones de hierro y manganeso deberían ser bajas en la mayor parte de las aguas subterráneas, excepto donde sean particularmente ácidas, como ocurre en el caso de Hombori.

3.1.2.8.1.3 Nitrógeno

Pocos datos hay disponibles sobre el nitrato u otros compuestos de nitrógeno. Las concentraciones de nitrato (y el amonio) probablemente son bajas en la mayoría de las aguas subterráneas rurales (concentraciones <0.1–7.3 mg/l, que está dentro de los límites saludables del agua para consumo humano, 11,3 mg/l)

3.1.2.8.1.4 Arsénico

No se tienen datos sobre la concentración de arsénico en las aguas subterráneas de Mali, pero las concentraciones deberían ser bajas.

3.1.2.8.1.5 Fluoruro

Pocos datos están disponibles sobre la concentración de fluoruro en las aguas subterráneas, pero también se esperan bajas concentraciones en general.

3.1.3 Características demográficas y sociales

3.1.3.1 Población

Demográficamente, Hombori se caracteriza por una mezcla de varias etnias autóctonas y alóctonas coexistiendo en un tipo de hábitat hecho con materiales tradicionales en piedra y barro. La población autóctona se distingue en general por el establecimiento de las casas en las zonas altas mientras que el barrio administrativo y el centro comercial se sitúan abajo, a lo largo de la carretera nacional número 16 (RN16) que comunica con Sévaré y Gao.

La población del municipio según sus propios datos es de 17.919 habitantes (13.894 según el "Research and development in advanced communications technologies for Europe", RACE, 2001) repartidos entre 20 pueblos y 6 fracciones.

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

Tabla 3: Demografía del resto de poblaciones de la región de Hombori
Fuente: Gallais (1975) ; Huet (1994) ; Censo comunal 2005

Los movimientos de población son frecuentes ya sea por tradición, por transhumancia o por razones económicas. Los destinos más comunes son Guinea Ecuatorial, Níger, Gabón o Bamako.

3.1.3.1.1 Distribución demográfica

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.

3.1.3.1.2 Principales etnias

Las principales etnias que viven allí son la songaï mayoritariamente, la peulh fulankiryabé, la dogon y la bambara.

La religión dominante es el Islam, aunque no integrista, siendo practicado en muchas ocasiones entremezclando las creencias ancestrales de sus antepasados, lo que se llama islamismo animista.

Sus actividades tradicionales son la agricultura, la ganadería, la explotación forestal, la artesanía (principalmente textil) y el pequeño comercio en los mercados de Hombori, Douentza y Boni.

3.1.4 Situación socio - económica

3.1.4.1 Agricultura

La agricultura es la principal actividad del municipio, 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 y el wandzou, estos dos últimos utilizados principalmente para la alimentación del ganado. La variedad de mijo cultivado es poco productivo, tarda entre 75 y 85 días y sólo da entre 500 y 800 kg/ha.

Las labores de huerta (lechuga, berenjena, chalote, gombo y guindilla) son practicadas sobre superficies muy reducidas.

El potencial agrícola del municipio es importante a juzgar por la disponibilidad de tierras: el 31% de la superficie es aprovechable para la producción de arroz y/o huertos. Pero no es lo suficientemente bien explotado, situación que hace que el municipio dependa de los cereales que provienen de San, Koutiala o Koro.

Desde el punto de vista organizativo, el municipio cuenta con varias asociaciones y cooperativas socio profesionales que movilizan a sus miembros y recursos en la promoción de las actividades colectivas e individuales.

3.1.4.2 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.

3.1.4.3 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.

3.1.4.4 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.

3.1.4.5 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.

3.1.4.6 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.



Mapa 5: Mapa de carreteras de Mali

Fuente: Mapquest

3.1.4.7 Servicios sociales básicos

El municipio cuenta con 7 **escuelas** públicas de primer ciclo, 1 de segundo ciclo, 2 CED y escuelas coránicas. Como eje del distrito se ha beneficiado de infraestructuras escolares desde la época colonial, Hombori tiene grandes recursos humanos en muchos sectores de desarrollo aun cuando una gran parte está instalada en otras ciudades o región.

En el terreno de la **salud**, existen 1 CSCOM en Hombori y 1 depósito de medicinas. La realización de este centro fue posible con el apoyo de la cooperación francesa y ofrece un marco adecuado para los servicios de proximidad. Está, a diferencia de otros, equipado con 2 ambulancias. Pero las distancias y el estado de los caminos así como la ausencia de medios de comunicación son bastante apremiantes para muchos pueblos.

En cuanto al abastecimiento de **agua potable**, el municipio dispone de 17 perforaciones equipadas, 20 pozos modernos y 11 pozos cisternas. La enormidad de

las necesidades y la calidad rocosa y/o arenosa del terreno exige esfuerzos suplementarios de inversión y, aunque éste ha sido uno de los sectores que recibió más inversión, las necesidades permanecen enormes y obligan a las poblaciones en ciertos períodos a hacer recurso al agua de las charcas o pozos negros.

La **cobertura alimenticia** es deficitaria respecto a los rendimientos de producción de la superficie total sembrada y al número total de habitantes. De hecho el rendimiento medio de las producciones de cereales en 2005 fue de 304 kg/ha, lo que hace un total de 1.363.440 kg, es decir, 76 kg por persona al año, 179,5 kg por persona menos de lo que indica la norma FAO, 255,5 kg/persona al año como ración alimenticia básica.

El municipio refleja la situación de su región, Mopti, que tiene uno de los índices de pobreza más elevado con un 76,2% de la población viviendo por debajo del umbral de pobreza. Los pobres y los muy pobres son representados allí en proporciones casi idénticas.

El índice de escolarización del 33 % con una media de 1 escuela por cada 7 pueblos, queda todavía por debajo de los objetivos del PRODEC (70% en 2010). Lo mismo ocurre en materia de alfabetización, sólo un 0,11 %.

3.1.4.8 Medio ambiente

Como muchos países africanos, Mali hace frente a la vez a un crecimiento de su población, a una disminución de sus recursos alimentarios y a una degradación acelerada de su medio ambiente, interactuando estos tres factores unos con otros.

Los elementos críticos que se generan debido a esta dinámica son la pobreza crónica de la población, la productividad nacional dominada por una agricultura de subsistencia y el hecho de que la leña constituye la principal fuente de energía doméstica. Además, la sobreexplotación de las tierras de cultivo disponibles y la práctica extensiva de las actividades agrícolas (agricultura y ganadería) tienden a agravar los problemas de erosión de los suelos y la desertificación.

Después de casi 20 años, la pluviometría media sobre el conjunto del territorio de Mali disminuyó por lo menos un 20 % con relación al período de los últimos 50 años. Desde el 1970, se instaló una sequía persistente. Esto hizo más frágiles los ecosistemas y llevó a la reducción del potencial de los recursos naturales (particularmente los de agua).

La acción antropológica tiene como consecuencia la destrucción de la cubierta vegetal, la degradación de los suelos que provoca una erosión eólica e hídrica fuerte. Se da así un enturbiamiento progresivo de los pequeños embalses o lagunas y una disminución

general de los niveles de agua. La sequía y la disminución notoria de los recursos hidrológicos son factores importantes en la limitación del desarrollo del país.

Los fenómenos de desecación y desertificación afectan sobre todo a las zonas saheliana, donde se ubica el municipio de Hombori, y sudaniana, las zonas más pobladas hoy. Si esta tendencia hacia un clima más seco prosigue, el país debe prepararse para la aceleración del éxodo rural y una fuerte concentración de la población en las zonas urbanas y al sur - oeste (zona guineana) del país, zona relativamente húmeda. Habrá que temer una sobreexplotación de los recursos naturales en esta zona, que provocará la aceleración del proceso de degradación de los recursos y el empobrecimiento de la población rural también en esta última zona húmeda del país.

Los recursos naturales renovables de Mali se han deteriorado considerablemente. Esta degradación tiene como consecuencias la pérdida de fertilidad de las tierras de cultivo, la disminución de los pastos naturales así como una presión fuerte sobre los recursos forestales.

Las causas de esta degradación están principalmente vinculadas a las actividades humanas: deforestación para explotación agrícola, sobrepastoreo, consumo excesivo de leña como combustible, incendios, etc. Es evidente que todas estas actividades han conllevado la desaparición de millares de hectáreas de bosque, la destrucción de ecosistemas y de habitats naturales y, con esto, una pérdida importante de la biodiversidad y la acentuación del fenómeno de desertificación. Todo esto hace que el potencial agro-selvo-pastoral que cuenta con el 40% del PIB, el 75% de las exportaciones y que ocupa al 80% de la población, sea limitado.

La calidad de las aguas superficiales y subterráneas está en proceso de degradación debido a la actividad humana.

El consumo de aguas contaminadas no aptas para la alimentación humana (y del ganado) conlleva enfermedades diversas, aumentando los índices de morbilidad y de mortalidad, siendo esto un factor de inhibición del desarrollo.

La capacidad de los servicios del Estado en materia de control medioambiental y de la calidad de las aguas es extremadamente débil en Mali (falta de material, personal, normas etc).

3.1.4.9 Sector energético

El potencial energético solar de Hombori es muy importante pero está poco explotado a causa de las limitaciones económicas de las poblaciones y la falta de una política de apoyo que permita desarrollar una fuente de energía alternativa importante en el

medio rural. Mali adoptó sin embargo una política/programa de promoción de las energías renovables.

El balance energético nacional muestra que cerca del 90% de la energía proviene de energías tradicionales, el 8,4% de productos petroleros y el 1,2% de la electricidad (hidroeléctrica y térmica). No hay producción de energía fósil. Los productos petroleros son importados en su totalidad.

La **energía solar** es particularmente abundante y su repartición homogénea.

La **energía eólica** también ofrece perspectivas para el desarrollo de generadores eólicos, aunque sólo se está empezando ahora a realizar un estudio serio en la zona.

La **energía de uso doméstico** es de gran importancia en Hombori, ya que la energía consumida en el hogar supone el 90% del balance energético, y el 100% proviene de fuentes de energía tradicionales (leña y carbón de leña). Esta dependencia de los recursos forestales constituye una de las causas importantes de deforestación, y como consecuencia, el aumento de la sequía y la desertificación. El consumo de energía de los hogares es una de las primeras fuentes de emisiones de gas de efecto invernadero de la zona y en general de Mali.

AMADER (Agencia de Mali para el Desarrollo de la Energía Doméstica y de la Electrificación Rural), establecimiento público nacional de carácter administrativo, es una agencia especializada que sirve de ventanilla única para administrar todos los aspectos (técnicos, jurídicos, administrativos y financieros) relativos a los sectores de la energía doméstica y de la electrificación rural.

3.1.5 Política medioambiental

Mali colocó la lucha contra la desertificación entre sus principales preocupaciones y claramente manifestó su voluntad de integrar la dimensión medioambiental en todas sus políticas macroeconómicas, transversales y sectoriales.

Para concretar esta voluntad, el Gobierno adoptó en 1998 el Plan Nacional de Acción Medioambiental (PNAE), que consta de nueve Programas Nacionales de Acción (PAN):

- Programa de ordenación del territorio
- Programa de gestión de los recursos naturales
- Programa de control de los recursos hidrológicos
- Programa de mejoramiento del marco de vida
- Programa de desarrollo de los recursos energéticos renovables
- Programa de gestión de la información sobre el medio ambiente

- Programa de información, educativo y de comunicación sobre medio ambiente
- Programa de control de la puesta en ejecución de los convenios
- Programa de investigación sobre la lucha contra la desertificación y la protección medioambiental

Además de Programas Regionales de Acción (PAR) y Programas Locales de Acción (PAL).

Su puesta en marcha debe efectuarse a través de las colectividades descentralizadas que son llamadas en lo sucesivo a encargarse de su patrimonio particularmente en el dominio de los recursos naturales. La gestión integrada de los recursos naturales está inscrita en las diferentes políticas de desarrollo (particularmente los sectores agua, agricultura, bosques y ganadería).

Aunque los numerosos textos legislativos existen en conjunto en lo relativo al medio ambiente, los caracteres sectoriales, los problemas de capacidades organizativas y de su estabilidad, la insuficiencia de los recursos humanos de ciertas estructuras sobre todo a nivel regional y local, y la no transferencia de la gestión de los recursos naturales a las colectividades territoriales, hacen difícil su correcta aplicación.

En general, estos planes están mal adaptados, son difíciles de aplicar y de hacer respetar por las poblaciones a causa del déficit de formación de la ciudadanía, de la gestión demasiado centralizada y la tendencia antidemocrática de los recursos naturales. Además, la administración judicial no ha recibido toda la formación necesaria para desempeñar mejor su papel en el sistema de protección medioambiental.

3.2 KANTAKINE



Foto: Vista interior del poblado de Kantakine. Autor: Paul Lettmann

3.2.1 Situación geográfica

Kantakine es una pequeña población de montaña del municipio de Hombori, Mali.

Sus coordenadas geográficas vienen dadas por los siguientes parámetros:

Latitud	15.2833	Longitud	-1.7333	Altitud (ft)	1630
Lat (DMS)	15° 16' 60N	Long (DMS)	1° 43' 60W	Altitud (m)	496

Fuente: Falling Rain Genomics, Inc., www.fallingrain.com



Imagen 2: Vista aérea a 15,84m de altitud de la zona geográfica donde se ubica Kantakine

Fuente: Google maps

3.2.2 Demografía

Según el censo publicado por la Delegación General Electoral, el número de habitantes censados en 2008 en la población de Kantakine es de 167. Suponiendo que hay un 60% de menores de edad no censados, el número de habitantes total de Kantakine sería de unos 417^[1]

[1] Estos datos concuerdan con los que podemos ver en la Tabla 3, teniendo en cuenta la tendencia de crecimiento de la población

Esta población se distribuye entre 82 familias, según datos aportados en las encuestas realizadas durante el mes de agosto del 2008^[2] a los propios representantes de la población, que en ningún momento fueron capaces de dar un número exacto de habitantes.

[2] Viaje de estudio previo al proyecto realizado por el equipo a la zona durante el mes de agosto de 2008

3.2.3 Climatología

Debido a la imposibilidad técnica y temporal para obtener datos meteorológicos del lugar exacto y gracias a la proximidad de la ciudad de Hombori, los datos climatológicos tomados para este estudio serán los obtenidos en la estación meteorológica de Hombori.

De esta manera podemos resumir diciendo que las variaciones de temperatura son importantes, pudiendo alcanzar a menudo más de 45°C a la sombra en abril y mayo. El clima es árido con una temporada seca larga desde finales de septiembre hasta junio y una temporada lluviosa aleatoria que va de julio a septiembre, siendo la media anual pluviométrica de alrededor de 200 mm, la intensidad media de la radiación solar, 2,5 kJ/cm²/día con una oscilación débil y temporal, y la insolación media de entre 7 y 9 horas al día. El viento, en época de lluvias, es más o menos constante.

3.2.4 Recursos hidrológicos

Debido a su situación geográfica particularmente aislada de las poblaciones de la llanura y de complicado acceso, tiene grandes dificultades para abastecerse de agua.

Sólo dispone de una pequeña laguna o embalse (denominados “mare”) con agua de lluvia que se seca tras la época de lluvias (de julio a septiembre) y un pozo situado en la llanura, próximo a la carretera nacional (RN16) que pasa por la ciudad de Hombori, y que se encuentra a 1 km aproximadamente en cuanto a distancia horizontal, y una diferencia en altura de unos 170 m, lo que hace que superar este desnivel sea la máxima dificultad para su aprovechamiento. La profundidad a la que está excavado el pozo es de unos 30 m.

3.2.5 Recursos forestales

Al igual que en el resto de poblaciones del municipio de Hombori, el recurso forestal es escaso y difícil de conseguir, teniendo que comprar la leña para consumo doméstico durante la época de lluvias.

El consumo medio por familia y día es de unos 5kg de leña que se utiliza en cocinar (desayuno, comida y cena) y para la fabricación de jabón.

3.2.6 Agricultura

Los cultivos son los propios de la zona (mijo, el sorgo, el cacahuete, el dah y el wandzou, éste último utilizado principalmente para la alimentación del ganado), dependiendo totalmente del agua caída durante la época de lluvias para subsistir.

El sistema de cultivo más utilizado en estos pueblos de la montaña son las pequeñas terrazas, para de esta forma, aprovechar al máximo las aguas que caen ladera abajo desde lo alto de la colina cuando llueve.

Para cultivar estas pequeñas áreas, se necesita en muchas ocasiones deforestar parte del territorio, por lo que pagan un impuesto al estado de 3000CFA/ha, es decir, menos de 5€/ha.

3.2.7 Ganadería

La ganadería sigue una distribución familiar, componiéndose principalmente de cabras, ovejas, gallinas, pequeños burros de carga y alguna vaca que pastan durante el día de forma totalmente libre por los alrededores y se recogen a la noche en zonas habilitadas específicamente para el ganado.

4 BOMBEO SOLAR FOTOVOLTAICO

El pozo del que se abastece actualmente el poblado de Kantakine se encuentra en la parte baja de la montaña, próximo a la carretera RN16 que está a la misma altura que la ciudad de Hombori. Será entonces necesario bombear el agua desde Hombori hasta el tanque que se situará cuanto más cerca posible del poblado de Kantakine. La bomba tendrá que ser capaz de vencer la energía potencial dada por la diferencia de cota entre el pozo y la entrada en el tanque de almacenamiento más la pérdida de carga en la tubería horizontal debida a la rugosidad de la misma.

Veamos más en detalle los cálculos realizados a partir de los siguientes datos de los que partimos:

1. Altitud de la ciudad de Hombori según sus coordenadas geográficas: 327 m
2. Altitud del poblado de Kantakine según sus coordenadas geográficas: 496 m
3. Profundidad del nivel freático: 30 m
4. Altura del tanque de almacenamiento: 6 m
5. Distancia horizontal: 1000 m

4.1 Cálculo de la energía necesaria

Asumiendo como *coeficiente de pérdida* en la tubería 0.04 m.c.m./m (metros de columna de agua por cada metro de tubería), la altura manométrica que la bomba tiene que vencer es igual a:

$$h = (496 - 327) + 30 + 6 + (1000 \times 0.04) = 245 \text{ m}$$

Tal como se indicó anteriormente, la población de Kantakine alcanza en 2008 los 417 habitantes. Si fijáramos el consumo medio diario por persona igual a 30 litros entonces la cantidad diaria a bombear sería:

$$V \text{ (l)} = 417 \times 30 = 12.510 \text{ l/día}$$

Redondeando tenemos que el volumen total a bombear para abastecer diariamente a toda la población será de **12.500 l**, es decir, 12,5 m³

La energía potencial a vencer viene dada por la fórmula siguiente:

$$E_p = m \times g \times h = V \times \rho \times g \times h = 12500 \times 1 \times 9.81 \times 245 = 30.043.125 \text{ J}$$

$$E_p \text{ (Wh)} = 30.043.125 / 3600 = \mathbf{8345 \text{ Wh}}$$

Esta será la energía necesaria para elevar la cantidad de agua anteriormente indicada a una cota manométrica de 245 m.

Para dimensionar el sistema fotovoltaico que suministrará energía a la bomba será necesario tomar en consideración el rendimiento de la misma, del inversor, del regulador y la eficiencia de carga de las baterías.

4.2 Selección de la bomba, inversor, regulador y baterías del sistema

En primer lugar será necesario determinar la bomba que sea capaz de asegurar el caudal deseado a la altura manométrica indicada.

La empresa *Grundfos* está especializada en la producción de todo tipo de sistemas de bombeo. El sitio internet (www.grundfos.es) proporciona una herramienta de dimensionado muy útil, el *WinCaps*, para seleccionar la bomba necesaria que satisfaga tus necesidades particulares. Fijando la altura a 245 m, el caudal 1.25 m³/h (suponiendo que se va a bombear durante 10 horas al día) la **bomba** más adecuada resulta ser la **SP 2A-48**.

Datos técnicos	Instalación	Bomba Tipo SP 2A-48
Velocidad de bomba: 2900 rpm Caudal nominal: 2 m ³ /h Caudal de bomba: 1.32 m ³ /h Altura nominal: 190 m Altura proporcionada bomba: 245 m	Presión del sistema: 100 bar Presión mín. de entrada: 0.031 bar Presión de precarga mín.: 0 bar Salida bomba, tamaño: Rp 1 1/4 Diámetro del motor: 4 inch	Potencia nominal 2.2 kW Corriente 11.4 A cos phi(act) 0.95 Bomba eta 47.3 % Motor eta 74.1 % Total eta = 35.1 % (Bomba + motor) Consumo específico 1911 Wh/m ³

Tabla 5: Datos técnicos de la bomba SP 2A-48

Fuente: Grundfos

Según los datos del fabricante, el rendimiento total de bomba y motor es del 35.1%. Dividiendo la energía anteriormente calculada por este rendimiento obtendremos la energía necesaria a la salida del inversor:

$$E_{inv} = 8345 / 0.351 = 23775 \text{ Wh}$$

Esta bomba es capaz de bombear 1.32 m³/h de agua a 245 metros de altura manométrica así que para obtener 12.5 m³/día tendremos que bombear el número de horas indicado a continuación:

$$n^{\circ} \text{ horas} = 12.5 / 1.32 = 9.5 \text{ h/día}$$

Según el fabricante el consumo específico de la bomba es 1911 Wh/m³. Para bombear 12.5 m³/día la energía diaria necesaria es dada entonces por la siguiente relación:

$$E_{\text{inv}} = 1911 \times 12.5 = 23887 \text{ Wh/día}$$

El último valor hallado es compatible con la energía calculada a partir de nuestros cálculos. Tomaremos de aquí en adelante el valor indicado por *Grundfos*.

Los inversores de onda senoidal pura suelen tener rendimientos muy elevados, alrededor del 95%. En la práctica, sobre todo cuando la carga inductiva es como la de un motor eléctrico, el inversor se suele escoger para que tenga una potencia entre 1.5 y 2 veces la potencia de la carga a controlar para absorber los picos de arranque. En este caso, la bomba tiene una potencia nominal de 2.2 kW y sería entonces buena práctica que el inversor tuviera unos 4 kW de potencia o que pueda soportar sin problemas una sobrecarga puntual. En el mercado español existen muchas casas constructoras de inversores para sistema fotovoltaicos como *Waeco*, *Outback* o *Renergy*. *Outback* es la mejor opción en cuanto a calidad y fiabilidad del producto. Este inversor es capaz de soportar sobrecarga del 100% de su potencia durante unos 5 segundos y del 40% durante media hora. Este fabricante produce inversores "sealed" de 2000 W a 24 y de 2300 W a 48 V e inversores de 3000 W ventilados a 24 y 48 V. El inversor más adecuado será el de 3000 W a 48V. La eficiencia del inversor según ficha técnica del fabricante es del 93%. Entonces la energía necesaria a la entrada del inversor o, mejor dicho, a la salida de las baterías es igual a:

$$E_{\text{batt}} = 23887 / 0.93 = 25685 \text{ Wh/día}$$

A partir de la energía necesaria a la salida de las baterías tenemos que tomar en consideración la eficiencia de carga de las mismas. En la práctica éste parámetro suele ser del 85%, considerando que el 15% de la energía proporcionada se pierda por efecto Joule.

La energía necesaria a la entrada de las baterías o, como antes, a la salida del regulador es:

$$E_{\text{reg}} = 25685 / 0.85 = 30218 \text{ Wh/día}$$

Finalmente, la última eficiencia que cabe tomar en consideración es la propia del regulador. A simple vista la energía necesaria que tendrá que proporcionar el campo fotovoltaico es bastante elevada y seguramente harán falta muchos módulos. A tal

propósito resultaría muy útil usar el regulador de la casa constructora anteriormente citada *Outback*. Este regulador tiene la gran ventaja de poder trabajar con una tensión de entrada de hasta 150 V cargando bancos de baterías indiferentemente de 12, 24, 48 y 60 V con todas las ventajas que esto supone:

1. Independizar la parte del campo FV de las baterías permitiendo el uso de módulos con un voltaje de aplicación cualquiera
2. Ahorrar en cableado ya que, trabajando el campo FV a tensión elevada, se reduce la corriente y con ello la sección de los cables necesarios
3. Una función muy interesante que tiene este regulador por el simple hecho de trabajar con elevada tensión de entrada es que es capaz de realizar ciclos automáticos de mantenimiento de las baterías para limpiar los electrolitos proporcionando alta tensión y baja corriente.

Otra gran ventaja de este regulador es que realiza el seguimiento del punto de máxima potencia para aprovechar al máximo la energía que los módulos consiguen captar. El rendimiento de este regulador es del 97.5% y la energía necesaria a la salida del campo FV es:

$$EFV = 30218 / 0.975 = 30993 \text{ Wh/día}$$

En la próxima sección procederá al dimensionado del campo FV.

4.3 Dimensionado del campo fotovoltaico

El número de paneles fotovoltaicos necesarios para cubrir las necesidades de la instalación está estrictamente relacionado a la que es la demanda de energía anteriormente calculada y la radiación diaria disponible.

El municipio de Hombori, como se ha indicado anteriormente, se encuentra a 15.28° de latitud norte. El clima es muy seco durante todo el año menos que en la estación de las lluvias que va aproximadamente de Julio a Octubre, meses en los cuales se concentran prácticamente todas las precipitaciones del año. Aún así la radiación media diaria en esta estación resulta ser muy elevada ya que las precipitaciones tienen carácter de tormentas breves pero violentas.

Los datos de radiación se resumen a continuación:

Mes	H med (kJ/m ²)
Jan	15444
Feb	17640
Mar	19800
Apr	20808
May	21456
Jun	20664
Jul	19764
Aug	19080
Sep	19260
Oct	18720
Nov	17208
Dec	16956

Tabla 6: Datos de radiación de Hombori

Fuente: Pvgis, Organismo de la Comisión Europea y referencia para los sistemas de información geográfica (GIS) en el campo de la energía fotovoltaica (PV) (<http://sunbird.jrc.it/pvgis/>)

Los valores en la tabla se refieren a la radiación disponible sobre una superficie horizontal. Los rayos del sol llegan a la tierra con una inclinación que varía a lo largo del año y del lugar geográfico objeto de estudio. Es preciso orientar los paneles hacia el sur y con una inclinación que nos permita aprovechar al máximo la radiación incidente sobre la superficie terrestre. En este caso los niveles diarios de radiación son inferiores en verano cuando el sol está más alto al horizonte y con los paneles a 15° se consigue balancear este efecto obteniendo una producción bastante constante a lo largo del año.

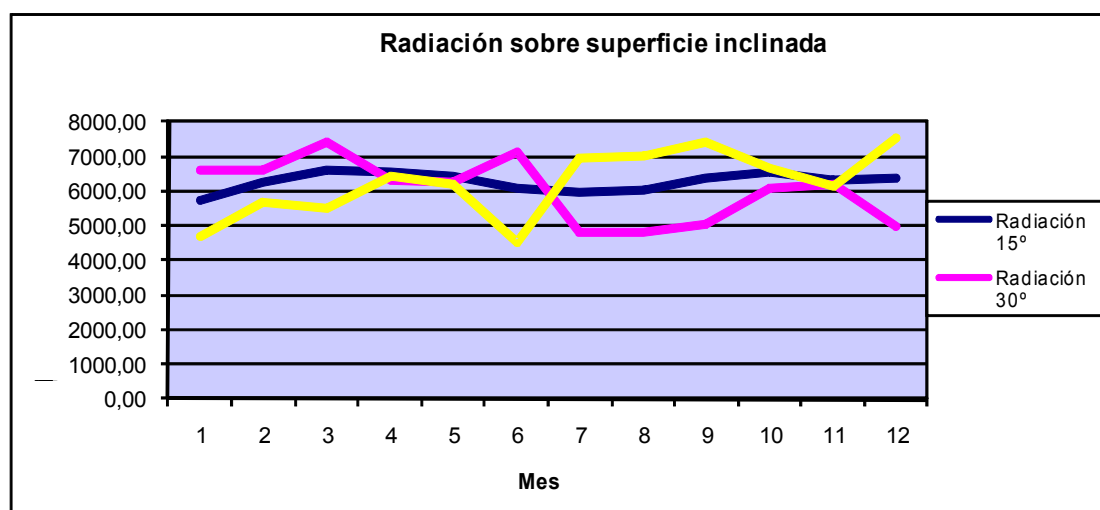


Gráfico 6: Radiación sobre superficie inclinada de Hombori

Los valores de radiación sobre superficie inclinada a 15° son indicados en la tabla siguiente así como las relativas horas de sol pico:

Mes	Ht (kW/m2 día)	HSP
Jan	5755.59	5.76
Feb	6275.82	6.28
Mar	6611.33	6.61
Apr	6552.91	6.55
May	6420.85	6.42
Jun	6081.04	6.08
Jul	5978.43	5.98
Aug	6015.82	6.02
Sep	6362.68	6.36
Oct	6524.66	6.52
Nov	6312.95	6.31
Dec	6387.19	6.39

Tabla 7: Radiación sobre superficie inclinada a 15°

Enero resulta ser el mes con peor radiación y el dimensionado de la instalación se realizará a partir de las horas de sol pico relativas. La relación entre la potencia del campo fotovoltaico y la energía necesaria es dada por:

$$EFV \times 1.1 = Wp \times HSP$$

donde el termino multiplicativo 1.1 es un factor de seguridad mientras Wp es la potencia pico total del campo fotovoltaico. Despejando para hallar Wp se obtiene:

$$Wp = EFV \times 1.1 / HSP = 30993 \times 1.1 / 5.76 = 5919 \text{ Wp}$$

A partir de este punto solo nos queda escoger el módulo fotovoltaico de la potencia que mas se ajuste a la potencia necesaria. Los módulos para instalaciones aislada suelen ser de baja potencia y tensión de aplicación de 12V. En este caso, por el hecho de usar el regulador de *Ouback* que acepta un amplio rango de tensiones de entrada y por la potencia elevada del campo fotovoltaico podríamos pensar de utilizar módulos de alta potencia, mas frecuentes en aplicaciones de conexión a red. Una de las mejores empresas productoras de módulos es la casa china *Suntech Power*. En su catálogo aparecen módulos para instalaciones aisladas de potencias de 45, 65 y 85W. En cambio, una de las potencias más producidas y por la misma razón más barata es de 260W.

En la tabla siguiente se muestra la relación entre la potencia mínima necesaria para el campo FV, el número mínimo de módulos según sus potencias y el valor resultante del campo FV.

Potencia campo FV (W)	Potencia módulo (W)	nº mínimo de módulos	Potencia campo FV (W)
5919	45	132	5940

	65	92	5980
	85	70	5950
	260	23	5980

Tabla 8: Relación entre la potencia mínima necesaria para el campo FV, el número mínimo de módulos según sus potencias y el valor resultante del campo FV

Es evidente que el dimensionado más ajustado se obtiene usando 92 módulos de 65 Wp. Aún así la mejor opción por complejidad de la instalación y para ahorrar en cableado, conectores y protecciones, usaremos 24 módulos de 260W de potencia. Las características de estos módulos se detallan a continuación:

Módulo	Suntech STP260S-24/Vb poli
STC Power Rating (W)	260
Voc (V)	44
Vmp (V)	34.8
Isc (A)	8.09
Imp (A)	7.47
Eficiencia	15%
Largo (mm)	1956
Ancho (mm)	992
Espesor (mm)	50

Tabla 9: Características de los módulos

Fuente: Suntech Power

Como se ha dicho anteriormente se usará un regulador de carga de la casa *Outback* capaz de soportar una tensión de entrada de hasta 150 V. Siendo la tensión a circuito abierto de estos módulos de 44 V, conectando 3 en serie obtendremos una tensión de entrada al regulador de 132 V. Entonces la instalación constará de 24 módulos de 260 W distribuidos en 8 cadenas de 3 módulos en serie en cada una. Según la ficha técnica del productor, al regulador FM60 se le puede conectar con una tensión de sistema de 48V, un campo fotovoltaico de 3000W hasta 3600. Nuestro campo fotovoltaico será de 6240 W así que necesitaremos dos reguladores del mismo tipo, cada uno cargado con 4 de las 8 cadenas totales, y que trabajan contra el mismo banco de baterías.

4.4 Dimensionado del banco de baterías y de todos los elementos de conexión, cableado y protección

Las baterías son los elementos que almacenan la energía eléctrica para proporcionarla cuando haga falta. Para dimensionar el banco de baterías tenemos que tener en cuenta varios factores como:

- Tensión del sistema
- Profundidad de descarga de las baterías
- Días de autonomía

Como detallado en el párrafo anterior la tensión del sistema será de 48V. En cuanto a la autonomía el ideal sería establecer mínimo un par de día aunque esto supondría un coste muy elevado para la instalación. Podríamos pensar en poner un día de autonomía para que la instalación sea más barata y en caso de fallo del sistema FV la población podría disponer de agua tal y como hacen ahora hasta que no se arregle. Las baterías para uso solar se denominan también de descarga profunda aunque nunca deberían descargarse más del 60% de su capacidad nominal. En resumen:

1. Tensión del sistema: 48V
2. Profundidad de descarga de las baterías: 60%
3. Días de autonomía: 1

La energía necesaria a la salida de las baterías anteriormente calculada es:

$$E_{batt} = 25685 \text{ Wh/día}$$

La capacidad mínima de la batería sin tener en cuenta la profundidad de descarga será dada entonces por la relación entre la energía y la tensión del sistema:

$$C_{batt-min} = E_{batt} / V_{sist} = 25685 / 48 = 535 \text{ Ah/día}$$

Hablar de una profundidad de descarga del 60 % quiere decir que la batería, una vez proporcionados los Ah necesarios anteriormente calculados, debería estar al menos al 40% de su carga:

$$C_{batt} = C_{batt-min} / 0.6 = 892 \text{ Ah}$$

En el mercado es muy común encontrar baterías solares de 250 Ah de capacidad a 12V. Para esta instalación necesitaríamos entonces 16 Baterías de este tipo, 4 cadenas en paralelo de 4 baterías en serie para obtener una capacidad de 1000 Ah (250 x 4 por el paralelo) a 48V (12 x 4 por la conexión en serie).

Faltaría ahora sólo calcular los **elementos de protección** necesarios y los diámetros mínimos de los **cables**. Para ello dividimos la instalación en etapas:

Etapa	Corriente máxima	Tensión del sistema	Distancia máxima (m)
Campo FV → Caja de conexión paralelos	8.09 A (Isc módulos)	132 V (Voc módulos x nº módulos en serie)	15
Caja de conexión paralelos → Regulador	32.36 A (Isc x 4 (nº de cadenas / 2 reguladores)	132 V (Voc módulos x nº módulos en serie)	1.5
Regulador → Baterías	60 A (Imax del regulador)	48 V (Vsist)	1.5
Baterías → Inversor	120 A (Pmax Inversor / Vsist)	48 V (Vsist)	1.5
Inversor → Bomba	35 A (Pmax Inversor / Vac)	230 V (Vac)	30 (Profundidad del nivel freático)

Tabla 10: Etapas de la instalación

En cuanto a las protecciones será necesario escoger los magnetotérmicos con características de tensión y corriente que encajen con cuanto indicado en la tabla anterior. En cuanto al diámetro mínimo de los cables, la sección se calcula a partir de la máxima caída de tensión admisible entre un extremo y el otro del cable en función de la intensidad de corriente en cada tramo de la instalación. La formula que liga la sección del cable con el resto de parametros apenas citados es la siguiente:

$$R = \rho \times l / S = \Delta V / I$$

Donde ρ es la resistividad del cobre ($1.67 \cdot 10^{-8} \Omega m$), l es la longitud máxima del cable y S es la superficie de la sección del cable. Despejando se obtiene:

$$S = \rho \times l \times I / \Delta V$$

ΔV es la máxima caída de tensión admisible y se puede definir como un tanto por ciento de la tensión del tramo de sistema. Asumiremos que la caída no puede ser superior al 3% de la tensión por cada etapa del sistema.

Los resultados se encuentran en la hoja excel adjunta "Sección cables" y se detallan a continuación:

Etapa	nº AWG	Superficie (mm2)
Campo FV → Caja de conexión paralelos	20	0.52
Caja de conexión paralelos → Regulador	23	0.26

Regulador -> Baterías	16	1.31
Baterías -> Inversor	13	2.63
Inversor -> Bomba	13	2.63

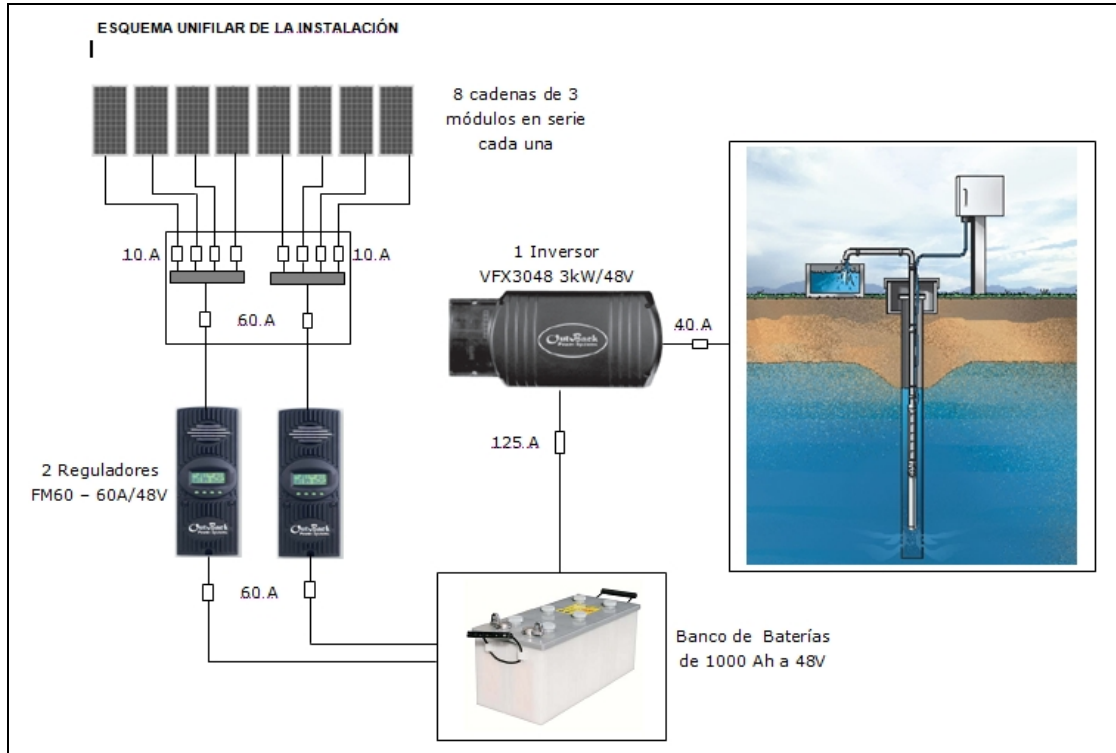
Tabla 11: Sección cables

Las protecciones necesarias por cada etapa son:

Etapas	Protecciones
Campo FV --> Caja de conexión paralelos	8 magnetotermicos de 10 A en DC
Caja de conexión paralelos --> Regulador	2 Magnetotermicos de 60 A en DC
Regulador --> Baterías	2 Magnetotermicos de 60 A en DC
Baterías --> Inversor	1 Magnetotermico de 125 A en DC
Inversor --> Bomba	1 Magnetotermico de 40 A en AC

Tabla 12: Protecciones

4.5 Esquema unifilar de la instalación



5 TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DEL AGUA

5.1 Transporte

En el capítulo anterior llevamos a cabo el estudio desde el punto de vista energético para bombear el agua presente en el pozo de Hombori hasta el poblado de Kantakine. Para ello hablamos de una distancia horizontal de unos 1000 m y de una diferencia de cota de 205 m desde el nivel freático hasta el desemboque en el tanque de almacenamiento. Esta distancia tendrá que ser recorrida por una tubería intentando evitar por cuanto posible todo tipo de irregularidad en el camino, entendiendo por irregularidad en este caso, todo tipo de curva, codo, bajadas y subidas de las tuberías.

A esta altura del proyecto de cooperación no hemos podido definir con exactitud donde y como pasará la tubería. Todo lo que podemos afirmar es que se buscará el camino más recto posible hasta los pies de la montaña para luego subir también en línea recta todo lo posible, siguiendo el perfil altimétrico.

El material de la tubería será seguramente el PVC por su coste y su resistencia a los agentes atmosféricos.

El diámetro de la tubería será de 1 1/4 pulgadas acorde con el diámetro de la boca de salida de la bomba. En la tabla siguiente se detallan los datos de la tubería:

Material	PVC
Longitud aproximada	1000 m
Diámetro	1 1/4"

Tabla 13: características de las tuberías utilizadas para el transporte del agua

5.2 Almacenamiento

En el capítulo anterior hablamos también del depósito de almacenamiento en altura y dimensionamos el sistema para bombear 12.5 m³ de agua al día, y esto será también el volumen mínimo que tendrá que tener el depósito.

Durante nuestro viaje en Mali vimos varios de estos depósitos y supusimos entonces que habría disponibilidad de comprar o construir un depósito elevado de las características deseadas en el terreno.



Imagen 3: Ejemplo de depósito en altura encontrado en la zona

Sería ideal que el depósito fuera de acero inoxidable, materiales plásticos o de hormigón. Es fundamental que el depósito no sea de ningún material sujeto a oxidación porque de lo contrario se podría envenenar a la población. Tampoco el acero inoxidable es una buena opción porque en realidad este material es inoxidable hasta que no sufra algún tipo de rotura. Es evidente entonces que su seguridad está demasiado ligada al uso y a la manutención que se haga del depósito.

Independientemente de como se construya el depósito, para dar una idea de sus dimensiones podríamos imaginar que el mismo tenga un diámetro de base unos 2 metros y una altura de 4 metros por un volumen total de 12.56 m³. Pensamos que pudiera ser mejor tener un depósito más alto que ancho para obtener una separación mayor entre los niveles superiores de agua más limpia y los niveles inferiores donde se depositan las impurezas.

6 DISTRIBUCIÓN DEL AGUA Y SISTEMA DE RIEGO

Como se ha dicho en capítulos anteriores, los principales cultivos en el municipio de Hombori son el mijo, el arroz de hondonada, el cacahuete, el niébé, el wandzou y el sorgo. Cada tipo de cultivo se ha desarrollado en una u otra zona esencialmente en función de la que es la disponibilidad de agua. En el poblado de Kantakine la escasez de este elemento hizo que se desarrollara más el cultivo de cereales como el mijo y el sorgo que necesitan poca agua. Estos cereales suelen cultivarse en pequeñas terrazas construidas en las laderas de la montaña.

Tradicionalmente los cultivos no se suelen cuidar mucho debido al hecho que estas plantas casi no necesitan agua y que nacen y crecen sin ningún tipo especial de sistema de cultivo durante la estación de las lluvias. Como citado anteriormente el problema está justamente en que no todos los años llega a llover la cantidad de agua suficiente como para asegurar una buena cosecha, cosa que se traduce en problemas de abastecimiento alimentar de la población y con ello la dependencia de otros pueblos cercanos más afortunados con todos los gastos y problemas sociales que conllevaría.

Se decidió entonces plantear el bombeo solar, tratado en el capítulo 3, también para proporcionar una reserva constante de agua de uso agrícola que se pueda utilizar en caso de necesidad. En principio esta agua no necesitaría de ningún tipo de tratamiento especial.

A lo largo de nuestras investigaciones nos dimos cuenta que realmente la idea de plantear un sistema de riego para aprovechar al máximo el recurso hídrico y con ello un nuevo sistema de cultivo, a parte que sería difícilmente aceptado por la población, sería también inútil. Como dicho estos cultivos no necesitan mucha agua y la que le llega suele venir desde el cielo en forma de abundantes precipitaciones. La cosa mejor y más rápida sería entonces copiar la naturaleza.

Uno de los sistemas de riego más antiguo y sencillos es por inundación. Este método no tiene una componente técnica muy complicada. Se trata de construir un sistema de distribución con canales, tuberías o zanjas de forma que el agua pueda ser guiada hasta el punto de interés en cantidad. Básicamente este sistema consta de dos elementos hidráulicos:

1. Canales principales de transporte
2. Canales secundarios de riego

Los canales principales de transporte son las autopistas donde correrá el agua, buscando que no se pierda por el camino, hasta los puntos de distribución secundarios

que son los canales de riego. Para asegurar que el agua llegue a tocar todos los puntos de las terrazas y no se pierda por absorción en el camino será necesario asegurar un caudal bastante elevado.

La idea sería aprovechar la altura piezométrica del agua en el depósito para asegurar presión al líquido que iría desde el mismo a las terrazas en una tubería cerrada en PVC del diámetro adecuado y recorrería todos los campos hasta el último situado a la cota más baja. En el punto que resultara más correcto dentro de cada terraza, se ubicarían unas secciones de tubería en T con válvula de corte manual. Las salidas de estas secciones en T irían hacia el sistema de canalización secundario de riego que a su vez podría tener, si resultara necesario, varios canales principales abiertos directamente escavados en el suelo y compactados o con canaletas abiertas en PVC, y finalmente canaletas de riego construidas para distribuir el agua en toda la superficie.

En todo caso siempre será necesario buscar el aprovechamiento de la pendiente natural del terreno o, en caso no fuera posible, de trabajar el terreno para que esto tenga una pendiente adecuada para permitir en primer lugar la escorrentía y luego la absorción del agua.

A esta altura del proyecto no será posible proporcionar datos adicionales sobre superficie a regar, caudal o distancias a cubrir, ya que durante el viaje en Mali no fue posible hacer todos los estudios necesarios. Sólo en una segunda etapa se pensará plantear un sistema de este tipo y será objeto de investigación de los próximos viajes a Mali.

7 TRATAMIENTO DEL AGUA

7.1 *Introducción*

La historia del desarrollo humano está asociada, en gran medida, al estado sanitario de los distintos grupos que han habitado este planeta. En ocasiones, pestes y plagas, muchas veces aleatorias, coyunturales y únicas, han diezclado a países o regiones enteras. Sin embargo, hay enfermedades que parecen ser tan antiguas como el ser humano y su vigencia y protagonismo son parte de la vida cotidiana. Se trata de las enfermedades diarreicas.

El “Informe de Salud Mundial” de la Organización Mundial de la Salud de finales del siglo XX, ubica a las diarreas como la séptima causa de muerte en el mundo después de las enfermedades coronarias, los accidentes cerebro vasculares, las infecciones respiratorias agudas, el HIV/SIDA, las obstrucciones crónicas pulmonares y las condiciones adversas perinatales. Si bien esa colocación evidencia la importancia de las mismas, el dato de séptima causa de mortalidad queda empalidecido cuando la misma Organización Mundial de la Salud reporta que las diarreas son, de lejos, la primera causa de morbilidad en el ser humano, con cuatro mil millones de casos anuales. Se estima que en todo momento, casi la mitad de la población que habita el mundo en desarrollo está soportando un episodio de diarrea. Infelizmente, esa prolongada presencia en la vida de los seres humanos ha hecho que se pierda de vista la magnitud y el peso que la misma representa sobre la salud y la calidad de vida de los individuos y sobre la economía de la humanidad en su conjunto.

Las diarreas tienen como causas, una deficiente nutrición, la inapropiada disposición de excretas, inadecuadas prácticas higiénicas, y una mala calidad del agua de bebida. Las primeras de esas causas podrían englobarse dentro del contexto de pobreza y de pautas culturales inapropiadas que aquejan a tantos, mientras que el último punto, el de la mala calidad del agua de consumo, aparece como una responsabilidad de la ingeniería sanitaria y de otras ciencias asociadas.

La desinfección es el postrer resguardo que tiene la salud pública en la producción y distribución del agua de bebida. En los países desarrollados, esta etapa del tratamiento siempre se ha tenido como eje de la calidad microbiológica del agua que se entrega y los resultados han sido claros. Las tasas de esos países son inferiores en varios órdenes de magnitud a las de los países en vías de desarrollo. Como ejemplo pueden citarse los valores de mortalidad por enfermedades diarreicas en Europa (3 por mil) y de África (12,4 por ciento).

Esto reconoce dos factores y comentarios. El primero es que en los países desarrollados es obvio que la desinfección está incorporada como un proceso ineludible, fijo y establecido. Es una rutina normal que se ejerce con todo el

conocimiento y convicción de lo que representa. Como tal, en esos países, la ingeniería sanitaria, la química, la bioquímica y la toxicología evalúan, desde el punto de vista técnico y en profundidad, las mejores capacidades, las mayores eficiencias y los menores costos. Y desde el punto de vista sanitario y toxicológico ahondan las características y las relaciones que tienen los desinfectantes y los productos de la desinfección con la salud. El segundo comentario es que en los países en desarrollo ocurre lo contrario. Los tratamientos de potabilización, sobretodo en áreas rurales, son imprecisos y la mala operación y el escaso mantenimiento están extendidos. Es así que los procesos de desinfección son pobres y no se respeta el papel que cumplen como protección de la salud pública.

Dada esa situación, es claro que lo prioritario para unos difiere de lo que es importante para otros. En los países en desarrollo no son tan significativos la investigación ni el control de los productos de la desinfección, pero sí es importante el conocimiento de tecnologías simples, apropiadas y confiables que sean aceptables por los usuarios; con costos reducidos y operación y mantenimiento sencillos y económicos. Si bien en el campo de la salud de la población, lo ideal es conseguir la perfección o estar lo más cerca de ella, en los países en desarrollo, el sentido común y los pies asentados en la tierra hacen ver que la búsqueda de tal perfección puede ser una utopía; algo casi imposible de lograr. Por ello, se ha incorporado un término que si bien puede generar críticas, es realista y apunta a la flexibilidad necesaria ante las condiciones técnicas, económicas y socioculturales imperantes. Este término es el de “mejora de la calidad”, que tácitamente acepta que si no se puede lograr lo ideal, lo perfecto; entonces al menos un paso en la dirección correcta será mucho mejor que nada.

7.2 Consideraciones sobre la desinfección

Tal como se ha expresado, la desinfección es un proceso clave en cualquier sistema de tratamiento de agua. Por ello, en la producción de agua segura para consumo humano es importante destacar consideraciones especiales antes de su implementación. En las líneas que siguen se habrán de detallar algunas.

Al diseñar un sistema de tratamiento de agua, en especial en el área rural, debe tomarse a la desinfección no como un elemento más, sino como un componente vital del sistema. En muchos casos, quien diseña un sistema de provisión de agua en una pequeña comunidad no solo toma a la ligera la desinfección, sino que hasta prioriza la producción de agua (cantidad), ante la seguridad de la misma (calidad).

Ya se ha comentado que ninguna opción válida dentro de la tecnología apropiada es desechable ni se puede desestimar. Pero sí es importante que en la selección de esa tecnología se tomen en cuenta condicionantes tales como los recursos disponibles y la

posibilidad de soporte técnico en los aspectos sociales, económicos y culturales de la comunidad.

En la etapa de selección de la técnica y el sistema de desinfección se deben tener en cuenta sus características y contrastarlas con las características de la planta, el lugar y la comunidad. Es una buena receta tratar de complementar las mejores condiciones de la técnica y del sistema de desinfección con las de la fuente, lugar, sistema, población y sus características culturales. Esto es importante, pues la realidad indica que no hay lugar, sistema ni comunidad que sean perfectos.

Hay que destacar que en el medio rural el agua no siempre va del grifo a la boca del consumidor. En ocasiones se deja en depósitos (baldes y tanques) y en otras, los pobladores deben buscarla y acarrearla desde puntos alejados (grifos públicos y fuentes). Esas prácticas hacen que la contaminación de esas aguas sea frecuente. Surge entonces la necesidad de contar con medidas de seguridad luego de la desinfección para hacer frente a esa contaminación posterior. El residual de desinfectante se convierte entonces en una barrera más (y definitivamente en la ulterior) contra la contaminación que casi seguramente ocurrirá dentro de la morada. El resultado de esta observación es que el desinfectante debe dejar un residual en la red y en caso de que no sea así, se deberán utilizar dos desinfectantes: uno primario para desinfectar y otro secundario para proveer el residual.

Otras consideraciones son importantes. Una buena desinfección no debe reemplazar a otras providencias y acciones que tiendan a mejorar la calidad del agua durante su recorrido desde la fuente al usuario. En ocasiones, una buena selección de la fuente permitirá agua más clara y menos contaminada, lo que facilitará el tratamiento.

Además de tener en cuenta la calidad del agua que llega a la planta de tratamiento, también hay que observar la calidad que presenta el fluido antes de entrar en contacto con el desinfectante. En una planta con tratamiento completo, la etapa anterior a la desinfección es la filtración rápida. El agua proveniente de los filtros debe estar en sus mejores condiciones, ya que una baja turbiedad coadyuvará a una más eficiente desinfección. Por supuesto que hay que abordar el tratamiento de agua como un todo, pero también es necesario considerarlo como una sumatoria de etapas en las que cada una debe ser evaluada, operada y supervisada en forma individual.

Para que cualquier desinfectante actúe eficientemente, deberá cumplir los requerimientos de la ecuación $C \times T$, lo que significa que todo desinfectante presentará una determinada concentración (C) y estará en contacto con el agua a desinfectar por un período mínimo de tiempo (T). Un error común es proyectar cámaras que no permiten el tiempo de contacto suficiente, desestimando la simple ecuación que liga el volumen de agua con el caudal y el tiempo requerido por el desinfectante: $V = Q \times T$

Dentro del marco operativo, es importante recalcar la necesidad de que cualquiera que sea el desinfectante o método empleado, debe haber una buena mezcla y dispersión por toda la masa de agua. Una vez que el sistema se haya instalado y esté en operación, hay que tener en cuenta que en las áreas rurales de la mayoría de los países en desarrollo, casi nunca hay recursos en cantidad y calidad. Por ello, el error más frecuente de los ingenieros o instituciones encargadas de construir el sistema, es inaugurar el mismo y dejar un equipo de desinfección en operación, habiendo capacitado por espacio de una o dos horas al operador y partir para regresar seis meses más tarde y encontrar que la desinfección ya no funciona. El equipo de desinfección está ligado, como ninguna otra parte del sistema, a la junta de agua, al operador y hasta a los mismos usuarios. Por ello es que se debe encarar una doble actividad, primero de concienciación a todo el espectro social (operador, junta de agua o administradora y a los usuarios) acerca de la necesidad de desinfectar, de sus bondades y de los riesgos de una desinfección inadecuada. Los usuarios tienen que haber entendido que existe una clara relación entre el agua y la salud (o entre el agua y la enfermedad) y que la desinfección, aún con sus ligeros inconvenientes, es la barrera imprescindible para detener el riesgo de la enfermedad.

Una actividad que se debe encarar es la de capacitar en detalle al operador, a los operadores sustitutos y a los miembros de la junta de agua en los requisitos, en las formas operativas de la desinfección en general y en aquellos relacionados con el equipo o sistema específico que se está utilizando en la comunidad. La capacitación debe tener como resultado gente que actúe casi en forma automática en cuestiones de desinfección. Ello conlleva también la preparación de instrucciones que sean claras, comprensibles, aceptables y aceptadas por la junta y los operadores. Es obvio decir que el respaldo técnico es vital. Las rondas de supervisión, refuerzo y apoyo por parte de personal capacitado que frecuentemente visite la comunidad son condición sine qua non para que la desinfección no se detenga o discontinúe.

7.3 Métodos y tecnologías de desinfección del agua

Los métodos y tecnologías más utilizados para la desinfección del agua son:

- desinfección solar
- cloración
- radiación ultravioleta
- filtración lenta
- ozono
- dióxido de cloro
- minifiltración
- métodos alternativos, y
- desinfecciones especiales y de emergencia

En este proyecto nos centraremos en dos de ellas, desinfección solar y el de radiación ultravioleta.

7.3.1 Desinfección solar. Método SODIS

Uno de los métodos de desinfección más simples y menos costosos para suministrar agua de calidad aceptable para el consumo humano es la radiación solar, que algunos técnicos han dado en llamar SODIS (del inglés “solar desinfection”). Este método es ideal cuando las condiciones económicas y socioculturales de la comunidad ponen en riesgo la sostenibilidad de otras alternativas de tratamiento y desinfección, como la filtración o el uso de cloro, aún cuando éstas también sean reconocidas como simples y económicas.

Es necesario aclarar que la técnica es más adecuada para el tratamiento del agua en el ámbito familiar o para grupos de viviendas, antes que para sistemas convencionales o más complejos. Obviamente, solo es viable en aquellos lugares donde exista conveniente radiación solar.

En la SODIS intervienen muchas variables que condicionan su eficiencia y la eventual seguridad del agua tratada. La latitud y la altitud geográfica, la estación, el número de horas de exposición, la hora, las nubes, la temperatura; el tipo, el volumen y el material de los envases que contienen el agua; la turbiedad de agua y el color; son, entre otros, los parámetros que podrían interferir en una desinfección perfecta. **La Organización Mundial de la Salud considera a la SODIS una opción válida, pero solo como un “método menor y experimental”.** Aun así, en áreas donde no hay otro medio disponible para desinfectar el agua, puede mejorar sustancialmente la calidad bacteriológica de la misma.

La tecnología de la SODIS usa equipos como el calentador solar (de producción continua) y los sistemas en tanda, entre los que figuran la cocina solar, el concentrador solar y una gama de destiladores, los que más adelante serán descritos en detalle. También se hará referencia a la propuesta suiza de la desinfección en botellas y recipientes de menor volumen. Todos esos equipos son sencillos, económicos y fáciles de operar. La aceptación que han tenido en varias regiones del mundo ha confirmado que representan una solución atractiva y apropiada.

Existen un par de trabajos que postulan que buena parte del poder de desinfección de la SODIS se debe a la acción fotoquímica. La radiación ultravioleta tiene el poder de aniquilar microorganismos y por ello se ha argumentado que la porción ultravioleta que acompaña a la porción visible cuando se expone agua a la luz del sol sería la responsable de la acción bactericida. Pero lo cierto es que la porción realmente bactericida del componente ultravioleta, que corresponde al rango del UV-C (100-280

nm), es la que menos está presente en la radiación solar y aun suponiendo que fuera suficiente para tener algún poder de desinfección, se ha comprobado científicamente que la mayoría de los materiales, incluso los transparentes a la luz solar, como el vidrio y el plástico, son casi totalmente opacos a la radiación ultravioleta. El resultado de este simple análisis es que si se expone agua a una radiación escasa y además se interpone un filtro prácticamente opaco a la misma, entonces la capacidad desinfectante de esa radiación es necesariamente nula o, en el mejor de los casos, despreciable. Decididamente, la SODIS no opera bajo el pretendido mecanismo de la fotoquímica. **El funcionamiento de la SODIS se basa en la pasteurización, que es un proceso térmico.**

Las altas temperaturas tienen un marcado efecto sobre todos los microorganismos; las células vegetativas mueren debido a la desnaturalización de las proteínas y la hidrólisis de otros componentes. En el agua, si bien hay algunas bacterias con capacidad de esporular, lo que las hace particularmente resistentes al calor, en general puede afirmarse que la mayoría de las bacterias mueren entre los 40 y los 100° C, mientras que las algas, protozoarios y hongos lo hacen entre los 40 y los 60° C. La desinfección por ebullición consiste en elevar la temperatura del agua a 100° C y mantener esa condición por espacio de uno a cinco minutos. El resultado es la eliminación de la mayoría, sino de todos, los microorganismos presentes. En contraposición, la pasteurización se define como la exposición de una sustancia (normalmente alimenticia, incluida el agua), “durante el tiempo suficiente a una considerable temperatura para destruir los microorganismos que puedan producir enfermedad o dañar las condiciones del alimento”. Si bien la susceptibilidad al calor se encuentra condicionada por factores como la turbiedad del agua, la concentración de células, estado fisiológico y otros parámetros, **el proceso de pasteurización destruye coliformes y otras bacterias no termotolerantes** y esto es afortunado, ya que la mayor parte de los patógenos se encuentran en este grupo. Para el caso del agua se ha tratado de determinar la relación óptima entre el tiempo y la temperatura para destruir los gérmenes patógenos. Si bien esto no es exacto, se ha tomado como regla que para un agua clara (**con turbiedad menor de 5 UTN**) se puede asegurar un razonable nivel de seguridad en la desinfección con cualquiera de las siguientes relaciones: **65°C durante 30 minutos o 75°C durante 15 minutos.**

Desde un punto de vista eminentemente práctico y operativo estas condiciones se aseguran en zonas soleadas con exposiciones de cuatro a cinco horas en el período de máxima radiación (desde las 11:00 a las 16:00 horas).

7.3.1.1 Equipos

7.3.1.1.1 Calentador solar

El calentador solar está compuesto por un colector que es una caja con marco de aluminio y cubierta de vidrio.

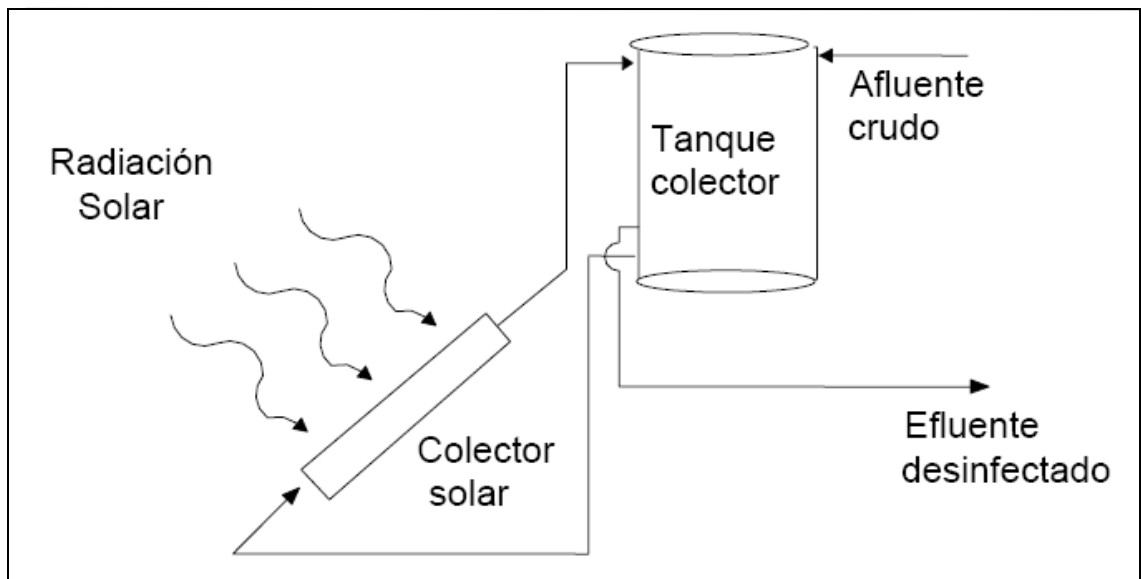


Imagen 4: Esquema de un termosifón para calentamiento de agua

Fuente: [3] www.cepis.org.pe

El colector contiene tubos de cobre, pintados de negro, soldados a dos tubos cabezales y que almacenan el agua en proceso de calentamiento. Este colector está conectado, por medio de tubos del mismo material, a un tanque-termo de plástico y fibra de vidrio, aislado con espuma de poliuretano para almacenamiento del efluente tratado.

El principio de funcionamiento de estos sistemas es conocido como circuito convectivo o calentador solar pasivo, donde el calor de la radiación solar es absorbido por los tubos negros, lo que incrementa la temperatura del agua dentro del colector y produce una consecuente disminución de la densidad de ésta. En estas condiciones, la columna de agua fría en la tubería de retorno al colector ya no queda equilibrada por la columna de agua caliente menos densa, por lo que la gravedad origina que la primera baje y desplace a la última hacia el tanque que está más arriba. Esta circulación natural, conocida como “termosifón”, continúa mientras exista suficiente calor para aumentar la temperatura del agua y la fuerza de empuje resultante pueda vencer la caída de presión en el sistema.



Esquema 1: Esquema de un termosifón para calentamiento de agua

Fuente: [3] www.cepis.org.pe

Cuando un calentador solar se utiliza con fines de desinfección, la eficiencia depende directamente de la temperatura que alcance para llevar a cabo el proceso de pasteurización.

Dado que el agua alcanza su máxima temperatura entre las 14:30 y las 15:30 horas, se recomienda evitar, en lo posible, drenar el tanque antes de esa hora para aumentar así el tiempo de residencia del agua en el equipo.

Los equipos convencionales familiares pueden producir unos 15 litros y los equipos mayores hasta 1 m³ de agua después de tres a cuatro horas de operación al mediodía. Existen en el mercado calentadores solares más sofisticados con colectores de doble cubierta de vidrio y tubos aleteados de cobre con superficies selectivas para captar mayor cantidad de energía solar y convertirla en calor útil. Algunos llegan a alcanzar temperaturas del agua de más de 90°C e incluso la vaporizan. No obstante, es necesario evaluar si las condiciones climatológicas del lugar justifican la inversión, de otra manera pueden utilizarse equipos menos eficientes pero también menos costosos.

7.3.1.1.2 Cocinas solares

En muchos países en desarrollo, especialmente donde la deforestación es un grave problema, los hornos y concentradores solares son la única opción que tiene la población para cocinar sus alimentos. La desinfección del agua por pasteurización es otra posibilidad que se deriva del uso de "estufas solares".

Una cocina solar se compone de un par de cajas que pueden ser de cartón o madera, una dentro de la otra, que sirven para atrapar el calor del sol y utilizarlo, en este caso, para calentar el agua.



Imagen 5: Cocina solar

Fuente: [3] www.cepis.org.pe

El principio consiste en aprovechar el calor que llega del sol por radiación y atraparlo en el interior de la caja pequeña; se evita que salga por medio de una cubierta transparente, que generalmente es de vidrio. Este calor es transferido por conducción a través de las ollas de metal hacia el agua contenida. Es conveniente utilizar un reflector que ayude a dirigir más los rayos solares hacia dentro de la caja para mantener el calor. El uso de reflectores disminuye aproximadamente 35% del tiempo del proceso. El espacio libre que queda entre las dos cajas se rellena con un material aislante que puede ser bolas de papel periódico, hule espuma, etc. La parte interior de la caja pequeña se recubre con un material reflectivo como papel aluminio. En el fondo de esta caja se coloca una laminilla de color negro. También es conveniente que las ollas se pinten de negro o se ahúmen para que absorban más calor. De preferencia deben utilizarse ollas metálicas. Las ollas de barro no son recomendables porque este material es aislante. Tampoco es conveniente usar materiales plásticos porque pueden derretirse con las temperaturas altas.

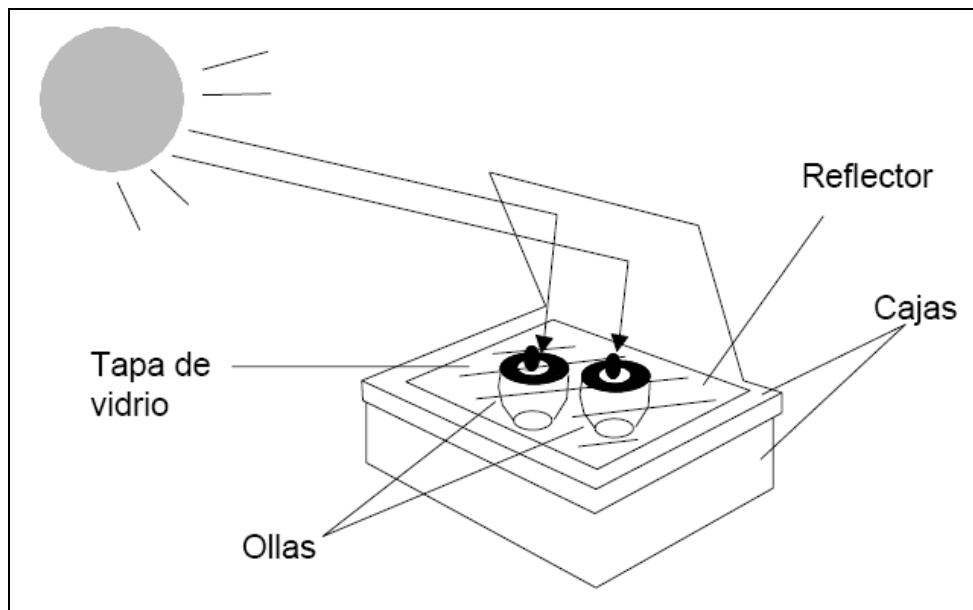


Figura 1: Esquema de una cocina solar

Fuente: [3] www.cepis.org.pe

7.3.1.1.3 Concentradores solares

Los concentradores solares son un tipo de calentador solar. Se parecen a una antena parabólica espejada o más bien a un paraguas abierto con su interior espejado. Al igual que una lente cóncava que recibe los rayos de luz y los concentra en un punto (el foco), estas cocinas concentran los rayos del sol en un punto en donde se coloca una pequeña plataforma para asentar allí la olla o recipiente que se quiere calentar. El diámetro típico de estos concentradores es igual o mayor que 0,80 m y pueden estar hechos de cartón recubierto de papel de aluminio o de otros materiales. No existen muchos modelos comerciales, pero hay libros y folletos que incluyen los planos para fabricarlos.



Imagen 6: Concentrador solar

Fuente: [3] www.cepis.org.pe

A diferencia de las cocinas descritas anteriormente, la concentración de los rayos en este tipo de cocinas genera temperaturas que pueden llegar a 350° C, lo que permite el rápido calentamiento del agua. Ello puede producir la desinfección por pasteurizado o por ebullición directa.

7.3.1.1.4 Destiladores solares

Otro equipo que aplica la energía térmica es el destilador solar, el cual puede manejarse con tecnología simple o sofisticada.

Estos equipos se utilizan para la producción de agua potable a partir de agua de mar o de agua dulce con algún problema de contaminación y también sirven como sistemas de desinfección del agua.

El principio de operación mediante energía solar es el mismo que utiliza la naturaleza en el ciclo hidrológico: se evapora el agua del embalse que tiene presencia de sales y se condensa en otra parte (nubes y luego lluvia), donde se obtiene agua purificada.

El destilador solar requiere un elemento que transforme la energía solar en un incremento de la temperatura del agua para poder evaporarla. La radiación visible e infrarroja es absorbida por cualquier superficie de color oscuro, de preferencia negro

mate. El acabado mate se usa para lograr una mejor absorción y evitar pérdidas de una fracción de luz por reflexión.

En los destiladores solares más simples, el colector solar consiste en una charola horizontal, de color negro, que contiene el agua que se quiere destilar, a la que se le denomina “destilando”. Para evitar las pérdidas indeseables de calor, es necesario que la charola esté aislada térmicamente por la parte inferior. El calentamiento del destilando produce evaporación y las sales minerales quedan retenidas en la charola. Para facilitar la evaporación, conviene que el evaporador tenga un área grande comparada con el volumen de destilando que puede contener. El agua así evaporada, se recolecta mediante una cubierta de vidrio o algún otro material colocado sobre el evaporador a una distancia e inclinación adecuadas.

Existen varios diseños de condensadores. El más simple consiste en una caseta de vidrio a dos aguas, con una inclinación de alrededor de 20° con respecto a la horizontal, lo cual permite que las gotas de agua condensada escurran hacia abajo en donde se colectan en pequeños canales.

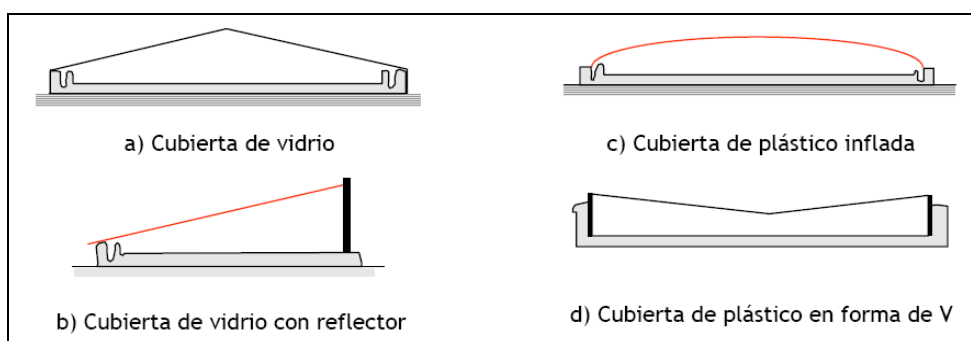


Figura 2: Diagramas esquemáticos de diseños de destiladores solares simples

Fuente: [3] www.cepis.org.pe

7.3.1.1.5 Desinfección en botellas y recipientes pequeños

Para el ámbito familiar, donde se desinfectan pequeños volúmenes de agua, el Instituto Federal Suizo para la Ciencia y Tecnología Ambiental (EAWAG), a través de su Departamento de Agua y Saneamiento en Países en Desarrollo (SANDEC), ha promocionado el uso de botellas y recipientes especiales pintados de negro. Esta modalidad ha tenido amplia aceptación en los lugares donde se ha implementado, aunque es necesario aclarar que siempre se ha debido disponer de programas de información, de concienciación de los usuarios y de monitoreo y seguimiento.

La técnica consiste en exponer el agua a desinfectar en botellas de plástico, como las que se usan para las bebidas gaseosas las que pueden estar o no, pintadas de negro.

La pintura puede ser total o sólo en la parte inferior de las mismas. Los suizos han realizado pruebas con una serie de recipientes, desde bolsas plástico hasta bidones de boca estrecha (para evitar que las manos entren en contacto con el agua desinfectada) y si bien han obtenido excelentes resultados desde un punto de vista práctico y económico, las populares botellas de bebidas gaseosas tienen un atractivo especial por su difundida disponibilidad. Los requerimientos en cuanto al tiempo y temperaturas de exposición son exactamente iguales que para cualquiera de las otras técnicas. En algunos casos puede adicionarse un termómetro para medir la temperatura alcanzada.



Imagen 6: Botella de gaseosa con monitor de temperatura

Fuente: [3] www.cepis.org.pe

Se ha demostrado que en el 99% de los casos, la remisión de coliformes es total para temperaturas del efluente mayores de 55° C. Sin embargo, por razones de seguridad, ya se ha expresado que la regla de oro es trabajar con un margen de seguridad y establecer los 65° C como la temperatura mínima de desinfección. Por tal motivo, el monitoreo de estos sistemas debe confirmar que la temperatura del agua a la salida de cualquier sistema o luego del período de tratamiento haya alcanzado 65° C.

Considerando que los calentadores solares no fueron diseñados para desinfectar el agua, sino simplemente para calentarla, no hay forma de conocer si la temperatura alcanzó el punto de pasteurización, por lo que resultaría conveniente instalar un termostato acoplado a una válvula que únicamente permita el paso del agua a una temperatura mayor de 65° C. En las cocinas o botellas puede acoplarse un termómetro a la tapa y en otros, se pueden colocar dentro de la botella pequeñas ampollas con una sustancia que se derrita a una temperatura mayor de 65° C, lo que aseguraría que se ha alcanzado la temperatura de pasteurización requerida.

7.3.1.2 Requerimientos de instalación

	Instalación y requerimientos de instalación	Operación y mantenimiento	Ventajas	Desventajas	Costos Totales
Calentadores solares	<p>Los calentadores solares son relativamente fáciles de instalar o adaptar a cualquier instalación. Únicamente se requiere que el tanque colector del agua caliente se eleve aproximadamente 60 cm por arriba del punto más alto del colector. No requiere de una presión determinada para su funcionamiento, ya que es suficiente que el tanque de alimentación de agua se coloque junto al colector, el que debe ubicarse con una inclinación aproximada a la de la latitud del lugar (por ejemplo entre los 15° y los 35°) y orientado hacia el sol.</p>	<p>La operación es simple, solo debe abrirse la llave de paso durante el día y cerrarse durante la noche. El mantenimiento se limita a mantener la cubierta del colector libre de toda suciedad, ya que la misma reduce la cantidad de radiación que llega al colector. La frecuencia de limpieza dependerá del grado de contaminación atmosférica. No se recomiendan las cubiertas de acrílico, pues se deforman y rayan fácilmente.</p>	<p>No depende de energía convencional, cuyo costo se incrementa con la creciente demanda. Evitan el uso de sustancias químicas tóxicas. Requieren equipo relativamente sencillo y de bajo costo, que se recupera rápidamente y proporciona agua potable durante muchos años. Su uso no deteriora el ambiente.</p>	<p>No pueden utilizarse en días nublados o lluviosos. No proporciona protección residual.</p>	<p>El precio de los equipos comerciales oscila entre US\$ 250 a US\$ 500.</p>
Cocinas y concentradores solares	<p>Estos equipos no requieren cuidados mayores en la instalación, ya que puede hacerse en cualquier parte. Es conveniente que antes de adoptar este método se realicen algunas pruebas, tomando la temperatura del agua después de cuatro o cinco horas (en el caso de las cocinas). Si el promedio de temperatura es en todos los casos mayor de 60° C, el agua podrá consumirse. Los concentradores, si están bien contruidos, deberían desinfectar por ebullición más que por pasteurización.</p>	<p>La operación de este equipo consiste en colocar la olla o cacerola en el interior de la estufa solar y dirigir los rayos solares al interior de la caja mediante el reflector. Su mantenimiento resulta muy sencillo, ya que únicamente consiste en mantener limpio el interior, el vidrio y los reflectores. Para mantener limpia el agua es conveniente dejarla en el mismo recipiente cubierto con su tapa, hasta que se vaya a usar.</p>	<p>No consumen leña, por lo que ayudarían a evitar la deforestación y la erosión en las zonas rurales. Se ha calculado que para llevar a punto de ebullición un litro de agua, se necesita aproximadamente un kilo de leña. Tampoco consumen combustibles fósiles. Esto es especialmente útil en el medio rural, donde el suministro de gas resulta problemático. No emiten humo como los fogones abiertos que causan enfermedades respiratorias.</p>	<p>Son dos veces más lentas que una estufa convencional. No pueden utilizarse en días nublados o lluviosos. No proporcionan protección residual.</p>	<p>No existen en el mercado. Hay que hacerlos con un costo entre US\$ 100 y US\$ 200. Los concentradores no existen en el mercado. Hay que hacerlos con un costo entre US\$ 100 y US\$ 200.</p>

	Instalación y	Operación y	Ventajas	Desventajas	Costos
--	----------------------	--------------------	-----------------	--------------------	---------------

	requerimientos de instalación	mantenimiento			Totales
Destiladores solares	No hay requerimientos especiales para estos destiladores solares, que son simples y sin partes móviles. Debe evitarse que haya animales cercanos o que éstos tengan acceso a los equipos.	La operación de este sistema consiste en alimentar al destilador con el agua a ser tratada. Esto puede hacerse de manera continua o discreta. La forma de operación discreta o por tandas es práctica para un sistema rural familiar. De otro modo, puede emplearse el sistema combinado con precalentamiento de un calentador solar. El destilador común de caseta produce en días soleados entre tres a cinco litros diarios por cada metro cuadrado. Esto equivale a una disminución en la profundidad del destilando de 0,3 a 0,5 cm/día, lo que implica que la alimentación puede ser una vez al día. El agua deberá consumirse o desecharse dentro de las 24 horas siguientes.			No existen en todos los países. Hay que hacerlos localmente. Su costo varía según el material que se utilice. Normalmente ronda entre US\$ 25 y US\$ 80, dependiendo del acceso a los materiales locales.
Botellas y recipientes	En cuanto a la turbiedad, la aplicación de la SODIS requiere agua limpia con muy baja turbiedad. De no ser así, deberá filtrarse previamente pasando el agua por un filtro casero de arena o una tela muy fina. Las botellas se pueden colocar sobre alguna superficie reflectiva, como papel de aluminio. No se recomienda el uso de botellas de gaseosa coloreadas.	Para purificar el agua contenida, el envase plástico deberá estar bien limpio. En este caso como en todos los anteriores, el agua desinfectada debe mantenerse en el mismo envase o en otro envase con tapa, en un lugar fresco.	Sumamente sencillos y económicos. Fácilmente aceptables por las comunidades.	No proporcionan protección residual. Requieren agua limpia. No pueden usarse para tratar grandes volúmenes de agua.	No significan costo alguno.

7.3.2 Desinfección con UV

La radiación ultravioleta (o luz ultravioleta o UV) es el único método físico práctico que puede usarse para la desinfección del agua en comunidades pequeñas. Las aplicaciones prácticas de la radiación ultravioleta comenzaron en 1901 cuando se consiguió producir esta luz artificialmente. Esta técnica se consideró para la desinfección del agua de bebida cuando se comprobó que el cuarzo era uno de los pocos materiales casi totalmente transparente a la radiación ultravioleta, lo que permitió la envoltura protectora de los tubos. Los primeros intentos experimentales se llevaron a cabo en Marsella, Francia, en 1910. Entre 1916 y 1926, se usó UV en los Estados Unidos para la desinfección del agua y para proveer agua potable a los barcos. Sin embargo, la popularidad del cloro y sus derivados, asociados a su bajo costo de aplicación, hicieron que se retardara la producción de equipos hasta la década de 1950 y más aún hasta la de 1970 en que las lámparas comienzan a ser confiables y de vida prolongada.

La desinfección con radiación ultravioleta se ha venido utilizando ampliamente en los sistemas de abastecimiento de agua de pequeños establecimientos, como hospitales, industrias de alimentos y bebidas y hoteles. Recientemente se ha incrementado su uso para la desinfección de efluentes de plantas de tratamiento de aguas servidas y ha vuelto a recibir atención como desinfectante de pequeños sistemas de agua, debido a su **capacidad de desinfectar sin producir cambios físicos o químicos** notables en el agua tratada.

Existe en el mercado una gama de equipos para grandes plantas de tratamiento de agua hasta un pequeño artilugio que cabe en una mano y que los caminantes usan para desinfectar aguas de lagos y ríos.

La notoria desventaja de la radiación UV es que no otorga ningún residual al agua tratada para hacer frente a eventuales futuras contaminaciones en las redes de distribución o en las viviendas.

7.3.2.1 Propiedades de la radiación ultravioleta

La radiación ultravioleta se caracteriza por longitudes de onda muy cercanas a las de la luz del sol.

Los parámetros más importantes de la radiación UV relacionados con la desinfección del agua son:

Longitud de onda: El rango germicida se encuentra entre 240 y 280 nm (nanómetros) y se obtiene la máxima eficiencia desinfectante cerca de los 260 nm. Estos límites se encuentran dentro del rango denominado ultravioleta - C (100-280 nm), que se diferencia del ultravioleta - A (315-400 nm) y del ultravioleta - B (280-315 nm)

Calidad del agua: La temperatura del agua tiene poca o ninguna influencia en la eficacia de la desinfección con luz ultravioleta, pero afecta el rendimiento operativo de la lámpara de luz ultravioleta, cuando la misma está inmersa en el agua. La energía ultravioleta es absorbida por el agua, pero en mucho mayor grado es absorbida por los sólidos en suspensión o disueltos, turbiedad y color. En el agua para consumo humano, la concentración de los sólidos en suspensión es generalmente inferior a 10 ppm, nivel al que empieza a experimentar problemas con la absorción de la luz ultravioleta. La turbiedad debe ser tan baja como sea posible y en todo caso, deben evitarse turbiedades mayores de 5 UTN.

Intensidad de la radiación: A menor distancia del agua respecto al punto de emisión de los rayos, mayor será la intensidad de los mismos y por tanto la desinfección será más eficiente. Con respecto a esta condición, existe una regla general que dice que no debe haber más de 75 mm de profundidad de agua para asegurar que cada porción de la misma sea alcanzada por los rayos adecuadamente.

Tipo de microorganismos: La radiación ultravioleta se mide en microvatios por centímetro cuadrado ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) y la dosis en microvatios segundo por centímetro cuadrado ($\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$) (radiación x tiempo). La resistencia al efecto de la radiación dependerá del tipo de microorganismo. No obstante, la dosificación de luz ultravioleta requerida para destruir los microorganismos más comunes (coliformes, pseudomonas, etc.) varía entre 6.000 y 10.000 $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$. Las normas para la dosificación de luz ultravioleta en diferentes países varían entre 16.000 y 38.000 $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$

Tiempo de exposición: Como cualquier otro desinfectante, el tiempo de exposición es vital para asegurar un buen desempeño. No es fácil determinar con exactitud el tiempo de contacto (ya que éste depende del tipo de flujo y de las características del equipo), pero el período debería estar relacionado con la dosificación necesaria (recordar la explicación y el concepto del $C \times T$). De cualquier modo, las exposiciones normales son del orden de 10 a 20 segundos.

Para un grado determinado de inactivación de microorganismos, el tiempo requerido de exposición del agua a la luz ultravioleta es inversamente proporcional a la intensidad de la luz que penetra el agua, teniendo en cuenta la capacidad de absorción del agua y la dispersión de la luz debido a la distancia.

El método de desinfección es sencillo, consiste en poner en contacto el flujo de agua con una lámpara ultravioleta, de tal manera que la radiación UV actúe sobre los microorganismos del agua bajo las condiciones arriba expuestas con el consecuente efecto desinfectante. Mecanismos de la desinfección por radiación ultravioleta.

El mecanismo de desinfección se basa en un fenómeno físico por el cual las ondas cortas de la radiación ultravioleta inciden sobre el material genético (ADN) de los microorganismos y los virus, y los destruye en corto tiempo, sin producir cambios físicos o químicos notables en el agua tratada. Se cree que la inactivación por luz ultravioleta se produce mediante la absorción directa de la energía ultravioleta por el microorganismo y una reacción fotoquímica intracelular resultante que cambia la estructura bioquímica de las moléculas (probablemente en las nucleoproteínas) que son esenciales para la supervivencia del microorganismo. Está demostrado que independientemente de la duración y la intensidad de la dosificación, si se suministra la misma energía total, se obtiene el mismo grado de desinfección. La mayoría de los equipos de desinfección ultravioleta utilizan una exposición mínima (en el agua) de 30.000 $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$. Esto es adecuado para inactivar las bacterias y virus patógenos, pero quizá no sea suficiente para ciertos protozoos patógenos, quistes de protozoos y huevos de nemátodos, que pueden requerir hasta 100.000 $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ para su inactivación total.

7.3.2.2 Subproductos de la desinfección con rayos ultravioleta

Como se ha expresado, la luz ultravioleta tiene la capacidad de tratar el agua sin producir cambios físicos o químicos considerables en el agua tratada. No se conoce que haya efectos directos adversos sobre la salud de los consumidores de agua desinfectada con luz ultravioleta.

En el proceso de desinfección no se le agrega ninguna sustancia al agua, por lo que no hay riesgos de formación de SPD y la luz ultravioleta no altera el sabor ni el olor del agua tratada. A la dosificación y frecuencia utilizada para la desinfección, no se conoce que exista la formación de derivados. La sobredosis de luz ultravioleta tampoco resulta en ningún efecto nocivo. No obstante, el operador del equipo de desinfección con luz ultravioleta debe usar anteojos y ropa protectora para evitar exponerse a la radiación de alta energía, característica de la luz ultravioleta.

7.3.2.3 Equipos

La luz ultravioleta se produce por medio de lámparas de vapor de mercurio de alta y baja presión, siendo más populares las últimas. Se asemejan a las conocidas lámparas fluorescentes. En realidad, las lámparas ultravioletas son elaboradas por las grandes empresas que fabrican las lámparas fluorescentes estándar. En consecuencia, las lámparas, los balastos y los arrancadores para los sistemas ultravioletas pueden comprarse en tiendas comerciales, salvo las que tengan dimensiones excepcionales.

Las lámparas raras veces se queman, pero generalmente se cambian después de que han perdido 25% a 30% de la luz ultravioleta que emitían cuando eran nuevas. Estas lámparas tienen una duración de 10.000 horas, lo que en términos prácticos y teniendo en cuenta el recambio cuando ha descendido su intensidad a 70-75 %, significa una vida útil de nueve meses a un año de trabajo sin interrupción.

Como se ha mencionado, la desinfección del agua con luz ultravioleta puede lograrse con longitudes de onda de luz entre 240 y 280 nm y se obtiene la máxima eficiencia germicida a los 260 nm. Las lámparas de arco de mercurio a baja presión que se encuentran en el mercado producen una longitud de onda de luz ultravioleta cerca de 254 nm.

Hay dos tipos básicos de cámaras de exposición del agua a la radiación ultravioleta. Aquellas en las que las lámparas están sumergidas en el agua y las que están fuera del agua. En las unidades de luz ultravioleta de lámparas sumergidas, se debe proveer un espacio aislado donde se ubica la lámpara, lo que se logra rodeando la misma con una camisa de cuarzo que es un material transparente a los rayos. Solo el cuarzo presenta esa característica, y de los plásticos, solo el PTFE (Teflón) es parcialmente transmisible.

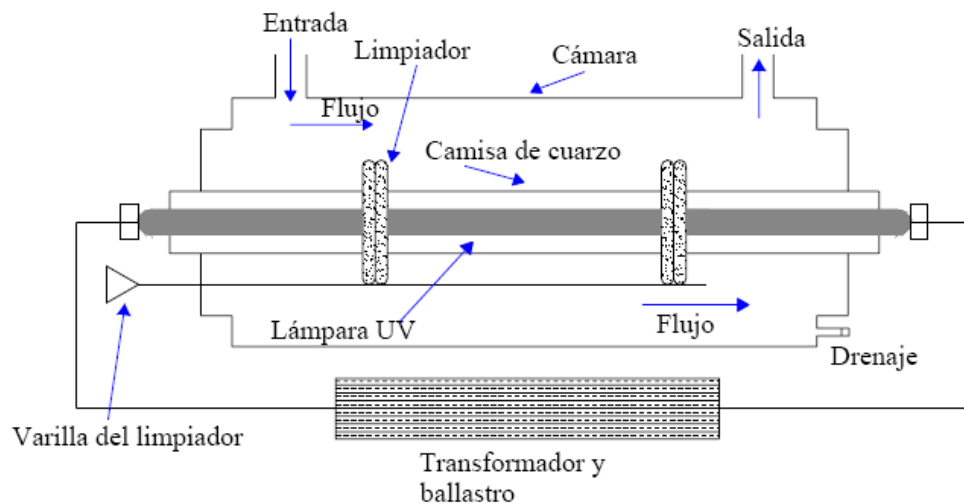


Figura 3: Instalación típica de un equipo de radiación UV con lámpara sumergida

Fuente: [3] www.cepis.org.pe

En el segundo tipo, las lámparas están suspendidas sobre el agua que se está tratando, en forma casi rasante con el agua.

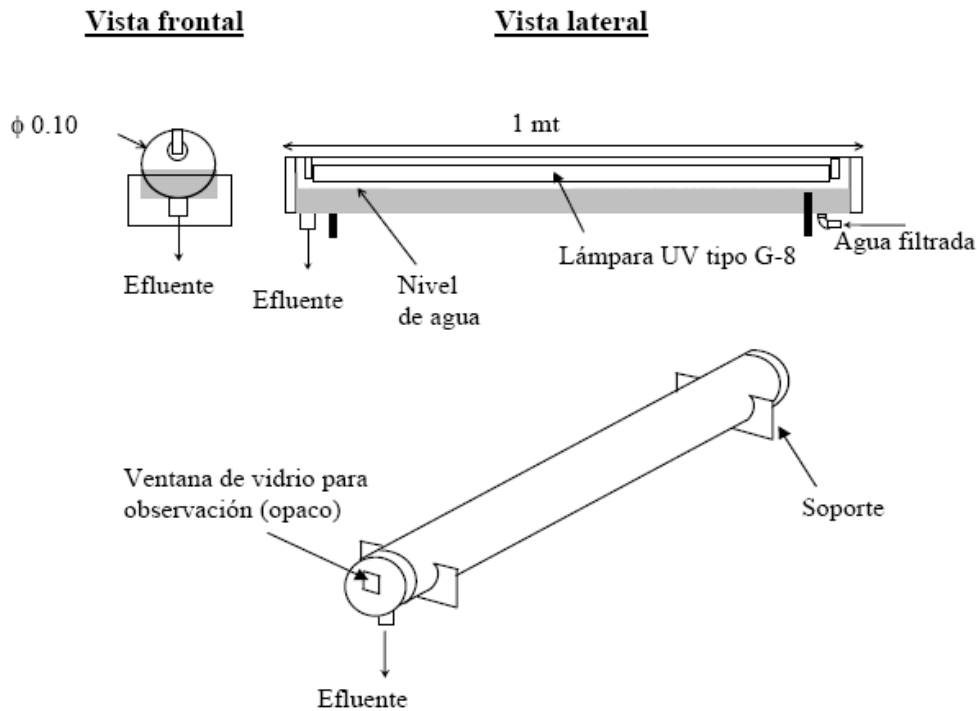


Figura 4: Instalación típica de un equipo de radiación UV con lámpara fuera del agua

Fuente: [3] www.cepis.org.pe

Una consideración importante en el diseño del equipo de desinfección es asegurarse de que cada microorganismo reciba la dosis biocida de radiación en la cámara de contacto. Esto se logra determinando el espacio correcto entre las lámparas y las superficies reflectoras del interior de la cámara y agitando adecuadamente el agua cuando pasa por la cámara. El equipo ultravioleta con lámparas sumergidas puede tener una de las dos configuraciones básicas de flujo del agua: paralelo o perpendicular a la longitud de las lámparas. Si el flujo es perpendicular, las propias lámparas y camisas pueden producir la turbulencia necesaria para asegurar que toda el agua quede expuesta a la dosis biocida. Cuando el flujo es paralelo a la longitud de las lámparas, es necesario utilizar mezcladores estáticos (pantallas) para proporcionar la turbulencia necesaria.

Un requisito que no puede faltar es la energía eléctrica. Su consumo varía en función de la calidad del agua a tratar; resulta óptimo un consumo de 22 vatios/hora por cada metro cúbico de agua tratada. Como la luz ultravioleta no deja efecto residual, se requiere que la fuente de energía sea sumamente fiable durante todo el tiempo que el agua esté fluyendo por la unidad de desinfección. En comunidades donde la electricidad no sea confiable, se debe instalar una fuente de energía de emergencia independiente para asegurar la continuidad de la desinfección en todo momento.

El espacio requerido para el equipo de desinfección ultravioleta es bastante pequeño porque el tiempo necesario de contacto/exposición es muy breve. Si bien el equipo es

uno de los que ocupa menos espacio dentro de los diferentes equipos de desinfección, se recomienda dejar un espacio adecuado para cambiar las lámparas y otro para almacenar un número de lámparas suficiente para dos años de operación.

7.3.2.4 Operación y mantenimiento

Los requerimientos en cuanto a operación y mantenimiento de los sistemas de desinfección ultravioleta son mínimos, pero cruciales para un rendimiento adecuado.

Es preciso asegurar que las camisas de cuarzo o la tubería de teflón estén libres de sedimentos u otros depósitos que atenúen la radiación, pues podría ocurrir deposición de partículas.

En los sistemas pequeños, la limpieza generalmente se hace a mano, limpiando la camisa de cuarzo una vez al mes como mínimo y en circunstancias excepcionales, dos o tres veces por semana

Las lámparas se deben cambiar a intervalos necesarios para garantizar por lo menos 30.000 microvatios-segundo/cm² de área de exposición en todo momento. Esta variará de una lámpara a otra, pero en general están programadas para el intervalo promedio cuando su intensidad disminuye a menos de 70% de su potencial nominal. En aguas muy frías pueda que haya que cambiar las lámparas con mayor frecuencia.

Como la luz ultravioleta no deja residual de desinfectante alguno, es indispensable desinfectar muy bien todo el sistema con un desinfectante químico apropiado antes de activar por primera vez una unidad de desinfección ultravioleta. Si hay alguna contaminación externa en el sistema de distribución debido a sifonaje de retorno o a una conexión cruzada, también habrá que remediarla y desinfectarla químicamente antes de ponerlo a funcionar.

7.3.2.5 Ventajas y desventajas

Las ventajas empiezan con la sencillez de la operación y mantenimiento. Otra gran ventaja de la desinfección con luz ultravioleta es que no se requieren productos químicos. Asimismo, el tiempo de exposición requerido es muy corto en comparación con la duración del contacto necesario para los desinfectantes químicos convencionales, por lo que no requiere de tanques de contacto. También es una ventaja su eficacia para aniquilar una gran variedad de microorganismos. Estos factores son especialmente importantes en la desinfección del agua. Por otro lado, no cuenta con partes móviles que se desgasten. El agua no requiere tratamiento previo, salvo filtración en caso de aguas turbias. Presenta costos reducidos de operación. Además, presenta una gama tan grande de equipos que van desde la gran planta de tratamiento hasta el nivel familiar. Esto último hay que tenerlo en cuenta, ya que los

programas de desinfección del agua en el nivel familiar no solo pueden ser cubiertos con tecnología de hipoclorito in situ, sino también con la radiación ultravioleta.

En oposición, una desventaja es la notable reducción de la eficiencia cuando aumenta la turbiedad o el color del agua, debido a que los microorganismos pueden protegerse de los efectos de la luz ultravioleta en las partículas en suspensión. Otra desventaja es la dificultad de medir la eficacia de la desinfección, excepto si se hace un análisis microbiológico para determinar la presencia de organismos indicadores después del tratamiento con luz ultravioleta, lo que resulta difícil en áreas rurales muy alejadas.

Sin embargo y tal como se ha expresado, la gran desventaja del método es que la luz ultravioleta no proporciona residuales. Esto quiere decir que después de la desinfección por este sistema hay que aplicar un compuesto químico para garantizar la seguridad microbiológica del agua durante todo su trayecto por la red de distribución y aun para cuando se almacena en las viviendas.

La amenaza de una nueva contaminación o recrudescimiento de bacterias en un sistema de distribución de agua son razones imperiosas que han cuestionado el uso generalizado de la desinfección con luz ultravioleta sin añadir un desinfectante secundario que proporcione un residual eficaz. La eficacia dudosa de los rayos ultravioleta contra algunos de los quistes de protozoos y huevos de nematodos patógenos requiere que las aguas superficiales reciban filtración u otro tratamiento para su remoción antes de la desinfección con rayos ultravioletas. La desinfección con luz ultravioleta suele ser más costosa que los métodos convencionales de desinfección. El uso de este método de desinfección solamente, sin un desinfectante secundario, se recomendaría cuando la desinfección es preventiva; cuando la fuente de agua es fiable, con una turbiedad menor a 1 UTN, y cuando hay pocas posibilidades de contaminación del agua en el sistema después del tratamiento ultravioleta. En todos los demás casos debe agregarse un desinfectante secundario.

Los equipos de menor tamaño, por ejemplo para tratar 100 m³/día (1.000 habitantes) pueden tener un costo de US\$ 300, lo que significa un costo per cápita de 0,3 \$/habitante. El costo de operación para este sistema está calculado en 0,02 \$/m³. Se considera que para el nivel casero, los costos de operación y de capital amortizados pueden estar en el rango de US\$ 10 a \$ 100 por año y por familia.

7.4 Sistema seleccionado de filtrado y desinfección

El agua bombeada, transportada y almacenada en el poblado de Kantakine será utilizada por la población para diferentes usos: el primero y más importante por supuesto, el consumo humano directo y para cocinar. En segundo lugar para la

higiene personal y en último para el riego en caso de estación de lluvias con pocas precipitaciones.

Asumiendo que de los 30 litros diarios por persona solo 5 serían para el consumo humano entonces la cantidad de agua que deberíamos tratar con prioridad sería:

$$\text{H}_2\text{O consumo} = 417 \times 5 = 2085 \text{ l/día}$$

La idea sería proporcionar una herramienta que más o menos en continuo pueda proporcionar agua de buena calidad a la población, en una primera etapa del proyecto al menos para agua de consumo. En un segundo momento y en base a los resultados obtenidos gracias a este experimento se podría plantear la opción de ampliar la instalación.

7.4.1 Etapa 1. Filtrado

La primera parte del sistema consta de una etapa de filtrado. En el mercado existen cantidades de filtros cerámicos, de carbono activo o a ósmosis inversa que funcionan estupidamente que pero tienen como denominador común el hecho de tener vida relativamente breve con respecto al contexto donde se instalarían y costes elevados. En cooperación, a parte la tecnología mínima necesaria se busca siempre obtener los recursos directamente en el lugar de acción y que las instalaciones las puedan mantener las mismas personas que las utilizan. A partir de este principio existen diferentes maneras para filtrar el agua en comunidades rurales que van desde la simple deposición, hasta la destilación solar o el uso de filtros de arena artesanales.

En cualquier caso siempre se buscará una primera etapa de filtrado a través de la deposición como indicado también en el párrafo anterior. Siempre se buscará sacar el agua desde la parte superior de los depósitos a través de una manguera conectada a un flotador. Aprovechando la diferencia de presión y sin la necesidad de elementos mecánicos el agua llegará a la segunda etapa de filtrado.

7.4.2 Etapa 2. Destilación solar

Esta segunda etapa, como se ha dicho anteriormente, podría ser a través de la destilación solar tal y como se ha descrito anteriormente.



Imagen 6: Sistema de destilación solar

Fuente: [3] www.cepis.org.pe

Este método utiliza la radiación solar para evaporar el agua en pequeños invernaderos; el agua condensaría sobre las paredes inclinadas de los mismos y bajaría hasta unas canaletas de recolección. Las dudas acerca de este método son sobre la rapidez del sistema que, por cuanto sea multi - etapa como en la imagen anterior, nunca alcanzaría el caudal necesario para la nuestra aplicación. En segundo lugar el hecho que con este método se perderían también muchas de las sales contenidas en el agua y necesarias para nuestro organismo. Un agua destilada podría llegar a ser peligrosa para la salud porque a parte no aportar sales al cuerpo lavaría también las sales contenidas en el mismo. Y en último para la complejidad y la necesidad de materiales necesarios para su implantación.

7.4.3 Filtro de arena

El método artesanal que al parecer más se ajusta a nuestras necesidades es el filtro de arena. Éste es uno de los procesos de tratamiento de agua más efectivos, simples y económicos. Es apropiado para áreas rurales. Su diseño sencillo facilita el uso de materiales y mano de obra locales. Requiere poco o ningún equipo especial.

Este proceso difiere de la filtración rápida en arena, en su naturaleza biológica, su alta eficiencia y su facilidad de operación y mantenimiento para pequeñas comunidades. Al filtrarse el agua por este sistema se mejora considerablemente su calidad al eliminarse la turbiedad y reducirse considerablemente el número de microorganismos (bacterias, virus, quistes). Debido al movimiento lento del agua y al alto tiempo de retención, este proceso se asemeja a la percolación del agua a través del subsuelo.

Es un filtro sencillo y puede ser fabricado con materiales fácilmente localizables en zonas rurales. Según estudios encontrados la fabricación de este sistema es posible

con la utilización de tubería de PVC como recipiente y de grava, arena, carbón vegetal y piedra pómez como materiales filtrantes.

Está constituido por varias capas de grava y arena en una columna a través de la cual pasa lentamente el agua (2,7 litros por m² y por minuto). El recipiente puede tener un volumen que oscila entre 200 y 1000 litros. La columna conviene que alcance el metro de altura. La arena debe estar limpia y exenta de arcilla, polvo, raíces y otras impurezas. Debe tener un diámetro que oscile entre 0,25 y 0,35 mm. En cambio la grava tendrá diámetros de 3 mm. a 5 u 8 cm distribuida en un gradiente en función del tamaño. Cuando se tape el filtro se debe sacar arena en la capa superior y lavarla o cambiarla (3 a 5 cm.). El filtro nunca debería tener menos de 60 cm. de altura.

Si el filtro tuviera unos 2 m² de superficie de base podría filtrar hasta 5,4 litros de agua al minuto y 324 l/h. Si tuviéramos dos filtros trabajando en paralelo podríamos filtrar hasta unos 650 l/h. Entonces el tiempo necesario para filtrar los 2085 litros antes mencionados sería de unas 3 horas y media.

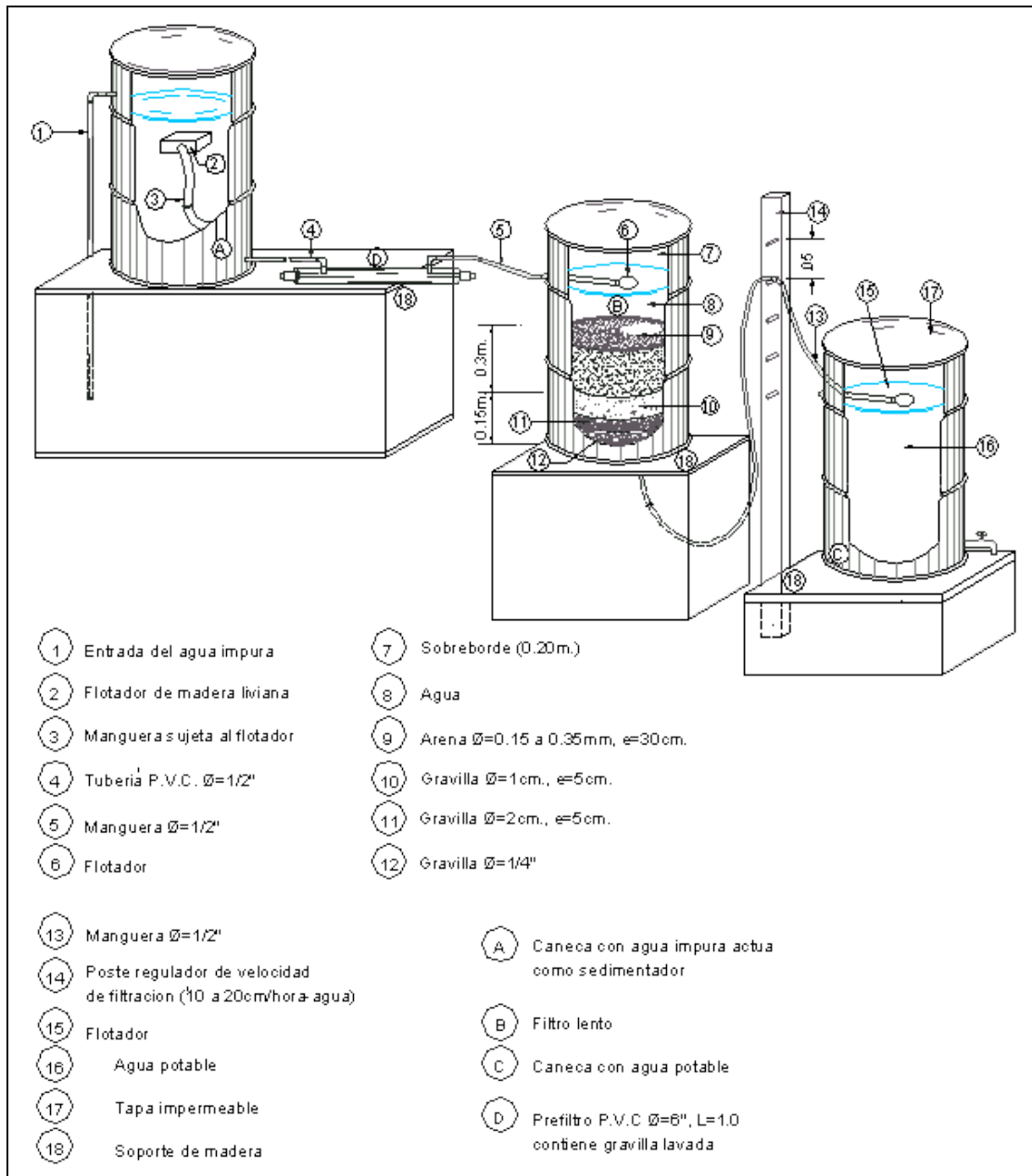


Figura 4: Esquema de un sistema de filtro de arena podría ser el siguiente
Fuente: EPAM, Técnicas de Saneamiento ambiental para el Área Urbana, 1992

A la salida del filtro, a parte de obtener agua con un nivel muy bajo de turbiedad, ya la calidad sería bastante buena ya que proporcionaría un cierto nivel de desinfección.

7.4.4 Desinfección con sistema de lámpara de rayos UV alimentada mediante energía solar FV

La siguiente etapa sería entonces la desinfección verdadera que, como se ha visto anteriormente, podría llevarse a cabo a través de un método SODIS cualquiera o a través el uso de los rayos UV.

En este párrafo desarrollaremos este último método desde el punto de vista teórico. Seguramente sería la mejor opción pero, como dicho antes acerca de la destilación solar, también en este caso sería bastante complicado pensar implantar un método que tendría una manutención dificultosa.

Según estudios efectuados se estima que la energía necesaria para cada metro cúbico de agua desinfectado es de 22 Wh/m³ [doc del cepis]. Para obtener la energía necesaria total tendremos que multiplicar esta cantidad por los m³ diarios anteriormente estimados (2085 l --> 2.085 m³):

$$E_{uv} = 22 \times 2.085 = 45.9 \text{ Wh/día}$$

Estas lámparas suelen ser de entre 10 y 20 W de potencia. Imaginando de usar 2 lámparas en el sistema de desinfección, con un inversor de unos 150 W ya tendríamos suficiente. Por ejemplo podríamos usar un inversor *Waeco* de 150W a 12V con una eficiencia del 90%. La energía que tendrán que proporcionar las baterías será entonces:

$$E_{batt} = E_{uv} / 0.9 = 51 \text{ Wh/día}$$

Considerando la eficiencia de las baterías del 85% obtenemos la energía que tendrá que proporcionar el regulador:

$$E_{reg} = E_{batt} / 0.85 = 60 \text{ Wh/día}$$

Para un sistema a 12 V de este tamaño seguramente no serán necesarios muchos módulos y un regulador de 10A/12V será suficiente. Luego contrastaremos este dato. El regulador podría ser entonces un *Morningstar SunSaver* de 10A/12V con eficiencia del 95%. La energía que tendrá que proporcionar el campo fotovoltaico es:

$$E_{FV} = E_{reg} / 0.95 = 63 \text{ Wh/día}$$

Tomando también en este caso las horas de sol pico del mes de enero (5.76 h) podemos determinar la potencia del campo fotovoltaico:

$$W_p = 63 / 5.76 = 11 \text{ Wp}$$

Como se podía fácilmente imaginar, el campo fotovoltaico necesario es muy bajo. Podríamos usar un único módulo de 40Wp de *Suntech*. A continuación se resumen las características técnicas:

Módulo	Suntech STP040S-12/Rb Mono
STC Power Rating (W)	40
Voc (V)	21.8
Vmp (V)	17.4
Isc (A)	2.58
Imp (A)	2.3
Eficiencia	11.2%
Largo (mm)	537
Ancho (mm)	665
Espesor (mm)	30

Tabla 14: Características técnicas del módulo de 40Wp Suntech
Fuente: Suntech Power

Queda ahora pendiente sólo determinar la capacidad de la batería. La tensión del sistema será de 12V. En cuanto a la autonomía lo ideal sería tener la máxima autonomía posible. Dimensionaremos con un día de autonomía y luego definiremos la batería para que podamos obtener mínimo 10 días de abastecimiento eléctrico. Las baterías para uso solar se denominan también de descarga profunda aunque nunca deberían descargarse más del 60% de su capacidad nominal. En resumen:

- Tensión del sistema: 12V
- Profundidad de descarga de las baterías: 60%
- Días de autonomía: 1

La energía necesaria a la salida de las baterías anteriormente calculada es:

$$E_{batt} = 51 \text{ Wh/día}$$

La capacidad mínima de la batería sin tener en cuenta la profundidad de descarga y la autonomía será dada entonces por la relación entre la energía y la tensión del sistema:

$$C_{batt-min} = E_{batt} / V_{sist} = 1 \times 51 / 12 = 4.25 \text{ Ah/día}$$

Hablar de una profundidad de descarga del 60 % quiere decir que la batería, una vez

proporcionados los Ah necesarios anteriormente calculados, debería estar al menos al 40% de su carga:

$$C_{batt} = C_{batt-min} / 0.6 = 7.1 \text{ Ah}$$

Podríamos escoger entonces una batería de unos 70 Ah para proporcionar una autonomía de casi 10 días:

$$\text{Autonomía} = 70 / 7.1 = 9.8 \text{ días}$$

Faltaría ahora sólo calcular los elementos de protección necesarios y los diámetros mínimos de los cables. Para ello dividimos la instalación en etapas:

Etapa	Corriente máxima	Tensión del sistema	Distancia máxima (m)
Campo FV -> Regulador	2.58 A (Isc módulos)	12 V (Voc módulo)	1
Regulador -> Baterías	10 A (Imax del regulador)	12 V (Vsist)	1.5
Baterías -> Inversor	25 A (Pmax Inversor / Vsist)	12 V (Vsist)	1.5
Inversor -> Bombillas	0.15 A (Pmax Inversor / Vac)	230 V (Vac)	2

Tabla 15: Etapas de la instalación

En cuanto a las protecciones, será necesario escoger los magnetotermicos con características de tensión y corriente que encajen con cuanto indicado en la tabla anterior. En cuanto al diámetro mínimo de los cables, la sección se calcula a partir de la máxima caída de tensión admisible entre un extremo y el otro del cable en función de la intensidad de corriente en cada tramo de la instalación. La formula que liga la sección del cable con el resto de parametros apenas citados es la siguiente:

$$R = \rho \times l / S = \Delta V / I$$

Donde ρ es la resistividad del cobre ($1.67 \cdot 10^{-8} \Omega m$), l es la longitud máxima del cable y S es la superficie de la sección del cable. Despejando se obtiene:

$$S = \rho \times l \times I / \Delta V$$

ΔV es la máxima caída de tensión admisible y se puede definir como un tanto por ciento de la tensión del tramo de sistema. Asumiremos que la caída no puede ser superior al 3% de la tensión por cada etapa del sistema.

Los resultados se encuentran en la hoja excel adjunta, "Sección cables" y se detallan a continuación:

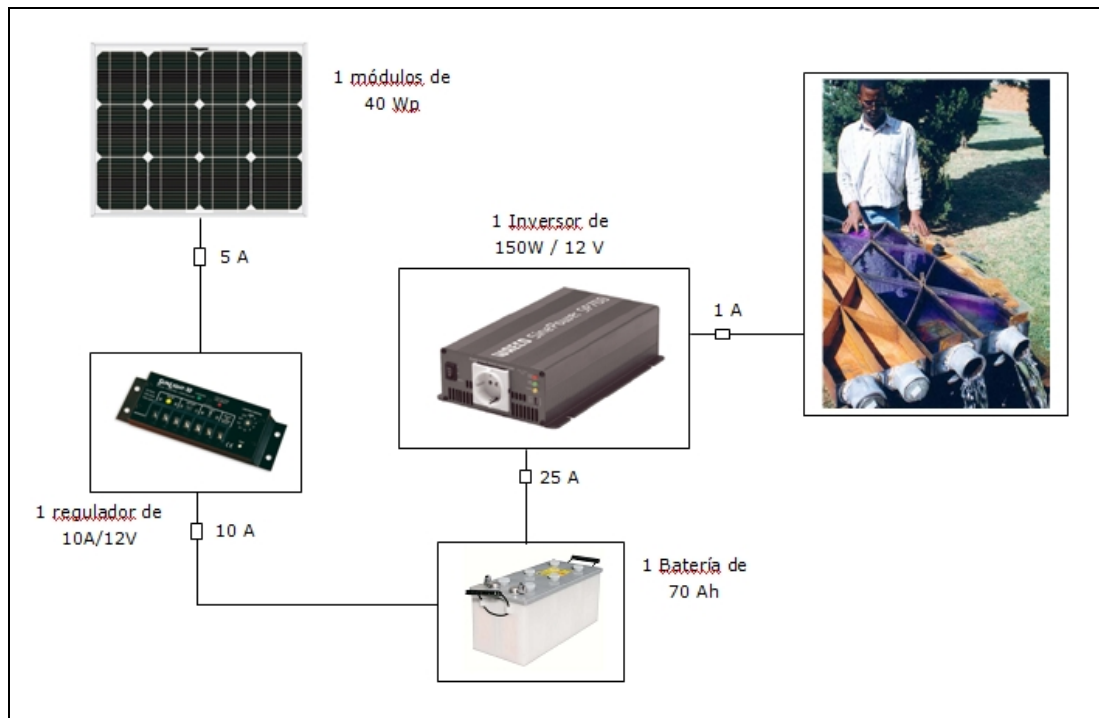
Etapa	n° AWG	Superficie (mm ²)
Campo FV -> Regulador	24	0.13
Regulador -> Baterías	18	0.82
Baterías -> Inversor	14	2.08
Inversor -> Bomba	37	0.001

Tabla 16: Sección de cables de la instalación

Etapa	Protecciones
Campo FV --> Regulador	1 magnetotermico de 5 A en DC
Regulador --> Baterías	1 Magnetotermicos de 10 A en DC
Baterías --> Inversor	1 Magnetotermico de 25 A en DC
Inversor --> Bombillas	1 Magnetotermico de 1 A en AC

Tabla 17: Protecciones necesarias por cada etapa de la instalación

7.4.4.1 Esquema unifilar de la instalación



8 SENSIBILIZACIÓN Y FORMACIÓN

El objetivo a tener en cuenta es el de reforzar las capacidades de la población con el fin de que se hagan unos actores operacionales y responsables en el proceso de desarrollo de su localidad, lo que conducirá a la lucha contra la pobreza y la mejora de la calidad de vida para todo el pueblo.

Reforzar a través de formaciones y actividades concretas la participación de las poblaciones en el proceso de desarrollo socioeconómico - con un acento particular sobre la implicación de las mujeres y de los jóvenes, ya que estos juegan un papel muy importante en lo relativo al abastecimiento de agua de la población.

Los sensibilizadores serán lugareños elegidos por la población, cumpliendo un papel clave en el proyecto, ya que de ellos dependerá la aceptación social y cultural de las nuevas tecnologías y sistemas a implantar.

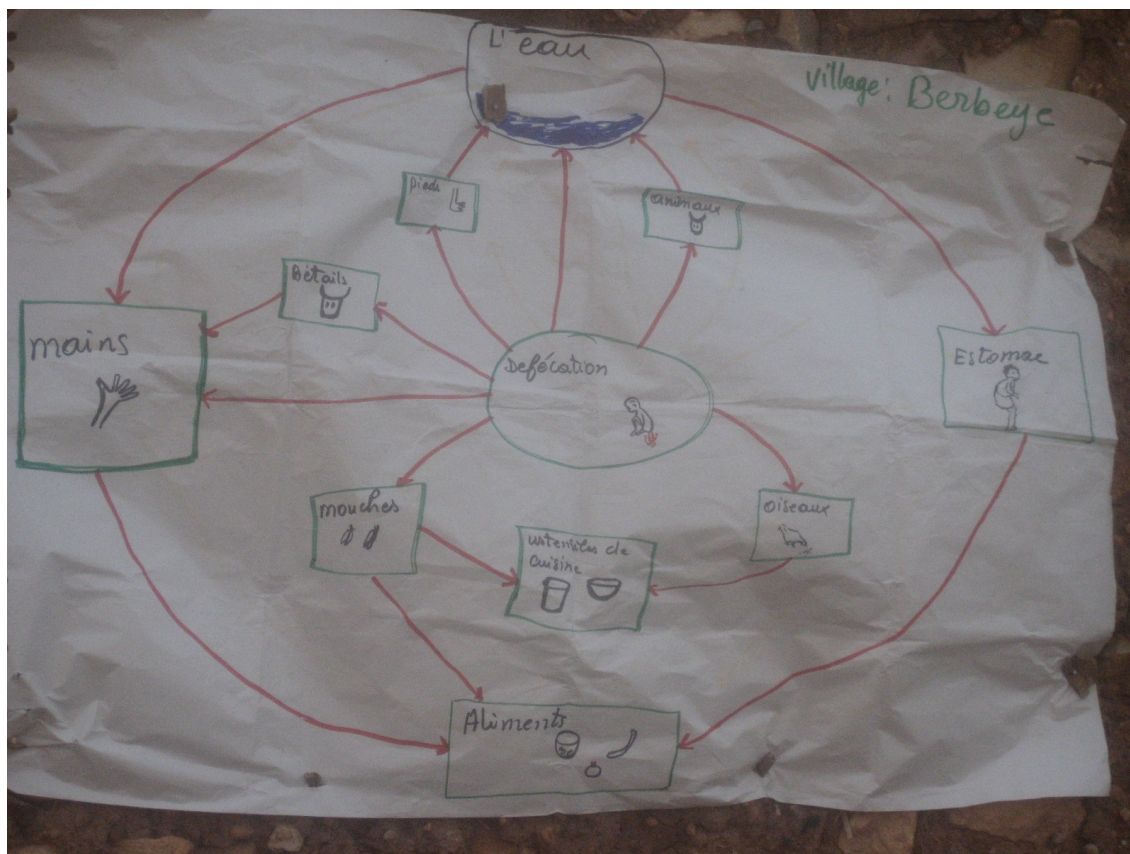


Imagen 6: Ejemplo de campaña de sensibilización y formación de la población sobre el ciclo de la contaminación de los alimentos y agua y su estrecha relación con las enfermedades estomacales

Estos sensibilizadores y los técnicos especializados en los distintos sistemas, serán formados por las organizaciones nacionales especializadas en temas energéticos y

rurales, como el CNESOLER, Centre National de l'Energie Solaire et des Energies Renouvelables, perteneciente al ya citado AMADER.

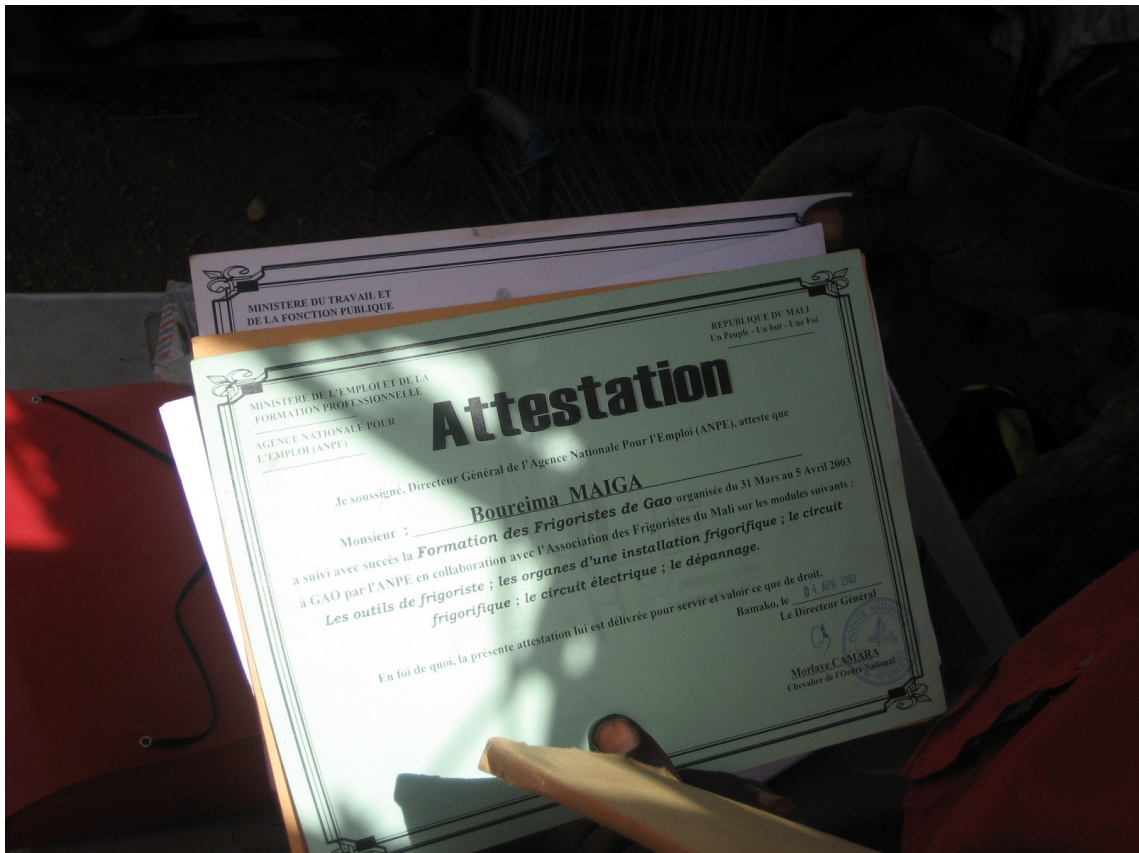


Imagen 7: Ejemplo de título técnico otorgado por el organismo oficial competente a un lugareño

Será competencia nuestra tan sólo la aportación a estos centros de formación especializada y/o a los técnicos locales formados por éstas, de toda la información necesaria de cada uno de los sistemas analizados y que se pretenden implantar, así como el contacto en caso de existir dependencia de algunas piezas que deban ser importadas, punto éste que se intentará evitar en la medida de lo posible.

Con este fin se aportan en los anexos técnicos siguientes las fichas técnicas de los distintos sistemas fotovoltaicos y manuales de apoyo a esta formación (que podrán servir de guía o ayuda en un momento dado), pero nunca sustituirán a la figura del sensibilizador y/o técnico elegido por la población en colaboración con las organizaciones especializadas y bajo nuestra supervisión como organización cooperante.

Siempre se tratará de una colaboración y nunca de una imposición o sustitución de los recursos ni humanos ni tecnológicos de la zona y que sabemos son muy importantes. No subestimemos nunca el conocimiento técnico y especializado que pueda tener una persona por el simple hecho de haber aprendido de una forma básica y rudimentaria,

pero no por eso errónea o deficitaria, lo que a nosotros se nos hace inviable sin un ordenador por ejemplo.

Queremos dejar constancia con esta exposición de que existen personas del propio Hombori muy bien formadas en tecnologías como las que queremos implantar con este proyecto y que sólo necesitarán un poco de apoyo y guía por nuestra parte para llevar a cabo la construcción, puesta en marcha y posterior mantenimiento de los sistemas específicos.

9 CONCLUSIONES

YERE YIRIWA, en lengua nacional Bambara significa ser responsable de su propio desarrollo y plenitud con el fin de ser respetado y considerado por la sociedad.

Este proyecto no pretende implantar sistemas complejos o que impliquen una dependencia excesiva de recursos externos tanto humanos como técnicos, sino todo lo contrario, intenta asegurar la total independencia y autonomía en la medida de lo posible. Por esta razón se ha contactado con distintas organizaciones del país con las que, en un régimen de colaboración y tras firmar los correspondientes acuerdos, trabajar en este estudio, recayendo sobre ellos la principal parte, la construcción y mantenimiento de los sistemas diseñados aquí, la formación de especialistas y sensibilizadores locales.

Por lo tanto algunos de los elementos de los sistemas expuestos en este estudio se deberán plantear como ejemplos a seguir o alternativas si no se pudieran conseguir en el mismo país, en cuyo caso, se deberá hacer mayor hincapié en la búsqueda de la financiación necesaria para afrontar estos gastos extra que supondría la importación. Función en parte ésta que recaería principalmente en la organización CCONG con la que hemos firmado un contrato de cooperación en las fases iniciales del proyecto.

En este punto del proyecto sólo se puede presentar un análisis teórico de distintos sistemas de abastecimiento de agua, en base a un estudio práctico/teórico de la situación actual de la zona y que creemos es una necesidad vital en ésta.

El acceso o no al agua marca la línea que separa la vida de la muerte, la miseria de la riqueza, el desarrollo del olvido y la desaparición. Para nosotros es primordial la idea de **COOPERACIÓN** al desarrollo de un pueblo que merece la pena no olvidar y que, por su especial forma de vida, deberá ser especialmente preservado.

BIBLIOGRAFÍA

- Libros y documentos técnicos:

[1] ATKINS Internacional, Mayo 2006, “Profil Environnemental du Mali, Comisión Européenne”

[2] British Geological Survey, 2002, “Groundwater Quality: Mali”

[3] Commissariat à la Sécurité Alimentaire (CSA) du Mali, Agosto 2006, “PLAN DE SECURITE ALIMENTAIRE COMMUNE RURALE DE HOMBORI 2006-2010”

[4] F. Maïga, julio 2008, “Ciment : UNE UNITE DE PRODUCTION EN PROJET”, L'Essor n°16236 du - 2008-07-09

[5] J.J.R. Groot & A.Coulibaly, noviembre 1994, “Les modèles de simulation de la croissance végétale comme outils de recherche développement”

[6] Marie-Françoise Courel, François Cuq, Ibtissem Tounsi, “Suivi de l'évolution des pâturages du Sahel malien”

[7] Ministère de l'Equipement de l'Aménagement du Territoire de l'Environnement et de l'Urbanisme du Mali, Octubre 2000, “Situation general de la diversité biologique au Mali”

[8] Oscar Perpiñán Lamigueiro, abril 2006, “El agua y la energía solar fotovoltaica, talleres de energías renovables. club español de la energía.”, Isofoton

[9] Pierre Hiernaux, Henry Noël Le Houérou, enero –junio 2006, “Les parcours du Sahel”, Sécheresse vol. 17, n° 1-2

- Sitios webs:

[1] www.belt.es

[2] www.bvsde.paho.org Rayos UV

[3] www.cepis.org.pe Sistemas de tratamiento del agua

[4] <http://clima.meteored.com> Datos climáticos Hombori

[5] www.col.ops-oms.org Filtros de arena

[6] www.fallingrain.com Datos geográficos

[7] www.fao.org Energía FV para bombeo e irrigación

[8] www.grundfos.es

[9] www.ison21.es Cómo construir un captador solar con botellas pet

[10] www.lareter.it Tuberías PVC

[11] www.sodis.ch

[12] www.unesco.org.uy Filtrado de arena

[13] www.upme.gov.co Abastecimiento de agua

ANEXOS

ANEXO I

ANEXO II