



LECTURA DE INTRODUCCIÓN A LAS FUENTES ALTERNAS DE ENERGÍA Y SU APLICACIÓN EN LA EXPLOTACIÓN AGROPECUARIA

Módulo para las asignaturas: Construcciones Agrícolas.

Luis Octavio González Salcedo
Profesor Asociado

Universidad Nacional de Colombia
Sede Palmira
Palmira, 2010



CONTENIDO

| | <u>Página</u> |
|---|---------------|
| Presentación | 3 |
| 1. La energía solar | 5 |
| 1.1. La conversión fotovoltaica | 7 |
| 1.2. La conversión fototérmica | 9 |
| 1.3. La climatización y la calefacción de ambientes | 12 |
| 2. La energía eólica | 13 |
| 3. La energía hidráulica | 17 |
| 4. La biomasa | 19 |
| 5. La energía geotérmica | 22 |
| Referencias | 24 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | <u>Página</u> |
|---|---------------|
| 1. Panel fotovoltaico | 7 |
| 2. Radiación solar disponible en Colombia | 8 |
| 3. Colector solar de placa plana, para la producción de agua caliente | 9 |
| 4. Esquema de funcionamiento de un destilador solar, para la producción de agua potable | 10 |
| 5. Secador solar para frutos y semillas | 11 |
| 6. Secador solar para madera | 11 |
| 7. Esquema del muro solar o muro trombe | 12 |
| 8. Tipos básicos de rotores de eje vertical | 14 |
| 9. Aerogeneradores | 14 |
| 10. Variedades de molinos para aprovechamiento de la energía eólica | 15 |
| 11. Velocidad promedio anual del viento en Colombia | 16 |
| 12. Rueda hidráulica impulsada por la parte superior | 18 |
| 13. Biodigestor de balón | 21 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | <u>Página</u> |
|--|---------------|
| 1. Guía para la selección de máquinas eólicas | 15 |
| 2. Uso de la energía eólica según la velocidad del viento | 17 |
| 3. Guía de selección de proyectos de energía hidráulica alternativa | 19 |
| 4. Energía obtenida a partir de la producción estimada de biogás, obtenido de fuentes animales | 22 |
| 5. Energía obtenida a partir de la producción estimada de biogás, obtenido de fuentes residuales | 22 |
| 6. Guía de selección del biodigestor | 22 |

LECTURA DE INTRODUCCIÓN A LAS FUENTES ALTERNAS DE ENERGÍA Y SU APLICACIÓN EN LA EXPLOTACIÓN AGROPECUARIA

PRESENTACIÓN

Las energías alternativas, denominadas también como renovables o blandas, son consideradas fuentes energéticas limpias y alternas a las derivadas de los hidrocarburos, y a la electricidad producida en las centrales hidroeléctricas, térmicas y nucleares. Colombia es aun un país con vocación agropecuaria, con un área amplia de territorio rural, donde la utilización de estas fuentes energéticas tienen una amplio potencial de desarrollo, incluso sin la necesidad de una tecnología de avanzada para satisfacer las demandas energéticas allí presentes.

Producción de agua caliente y de agua potable, secado de madera y otros productos agrícolas como semillas y frutas, producción de electricidad para puntos de luz, cercas, y bombeo de agua, y producción de biogás, son algunas de las aplicaciones más comunes en el sector rural, a partir del uso de la energía solar, eólica y por biomasa. A partir de la recopilación de los resultados en diversos trabajos de grado que el Autor ha dirigido en la temática, se ha procedido a la elaboración de este documento. Como lo indica su título, es una lectura de introducción de las fuentes mencionadas, donde además se ha incluido las apreciaciones generales de la energía hidráulica de micro centrales, y la novedosa en nuestro medio, energía por geotermia, aun por explorar y desarrollar.

Este documento se ha preparado como inducción en la temática correspondiente del curso de Construcciones Agrícolas, y como lectura de motivación para aquellos estudiantes que buscan elaborar su trabajo de grado en el tema.

LECTURA DE INTRODUCCIÓN A LAS FUENTES ALTERNAS DE ENERGÍA Y SU APLICACIÓN EN LA EXPLOTACIÓN AGROPECUARIA

La energía renovable, que también es llamada energía alternativa o blanda, engloba una serie de fuentes energéticas [Barriga 1999], que en teoría no se agotarán con el paso del tiempo, alternas a otras tradicionales (principalmente, las obtenidas de los hidrocarburos) [Carrillo 2009], y que producen un impacto ambiental mínimo [Cabello 2006; Cruz et al. 2006]; sin embargo, en el sentido estricto, algunas ni son renovables, ni se utilizan en forma blanda [Cabello 2006; Carpintero 2006; Osorio 2008; Cabrera 2009; Duarte & Fernández 2009]. Las fuentes alternas de energía comprenden la solar, la hidroeléctrica, la eólica, la geotérmica, la hidráulica, y la procedente de la biomasa [Cabello 2006; Cruz et al. 2006]. Hoy en día, grandes desarrollos se han experimentado y aplicado en las fuentes alternativas [US Department of Energy 2003; Izquierdo 2004; ANR 2006; Osorio 2008; Nandwani 2009; Van Der Laat 2009], como por ejemplo, el desarrollo de receptores de alta eficiencia para recolectar la luz del sol concentrada, la producción de una turbina de viento con rotor flexible inflable, avances en tecnologías que utilizan estanques de agua con cierto grado de salinidad y composición mineral para absorber y almacenar energía solar, y pruebas en estaciones de energía termales capaces de extraer calor del suelo y convertirlo en vapor para activar turbinas.

En su tecnología más simple, las fuentes alternas son suficientes para pequeñas aplicaciones y proyectos puntuales, que pueden abarcar un importante sector de la producción agropecuaria en los países latinoamericanos, y en particular en Colombia [Murcia 1995; Icontec 2004], sin dejar de ser aplicable y viable en otras latitudes del globo terráqueo. Innumerables utilidades, pueden ser aprovechadas a partir del uso de estas fuentes energéticas, contribuyendo a la conservación del ambiente, y en la generación de ahorro; es así, como desarrollos han sido aplicados en la producción de agua caliente para procesos posteriores al sacrificio de especies productoras de carne [Pino 2005], en sistemas de calefacción para preservar la vida de las especies pecuarias en sus primeras vidas [Lucumí & González 2006; Arango & González 2006; Beltrán 2006], en el aprovechamiento de residuos para la producción de gas útil en la cocción de alimentos y calefacción [Molina & Gutiérrez 2006; Olaya 2006; Gaviria & López 2009], en el aprovechamiento del viento para la generación de electricidad en pequeñas cantidades pero suficiente para activar una cerca eléctrica o una bomba de agua [Varela 2007], en el calentamiento de masas de agua almacenada para permitir el desarrollo de la piscicultura en climas fríos con especies nativas de clima calido

[Borja et al. 2006], en la potabilización del agua y cocción de alimentos con el calor del sol [González & Lozano 2007], entre otros. Resalta, también, la aplicación de los conceptos propios de la arquitectura que ha sido utilizado en los espacios reservados para el ser humano, para desarrollar diseño bioclimático en los alojamientos de explotación pecuaria, de tal forma que sean construidos como sistemas pasivos para el aprovechamiento de la radiación solar, de la luz solar, y de la ventilación natural, con una posterior incorporación de sistemas activos, como colectares solares, turbinas eólicas, depósitos digestores de residuos, pisos generadores de calor, entre otros [De Schiller et al. 2003; Saltarén et al. 2006; Macias 2009]. A manera de introducción, se presentan a continuación las definiciones de las energías alternativas, en la cual se incluye una pequeña discusión en cada una, de su impacto ambiental.

1. LA ENERGÍA SOLAR

Es la energía radiante producida por el Sol como resultado en su interior de reacciones nucleares de fusión y que llega a la Tierra en cuantos de energía llamados fotones; la intensidad de la radiación solar en el borde externo de la atmósfera se denomina constante solar con un valor promedio de 2 cal/min/cm^2 , sin embargo, este valor no es constante variando en un 0.2% durante un periodo de 30 años, y como valor disponible en la superficie es menor debido a la interacción con la misma atmósfera, donde se presentan fenómenos de absorción y dispersión de la radiación [Rodríguez & González 1992]. Adicionalmente, factores como el día del año, la hora, la latitud, la altitud, las características de la ubicación del sitio, y la orientación del dispositivo receptor, condicionan la intensidad de la energía solar aprovechable en un punto determinado de la Tierra, y aunque esto conlleva a que sea de una manera compleja, es predecible [BUNCA 2002; López & Fentanes 2003].

El Sol proporciona energía en forma directa o indirecta, es así como la existencia de los fósiles es debida a la fotosíntesis que convirtió la radiación solar en plantas y animales de las que se formaron carbón, gas y petróleo; ha movido el ciclo del agua para permitir su evaporación, formar nubes y llevarla nuevamente a la tierra en forma de lluvia o nieve, dando sustento a la obtención de la energía hidroeléctrica; el calentamiento en mayor medida de algunas zonas atmosféricas ha formado el viento, permitiendo obtenerse la energía eólica [López & Fentanes 2003]. El aprovechamiento energético directo de la energía del Sol se hace de las siguientes formas:

- a. Calentamiento directo de locales por el Sol [De Schiller et al. 2003; Saltarén et al. 2006; Macias 2009]: En invernaderos, viviendas y otros espacios, se

aprovecha el sol para calentar el ambiente; es así como algunos diseños arquitectónicos buscan aprovechar al máximo este efecto y controlarlo para poder restringir el uso de calefacción artificial o del acondicionador de aire.

- b. Acumulación de calor solar [Sanchez 2009; Guerrero & Baona 2009]: Se hace con paneles o estructuras especiales colocadas en lugares expuestos al Sol, como los tejados de las viviendas, en los que se calienta algún fluido; se usa, fundamentalmente para calentar agua, pero existen aplicaciones para obtención de aire caliente. Una aplicación también conocida, es la climatización de piscinas o estanques de agua.
- c. Generación de electricidad [BUN-CA 2002; Cabello 2006]: Se puede generar electricidad a partir de la energía solar por varios procedimientos. Una forma, es a través de sistemas térmicos, en los cuales el agua es calentada hasta el estado de vapor, generando electricidad mediante el paso de éste por turbinas clásicas, llegándose a rendimientos de conversión en energía eléctrica del orden del 20% de la energía calorífica que llega a los colectores. Una segunda vía, es la conversión directa de la luz solar en electricidad, usando el efecto fotoeléctrico, a partir del efecto fotovoltaico producido en las células solares, generalmente de silicio, y donde es posible obtener rendimientos entre el 10 – 15%.

En resumen entonces, tres modalidades de aprovechamiento existen: la arquitectura solar pasiva para el aprovechamiento al máximo de la luz natural que en asocio con la estructura y los materiales utilizados en la construcción del espacio captura, almacena y distribuye el calor y la luz; los sistemas solares activos, que transportan el calor (en un fluido, agua, otro líquido, o aire) desde el punto de captación hasta el lugar donde se precisa calor o agua caliente; y las células fotovoltaicas que aprovechan la inestabilidad electrónica de elementos como el silicio, para provocar con el aporte de la luz solar, una corriente eléctrica capaz de ser almacenada.

El aprovechamiento de la energía solar plantea como problemas, en absoluto insalvables, el impacto visual de las pantallas de captación solar y el precio que alcanzan los dispositivos tanto fototérmicos (colectores solares para obtención de agua caliente) como fotovoltaicos (paneles solares); aun queda por investigar las repercusiones ambientales que pueden surgir en la fabricación de los elementos de captación solar [Osorio 2008], y puede sugerirse entonces, que su impacto sobre el medio, evidentemente es positivo.

1.1. LA CONVERSIÓN FOTOVOLTAICA

La conversión fotovoltaica es el aprovechamiento de la energía solar para la producción directa de energía eléctrica; es el resultado de la interacción de la radiación solar con un material apropiado que produce únicamente corriente eléctrica, siendo algunos materiales el silicio, el selenio, el sulfuro de cadmio, entre otros [BUN-CA 2002; Cabello 2006]. La fotogeneración corresponde entonces, a la acción en la cual los electrones pueden abandonar el núcleo, y esta es aprovechada en la construcción de obleas de materiales sensibles a la radiación solar, conformando las llamadas celdas fotovoltaicas, de aproximadamente un vatio de potencia cada una [BUN-CA 2002; Cabello 2006]. El dispositivo para el aprovechamiento de la conversión fotovoltaica es el panel fotovoltaico, el cual es un tablero que posee un número de celdas ensambladas, figura 1, que permiten potencias comercialmente disponibles de 20, 30, 40 o 50 vatios, y su eficiencia comúnmente varía entre el 10 – 15% [BUN-CA 2002; SEI 2006].



Figura 1. Panel fotovoltaico: a. Conjunto de células solares de un panel fotovoltaico [SEI 2006]; b. Conjunto de paneles fotovoltaicos típico [BUN-CA 2002].

Colombia posee zonas con cielos despejados, donde es posible contar con una radiación superior a 500 vatios/m^2 , lo que permite una producción de 450 KV/día usando un panel fotovoltaico de 47 vatios, con 0.38 m^2 de área colectora, y una eficiencia del 10% [Marín 2005; Tabares 2008]. Se plantea que el área de la superficie colectora, puede ser estimada aproximadamente como [Marín 2005; Tabares 2008]:

$$A_c = \frac{D}{O_s \eta} \quad (1)$$

Donde, A_C es el área de la superficie colectora (a sustituir con paneles fotovoltaicos), D es la demanda de energía, O_S es la oferta de energía solar (la radiación solar disponible geográficamente, para Colombia es mostrada en la figura 2 [Flórez & Costa 2005]), y η es la eficiencia del equipo.

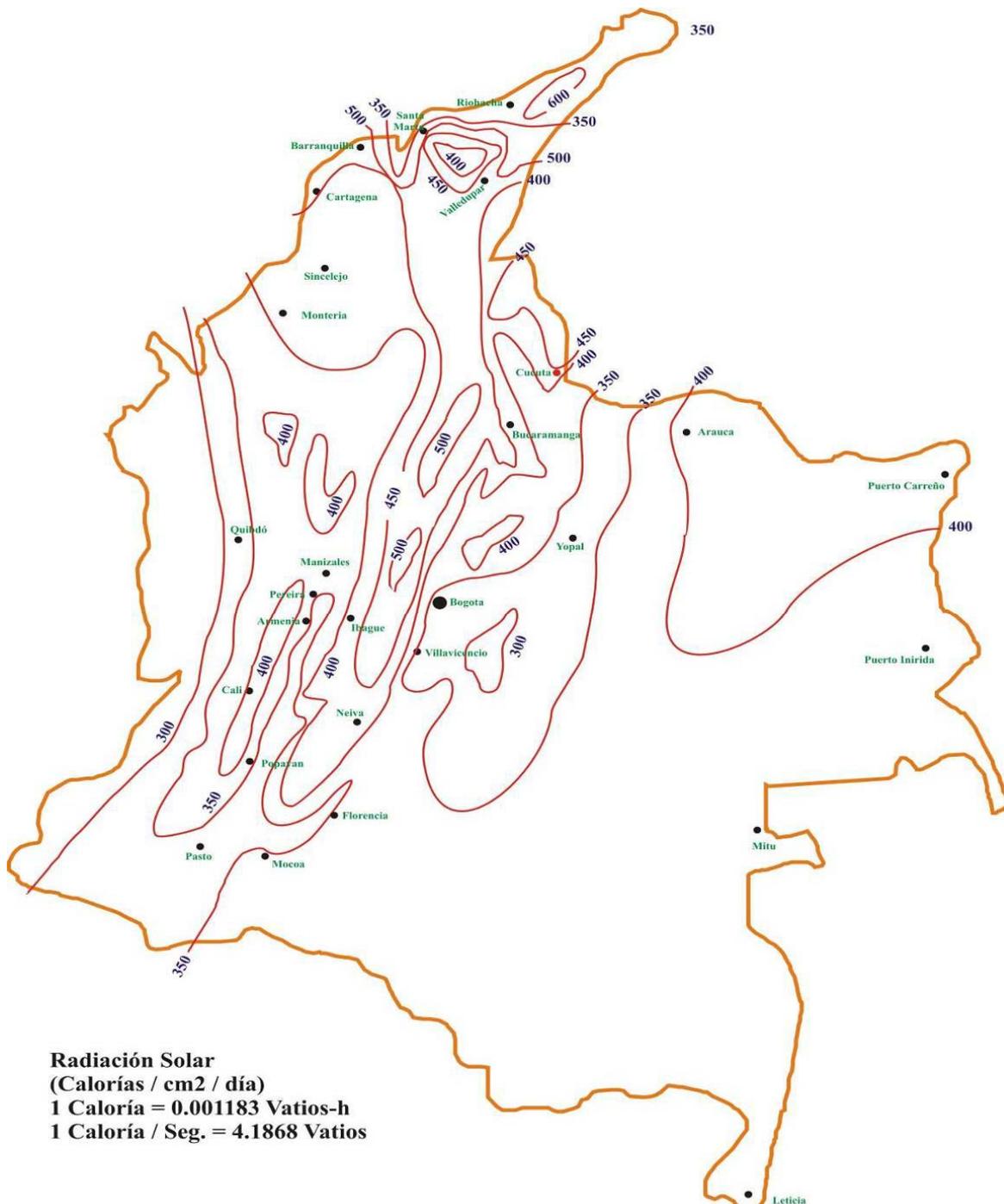


Figura 2. Radiación solar disponible en Colombia, en cal/cm²/día [Flórez & Costa 2005]].

1.2. LA CONVERSIÓN FOTOTÉRMICA

La conversión fototérmica es el aprovechamiento de la energía solar para la producción de calor; es el resultado de la absorción por una superficie de la radiación solar, y transformada en calor, el cual es transferido a un fluido, como el agua, el aire, un aceite, o cualquier otro líquido, para su uso posterior [Lucumí 2004; Beltrán]. Sus principales aplicaciones son la obtención de agua caliente, la obtención de aire caliente, la obtención de agua desalinizada, la calefacción de ambientes, y la calefacción de estanques.

Un calentador solar es un dispositivo que se emplea en el calentamiento de agua para uso doméstico, en el cual el agua fría entra al colector y se calienta [Lucumí 2004; Beltrán 2006]. Los calentadores solares incluyen los colectores, siendo una variante el colector de placa plana, y corresponde a un tablero conformado por un vidrio que cubre una placa, y en el medio una tubería por donde circula el agua que entra fría y es calentada; el vidrio permite la entrada de un alto porcentaje de rayos solares que calientan la placa por absorción, ésta emite rayos infrarrojos que quedan atrapados en el interior del colector, calentando el agua [Seymour 1979; Nandwani 2006]. A manera de ejemplo, se puede mencionar que un calentador de agua de 2 m², usado en una zona con nubosidad mínima y radiación solar disponible entre 400 y 500 vatios/día, permite producir 150 l/día de agua caliente [Seymour 1979; Nandwani 2006]. En la figura 3, se muestra un colector solar de placa plana sin y con termosifón para el almacenamiento de agua caliente [Erbe Ecotecnología 2009].



Figura 3. Colector solar de placa plana, para la producción de agua caliente [Erbe Ecotecnología 2009]: a. Sin termosifón; b. Con termosifón.

Un desalinizador solar es un dispositivo en el cual se realiza una de las aplicaciones más sencillas y benéficas de la energía solar, que permite potabilizar el agua salada, a través de dos acciones, como la desalinización y la purificación; su funcionamiento es muy similar al de un colector de un calentador solar, sin embargo, en éste no se utiliza la tubería de recorrido del agua, y se llega a la evaporación de la misma, la cual se condensa sobre el vidrio, y es recogida libre de sal, en un depósito [Seymour 1979; Chinappi et al. 2007]. Se estima, que en Colombia, es posible destilar entre 3 y 5 litros de agua, en los litorales, mientras que en el interior, se puede producir alrededor de 2 a 3 litros de agua. Los principios de funcionamiento de un desalinizador solar, son aplicados también en la elaboración de destiladores solares, permitiendo entonces la obtención de agua potable [Fuentes & Roth 1997], como se muestra en la figura 4 [Gudemos 2006; Chinappi et al. 2007].

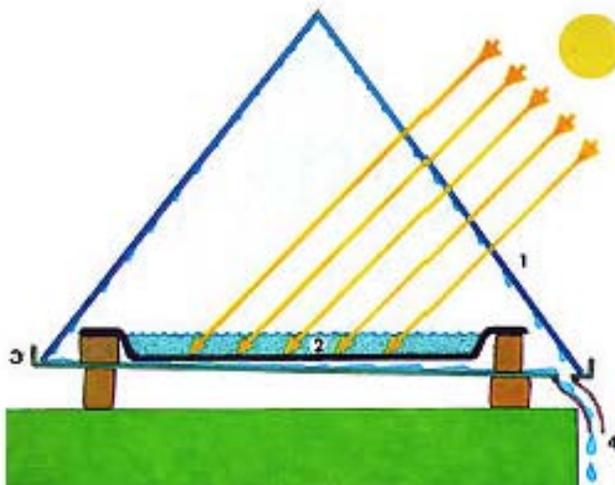


Figura 4. Esquema de funcionamiento de un destilador solar, para la producción de agua potable [Gudemos 2006; Chinappi et al. 2007]: 1. Cubierta transparente; 2. Bandeja pintada de negro, donde se deposita el agua contaminada para ser evaporada; 3. Bandeja para recoger el vapor de agua condensada que cae de la cubierta inclinada; 4. Salida de agua potable.

Los secadores solares son dispositivos empleados para el secado de granos, frutas [Seymour 1979] y otros productos como madera y cuero [Martínez-Pinillos 1997; González & Cruz 2007], y corresponde a un colector de aire caliente, figuras 5-6 [Seymour 1979; Viehbeck 1999]. Su construcción física puede variar, pero fundamentalmente corresponde a un colector de aire, que permite la entrada de éste, en estado frío, y a través de un recorrido expuesto a la radiación, se va calentando, permitiendo que el aire caliente seque los productos de interés, retirándoles parte de la humedad [Echeverría 1985; Martínez-Pinillos 1997].

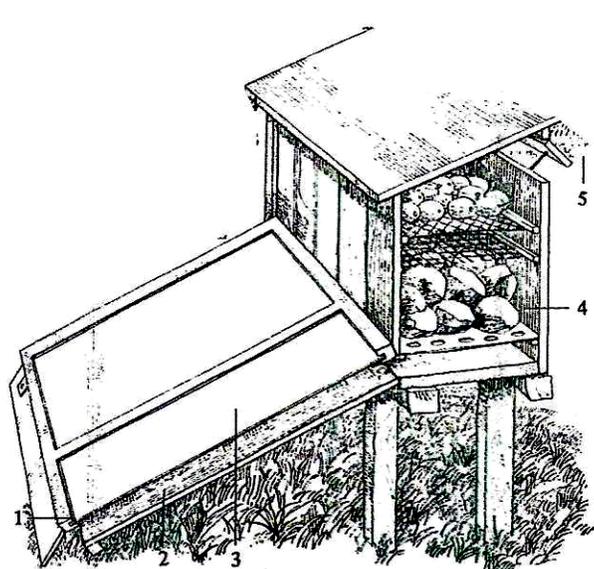


Figura 5. Secador solar para frutos y semillas [Seymour 1979]: 1. Abertura graduable para la entrada de aire; 2. Superficie de color negro; 3. Cubierta de cristal; 4. Capa de piedras; 5. Visera para dosificación o corte de aire.

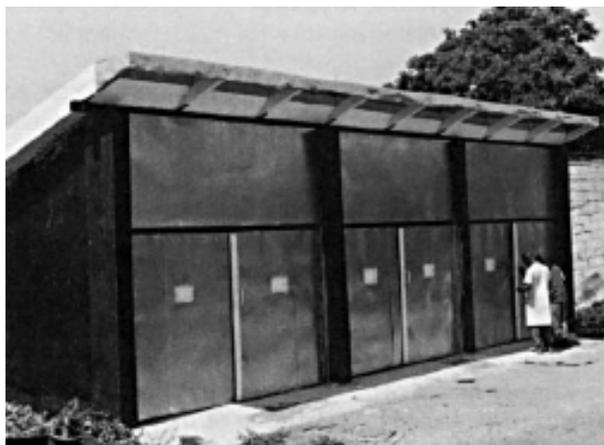


Figura 6. Secador solar para madera [VIEHBECK 1999].

La climatización de estanques, es una aplicación especial de la obtención de agua caliente, en la cual el espejo de agua del estanque, funciona como un gran colector [Borja et al. 2006]. Algunas aplicaciones, incluyen colectores de agua caliente externos para apoyar su funcionamiento, pero de igual manera, muchos estanques logran la temperatura deseada, con la única exposición solar, conservando dicha temperatura mediante el uso de mantas térmicas aislantes que cubren la superficie del estanque durante la noche [Borja et al. 2006].

1.3. LA CLIMATIZACIÓN Y LA CALEFACCIÓN DE AMBIENTES

Pilar de la arquitectura solar pasiva y de la arquitectura bioclimática, la climatización y calefacción de ambientes es obtenida mediante el aprovechamiento de la energía solar para calentar espacios interiores en las construcciones o edificaciones [Saltarén et al. 2006; González 2009]. Este calentamiento, es realizado mediante la disposición de elementos constructivos que funcionan como sistemas de captación, de almacenamiento y de distribución de calor [González 2009].

Un ejemplo de estos elementos es el muro solar o de trombe, el cual permite aprovechar la energía solar en épocas de invierno, o en clima de piso térmico frío; el muro solar capta y retiene el calor del sol, de tal forma que al permitir el paso del aire a través del muro, éste será calentado, proporcionando calefacción a un recinto cerrado [Seymour 1979; González 2009]. Arango & González 2006, diseñaron un sistema de calefacción para porcinos, basado en el funcionamiento del muro solar; en la figura 7, se muestra un esquema del muro solar o muro trombe [Seymour 1979]

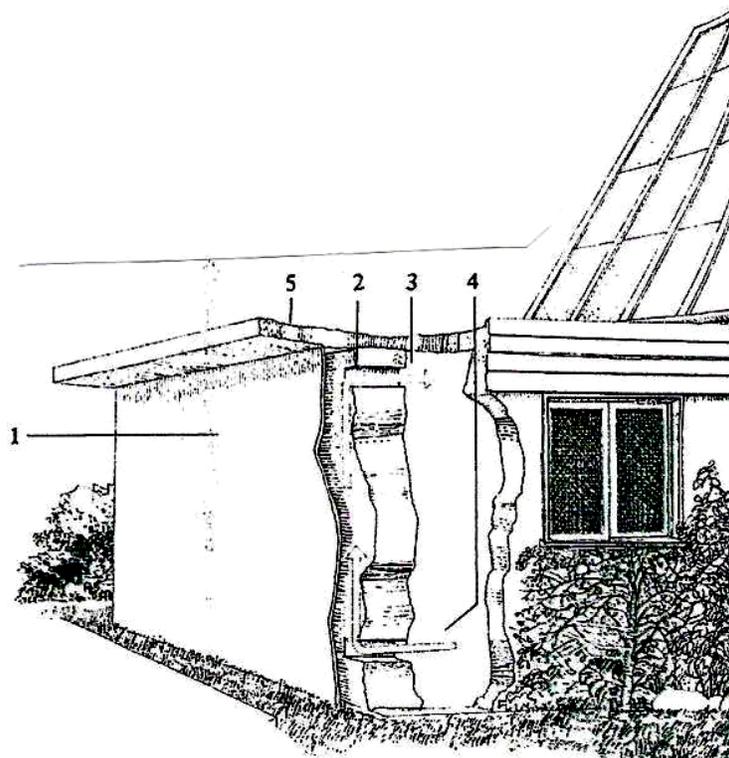


Figura 7. Esquema del muro solar o muro trombe [Seymour 1979]: 1. Panel vertical de cristal doble orientado correctamente hacia el sol; 2. Muro de color negro para captación y retención del calor del sol; 3.-4. Ventilación; 5. Protección contra el sol cenital.

2. LA ENERGÍA EÓLICA

Es la energía producida por el viento, la cual se deriva del calentamiento diferencial de la atmósfera por el Sol, y las irregularidades de la superficie terrestre, y a pesar que sólo una parte de la energía solar que llega a la tierra se convierte en energía cinética, la cantidad total es enorme; el recurso energético eólico es muy variable tanto en el tiempo como en su localización, y la variación con el tiempo ocurre en intervalos de segundos y minutos (rachas), horas (ciclos diarios) y meses (variaciones estacionales) [Cabello 2006]. La potencia de los sistemas conversores de energía eólica es proporcional a cubo de la velocidad del viento, por lo que la velocidad promedio del viento y su distribución en un sitio dado, con factores muy importantes en la economía de los sistemas [Varela 2007].

El viento es un recurso con una naturaleza intermitente y variable, siendo necesario entonces, que para su aprovechamiento sea óptimo la instalación de dispositivos de tamaño considerable y emplazados en lugares muy expuestos al viento, lo que trae consigo algunas contrapartidas ambientales: interrupción de la armonía paisajística, repercusión negativa para las aves que incluso pueden sufrir accidentes fatales en pleno vuelo, producción de ruidos, interferencias e interrupciones en emisiones radiofónicas y de televisión, y el riesgo de accidentes por desintegración del rotor en zonas urbanas o faunísticas activas cerca de los dispositivos [López & Fentanes 2003]. Como efecto positivo [Espejo 2004], esta generación de electricidad no produce gases tóxicos, ni contribuye al efecto invernadero, ni a la lluvia ácida, no origina productos secundarios peligrosos ni residuos contaminantes; a manera de ejemplo, se puede mencionar que cada Kwh de electricidad generada por energía eólica en lugar de carbón, evita la emisión de un kilogramo de CO₂, entonces, generar eólicamente 20 Kw de energía limpia tiene el mismo efecto desde el punto de vista de contaminación atmosférica, que plantar un árbol, si se considera que éste es capaz de absorber 20 kg de CO₂ [Varela et al. 2009].

La energía eólica es aprovechada a través de la energía cinética proveniente del viento, la cual es transformada en energía mecánica, para finalmente convertirse en energía eléctrica por la producción de electricidad [Bastianón 1994]. Los dispositivos para realizar dichas conversiones son los molinos, clasificados en molinos de eje vertical y de eje horizontal, de acuerdo con la disposición del eje principal, figuras 8-9; los molinos de eje vertical son máquinas sencillas compuestas de dos o tres aspas que se desplazan en planos paralelos a la dirección del viento, siendo conocidos los de rotor Savonius y de rotor Darrieus; los molinos de eje horizontal son máquinas conformadas de una a 18 aspas que reciben perpendicularmente el viento y requieren una orientación generalmente

proporcionada por una veleta, siendo conocidos los molinos lentos multipala y los aerogeneradores [Varela 2007]. La tabla 1, muestra una guía para la selección del convertidor más adecuado [Varela 2007]. La figura 10, muestra diferentes molinos de viento [Seymour 1977].

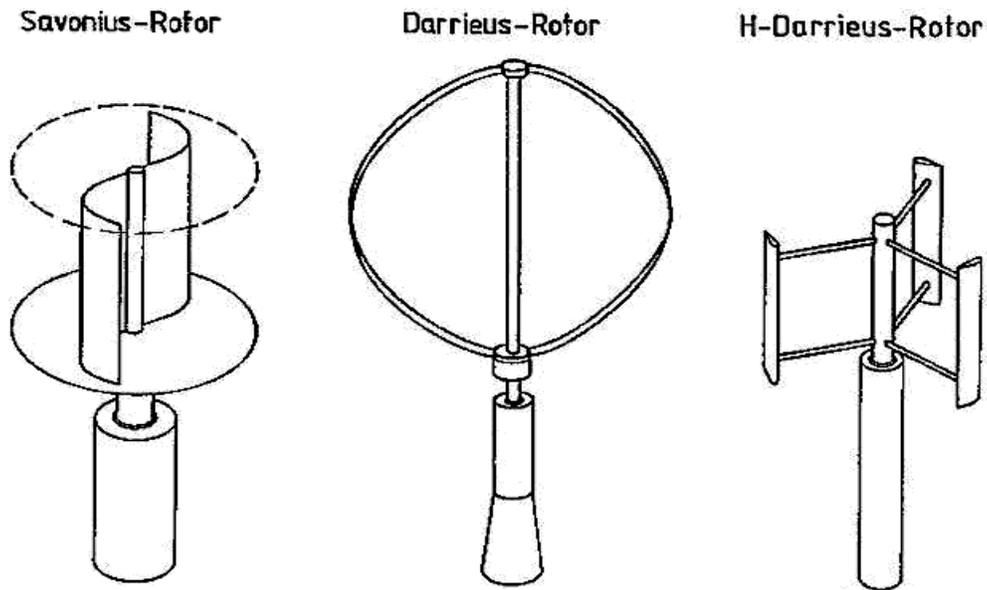


Figura 8. Tipos básicos de rotores de eje vertical [Varela 2007].



Figura 9. Aerogeneradores [Varela 2007].

Tabla 1. Guía para la selección de máquinas eólicas.

| Velocidad del viento [m/s] | Tipo | Eficiencia [%] | Energía producida | Potencia [W] |
|----------------------------|------------------|----------------|-------------------|--------------|
| 0-2 | Rotor | 15 | Mecánica | 2-100 |
| 2-4 | Molino multipala | 20 | Mecánica | 100-500 |
| 4-12 | Eje horizontal | 30 | Mecánica | 500-5000 |
| 12-18 | Aerogenerador | 35 | Eléctrica | >5000 |

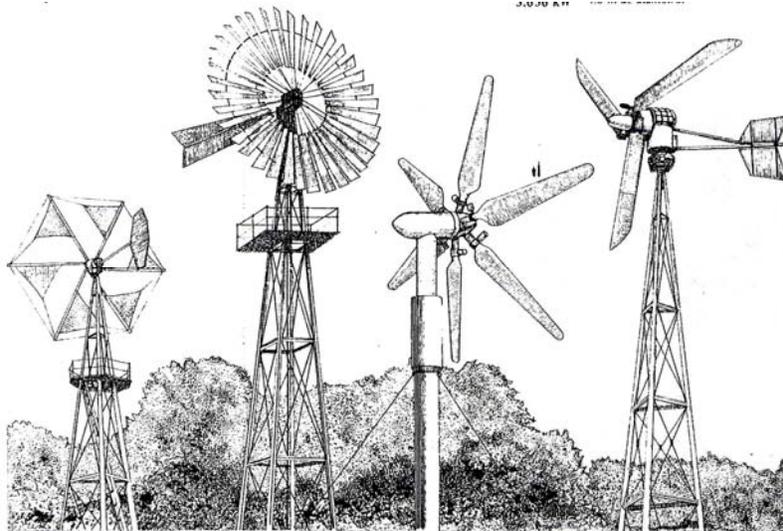


Figura 10. Variedades de molinos para aprovechamiento de la energía eólica [Seymour 1977].

El principal inconveniente de aprovechar el viento es que su potencia está relacionada con la velocidad [Seymour 1977], siendo en algunas ocasiones poca (cuando la velocidad del viento es muy baja) y en otras demasiada (cuando el viento sopla muy fuerte, con fuerza vendaval). Colombia posee un régimen de vientos considerado entre los mejores de Suramérica (figura 11 [Flórez & Costa 2006]), donde sus regiones costeras en el norte han sido clasificadas con vientos de clase 7 que alcanzan los 10 m/s, lo que la coloca con un potencial estimado de energía eólica de 21000 MW en el Departamento de La Guajira, suficiente para abastecer la demanda nacional de energía [Flórez & Costa 2006]; sin embargo, existe interés en la exploración del aprovechamiento eólico en otras regiones diferentes al Litoral Atlántico, donde se presentan velocidades bajas, principalmente en aquellas regiones donde existen vientos con velocidades mayores de 3 m/s, las cuales son aptas para desarrollar proyectos individuales para bombeo de agua y funcionamiento de cercas eléctricas [Varela 2007]. La tabla 2, muestra el uso de la energía eólica según la velocidad del viento [Varela et al. 2009].

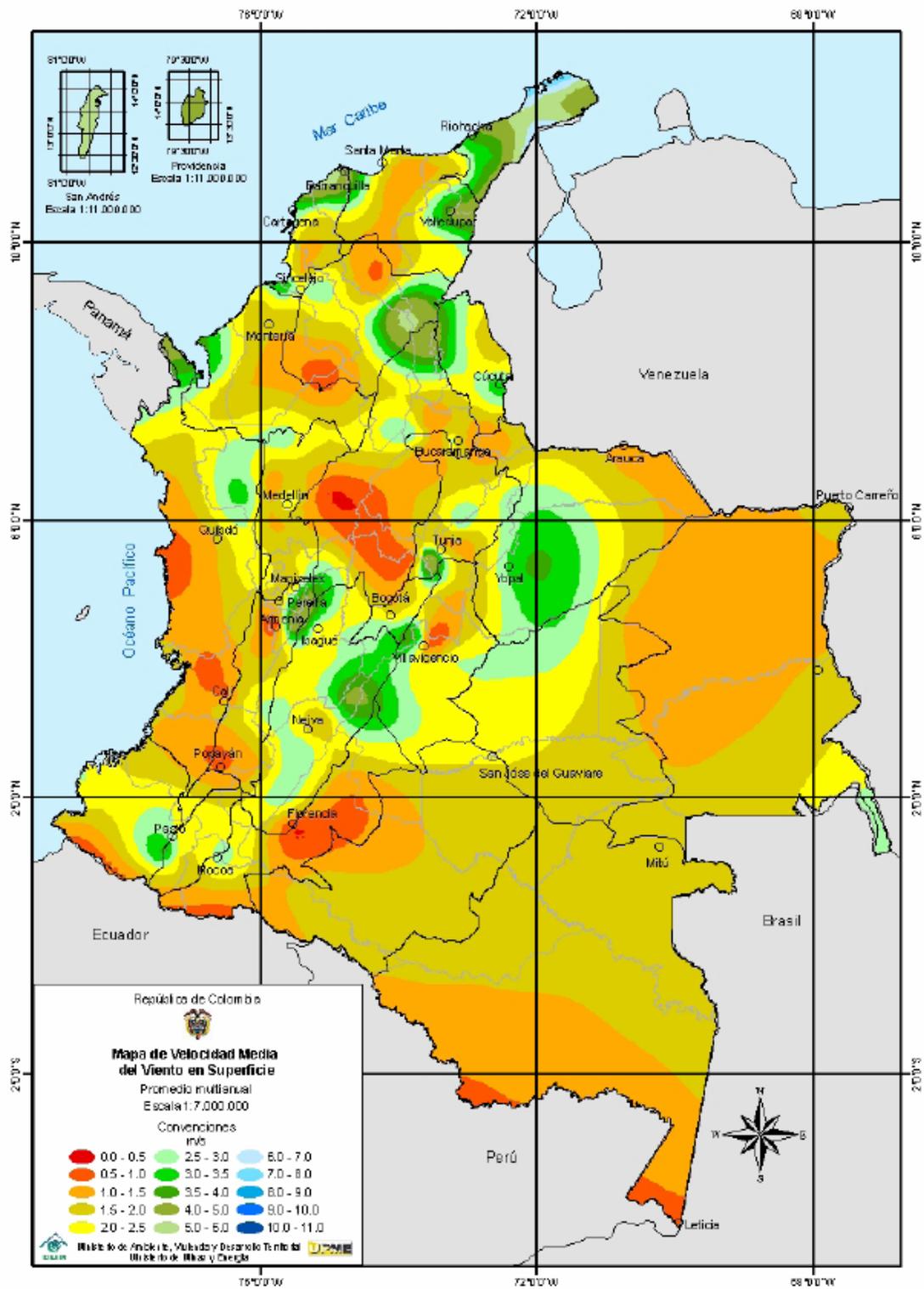


Figura 11. Velocidad promedio anual del viento en Colombia [Flórez & Costa 2006].

Tabla 2. Uso de la energía eólica según la velocidad del viento [Varela et al 2009].

| Promedio anual de la velocidad del viento (m/s), medida a 10 metros de altura. | Identificación de la posibilidad de uso de la energía eólica. |
|---|---|
| <3 | Tipo I: no es viable. |
| 3-4 | Tipo II: bombeo de agua, poco viable para generación de electricidad. |
| 4-5 | Tipo III: bombeo de agua y generación de electricidad. |
| >5 | Tipo IV: bombeo de agua y generación de electricidad con sistemas autónomos. |
| >6 | Tipo V: bombeo de agua, generación de electricidad con sistemas autónomos y sistemas conectados a la red eléctrica. |

Se plantea que el área necesaria de barrido por el sistema de energía eólica, es [Varela 2007]:

$$A_E = \frac{D}{O_E \eta} \quad (2)$$

Donde, A_E es el área necesaria de barrido por el sistema de energía eólica, D es la demanda de energía, O_E es la oferta de energía eólica, y η es la eficiencia de la máquina eólica.

3. LA ENERGÍA HIDRÁULICA

La energía hidráulica constituye un sistema energético de los denominados renovables, pero merece estar en un grupo intermedio, entre las energías limpias y las contaminantes, debido a que algunas características y circunstancias específicas, como la construcción de presas y embalses poseen un elevado impacto ambiental y humano [López & Fentanes 2003]. Desde el punto de vista ecológico, esta modalidad energética es aceptable siempre y cuando se apueste por la construcción de microcentrales, cuyo principio funcional es idéntico al de los grandes embalses y, sin embargo, su impacto ambiental es reducido y su rendimiento aunque menor, puede ser perfectamente almacenado y válido para el consumo doméstico [Seymour 1977].

La energía hidráulica se fundamenta en la energía cinética contenida en el movimiento del agua, debida a la circulación constante a través del ciclo hidrológico, y a la energía potencial asociada a los saltos de agua; esta combinación proporciona una fuente de energía renovable de un enorme potencial que desde hace cientos de años el hombre utiliza para mover molinos, que hoy en

día pueden ser utilizados para la generación de electricidad, dando origen entonces, a pequeñas instalaciones hidroeléctricas que no requieren grandes embalses reguladores [Seymour 1977]. La rueda hidráulica impulsada por la parte superior, como se muestra en la figura 12, constituye uno de los medios más antiguos de aprovechar la energía del agua, con un rendimiento de hasta el 70%, y aunque su giro es muy despacio, desarrollan bastante fuerza, lo que las hace ideales para mover ruedas de molino o de cualquier otro mecanismo [Seymour 1977].

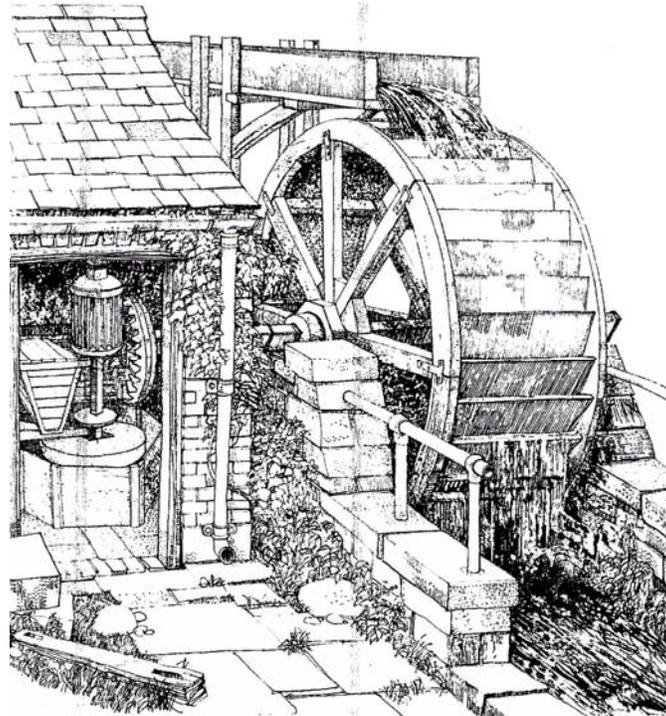


Figura 12. Rueda hidráulica impulsada por la parte superior [Seymour 1977].

Para transformar la energía hidráulica en energía útil, se usan dos clases de dispositivos: las ruedas y las microturbinas [Seymour 1977]. Las ruedas son empleadas para convertir la energía cinética del agua en energía mecánica, y posteriormente en energía eléctrica; éstas son máquinas simples que se impulsan con bajas presiones de agua, girando de una manera lenta, generando así energía mecánica, para posteriormente unido a un generador, se realiza la conversión eléctrica; pueden distinguirse las ruedas de alimentación inferior, la de Poncelot, la de alimentación superior, y la de alimentación intermedia [Seymour 1977]. Las microturbinas, se utilizan para producir directamente energía eléctrica, las cuales giran a gran velocidad por el impulso de un fuerte chorro de agua, razón por la cual en su instalación necesitan de una obra civil para el correcto manejo del caudal y de la cabeza hidráulica; son conocidas las microturbinas Pelton, Michel-Banki, y de hélice [Seymour 1977].

La tabla 3 es una guía para el desarrollo de un proyecto de energía hidráulica alternativo, donde se muestra la combinación de dos variables importantes, la cabeza hidráulica (debida a la topografía, es decir la diferencia de niveles), y el caudal.

Tabla 3. Guía de selección de proyectos de energía hidráulica alternativa [Seymour 1977].

| Cabeza [m] | Caudal [l/s] | Dispositivo | Energía producida | Potencia [kW] | Eficiencia [%] |
|------------|--------------|-------------------------------|---------------------|---------------|----------------|
| < 0.5 | 10 – 25 | Rueda alimentación inferior | Mecánica, eléctrica | 0.2 | 25 |
| < 0.5 | 10 – 25 | Rueda Poncelot | Mecánica, eléctrica | 0.2 | 50 |
| 2 – 5 | 10 – 25 | Rueda alimentación superior | Mecánica, eléctrica | 0.5 | 60 |
| 0.5 – 2 | 10 – 25 | Rueda alimentación intermedia | Mecánica, eléctrica | 0.2 | 40 |
| 40 – 100 | 10 – 25 | Microturbina Pelton | Eléctrica | > 10 | 80 |
| 4 – 10 | 25 – 100 | Microturbina Michel – Banki | Eléctrica | > 10 | 80 |
| < 0.5 | > 100 | Microturbina de hélice | Eléctrica | > 10 | 80 |

Se plantea que si $\frac{D}{O_H \eta} < 1$, entonces, hay suficiente energía hidráulica, y el proyecto es viable; donde, D es la demanda de energía, O_H es la oferta de energía hidráulica, y η es la eficiencia de la máquina hidráulica [Seymour 1977].

4. LA BIOMASA

Biomasa significa masa biológica, y corresponde a la cantidad de materia viva producida en un área determinada de la superficie terrestre, o por organismos de un tipo específico, sin embargo, el término es utilizado con mayor frecuencia en las discusiones relativas a la energía a la energía de biomasa, es decir al combustible energético que se obtiene en forma directa o indirecta de los recursos biológicos [López & Fentanes 2003].

La biomasa se define como la energía solar convertida por la vegetación en materia orgánica, que puede ser recuperada por combustión directa o transformando la materia orgánica en otros combustibles [Cabello 2006]. Hay variados combustibles de biomasa, iniciando por la leña tradicional utilizada para cocinar, pasando por los desechos agrícolas y residuos de origen animal, hasta llegar a los complejos combustibles biológicos producidos a partir de biomasa

cultivada para este fin [Bonafont 2006]; y también, hay diferentes formas de elaborar los combustibles de biomasa: combustión, destilación, gasificación, fermentación y pirólisis, así como diferentes formas de utilizarlos: gas, líquidos o sólidos [Molina & Gutiérrez 2006].

Dentro de los métodos de conversión de la biomasa en energía [Molina & Gutiérrez 2006], se distinguen los termoquímicos y los biológicos; los métodos termoquímicos se basan en la utilización del calor como fuente de transformación de la biomasa y están bien adaptados al caso de la biomasa seca, y entre ellos se distinguen la combustión y la pirólisis; entre los métodos biológicos se distinguen la fermentación alcohólica y la fermentación metánica.

La biomasa agrícola y forestal supone un potencial económico importante especialmente en las zonas tropicales y subtropicales, dado que en ellas se dan las condiciones más idóneas para el desarrollo de los vegetales [Gaviria & López 2009].

El interés ambiental de la biomasa reside en que siempre que se obtenga de una forma renovable y sostenible, es decir que el consumo no vaya a mayor velocidad que la capacidad del bosque o de la tierra para regenerarse, es la única fuente de energía que aporta un balance de CO₂ favorable, de manera que la materia orgánica es capaz de retener durante su crecimiento más CO₂ del que se libera por combustión [Olaya & González 2009]. Se adiciona a este interés, la preocupación con los cultivos energéticos, donde es discutida su competencia con la producción de alimentos y otros productos necesarios [Olaya & González 2009].

Un combustible tradicional obtenido de la biomasa, es el biogás, figura 13, correspondiente a una mezcla de metano y otros gases que se desprenden durante la degradación anaerobia de la materia orgánica por la acción de microorganismos, y es obtenido mediante un digestor o bien canalizándolo directamente en un vertedero controlado [Olaya 2006]. En el primer caso, denominado biodigestor, la temperatura es mantenido alrededor de unos 50 °C, un pH entre 6.2-8.0, favoreciendo la actividades de los microorganismos y la degradación bioquímica entre 10-25 días, para que en tres fases se realice la producción del biogás [Olaya 2006].



Figura 13. Biodigestor de balón, ubicado en el SENA, Tulúa – Colombia [Foto cortesía de Ricardo Malagón Manrique, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira].

Las fases corresponden a la hidrólisis y acidogénesis como una primera etapa, posteriormente se desarrolla la fase de acetogénesis, y finalmente la fase de producción del biogás, denominada metanogénesis [Olaya 2006]. El tipo de sustrato orgánico, las condiciones del proceso, y el grado que este alcanza hacen que las proporciones de los componentes del biogás varíen mucho, obteniéndose una mezcla conformada por metano (54-70%), CO₂ (27-45%), y otros componentes en menor proporción [Olaya 2006]. El uso del biogás corresponde fundamentalmente a la generación de calor por combustión directa, finalmente aplicada en la calefacción de recintos o en la cocción de alimento, pero también es usado para la generación de energía mecánica o eléctrica, principalmente en elementos que se tienen a mano en el mismo sitio donde es producido [Olaya 2006]. Un uso potencial en el biogás, será la utilización, aun por desarrollar más, como fuente de combustible en iluminación [Rentería 2007].

Se plantea que si $\frac{D}{O_{BIOGAS} \eta} < 1$, entonces, hay suficiente producción de biogás, y el proyecto es viable; donde, D es la demanda de energía, O_{BIOGAS} es la oferta o producción de biogás, y η es la eficiencia del biodigestor [Olaya 2006]. De una manera aproximada, la oferta energética puede ser estimada con ayuda de las tablas 4-5, donde ha sido usada la equivalencia de que un m³ de biogás es igual a 2.2 Kvh; la tabla 6, puede ser usada como guía de selección del tipo de biodigestor [Olaya 2006].

Tabla 4. Energía obtenida a partir de la producción estimada de biogás, obtenido de fuentes animales [Olaya 2006].

| Fuente | Estiércol [Kg/día] | Volumen de biogás [m ³ /Kg de estiércol] | Volumen de biogás [m ³ /animal/día] | Metano en el biogás [%] | Biogás combustible [m ³ /día] | Equivalencia [Kvh/día] |
|----------|--------------------|---|--|-------------------------|--|------------------------|
| Bovinos | 10.00 | 0.0371 | 0.3679 | 65 | 0.2391 | 0.8093 |
| Porcinos | 0.25 | 0.0636 | 0.1782 | 65-70 | 0.1212 | 0.3920 |
| Gallinas | 0.18 | 0.0050 | 0.0113 | 60 | 0.0068 | 0.0248 |
| Humanos | 0.40 | 0.0707 | 0.0283 | | | 0.0623 |

Tabla 5. Energía obtenida a partir de la producción estimada de biogás, obtenido de fuentes residuales [Olaya 2006].

| Fuente | Peso del desecho [Kg] | Volumen de biogás [m ³ /kg de desecho] | Metano en el biogás [%] | Biogás combustible [m ³] | Equivalencia [Kvh/día] |
|--------------------|-----------------------|---|-------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| Desechos de cocina | 1 | 0.2116 | 62 | 0.1312 | 0.2886 |
| Desechos de papel | 1 | 0.2170 | 67 | 0.1459 | 0.3209 |
| Desechos del campo | 1 | 0.2999 | 60 | 0.1799 | 0.3950 |

Tabla 6. Guía de selección del biodigestor [Olaya 2006].

| Tipo | Eficiencia [%] | Producción de biogás | Almacenamiento del biogás |
|------------------------------|----------------|----------------------|---------------------------|
| De cúpula fija (tipo chino) | 83 | Continua | Fuera del biodigestor |
| De cúpula móvil (tipo indio) | 100 | Continua | Dentro del biodigestor |
| De balón (tipo plástico) | 33 | Discontinua | Fuera del biodigestor |

5. LA ENERGÍA GEOTÉRMICA

La geotermia es define como la ciencia relacionada con el calor interior de la tierra, y su aplicación práctica principal es la localización de yacimientos naturales de agua caliente, para su uso en generación de energía eléctrica, en calefacción o en procesos de secado industrial [Lahsen 2000]. Sus manifestaciones hidrotérmicas superficiales son entre otras los manantiales calientes, los géiseres y las fumarolas, cuyo calor se produce entre la corteza y el manto superior de la tierra, y es transferido a la superficie, por difusión, por movimientos de convección en el magma (roca fundida) y por circulación de agua en las profundidades [OEDPK 1998].

La energía geotérmica se desarrolló para su aprovechamiento como energía eléctrica en 1904, en Toscana (Italia), donde la producción continúa en la actualidad; proyectos importantes funcionan en Budapest (Hungría), en algunas zonas de París, en Reykiavik y otras ciudades de Islandia, y en varias zonas de Estados Unidos [Freeston 1995; Huttner 1995].

No es común una aplicación de la energía geotérmica en la explotación agropecuaria, y para su utilización se requiere la conjunción de una serie de factores geológicos, tecnológicos, económicos, y sociales, además de una estrecha relación existente a nivel mundial entre áreas geotermales y magmatismo con la actividad volcánica; sin embargo, prospectivas en áreas con recursos geotermales y con vocación agropecuaria, potencializan su uso hacia desarrollos de sistemas de calefacción, invernaderos para el cultivo de flores y hortalizas, acuicultura en zonas frías para el cultivo de peces nativos de las zonas cálidas y crustáceos, y secado de productos agrícolas como granos y frutas [Lahsen 2000].

REFERENCIAS

- ANR;** (2006). *Energías alternativas: Una apuesta de futuro*. Recupera, Revista de la Agrupación Nacional de la Recuperación – ANR, No. 43, Marzo, pp21-25.
- ARANGO A., V.; GONZÁLEZ S., L.O.;** (2006). *Sistema de calefacción solar para alojamientos de ganado porcino en sus primeras semanas de vida*. 4º Taller Internacional de Energía y Medio Ambiente. Cienfuegos, Abril 2-6.
- BARRIGA R., A.;** (1999). *Fuentes alternas de energía*. Notas de Curso. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Julio, 82p.
- BASTIANÓN, R.A.;** (1994). *Energía del viento y diseño de turbinas eólicas*. Tiempo de Cultura Ediciones.
- BELTRÁN M., C.,** (2006). *Diseño de un sistema de calefacción para pollos en las primeras semanas de vida*. Tesina (Ingeniero Agrícola). Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira.
- BONAFONT, A.;** (2006). *Biomasa, una oportunidad en la tecnología de invernaderos: Energías alternativas para el control de clima en horticultura intensiva*. Horticultura, No.197, Diciembre, pp54-57.
- BORJA G., F.J.; GONZÁLEZ S., L.O.; QUINTERO D.V., V.E.;** (2006). *Diseño modelo de estanques climatizados para el cultivo de tilapia roja, Oreochromis sp, localizados en la zona fría del Valle del Cauca, Colombia*. 4º Taller Internacional de Energía y Medio Ambiente. Cienfuegos, Abril 2-6.
- BUN-CA;** (2002). *Manuales sobre energía renovable: Solar fotovoltaica*. Biomass Users Network, BUN-CA, 42p.
- CABELLO Q., A.M.;** (2006). *Energías alternativas: Solución para el desarrollo sustentable*. 8ª Jornadas Medio Ambiente y Empresa. ADNUMA Chile – REFINOR Argentina. 48p.
- CABRERA, J.;** (2009). *Implicaciones legales y constitucionales de la explotación geotérmica en parques nacionales*. Ambientico, No. 194, Octubre, pp5-6.
- CARPINTERO, O.;** (2006). *Biocombustibles y uso energético de la biomasa: un análisis crítico*. El Ecologista, No. 49, Otoño.
- CARRILLO, E.;** (2009). *Por el uso de energía renovable*. La Gaceta, Lunes 11 de Mayo, pp11.
- CHINAPPI C., I.; JEREZ C., A.; ROSALES C., J.A.;** (2007). *Destilador de agua solar: alternativa para potabilizar agua en zonas rurales. Determinación de costos*. Academia, Vol. VI, No. 11, Enero-Junio, pp70-76.
- CRUZ F., O.; GÁMEZ Y.L., A.G.; LÓPEZ M., F.E.; RETA H., M.;** (2006). *Estudio sobre la utilización de fuentes alternas de energía*. COMEC 2006. 5p.
- DE SCHILLER, S.; EVANS, J.M.; LABEUR, A.; DELBENE, C.; KOZAK, D.;** (2003). *Relevancia de proyectos demostrativos de bajo impacto ambiental y gran eficiencia energética*. Ambiente Construido, Vol. 3, No. 2, Abril/Junio, pp21-35.
- DUARTE, E.; FERNÁNDEZ, E.;** (2009). *Callejones de acidificación entre volcanes activos de Costa Rica*. Ambientico, No. 194, Octubre, pp3-4.

ECHEVERRÍA O., S.A.; (1985). *Secado de madera con energía solar*. Tesis (Ingeniero Mecánico). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil.

ERBE ECOTECNOLOGÍA; (2009). *Energía solar térmica*. Catálogo de producto. Madrid, 36p.

ESPEJO M., C.; (2004). *La energía eólica en España*. Investigaciones Geográficas, No. 35, pp45-65.

FLÓREZ P., C.A.; COSTA P., C.; (Editores). (2005). *Atlas de Radiación Solar de Colombia*. UPME – IDEAM. Santafé de Bogotá, D.C.

FLÓREZ P., C.A.; COSTA P., C.; (2006). (Editores). *Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia*. UPME – IDEAM, Santafé de Bogotá, D.C. Disponible en Internet: http://www.upme.gov.co/Atlas_Viento.htm [Consultada Febrero 2009]

FREESTON, D.H.; (1995). *Direct uses of Geothermal Energy 1995*. Proceedings Geothermic Congress. Florence, May 18-31, Vol. 1, pp15-26.

FUENTES R., R.; ROTH U., P.; (1997). *Teoría de la destilación solar en vacío*. Revista Facultad de Ingeniería, Enero-Diciembre, Vol. 4, pp49-56.

GAVIRIA Q., O.E.; LÓPEZ T., Y.D.; (2009). *Una exploración sobre la obtención de de biocombustibles sólidos a partir de subproductos de la agroindustria*. Tesina (Ingeniero Agroindustrial). Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira.

GONZÁLEZ S., L.O.; CRUZ B., G.; (2007). *Diseño teórico de un sistema de calefacción solar para el secado de madera*. V Conferencia Internacional de Energía Renovable, Ahorro de Energía y Educación Energética – CIER, y Taller Internacional de Energía Eólica. La Habana, Mayo 22-25.

GONZÁLEZ S., L.O.; LOZANO F., J.C.; (2007). *Diseño Industrial y Energía Solar Térmica, estudio de caso: la cocina solar portátil*. V Conferencia Internacional de Energía Renovable, Ahorro de Energía y Educación Energética – CIER, y Taller Internacional de Energía Eólica. La Habana, Mayo 22-25.

GONZÁLEZ S., L.O.; (2009). *Edificación, Construcción y Ahorro Energético: Conceptos orientados en los fundamentos del diseño bioclimático*. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira, 46p.

GUDEMOS, E.; (2006). *Energía solar en la gestión del agua*. I Congreso Internacional sobre Gestión y Tratamiento Integral del Agua. Córdoba, Argentina, Abril.

HUTTRER, G. W.; (1995). *The status of world Geothermal Power production 1990-1994*. Proceedings Geothermic Congress. Florence, May 18-31, Vol. 1, pp3-13.

ICONTEC; (2004). *Guía de especificaciones de sistemas fotovoltaicos para suministro de energía rural dispersa en Colombia*. GTC 114. Comité Solar y Fotovoltaica, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación – ICONTEC, 24P.

IZQUIERDO M., M.; (2004). *Refrigeración solar en la edificación: Presente y futuro*. Jornadas de calidad energética y medioambiental en los edificios. Universidad Internacional de Andalucía. Baeza, Marzo 3, 22p.

LAHSEN A., A.; (2000). *La energía geotérmica: posibilidades de desarrollo en Chile*. Universidad de Chile, Santiago, 10p.

LÓPEZ D.A.A., M.; FENTANES G.Z., K.; (2003). *Energías alternativas*. Memorias del Diplomado Internacional Acercamiento a criterios arquitectónicos ambientales para comunidades aisladas en áreas naturales protegidas de Chiapas. Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Enero 25, 24p.

LUCUMÍ, Y.F.; GONZÁLEZ S., L.O.; (2006). *Diseño modelo de un sistema de calefacción, para porquerizas ubicadas en el valle geográfico del río Cauca (Colombia), utilizando energía solar*. 4º Taller Internacional de Energía y Medio Ambiente. Cienfuegos, Abril 2-6.

MACIAS O., R.I.; (2009). *Energías alternas: ¿Luz natural?* Revista Virtual Pro Procesos Industriales. Noviembre, No. 94, pp1-2.

MARÍN Q., E.A.; (2005). *Diseño de lámparas autosuficientes para el alumbrado público urbano de zonas públicas del Municipio de Palmira*. Tesina (Diseñador Industrial). Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira.

MARÍN Q., E.A.; GONZÁLEZ S., L.O.; (2006). *Ilument Lamp: Lámpara autosuficiente para el alumbrado público urbano em el Municipio de Palmira, Colombia*. 4º Taller Internacional de Energía y Medio Ambiente. Cienfuegos, Abril 2-6.

MARTÍNEZ-PINILLOS C., E.; (1997). *Diseño y ensayo de un secador solar para madera*. Maderas y Bosques, otoño, Año/Vol. 3, No. 2, pp13-28.

MOLINA G., C.Y.; GUTIÉRREZ L., H.D.; (2006). *Evaluación del uso potencial, como biomasa, de subproductos agroindustriales procedentes de la Industria Vallecaucana*. Tesina (Ingeniero Agroindustrial). Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira.

MURCIA R., H.; (1995). *Manual de entrenamiento en sistemas fotovoltaicos para la electrificación rural*. PNUD/OLADE/JUNAC.

NANDWANI, S.S.; (2006). *Calentador solar de agua tipo circulación natural. Construcción, funcionamiento y uso*. Seminario Las aplicaciones productivas y sustentables de la energía solar. Heredia, Costa Rica, Septiembre 19-22, 18p.

NANDWANI, S.S.; (2009). *Electricidad producida con energía solar*. Ambientico, No. 194, Octubre, pp7-8.

OEDPK; (1998). *Programa de aprovechamiento de la energía geotérmica de Kenya*. OED Précis. No. 162, verano, 4p.

OLAYA A., Y.; (2006). *Diseño de un biodigestor de cúpula fija*. Tesina (Ingeniero Agrícola). Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira.

OLAYA A., Y.; GONZÁLEZ S., L.O.; (2009). *Fundamentos para el diseño de biodigestores*. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira, 32p.

OSORIO S., G.; (2008). *La ciencia de los materiales: en busca de fuentes alternas de energía*. Ciencia UANL, Abril-Junio, Vol. XI, No. 2, pp193-195.

PINO J., L.F.; (2005). *Diseño de un sistema de producción de agua caliente, con energía solar, para la operación de escaldado, en una procesadora avícola del Vall del Cauca*. Tesina (Ingeniero Agroindustrial). Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira.

RENTERÍA R., J.G.; (2007). *Diseño de un sistema de alumbrado a gas natural para conjunto residencial en la ciudad de Cali*. Tesina (Diseñador Industrial). Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira.

- RODRÍGUEZ M., H.; GONZÁLEZ B., F.;** (1992). *Manual de Radiación Solar en Colombia*. Series sobre Energía. Santafé de Bogotá.
- SALTARÉN, C.A.; MONTAÑO, E.; GONZÁLEZ S., L.O.;** (2006). *Bioclima: Programa de ordenador para evaluar el comportamiento térmico de un alojamiento pecuario*. 4º Taller Internacional de Energía y Medio Ambiente. Cienfuegos, Abril 2-6.
- SEI;** (2006). *Renewable Energy Education Program 2006*. Solar Energy International. Carbondale, CO, 40p.
- SEYMOUR, J.;** (1979). *Guía práctica ilustrada para la vida en el campo*. Editorial Blume. Barcelona, 256p.
- TABARES V., L.J.;** (2008). *Herramienta computacional para sistemas de aprovechamiento de la energía solar*. Tesina (Ingeniera Agrícola), Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira-Colombia (2008)
- US DEPARTMENT OF ENERGY;** (2003). *La energía geotérmica en la actualidad – Geothermal Today*. 8p.
- VAN DER LAAT, R.;** (2009). *Geotermia para producción eléctrica en Costa Rica*. Ambientico, No. 194, Octubre, pp3-4.
- VARELA V., L.E.;** (2007). *Diseño de un sistema eólico para abastecimiento eléctrico rural*. Tesina (Ingeniero Agrícola). Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Palmira.
- VARELA V., L.E.; GONZÁLEZ S., L.O.; ROJAS G., A.F.;** (2009). *Una exploración sobre el potencial eólico en Colombia, y diseño de un sistema eólico, de baja potencia, para una aplicación de abastecimiento eléctrico rural*. VI Conferencia Internacional de Energías Renovables, Ahorro de Energía y Educación Energética – CIER 2009, La Habana, Junio 9-12.
- VIEHBECK, P.;** (1999). *Lo básico del secado de madera con energía solar*. GATE – GTZ. Santa Cruz, Bolivia, 49p.