





Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

---

## Créditos

---

**Julio Mario Rodríguez D.** Ingeniero Mecánico, M.Sc. Director Instituto de Ensayos e Investigaciones IEI. Universidad Nacional de Colombia.  
Coordinación, Conceptos y Textos .

**Consuelo Díaz B.** Bióloga. M.Sc. Jefe Laboratorio de Ingeniería Ambiental del Instituto de Ensayos e Investigaciones IEI. de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia.  
Conceptos y Textos

**Julio González N.** Físico. M.Sc. Profesor de la Facultad de Ciencias, Departamento de Física, Universidad Nacional de Colombia.  
Conceptos y Textos

**Alvaro Rey R.** Ingeniero Mecánico. Msc. Potencia Hidráulica. Profesor asociado de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia.  
Conceptos y Textos

**Socorro Martínez.** Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Dirección General  
Coordinación y Asesoría  
Técnico Pedagógica

**Luis Fernando Molina P.** Arquitecto ENTORNO LTDA.  
Textos e Ilustraciones.

**Gabriel J. Sánchez J.** Arquitecto ENTORNO LTDA  
Textos y Fotografías

**Mauricio González G.** Arquitecto ENTORNO LTDA  
Textos y sistematización

**ENTORNO LTDA.**  
Diseño , estructura general del Manual, diagramación y Artes Finales

**IMPRESION** Sección de Publicaciones **SENA.**

---

Bogotá, Junio de 1990  
Hecho en Colombia

---

---

Derechos reservados:  
**SENA - UNIVERSIDAD NACIONAL**  
Prohibida su reproducción total o parcial

---

# Contenido

---

**Presentación**

**Introducción**


---

1

**Fuentes de Energía**

Generalidades  
Evaluación del recurso

Solar 

Eólica 

Hidráulica 

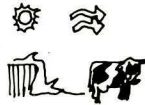
Biomasa 

---

2

**Demanda - Oferta de Energías**

Casa Autosuficiente



3


**Convertidores**

Clases  
Descripción  
Recomendaciones

Energía Solar 

Energía Eólica 

Energía Hidráulica 

Biomasa 

---

4

**Predimensionamiento de convertidores**

---

**Bibliografía**

---



---

## *Presentación*

---

La Universidad Nacional de Colombia (UN) en convenio con el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) viene realizando una serie de proyectos de investigación tecnológica con el fin de dar solución a problemas específicos de las comunidades colombianas.

El presente manual forma parte de un conjunto de publicaciones que, se están realizando para la difusión de tecnologías.

En este caso, se presentan los resultados de las investigaciones desarrolladas en el área de las Energías Alternativas.



Centrada esta obra fundamentalmente en el área rural en la que la interconexión con la red de electrificación no es factible, se induce al usuario a plantearse el problema de cuantificar y cualificar sus necesidades energéticas como primer paso importante. ¿para qué necesita la energía? ¿cómo la requiere, en forma de electricidad, gas, calor ? ¿durante cuánto tiempo ? ¿Estos requerimientos de energía crecerán con los años?.

El paso siguiente es evaluar el recurso energético disponible en la región. La solución energética, puede venir de cualquiera de las fuentes (solar, eólica, biomasa o hidráulica) o de una combinación de ellas. Normalmente se prefiere una combinación con una de ellas como principal y el resto (si la hay) como soporte.

Para tal fin, se presentan formas muy elementales de hacer los estimativos de los recursos energéticos en Colombia incluyendo mapas del mismo.

Una vez evaluada la oferta y la demanda energética se presentan los desarrollos tecnológicos alcanzados y su forma de funcionamiento; lo que daría al usuario una visión de su complejidad y de sus posibilidades de aplicación. En los anexos se presentan cálculos elementales de predimensionamiento que indican los tamaños y las formas de los equipos solicitados.

Con todos los elementos anteriores, el usuario está en capacidad de hacer las combinaciones generales para que su sistema energético sea el óptimo desde el punto de vista tecnológico y económico.

Con todos los elementos anteriores, el usuario está en capacidad de hacer las combinaciones generales para que su sistema energético sea el óptimo desde el punto de vista tecnológico y económico.

El diseño de la cartilla, su presentación y la formulación de los conceptos básicos hacen de su uso una herramienta agradable para aquel que quiera penetrar en el maravilloso y agradable mundo de las energías alternativas.



**JULIO MARIO RODRIGUEZ DEVIS**

---

# *Introducción*

---

Es conocido que la radiación solar interceptada por la tierra es de unos  $1.73 \times 10^{14}$  kilovatios y aproximadamente el 20% de esta potencia incidente es absorbida por la atmósfera, lo que daría un promedio mundial de potencia en la superficie de la tierra de 182 vatios/m<sup>2</sup>, esto es, un promedio diario de energía de 4.4 kilovatios - hora sobre metro cuadrado.

Aproximadamente el 2% del calor del sol que llega a la tierra se convierte de manera natural en vientos (energía cinética) o sea unos  $3.5 \times 10^{12}$  Kilovatios pero solo una pequeñísima fracción de esta energía puede aprovecharse. (puede llegar a  $2 \times 10^{11}$  vatios).

La eficiencia global de la vegetación como colectora de energía es muy baja siendo un máximo de uno a dos por ciento del flujo solar incidente. Se calcula que un bosque de coníferas almacena aproximadamente  $11.2 \times 10^6$  calorías/m<sup>2</sup> de energía solar cada año lo que daría en unidades de potencia 1.5 vatios/m<sup>2</sup>. Esta producción de energía puede duplicarse o triplicarse en las regiones tropicales.

El potencial de energía hidráulica en el mundo es mayor de 2857 Gigavatios estando concentrado en los países en vías de desarrollo principalmente Asia, Africa y América del sur.

Pero ¿ todos estos datos de energía potencialmente aprovechables pueden ser usados ? ¿ cuánta energía es la que nosotros necesitamos y con qué medios o herramientas para extraerla contamos realmente ? ¿ podemos hacer uso de estos recursos energéticos ?

Estas son las preguntas que pretende responder este manual de ENERGIAS ALTERNATIVAS aplicadas al sector rural.

Se parte del principio fundamental de que la oferta y la demanda energéticas deben estar estrechamente unidas al desarrollo y estado actual de las tecnologías necesarias para realizar las transformaciones de una manera integral y armónica.



# *Fuentes de Energía*



*Estudie las generalidades de cada una de las fuentes de energía y determine cuáles de ellas son mas abundantes en su localidad . Evalúe cada uno de los recursos seleccionados para establecer cuanta energía le pueden proporcionar.*

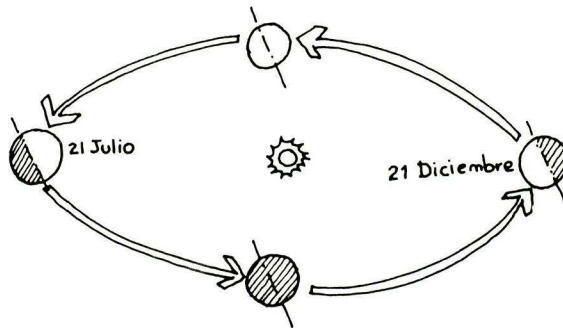


Energía Solar

Fuentes

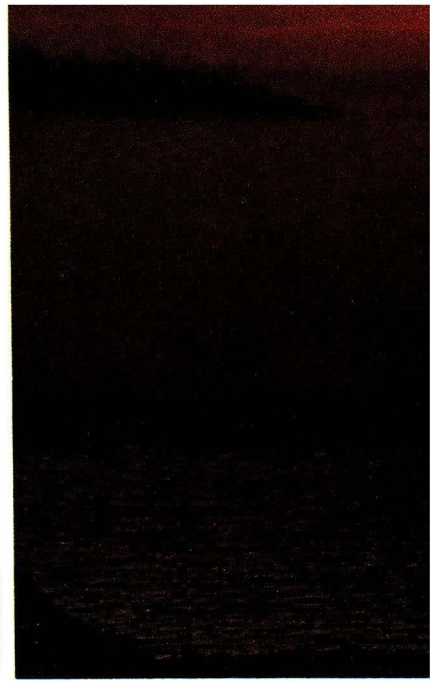
## Generalidades

El eje de la tierra está inclinado con respecto a su movimiento de giro, por este motivo al trasladarse al rededor del sol, una mitad se ladea hacia él (verano y primavera), mientras que la otra recibe poco sol (invierno y otoño). La zona media, el Ecuador, se ve poco afectada, recibiendo durante todo el año similar cantidad de rayos solares.

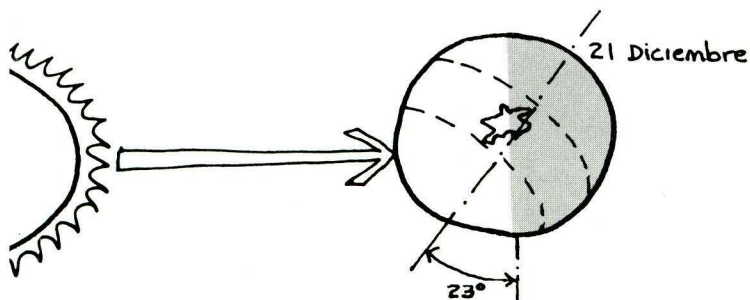
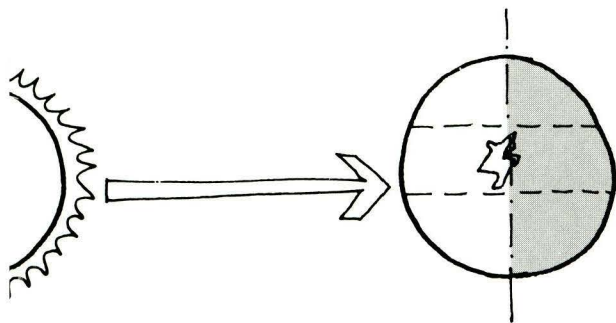
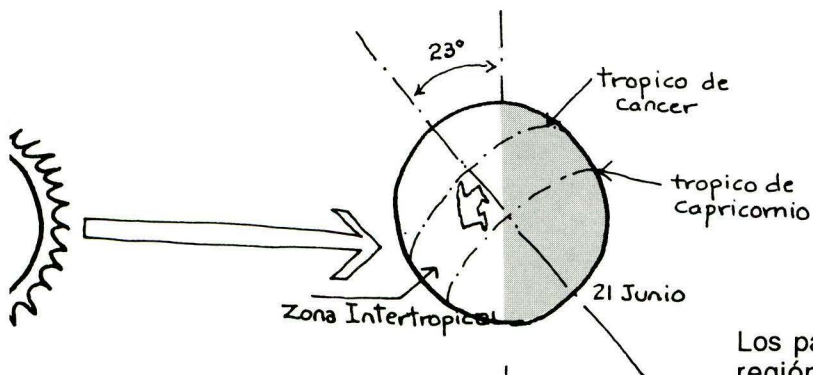
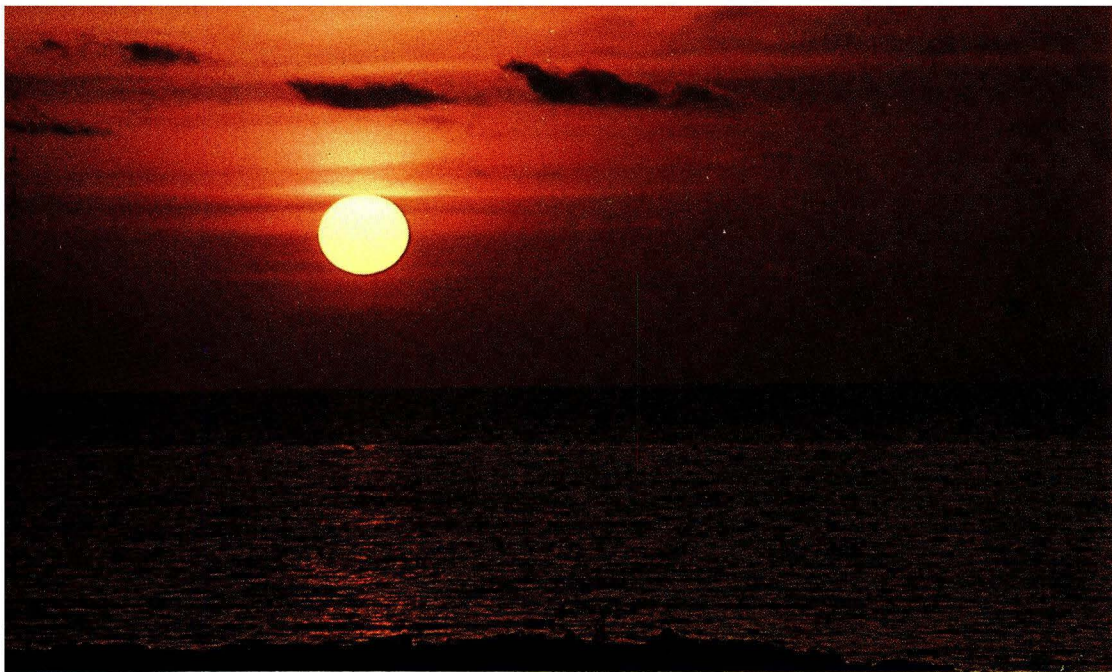


Movimiento de translación.

Santa Marta







Los países situados en la región ecuatorial, como Colombia, tienen un buen recurso en la energía solar, debido a que gozan de gran perpendicularidad de los rayos del sol. Sin embargo por estar ubicada dentro de la zona de confluencia intertropical, parte del año permanece con alta nubosidad.



## Energía Solar

### Fuentes

## Generalidades

### RADIACION SOLAR

La energía del sol llega a la tierra en forma de ondas electromagnéticas.

En la atmósfera superior, sobre las nubes, el promedio diario - anual de radiación solar es : 1.367 vatios / m<sup>2</sup> (constante solar).

Este valor, equivale a la radiación que llega perpendicularmente a un metro cuadrado de superficie.

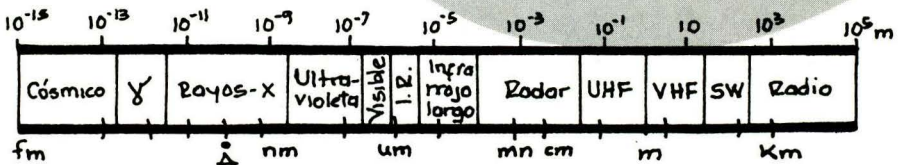
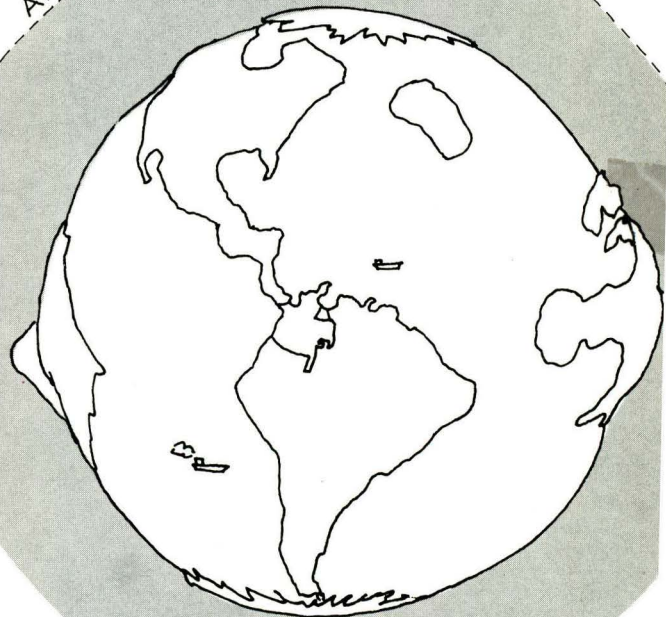
El espectro solar se puede dividir en tres partes:

- Por debajo de la radiación visible: ultravioleta y rayos X.
- Por encima de la radiación visible: infrarrojo - microondas y ondas de potencia.
- La radiación visible que percibimos en forma de luz.



1.367 vatios/m<sup>2</sup>

ATMOSFERA





La radiación solar sobre la superficie terrestre se presenta de dos formas:

### RADIACION DIRECTA

No tiene cambios en su dirección desde el sol hasta la superficie terrestre.

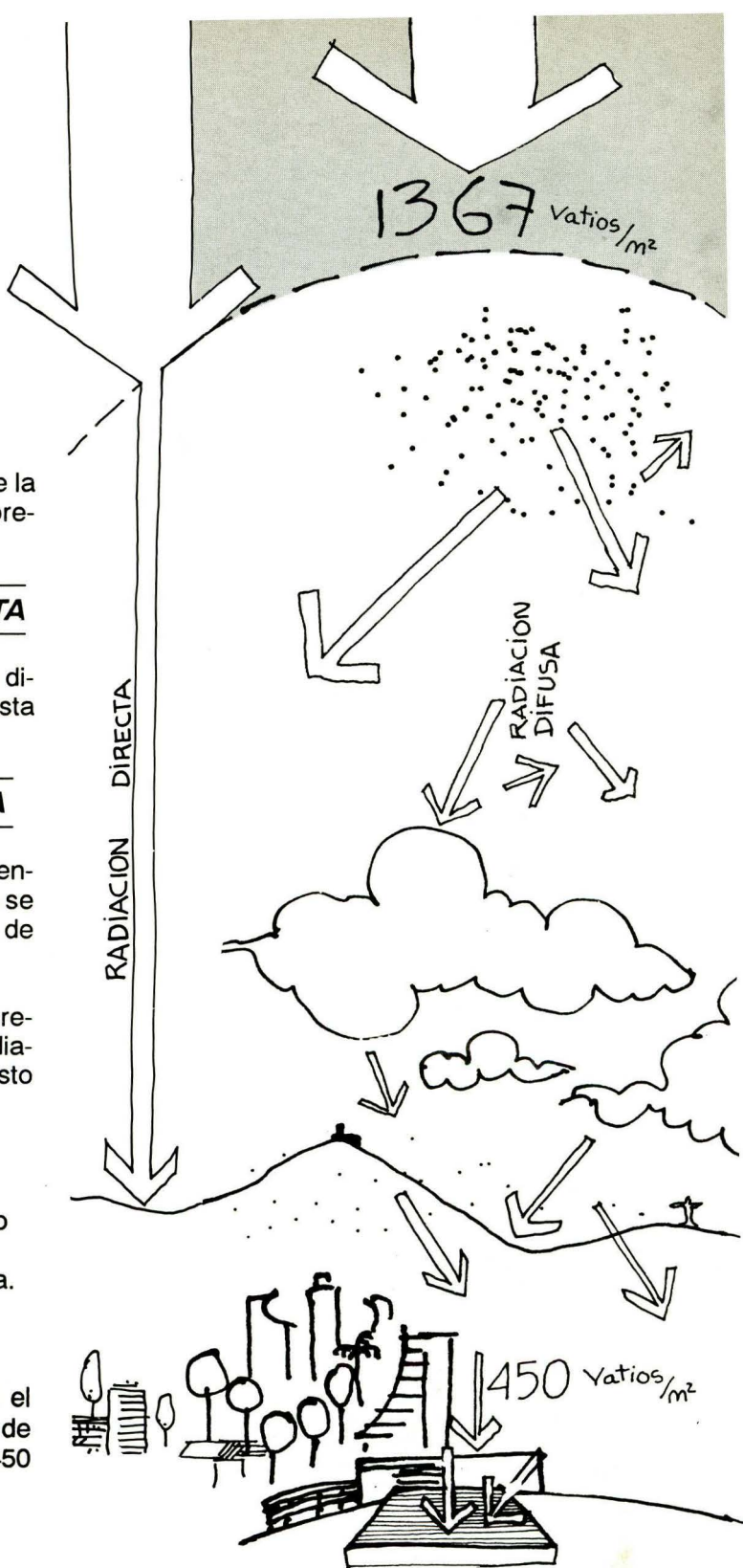
### RADIACION DIFUSA

Los rayos solares al encontrarse con las nubes se dispersan y cambian de dirección.

Cada lugar del planeta recibe una cantidad de radiación solar diferente, esto depende de :

- La atmósfera
- Los gases
- Las partículas de polvo
- Los aerosoles.
- La situación geográfica.
- El clima.

Por, ejemplo en Bogotá el promedio diario anual de radiación global es de 450 Kilovatios /m<sup>2</sup>





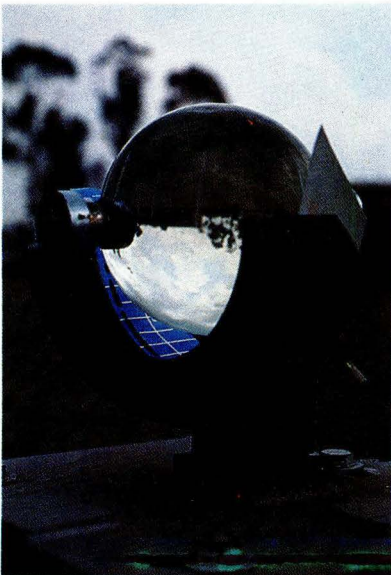
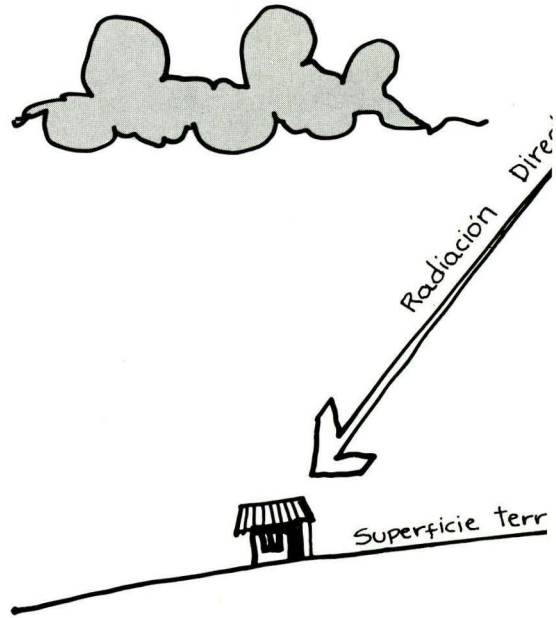
Energía Solar

Fuentes

## Evaluación del recurso

Para conocer la cantidad de energía que se puede obtener del sol, es necesario medir la cantidad de radiación solar ( directa más difusa ), que se recibe realmente en su localidad.

Esta medición se hace con instrumentos especiales.

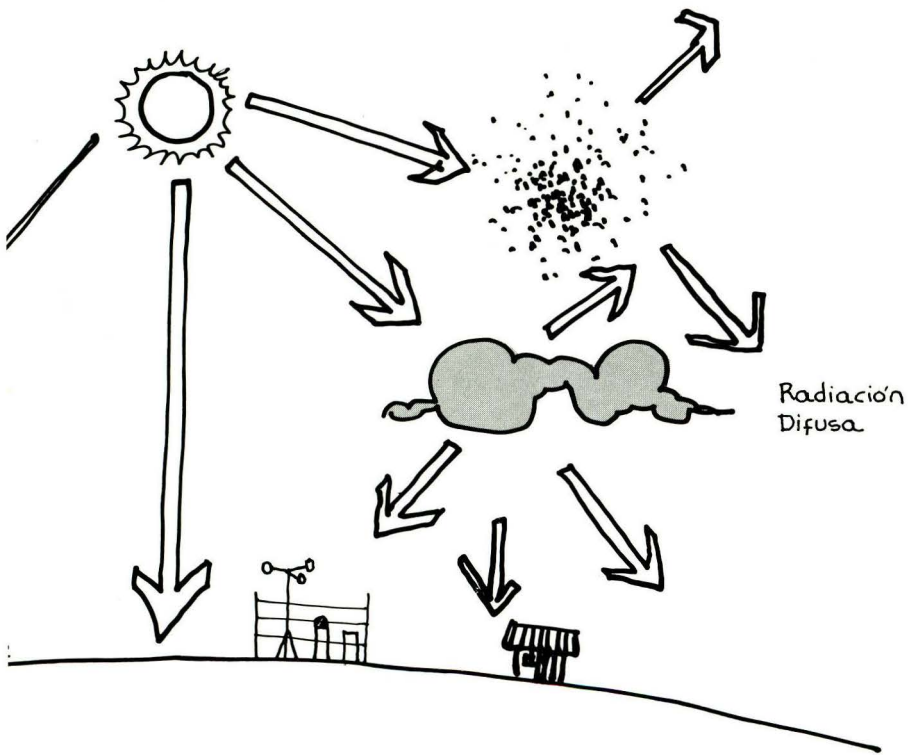


Estación Meteorológica HIMAT. UN. Bogotá.

### Heliógrafo de CAMPBELL - STOKES

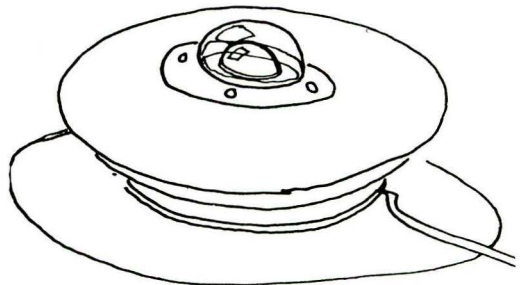
La radiación solar esta ligada íntimamente al **brillo solar** (cantidad de horas diarias que brilla el sol ) el cual se registra con este instrumento.





### Piranómetro

Mide la radiación Global (directa más difusa). Proporciona una señal eléctrica que está calibrada para suministrar la información en Kilovatios /m<sup>2</sup> .





Energía Solar

Fuentes

## Evaluación del recurso



Radiación Solar  
( Calorias / cm2 / día)

1 Caloria = 0.001163 Vatios-h

1 Caloria /Seg. = 4.1868 Vatios

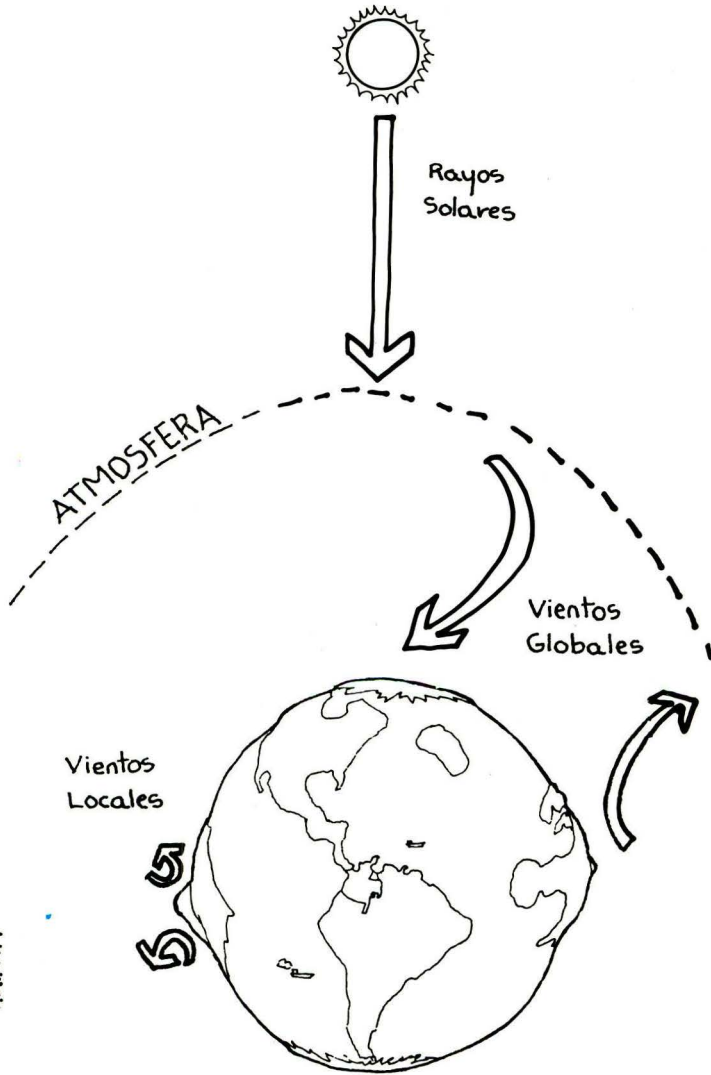
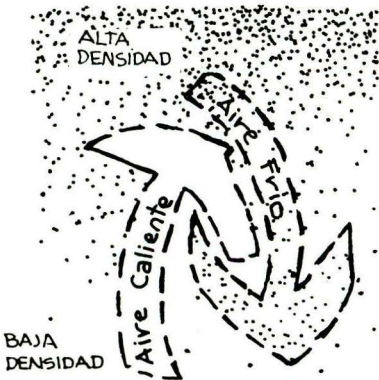


Energía Eólica

## Fuentes

### Generalidades

La diferencia en la presión y la temperatura de un lugar genera los vientos. Cuando el aire se calienta su densidad se hace menor y sube, mientras que las capas frías descenden. Así se establece una doble corriente de aire, cuya velocidad es mayor mientras mayor sea la diferencia de temperatura entre las capas.



## ***Radiación solar en algunas ciudades colombianas***

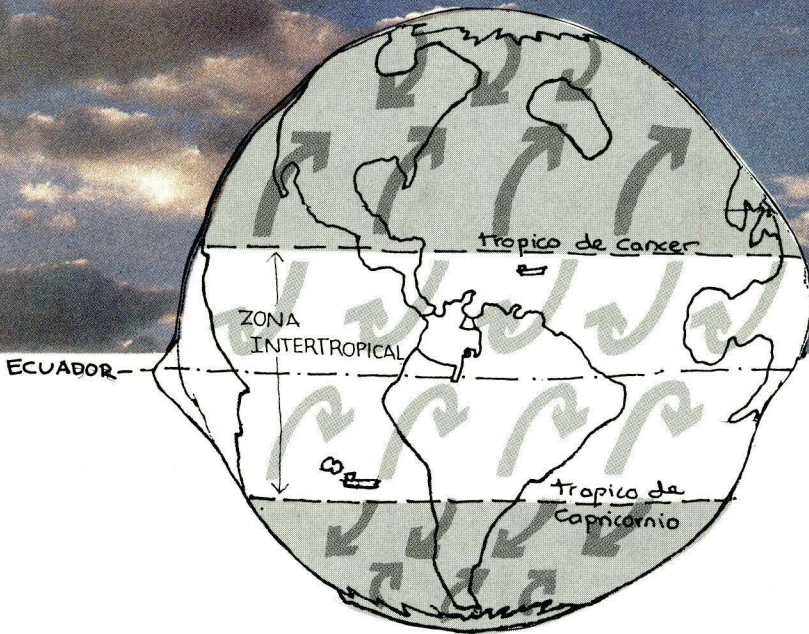
<b>Ciudades</b>	<b>Calorías - Cm día.</b>	<b>Vatios - h/m<sup>2</sup> día</b>	<b>Kilovatios - h/m<sup>2</sup> Año</b>
Riohacha	500	5.800	2.117
Santa Marta	480	5.568	2.032
Barranquilla	480	5.568	2.032
Cartagena	450	5.220	1.905
Valledupar	450	5.220	1.905
Sincelejo	430	4.980	1.817
Montería	430	4.980	1.817
Cúcuta	450	5.220	1.905
Bucaramanga	420	4.872	1.778
Arauca	400	4.640	1.693
Puerto Carreño	400	4.640	1.693
Quibdo	330	3.828	1.397
<b>Manizales</b>	360	4.176	1.524
Yopal	350	4.060	1.482
Pereira	330	3.828	1.397
Armenia	350	4.060	1.482
Ibagué	400	4.640	1.694
Bogotá	350	4.060	1.482
Villavicencio	300	3.480	1.270
Cali	400	4.640	1.694
Neiva	430	4.988	1.821
Popayán	350	4.060	1.482
Florencia	350	4.060	1.482
Pasto	320	3.712	1.355
Mocoa	350	4.060	1.482

**Energía Solar  
estimada por Usted**



**Kilovatios - h / m<sup>2</sup> / año.**





VIENTOS  
GLOBALES

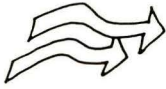
## VIENTOS

El viento es una masa de aire en movimiento, que posee energía cinética.

Los vientos se producen por acción de los rayos solares en la atmósfera.

## VIENTOS GLOBALES

Debido a la mayor incidencia de los rayos solares sobre el ecuador la zona tropical se calienta más que los polos, esto junto al movimiento de rotación origina grandes corrientes de aire sobre el planeta.



Energía Eólica

## Fuentes

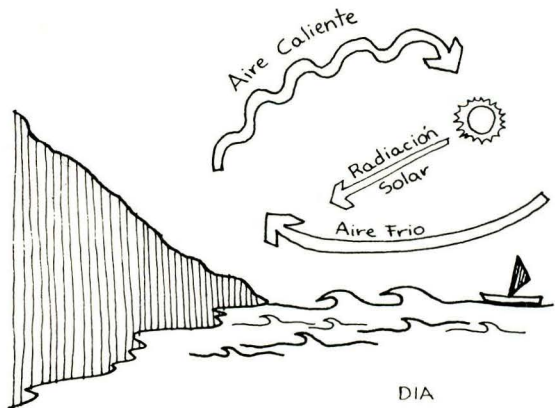
### Generalidades

#### VIENTOS LOCALES

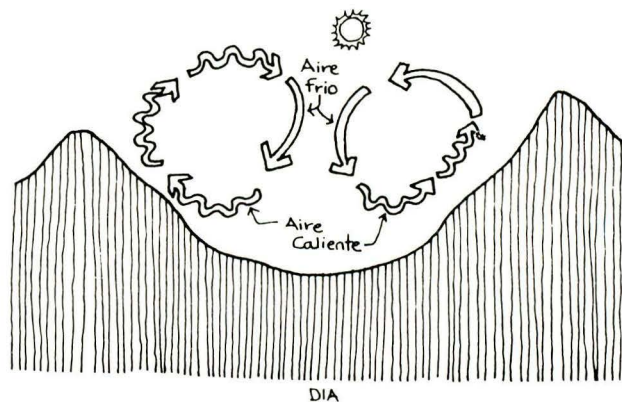
Se producen por:

- Las diferencias de temperatura del aire.
- Las condiciones geográficas del lugar.

Los vientos locales afectan los vientos globales produciendo microsistemas. Por ejemplo Villa de Leiva es un microclima seco en medio de una zona húmeda.

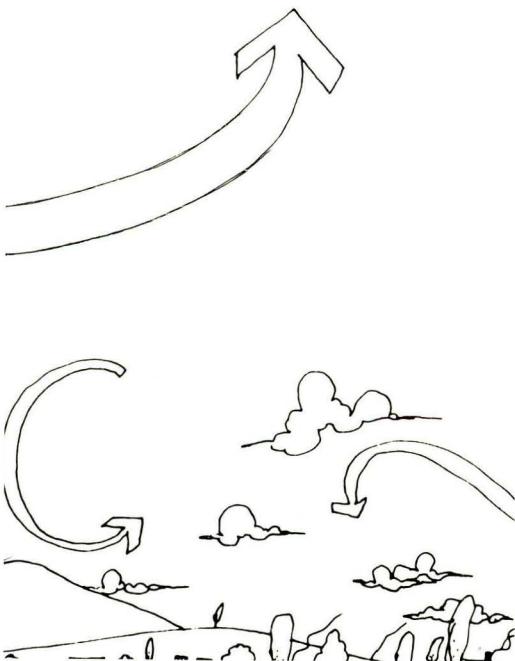


Cambios de dirección del viento

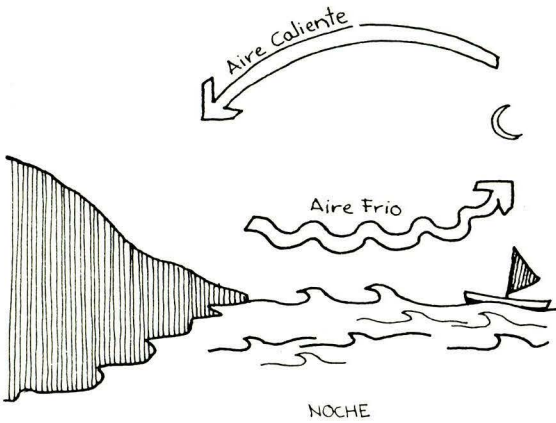


Cambios de dirección c

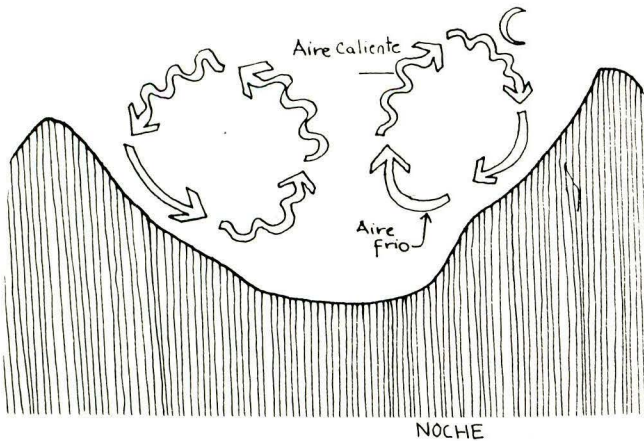
La tierra y el agua en el día se calientan y en la noche se enfrían, siendo más lento este proceso en el agua, lo que origina diferencias de temperatura y







zonas costeras



nto en valles y MONTAÑAS

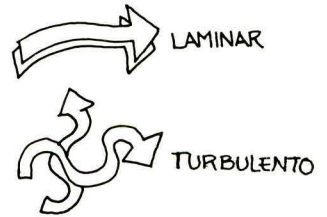
por lo tanto corrientes de aire.

El aire en el día se mueve de forma inversa al de la noche.

Las corrientes resultantes de los vientos globales y locales se presentan en dos formas:

### Laminares:

Capas de aire que se mueven paralelas manteniendo una dirección constante. Son ideales para el movimiento de máquinas eólicas.



### Turbulentas:

Como su nombre lo indica cambian constantemente de velocidad y dirección, por lo cual no se logra eficiencia en la captación de energía.



Energía Eólica

## Fuentes

## Evaluación del recurso

Para conocer la velocidad del viento se estableció la ESCALA DE BEAUFORT, con la que se puede obtener una medida aproximada, observando los efectos del viento en la naturaleza. La velocidad del viento se mide en metros/segundo.

Una vez localizados los sitios de mejores vientos, solicite información más exacta en la estación del HIMAT más cercana a su localidad.

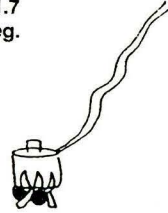
Un mayor conocimiento de la velocidad que el viento tiene en su localidad, disminuye los costos de explotación del recurso.

## ESCALA DE BEAUFORT

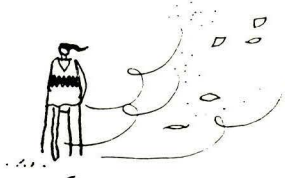
**0. Calma**  
El humo sube perpendicularmente  
0-0.5  
m/seg.



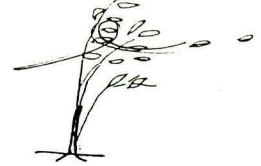
**1. Aire Ligero**  
El humo sube con ligera inclinación  
0.6-1.7  
m/seg.



**4. Brisa moderada**  
Levanta polvo y papeles; mueve ramas pequeñas  
5.3-7.4  
m/seg.



**5. Brisa dura**  
Los arbustos empiezan a moverse  
7.5-9.8  
m/seg.



**8. Ventarrón duro**  
Desprende ramas de los árboles  
15.3-18.2  
m/seg.



**9. Ventarrón fuerte**  
Daña chimeneas y techos  
18.3-21.5  
m/seg.







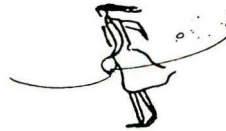
**2. Brisa Ligera**  
Las hojas susurran;  
las veletas se  
mueven  
1.8-3.3  
m/seg.



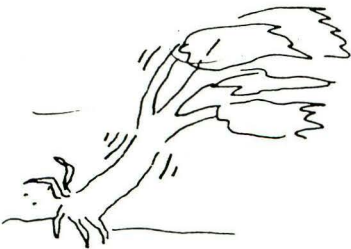
**3. Brisa moderada**  
Las hojas y  
las ramas en  
constante vaivén  
3.4-5.2  
m/seg.



**6. Brisa dura**  
Las ramas  
grandes se  
mueven  
9.9-12.4  
m/seg.



**7. Ventarrón  
moderado**  
Se dificulta  
caminar  
12.5-15.2  
m/seg.



**10. Vendaval**  
Arranca  
árboles  
21.6-25.1  
m/seg.



**11. Tormenta**  
Produce  
grandes daños  
25.2-28.9  
m/seg.

**12. Huracán**  
El más destructor  
de todos los  
vientos  
29 m/seg.

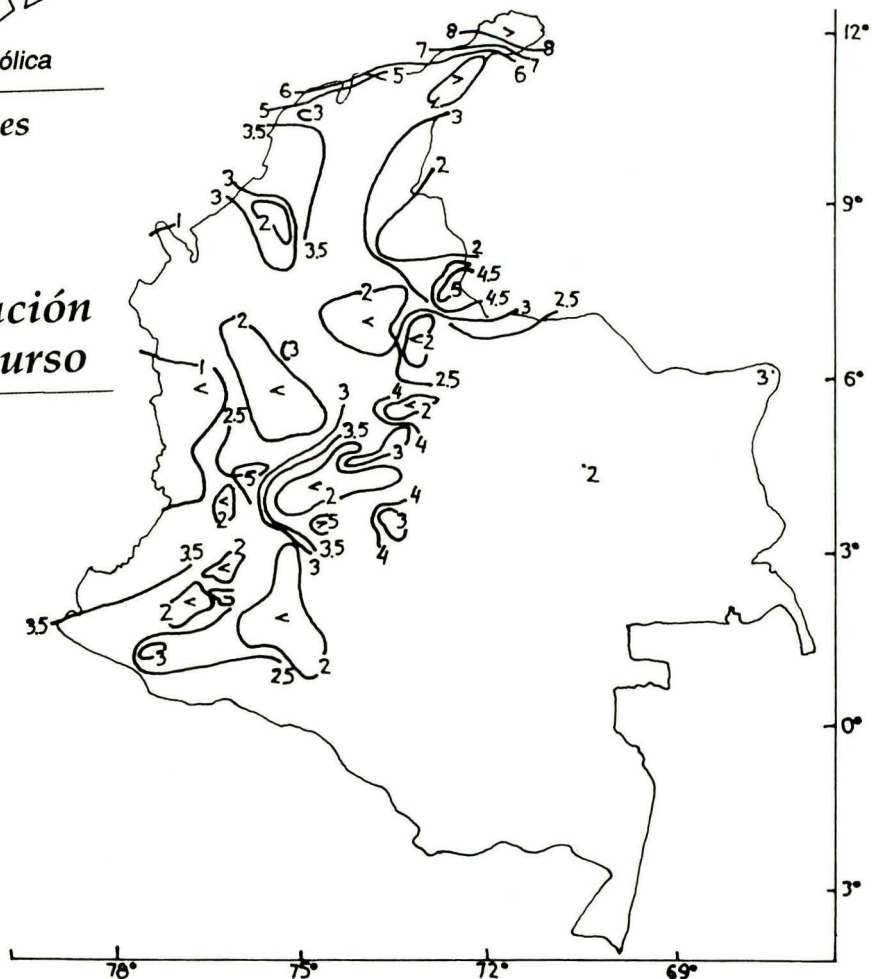




Energía Eólica

Fuentes

Evaluación  
del recurso

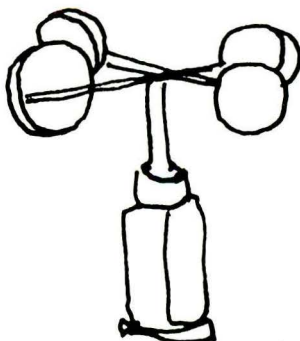


Velocidad media anual del viento  
en el territorio colombiano (m/seg)

Tomado de A. Pinilla

### ANEMOMETRO

Para hacer mediciones exactas de la velocidad del viento se usa el anemómetro. Consiste en varias copas de metal montadas en un eje. Cuando el viento sopla estas copas giran, mientras un medidor registra la velocidad. Con lo que se puede establecer un promedio anual.



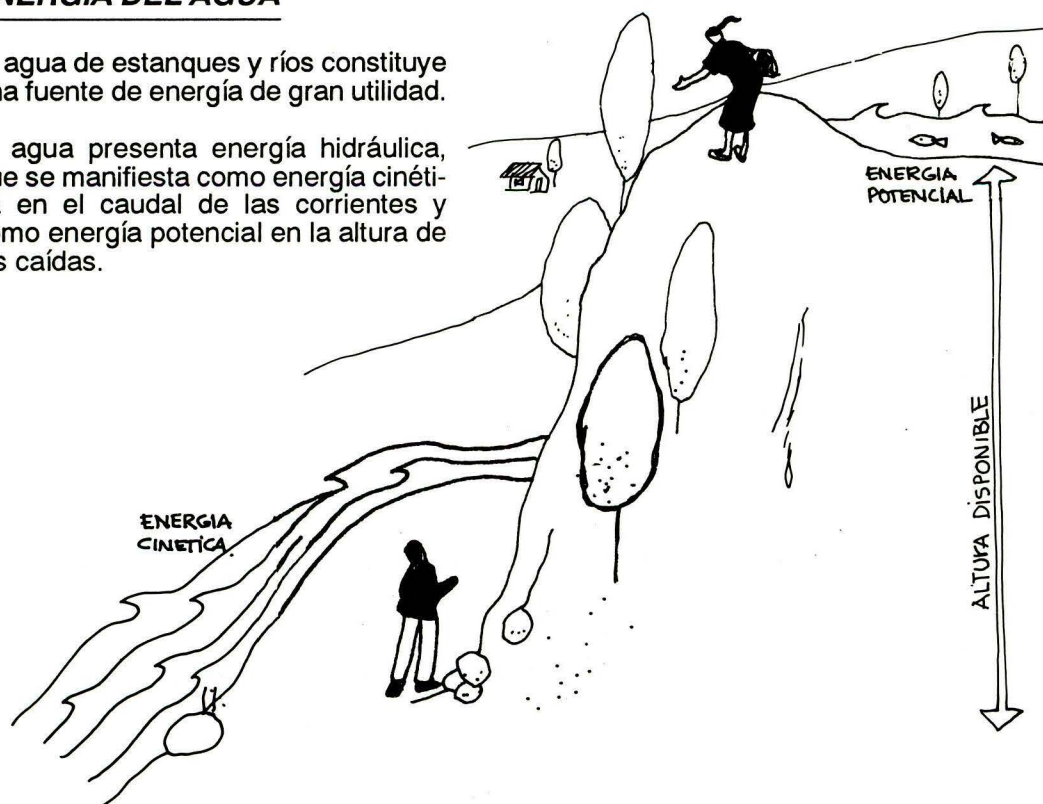


*Nacimiento del Río Magdalena  
San Agustín (Huila)*

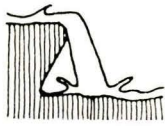
## **ENERGIA DEL AGUA**

El agua de estanques y ríos constituye una fuente de energía de gran utilidad.

El agua presenta energía hidráulica, que se manifiesta como energía cinética en el caudal de las corrientes y como energía potencial en la altura de las caídas.



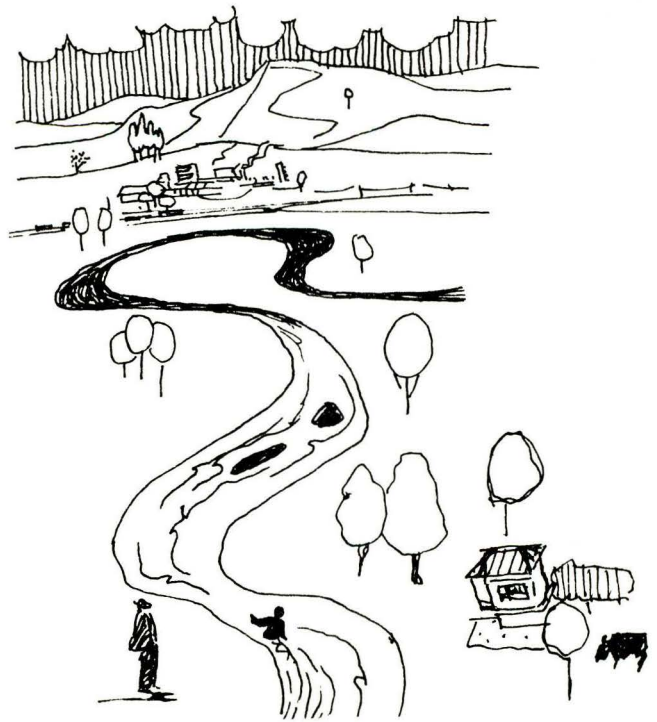




Energía hidráulica

Fuentes

Generalidades



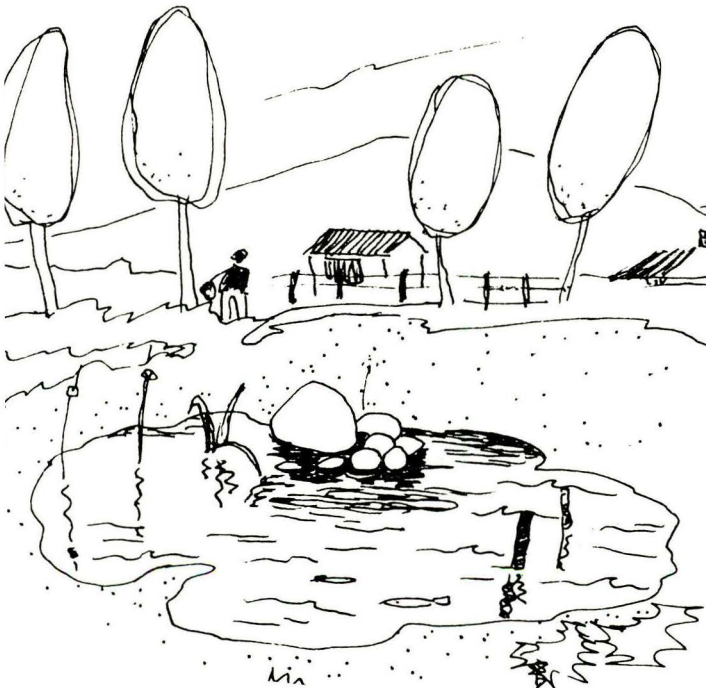
AGUAS CORRIENTES

Permanentes

Desde pequeños arroyos hasta grandes ríos que, mantengan su caudal todo el año.

Temporales

Causadas por fuertes lluvias, se producen corrientes que, llevan agua sólo unos meses.





Energía hidráulica

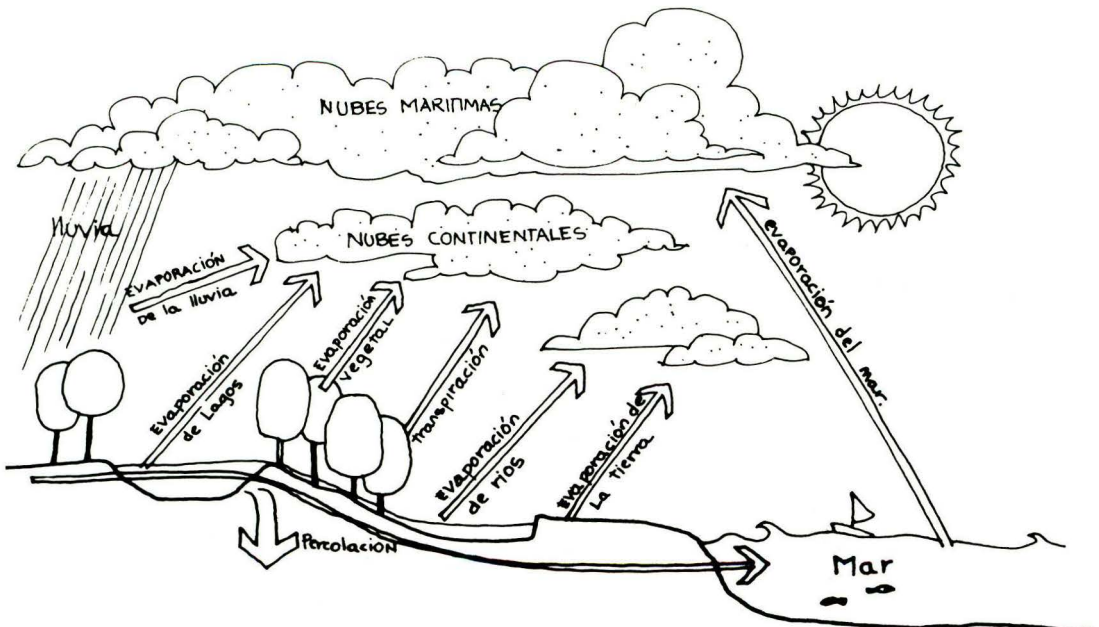
## Fuentes

# Generalidades

### CICLO DEL AGUA.

El sol provee la energía para la evaporación y la condensación de las nubes. Los vientos arrastran las nubes hasta las regiones montañosas donde se produce la precipitación.

El agua lluvia se mezcla con la de los manantiales, conformando las quebradas y ríos que por gravedad retornan el agua al mar.



## Energía y Velocidad media anual del viento en el territorio colombiano

Departamento	Nombre Municipio	Energía (Kilovatio-h/m <sup>2</sup> año)	Velocidad del viento en m/seg.	Dirección predominante
Cundinamarca	Chocontá	72.862	1.83	Oriente
	Guatavita	135.902	2.41	Oriente
	Tabio	34.921	1.42	Norte
	Subachoque	115.067	2.13	Oriente
	Suba	119.820	1.88	Occidente
	Madrid	632.927	4.01	Sur-Occidente
	Fontibón	160.113	1.88	Nor-Oriente
	Sibaté	100.029	1.81	Occidente
Neusa	34.323	1.66		
Tolima	Ibague	755.579	3.67	Sur
	Flandes	333.438	2.93	Sur
	Espinal	161.851	2.57	Norte
	Mariquita	622.569	2.81	Sur
Risaralda	Pereira	74.879	1.81	Sur
Antioquia	Rionegro	52.607	0.91	Oriente
	Remedios	105.413	1.88	Norte
	Turbo	465.550	3.17	Norte
Bolívar	Cartagena	914.628	3.75	Norte
Atlántico	Repelón	166.509	2.59	Sur-Oriente
Sucre	San Marcos	124.667	1.69	Sur
Cordoba	Lorica	211.509	2.54	Nor-Occidente
	Cereté	291.318	1.46	Occidente
Norte de Santander	Cúcuta	1048.647	4.10	Sur-Occidente
	Tibú	130.804	1.76	Sur
	Abrego	215.411	2.53	
Santander	Pinchote	76.587	2.00	Oriente
Boyacá	Gulcán	94.918	2.45	Nor-Occidente
Valle	Call	83.343	1.17	Occidente
	Palmira	51.298	1.65	Norte
	Buenaventura	53.449	0.79	Occidente
Cauca	Popayán	17.811	0.46	Nor-Occidente
	Guapi	155.867	1.39	Norte
Nariño	Pasto	317.253	3.54	Sur-Occidente
	Tumaco	32.518	1.16	Norte
Huila	Neiva	536.036	2.73	Sur
	Colombia	677.713	4.47	Oriente
	Villavieja	255.069	2.90	
Putumayo	Puerto Lequizamo	46.441	1.62	Occidente
Vichada	San Jose de Ocune	258.383	2.12	Norte
Meta	Villavicencio	260.654	2.35	Occidente
	Puerto López	68.900	1.95	Oriente
Amazonas	Leticia	14.885	0.54	Sur Occidente
Guajira	Riohacha	707.330	4.65	Oriente
	Maicao (Interior)	181.140	2.65	Oriente
	Maicao	442.410	4.23	Oriente
	Uribia	447.820	4.76	Oriente
	Cabo de la Vela	1735.640	7.28	Oriente

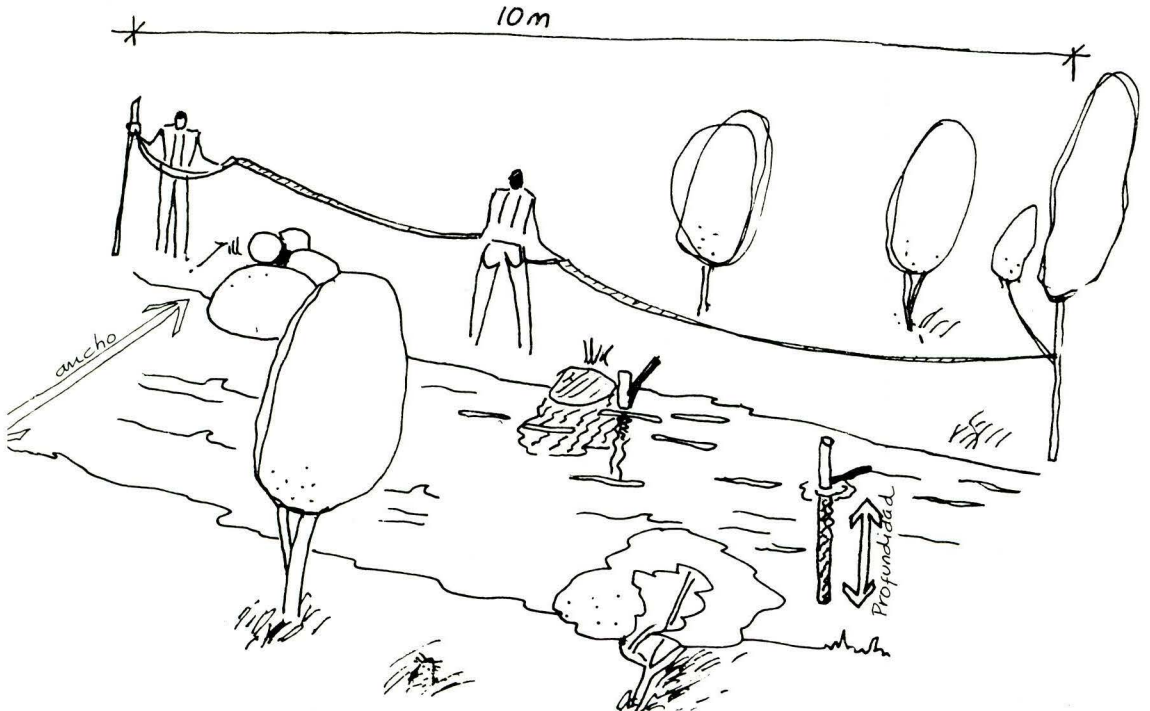
Energía eólica  
estimada por usted



Kilovatios - hora / año  
m<sup>2</sup>

## METODO DE FLOTACION

Este sistema se emplea para evaluar corrientes de mayor caudal.



### Proceso:

- Seleccione en el río un tramo recto de seis (6) a diez (10) metros de longitud, en el cual la profundidad sea más o menos la misma.
- Mida el ancho y la profundidad del tramo seleccionado en metros.
- Multiplique el ancho por la profundidad para hallar el área seleccionada en metros cuadrados.

Ejemplo:  
 $1.5 \times 0.30 = 0.45 \text{ m}^2$  de área  
seccional

- Calcule el tiempo que tarda un objeto flotante en recorrer la distancia seleccionada (hágalo varias veces para obtener un buen promedio). El objeto puede ser un trozo de icopor o de madera.

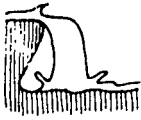
Ejemplo: El trozo de icopor para recorrer 10 metros gasta 20 segundos

$$20 \text{ seg} = 10 \text{ m/seg}$$

- Multiplique el área seccional por la velocidad.

$$0.45 \text{ m}^2 \times 10 \text{ m/seg} = 4.5 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$\text{Caudal (Q)} = 4.5 \text{ m}^3/\text{seg.}$$



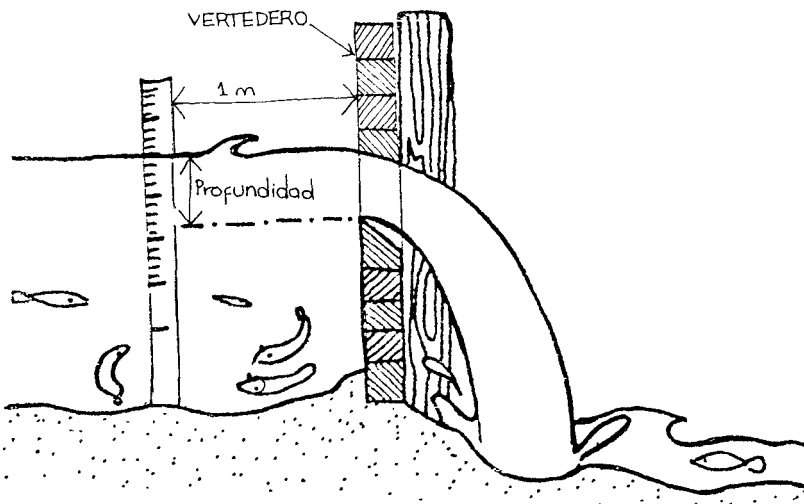
Energía hidráulica

Fuentes

## Evaluación del recurso

### CONSTRUCCION DE UN VERTEDERO

- Construya un **dique** provisional en madera con un vertedero rectangular, afile los bordes (laterales e inferior) hacia el interior como se indica en la figura.
  - El vertedero debe tener un ancho de 0.30, 0.60, 0.90 ó 1.20 m.
  - Un metro aguas arriba del dique mida la altura que existe entre el punto inferior del vertedero y el nivel superior del agua ( $h$ ).
- Finalmente consulte la tabla de caudales que se encuentra a continuación.





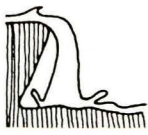


---

## **AGUAS EN RESERVORIOS**

---

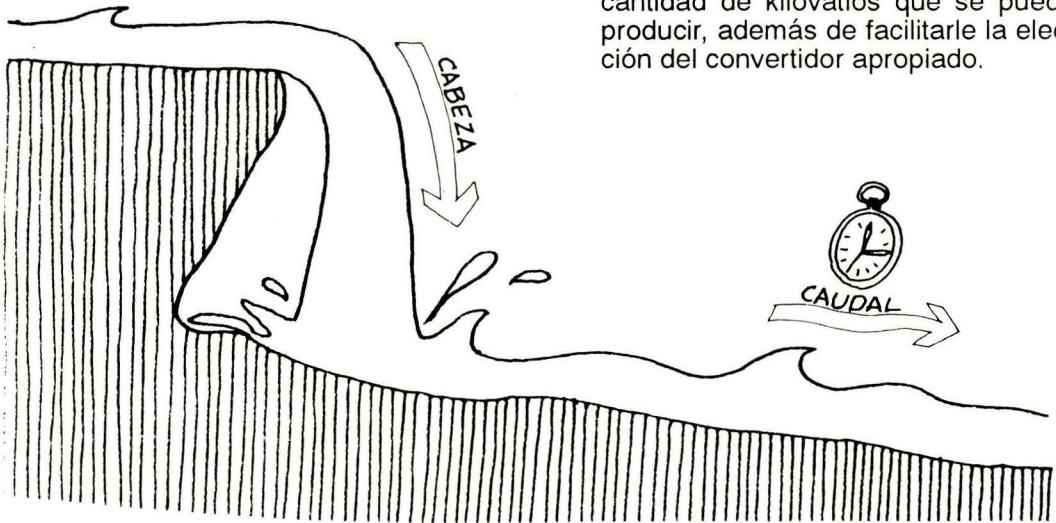
Son las lagunas y lagos que resultan de la convergencia de varias corrientes en un mismo lugar, cuyo desague va a otros ríos.



## Evaluación del recurso

La medición del recurso hidráulico debe realizarse en la época en que la corriente es menor, así se garantiza que el convertidor funcione todo el año.

Esta medición, le permitirá conocer la cantidad de kilovatios que se puede producir, además de facilitarle la elección del convertidor apropiado.



### CABEZA

La cabeza hidráulica es la altura disponible entre el nivel de la superficie del fluido y el lugar inferior de la caída.

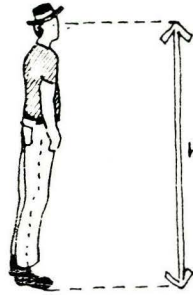
### CAUDAL

El caudal (Q) es la cantidad de agua que el río transporta en un tiempo determinado.

---

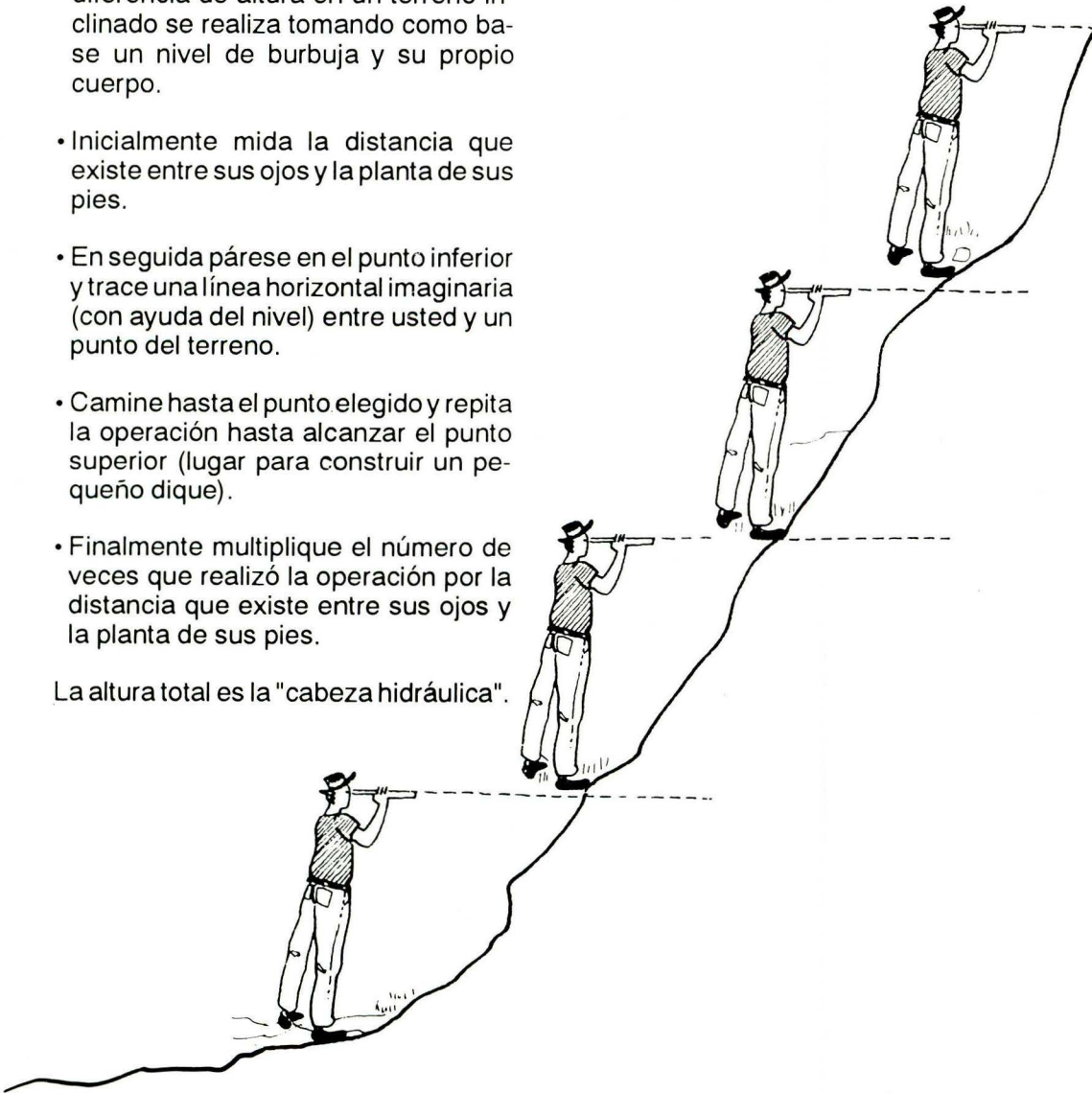
## **MEDICION DE LA CABEZA HIDRAULICA.**

---



- La manera mas sencilla de medir la diferencia de altura en un terreno inclinado se realiza tomando como base un nivel de burbuja y su propio cuerpo.
- Inicialmente mida la distancia que existe entre sus ojos y la planta de sus pies.
- En seguida párese en el punto inferior y trace una línea horizontal imaginaria (con ayuda del nivel) entre usted y un punto del terreno.
- Camine hasta el punto elegido y repita la operación hasta alcanzar el punto superior (lugar para construir un pequeño dique).
- Finalmente multiplique el número de veces que realizó la operación por la distancia que existe entre sus ojos y la planta de sus pies.

La altura total es la "cabeza hidráulica".

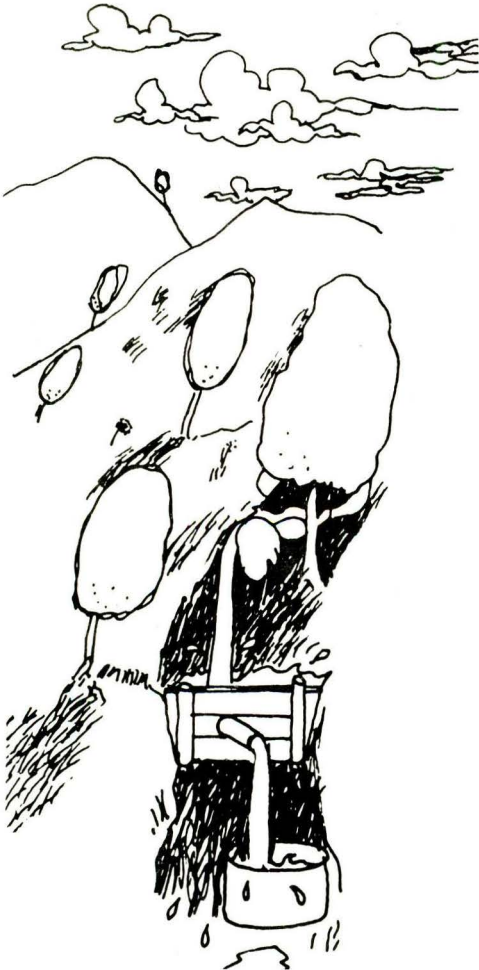




Energía hidráulica

Fuentes

## Evaluación del recurso



### **MEDICIÓN DEL CAUDAL (Q)**

Para medir el caudal existen tres métodos:

#### **Método de DIQUE:**

Se emplea para caudales mínimos que permiten construir un dique provisional, con una salida de agua de cuatro a seis pulgadas de diámetro.

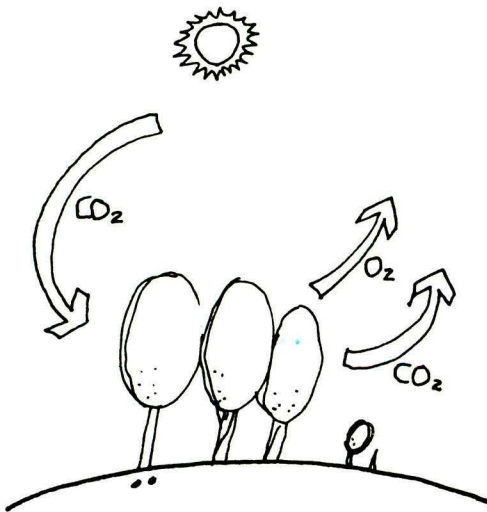
- Frente a la salida de agua coloque un recipiente, cuya capacidad conozca (ejemplo:  $0.04 \text{ m}^3$ ) y con ayuda de un cronómetro establezca cuantos segundos tarda en llenarse (ejemplo: 5 segundos).
- Divida el número de litros en el tiempo que tardó en llenarse el recipiente y obtendrá el caudal.

Ejemplo:

$$0.04 \text{ m}^3 / 5 \text{ seg} = 0.008$$

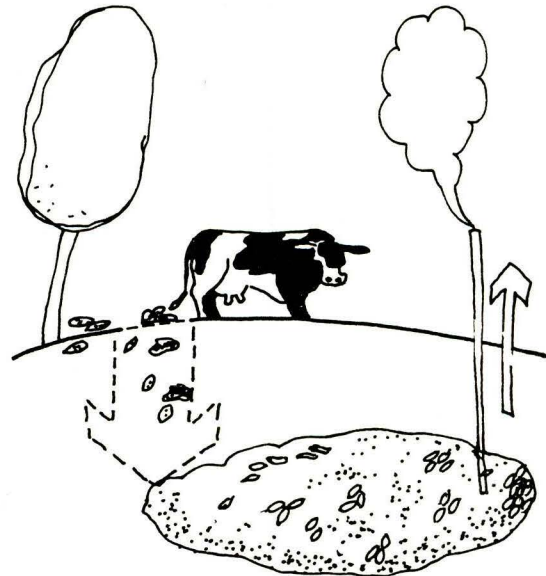
Caudal (Q) =  $0.008 \text{ m}^3/\text{seg}$ .





Los procesos de la vida en la tierra, dependen de la capacidad de las plantas para transformar la energía proveniente del sol.

A través del proceso de fotosíntesis, las plantas absorben el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y liberan oxígeno ( $\text{O}_2$ ) que va a la atmósfera. Al mismo tiempo, por medio de su respiración liberan ( $\text{CO}_2$ ) y energía que les permite la síntesis del nuevo material vegetal.



Los seres vivos (animales y vegetales) están compuestos por materia orgánica que al morir puede descomponerse aerobia y anaerobicamente. De la descomposición anaerobia se producen gases (metano y carbono) que pueden utilizarse como combustible.

**Aerobia:** Proceso de descomposición de materia orgánica que produce bióxido de carbono y agua.

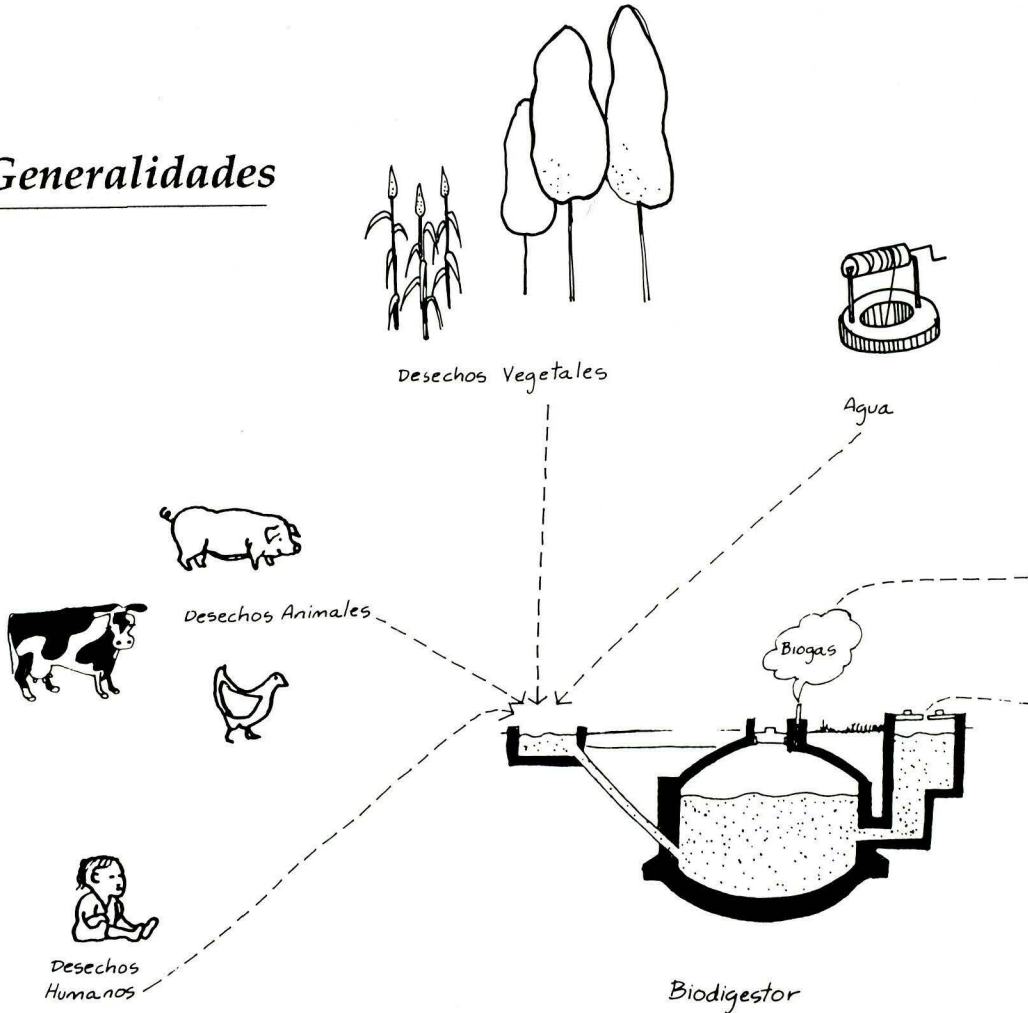
**Anaerobia:** Proceso de descomposición de materia orgánica en ausencia del aire que produce gases como el metano y bióxido de carbono.



Biomasa

## Fuentes

## Generalidades

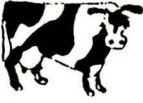


La Biomasa es la materia viva de la tierra (materia orgánica).

La producción de gases combustibles, a partir de la descomposición de desechos animales y vegetales, se realiza en ausencia del aire ( degradación anaerobia ) y puede ser utilizada como fuente de energía.

El Biogas es una mezcla de gases combustible y carburante de buena calidad y fácil obtención , su producción se lleva a cabo en un BIODIGESTOR.

Esta opción energética reviste un gran interés, sí se tiene en cuenta que es un recurso renovable y reciclable.



Biomasa

---

Fuentes

## Generalidades



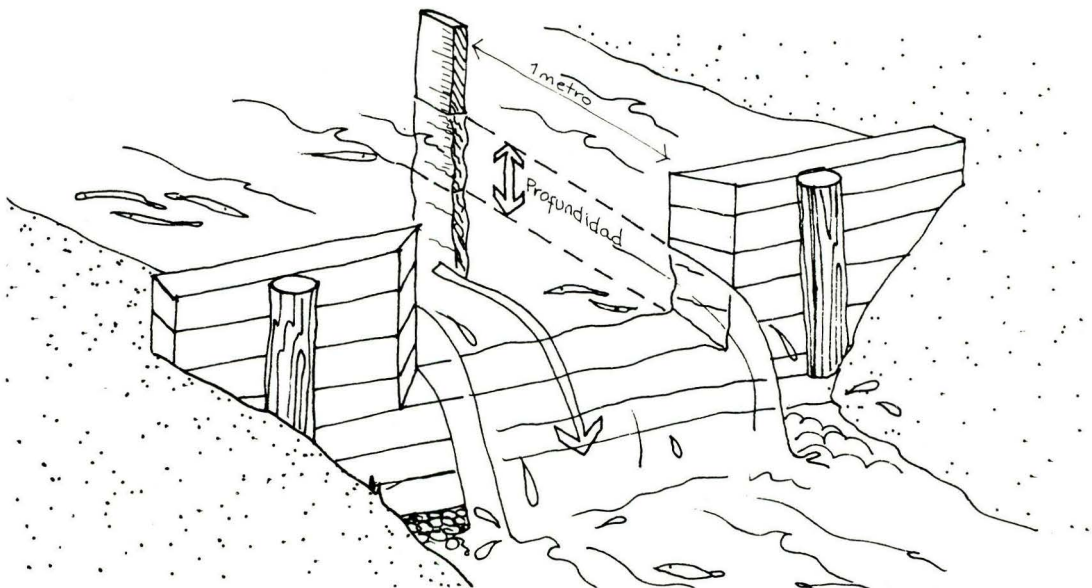
---

## CICLO DE LA VIDA

El sol provee la energía que hace posible la vida sobre la tierra.

Todos los organismos vivos a través de diferentes transformaciones energéticas, dependen finalmente de, la radiación solar, además de otros elementos como el aire y el agua para su existencia.





**Tabla - Caudales en Litros por Segundo**

Profundidad (Centímetros)	Ancho del Vertedero			
	0.30m	0.60m	0.90m	1.20 m.
2	1.5	3.0	4.5	6.0
3	2.8	5.6	8.4	11.2
4	4.4	8.8	13.2	17.6
5	6.1	12.0	18.3	24.4
6	8.0	16.0	24.0	32.0
7	10.1	20.2	30.3	40.4
8	12.4	24.8	37.2	49.6
9	14.8	29.6	44.4	59.2
10	17.3	34.6	51.9	69.2
11	20.0	40.0	60.0	80.0
12	22.7	45.4	68.1	90.8
13	25.6	51.2	76.8	102.4
14	28.7	57.4	86.1	114.8
15	31.8	63.6	95.4	127.2

Para convertir litros a metros cubicos divida por 1.000.

$$\text{Energía} = \gamma \times Q \times H \times \text{tiempo}$$

$$\gamma = 9810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

Q = Caudal estimado por Usted  
en m3/seg.

H = Caida disponible entre el sitio  
de la toma y su casa

Energía Hidráulica  
estimada por Usted



Kilovatios - h/Año



---

## **MATERIALES PARA LA DESCOMPOSICION**

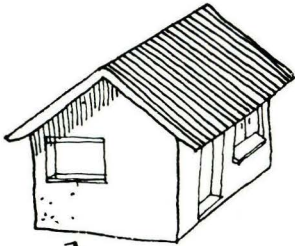
---

En áreas rurales podemos utilizar los siguientes materiales para descomposición (Materia orgánica):

- Desechos animales
- Desechos humanos
- Desechos vegetales

Los desechos animales pueden ser de bovinos, porcinos y aves.

Los desechos vegetales del beneficio del café, del procesamiento del fique, de la cabuya, del almidón a base de yuca, de la producción de caña de azúcar, entre otros.



Abono y  
Alimento para  
peces.

---

## **COMPONENTES DE LA MEZCLA DE ALIMENTACION**

---

Son materias orgánicas, inorgánicas y agua. La degradación anaerobia de la materia orgánica produce Biogas. El material inorgánico no sufre modificación durante el proceso de degradación. El agua incrementa la fluidez del material de degradación.

---

## **EL BIOGAS**

---

El Biogas es semejante al gas natural, está compuesto principalmente por metano ( $CH_4$ ) en un 70% aproximadamente y dióxido de carbono ( $C^2$ ), entre otros.

El metano es un gas incoloro, inodoro, altamente combustible, participa en la composición del Biogas, con un poder calorífico entre 5000 y 7000 Kilocalorías por metro cúbico.

Desde el punto de vista ecológico, la producción de Biogas, representa una fuente de energía muy interesante, por no ser perjudicial para el medio ambiente.

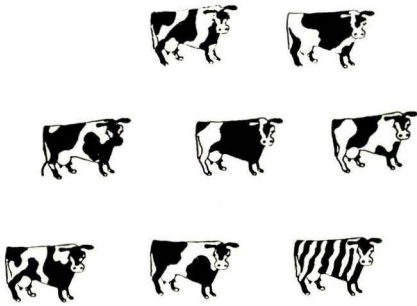
El correcto aprovechamiento de la biomasa, puede permitir una independencia energética en el medio rural.



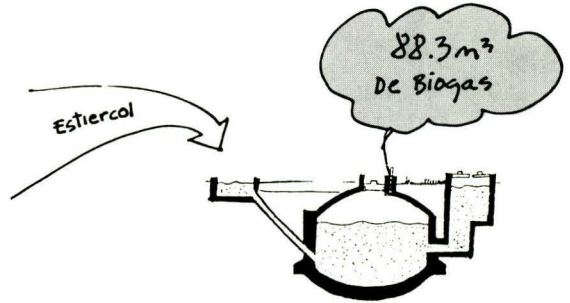
Biomasa

## Fuentes

## Evaluación del recurso



8 VACAS  $\times$  0.3679 m<sup>3</sup> Estiercol  
(producción diaria)



$\times$  30 Dias = 88.3 m<sup>3</sup> de Biogas de

Del número de animales o la cantidad de desechos disponibles, se puede hacer un cálculo aproximado para determinar la cantidad de Biogas en m<sup>3</sup> o kilovatios/h que se produce.

Para materia orgánica vegetal, la producción de Biogas dependerá del tipo de material y de la relación Carbono/Nitrógeno del desecho. (30 partes de Carbono por 1 parte de Nitrógeno).

Dependiendo del material de desecho a utilizar y la cantidad y calidad de dicho material, se puede calcular la producción de Biogas.

En caso de desechos animales, las cabezas necesarias para producir un metro cúbico de Biogas son:

- Bovinos 2 a 3 Cabezas
- Porcinos 5 a 6 Cabezas
- Aves 90 a 100 Cabezas

Fuente	Estiercol producido por día (Kg)	Volumen de biogas/Kg de estiercol (m³)	Volumen de biogas/ animal/día (m³)	Porcentaje de Metano en el biogas %	Biogas combustible/día (m³)	Equivalencia del biogas en Kilovatios-h/ 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

Nota: 1 m³ de biogas equivale a 2.2 Kilovatios-h. La eficiencia de la generación electricidad es de 75%.

Fuente	Peso del desecho (kg)	Volumen de biogas por Kg de desecho (m³)	Porcentaje de Metano en el biogas %	Biogas combustible por Kg (m³)	Equivalencia del biogas en Kilovatios-h/ día
Desechos de cocina	1	0.2116	62	0.1312	0.2886
Desechos de papel	1	0.2178	67	0.1459	0.3209
Desechos del campo	1	0.2999	60	0.1799	0.3950

Datos tomados : Julio Mario Rodríguez d. INGENIERIA E INVESTIGACIONES, Volumen 1 Numero3.

Para evaluar la cantidad de biogas que puede producir llene la siguiente tabla.

Fuente	Numero de cabezas o Kilogramos de desechos / día (1)	Volumen de Biogas (m3) ( multiplique 1 por el dato dado en las tablas)	Energía producida en Kilovatios-h ( multiplique los m3 de biogas por el factor 2.2)
<b>Energía de biomasa total por día</b>			

Para obtener el consumo anual de energía multiplique el promedio de Kilovatios-h/día por 365.

**Energía de biomasa estimada por Usted**

**Kilovatios-h/año**



# *Demanda y Oferta de Energía 2*

*Compare sus necesidades de  
Energía con las posibilidades que  
le brinda el recurso escogido.*





## Energías Alternativas

### *Fuentes*

### *Demanda*

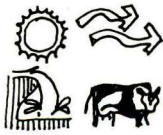
Planee sus requerimientos de energía para el futuro, piense si va a aumentar el número de habitantes de la finca o si va a adquirir nuevos equipos en los siguientes 5 a 10 años. Tenga en cuenta esta proyección para el cálculo de demanda de energía.

Descripción	Vatios
<b>Iluminación</b>	
Bombillo	60
Bombillo	100
<b>Cocción de Alimentos</b>	
Estufa de 2 puestos	2.000
Estufa de 4 puestos	4.000
Horno	3.000-7.000
<b>Calentamiento de Agua</b>	
Calentador	1.200-7.000
<b>Refrigeración</b>	
Nevera	200-300
Congelador	300-800
<b>Otros electrodomésticos</b>	
Brilladora	350
Batidora	125
Radio	350
Grabadora	75-100
Equipo de sonido	100-300
Plancha	1.100-1.500
TV, blanco y negro	200
TV, color	350
Lavadora	300-700
Cafetera	800
Ventilador	124-560
Maquina de coser	30-100
Rejilla de insectos	5-250
Secador de pelo	200-1200
Calentador portatil	1.320

Descripción	Vatios
<b>Equipo</b>	
Bomba de agua (3/5)	450
Bomba de agua (1/2)	35
Bomba de agua (1/3-1)	250-746
Taladro	125-750
Sierra (1/4 -1/3)	185-250
Soldador	60-500
Torno madera (1/4-1)	185-750
Torno metal (1/4-1)	185-750
Cerca Eléctrica	7-10
Cargador de baterias	600-750
<b>Equipo Establo</b>	
Tritador de alimentos	750-5.600
Secador de granos	750-5.600
Transportador de granos	185-3.750
Banda transportadora	750- 2.600
Calentador de espacios	1.000-3.000
Alimetador automático	185-375
Incubadora gallinero	200-1.000
Luces nocturnas	40-60
Ventilación	50-300
Calentamiento de agua	1.000-4000

Con base en los datos de esta tabla o los vatios que sus aparatos y equipos indiquen, llene las siguientes tablas y así podrá evaluar sus necesidades de energía






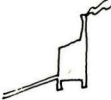







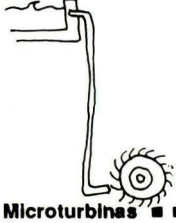

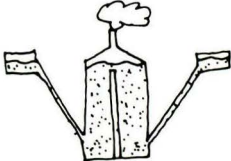


Energías Alternativas

**Demanda - Oferta**

**Oferta**

A partir de las fuentes seleccionadas y teniendo en cuenta sus necesidades (demanda) seleccione los convertidores que se presentan en esta página y estudie en el capítulo siguiente cada uno de ellos.

Fuente	Convertidores	
El sol	Colector de placa plana 	 Destilador
	Secador de granos 	 Panel Fotovoltaico
En los rayos solares se presenta la energía térmica		
El aire	Molino lento	 Molino rápido
		
El aire y el agua son fluidos que, en movimiento presentan energía cinética		
El agua	Ruedas	
		 Microturbinas
Los desechos	Biodigestor	
		
Los desechos animales y vegetales al descomponerse proporcionan biogas		

**Energía Obtenida**

**Aplicaciones**

agua caliente



Baño  
Cocina

Agua potable



Agua para beber

Aire Caliente

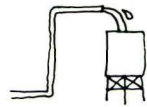


Secado de granos

Electricidad



Energía mecánica



Bombeo de agua

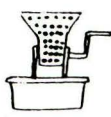
Electricidad



Energía mecánica



Trapiches



Aserrios



Beneficiaderos

Electricidad



Biogas



Estufa de gas



Calentador de gas

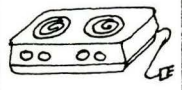


Iluminación de gas



Motor de gas

Electricidad



Estufa



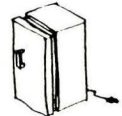
Iluminación



plancha



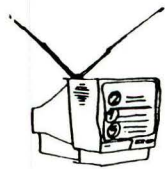
Radio



Nevera

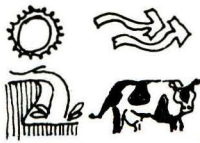


Licadora



Televisión





Energías Alternativas

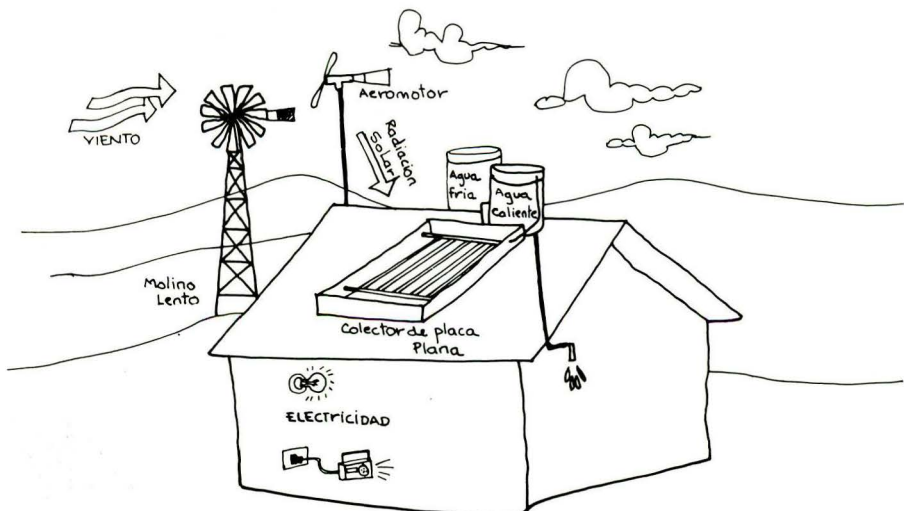
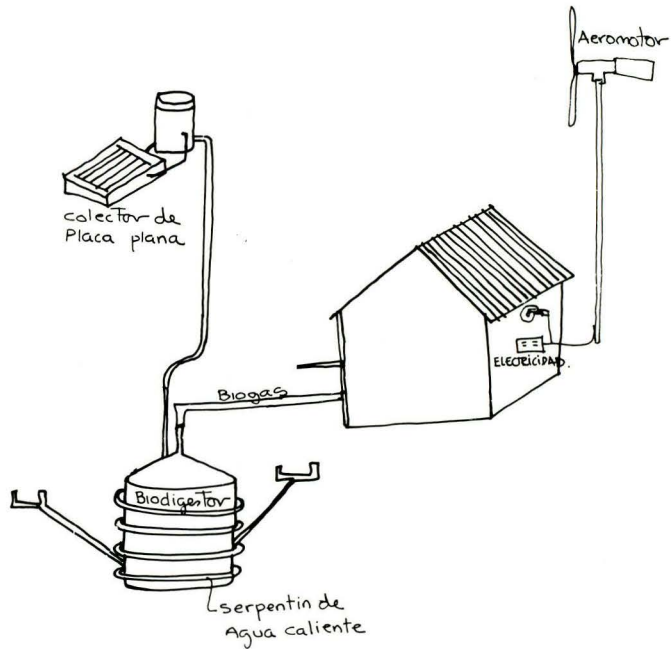
## Demanda - Oferta

### Casa Autosuficiente

Cada lugar requiere una solución a su necesidad de energía, de acuerdo con la demanda del grupo familiar o de la comunidad.

Una sola fuente de energía cubre entre el 40% y el 60% de las necesidades. La diferencia se suple con otras fuentes.

Entre las diversas soluciones presentamos cuatro casas autosuficientes:



Secador de granos ( de gavinete) SENA

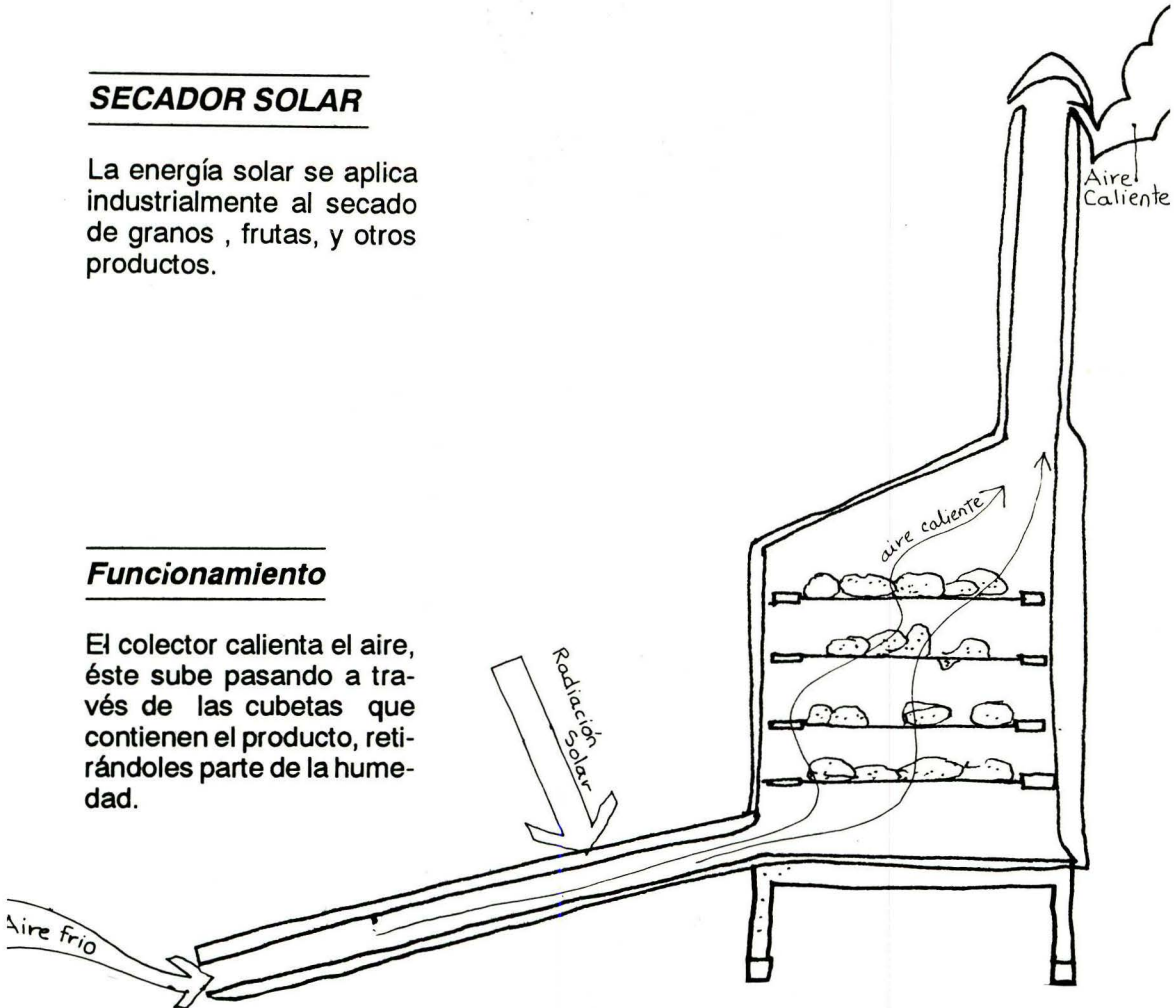


## SECADOR SOLAR

La energía solar se aplica industrialmente al secado de granos , frutas, y otros productos.

### Funcionamiento

El colector calienta el aire, éste sube pasando a través de las cubetas que contienen el producto, retirándoles parte de la humedad.





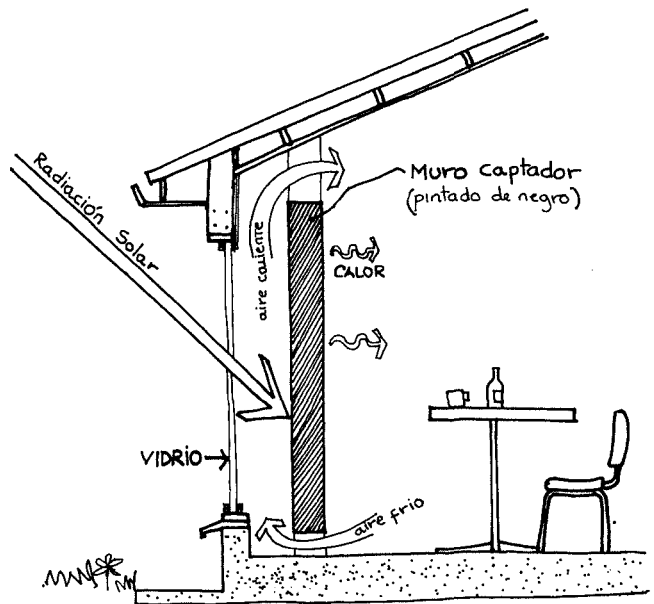
Energía Solar

## Convertidores

### Clases

#### **CALEFACCION DE AMBIENTES**

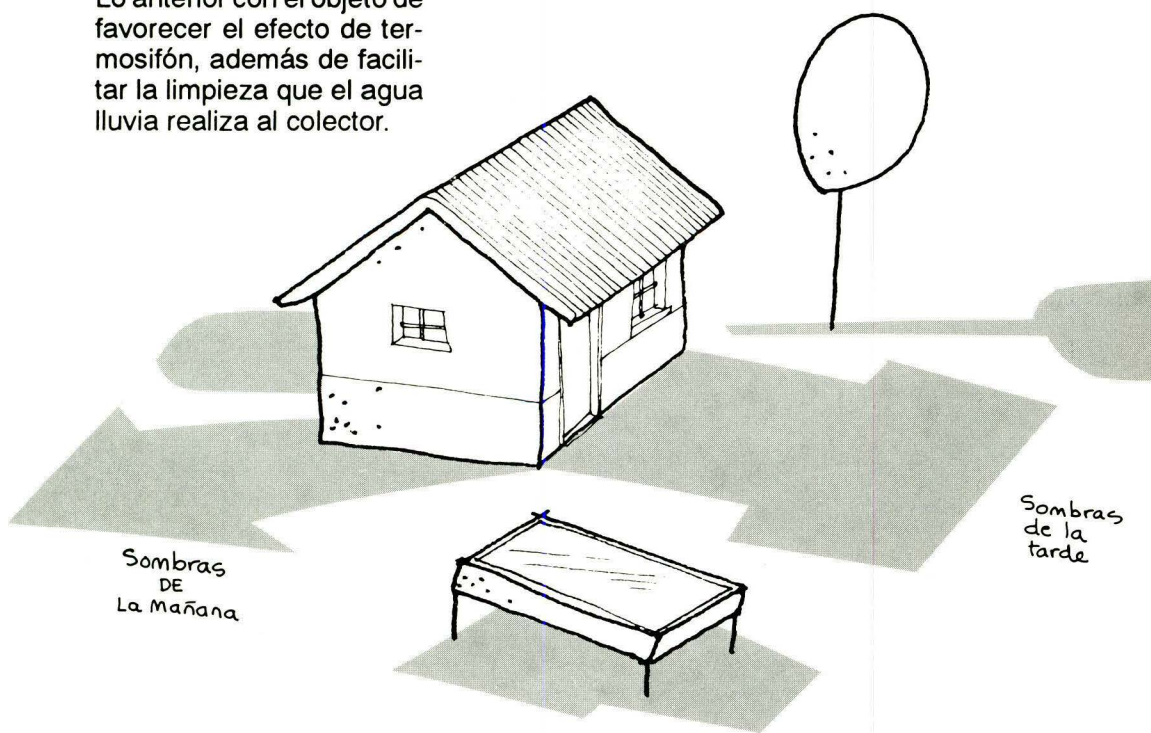
La energía solar se aprovecha en la construcción para calentar espacios interiores a través de dos métodos.



#### **Construcción de Colectores**

Los muros y cubierta se diseñan de forma que actúen como captadores.

Por el movimiento de translación (ver generalidades), la forma de incidencia del sol sobre la tierra varía en el transcurso del año. Sin embargo la perpendicularidad del sol en Colombia permite instalar el colector con la inclinación aproximada de  $10^\circ$ . Lo anterior con el objeto de favorecer el efecto de termosifón, además de facilitar la limpieza que el agua lluvia realiza al colector.



El sitio para instalarlo debe estar libre de sombras, de casas o árboles durante todo el día.



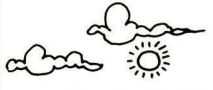





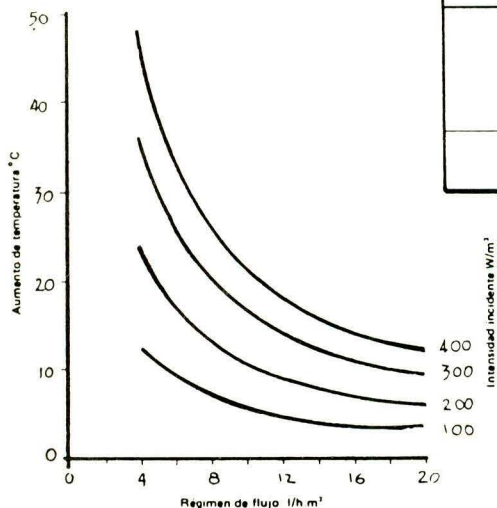
Energía solar

**Convertidores**

**Guía para la selección**

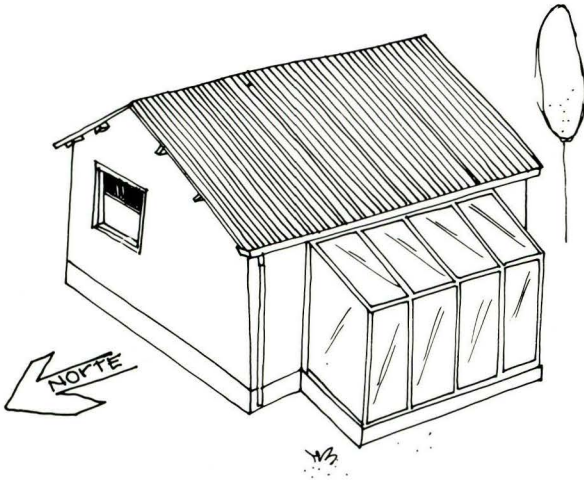
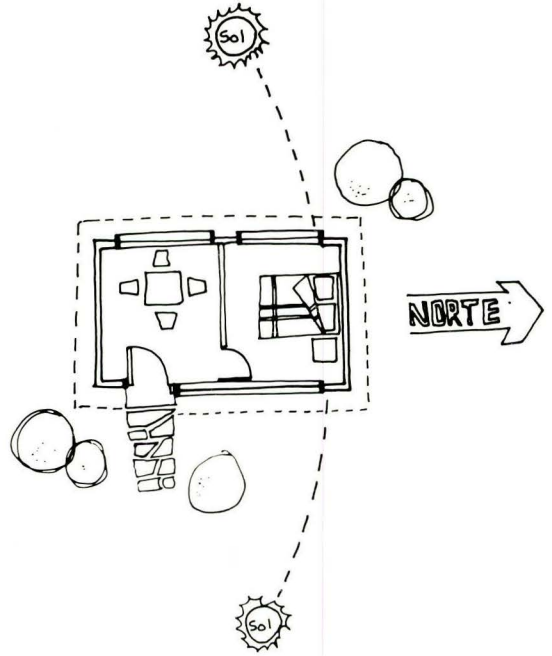
Tipo de Cielo	Radiación Solar
 Constantemente Nublado	Menos de 300 vatios / m <sup>2</sup>
 Nubosidad Media	Entre 300 y 400 vatios / m <sup>2</sup>
 Nubosidad Mínima	Entre 400 y 500 vatios / m <sup>2</sup>
 Cielo Despejado	500 vatios / m <sup>2</sup> en adelante

Convertidor
1m <sup>2</sup>  Destilador de agua
 Secador de granos
2m <sup>2</sup>  Calentador de agua
47 vatios (0.38 m <sup>2</sup> )  Panel fotovoltaico



**Gráfico para seleccionar el tamaño del colector solar de agua.**

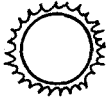
En la zona ecuatorial es conveniente la construcción de ventanas tipo invernadero



### El edificio colector

- En el diseño se tiene especial cuidado en la orientación.
- Se exponen grandes ventanales a la radiación solar, previendo cerramientos apropiados. (cortinas o puertas en madera )

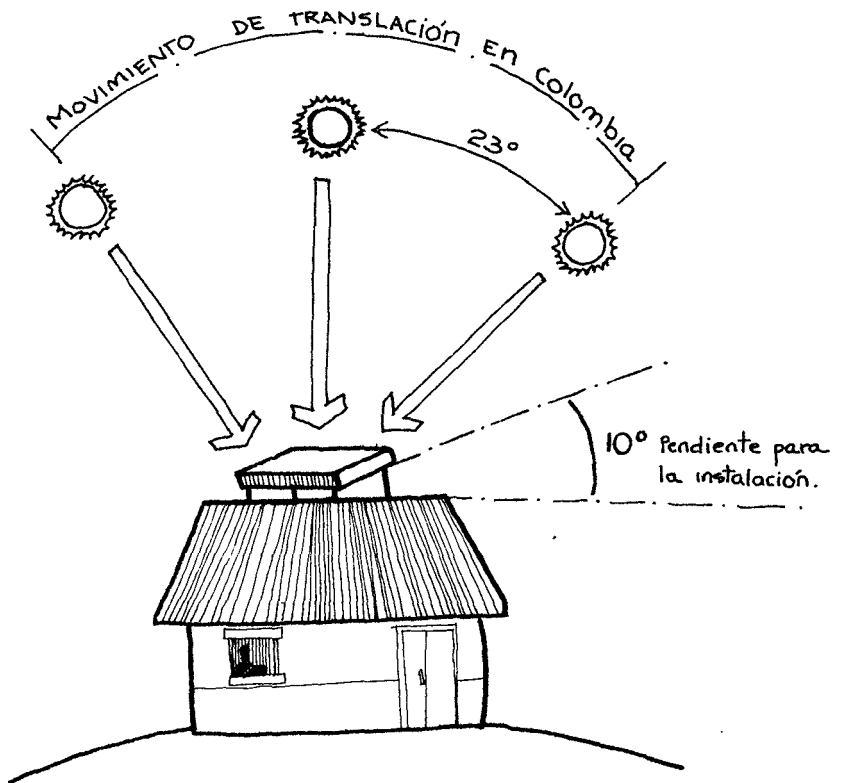
Los muros y cubiertas se construyen con materiales que sean buenos acumuladores de calor, como el ladrillo, la piedra, y la teja de barro.



Energía Solar

## Convertidores

### Recomendaciones para la instalación





---

## ***PANEL FOTOVOLTAICO***

---

Para lograr la potencia requerida se ensambla el número de celdas necesarias conformando así un panel. Comercialmente se encuentran paneles de 20, 30, 40 y 50 ... vatios.

La eficiencia del panel fotovoltaico en silicio monocristalino es del 13% y en silicio policristalino es del 10%.





Energía Solar

Convertidores

## Conversión fototérmica

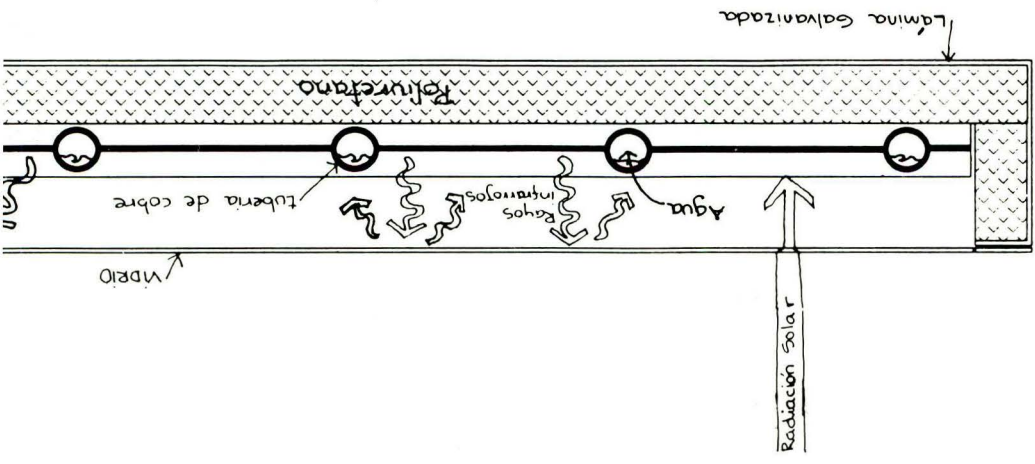
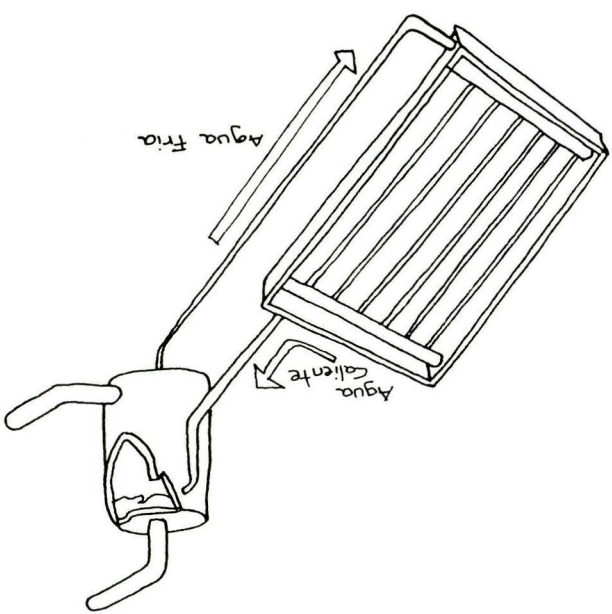
### CALENTADOR SOLAR

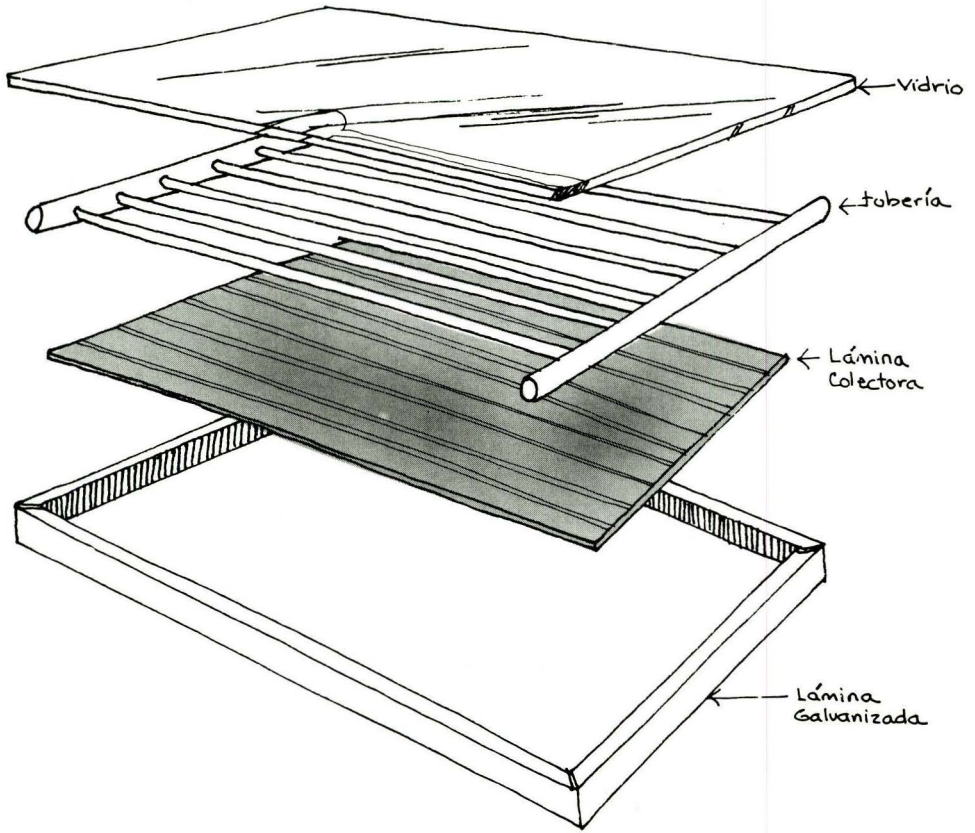
Se emplea en el calentamiento de agua para uso doméstico.

#### Funcionamiento:

El agua fría del tanque arriba, por gravedad, al colector. El colector calienta el agua.

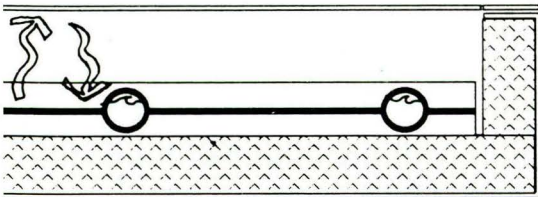
El agua caliente sube y regresa al tanque por el efecto de termosifón. Este ciclo se repite continuamente durante las horas de sol.





### **COLECTOR DE PLACA PLANA**

El vidrio permite la entrada del 90% de los rayos solares, estos calientan la placa colectora (de absorción). La placa emite rayos infrarrojos, que, al no atravesar el vidrio quedan atrapados en el interior calentando el agua.

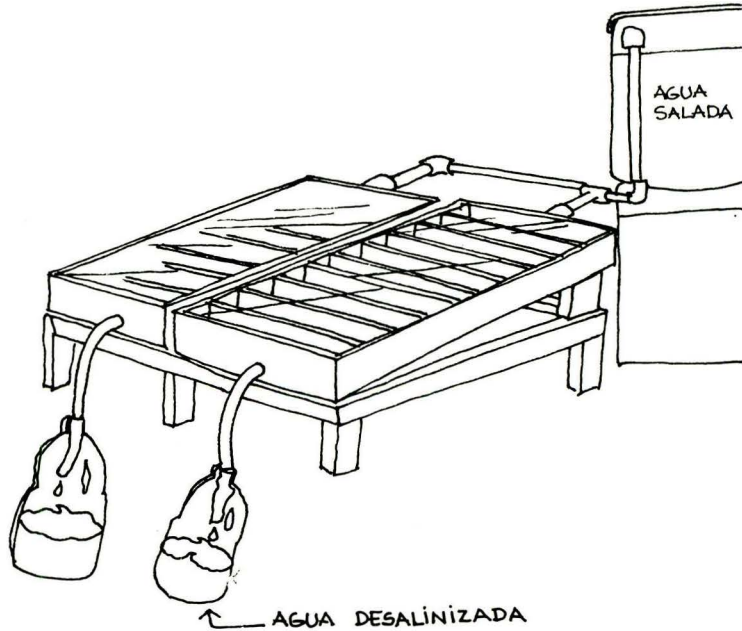




Energía Solar

Convertidores

Conversión  
fototérmica



### DESALINIZADOR SOLAR

Una de las aplicaciones mas sencillas y benéficas de la energía solar, es la potabilización (desalinización y/o purificación) del agua.

### Funcionamiento

El fondo negro de la caja absorbe la radiación solar y calienta el agua, la que se evapora y condensa sobre el vidrio que, permanece más frío, por estar en contacto con el exterior. El agua condensada rueda a un canal y por último a un depósito.

### Descripción

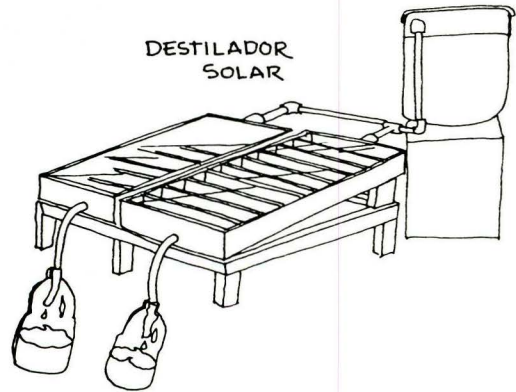
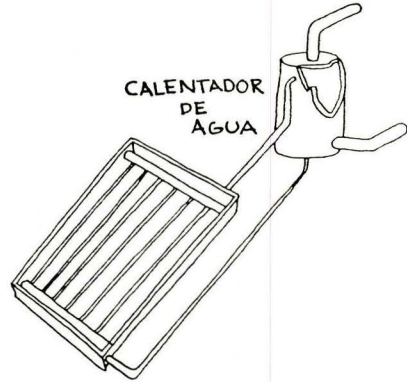
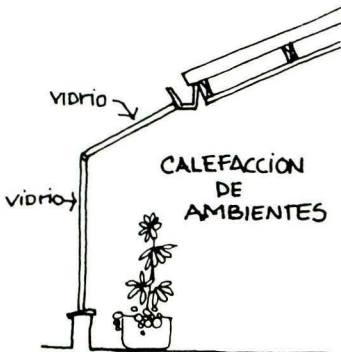
Es una construcción simple, consta de una cubeta de poco fondo, pintada de color negro (para absorber la radiación solar) cubierta con un material transparente (vidrio o plástico), de tal manera que la cubeta quede herméticamente sellada - efecto invernadero.

Para la radiación que hay en la costa Atlántica, se producen de 3 a 5 litros de agua destilada por metro cuadrado al día. En el interior del país de 2 a 3.5 litros.

## CONVERSION FOTOTERMICA

• Produce calor

La radiación solar es absorbida por una superficie y transformada en calor. El calor se transfiere a un fluido - agua, aire, aceite - para su uso posterior.



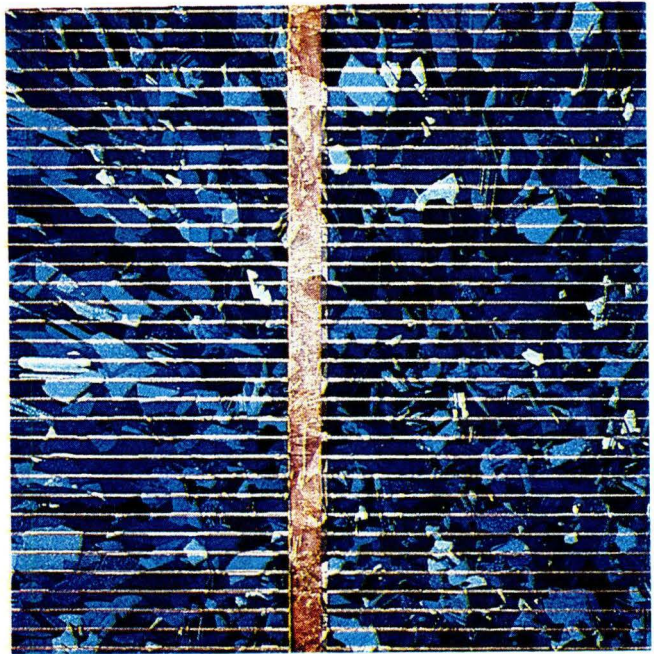




Energía Solar

Convertidores

## Conversión fotovoltaica



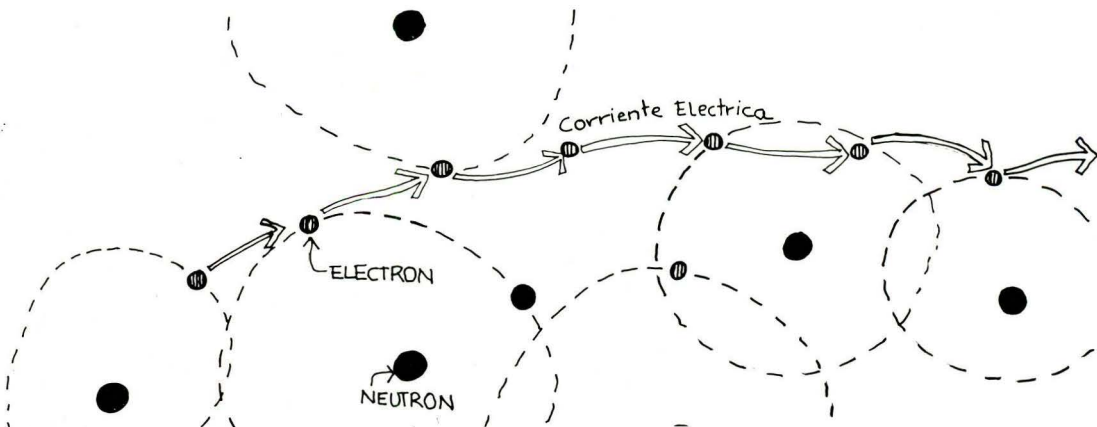
Celda Fotovoltaica.

### FOTOGENERACION

Los electrones pueden abandonar el núcleo, si reciben una cantidad suficiente de energía. El silicio presenta gran movilidad de electrones al ser iluminado por la radiación solar.

### CELDA FOTOVOLTAICA

Construidas en silicio monocristalino, policristalino o amorfo. Actualmente se utiliza el policristalino por su economía. Cada celda tiene una potencia aproximada de un vatio .





Energía Solar

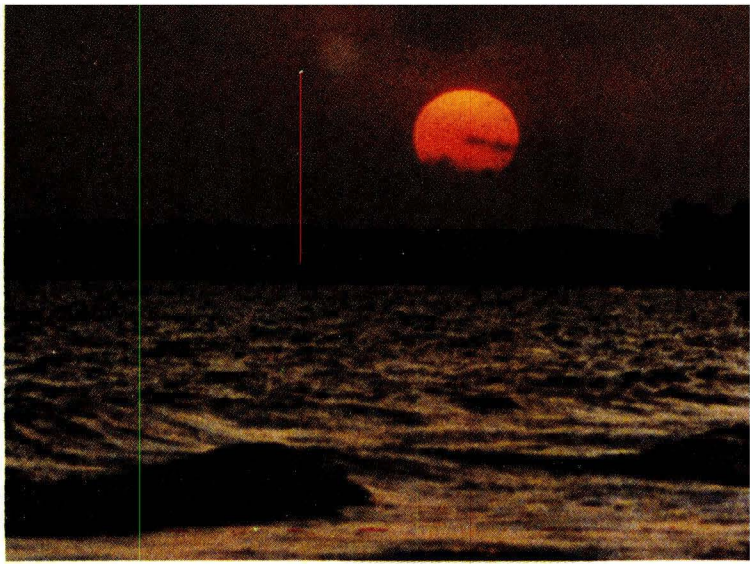
---

## Convertidores

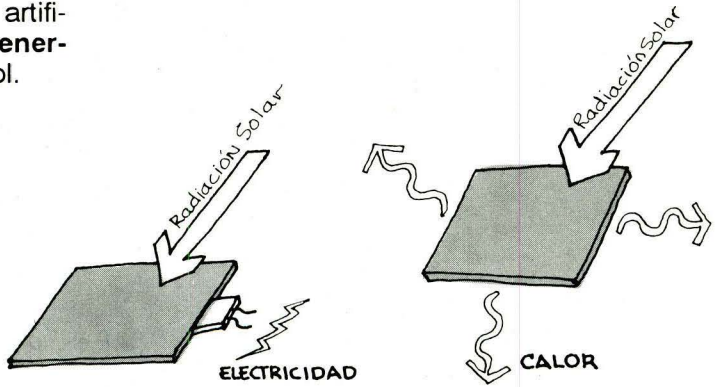
---

## Clases

---



Existen dos formas artificiales para obtener **energía útil** a partir del sol.



---

### CONVERSION FOTOVOLTAICA

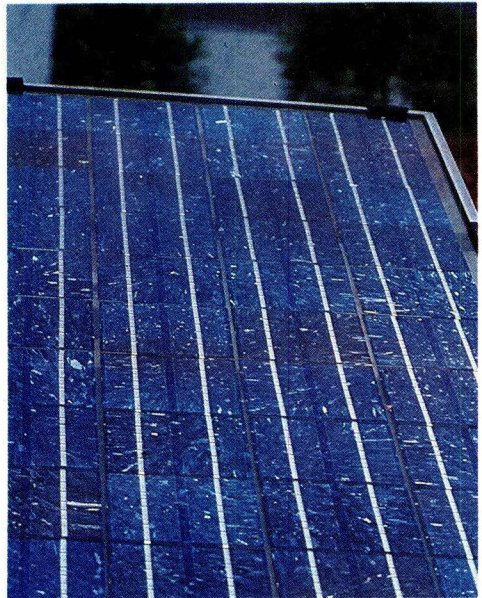
---

• Produce :



**energía eléctrica**

Es el resultado de la interacción de la **radiación solar** con un material apropiado que produce únicamente corriente eléctrica. Entre los materiales más utilizados están el silicio, sulfuro de cadmio, selenio... ).







# *Convertidores* 3

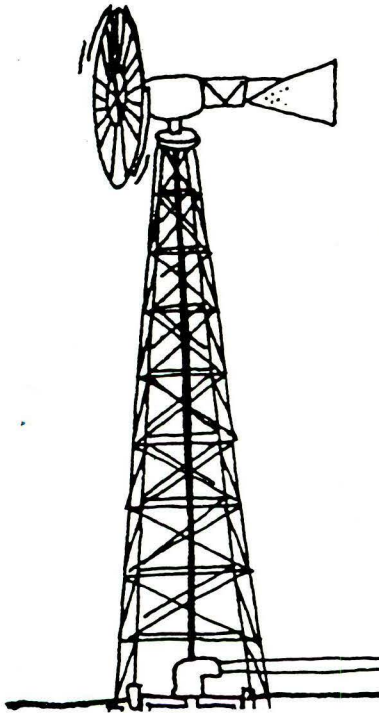
*Elija los convertidores que se ajusten a sus necesidades, de acuerdo con las fuentes de energía escogidas.*

*Calcule la cantidad, tamaño o dimensión del convertidor elegido teniendo en cuenta la fórmula que se encuentra en la página **"guía para la selección"***

*Compare costos y seleccione el convertidor que se ajuste a su presupuesto.*

Promix - 3 SENA. U.N. Bogotá.  
Bombeo de agua y generación de electricidad.

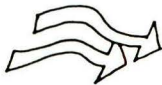
Foto 14



## **MOLINOS DE EJE HORIZONTAL**

Constan de una a diez y ocho aspas que reciben perpendicularmente el viento. Requieren orientación que puede ser dada por veleta o puede ser auto-orientable.

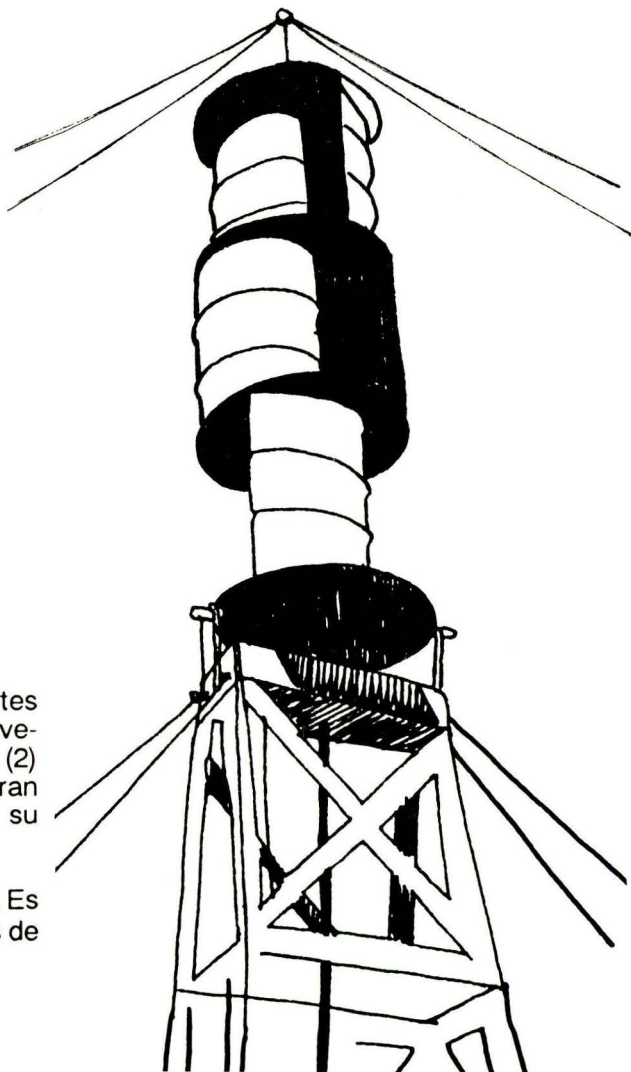
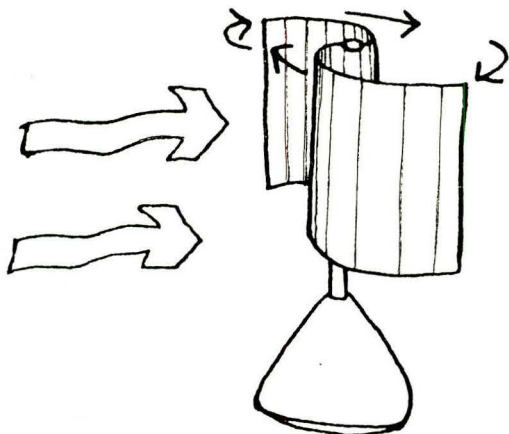




Energía Eólica

Convertidores

## Molinos de eje vertical



### Rotor SAVONIUS

Es un cilindro cortado en dos partes que se desplazan, opera con bajas velocidades del viento hasta de dos (2) metros por segundo, arranca con gran facilidad. Su costo es muy bajo y su construcción es sencilla.

Se emplea para el bombeo de agua. Es de escaso rendimiento y los vientos de alta velocidad pueden destruirlo.



Energía Eólica

---

## Convertidores

---

# Molinos de viento

---

Producen:

Energía Mecánica



Energía Eléctrica.



---

### CLASES

---

Por la posición del eje principal los molinos se clasifican en:

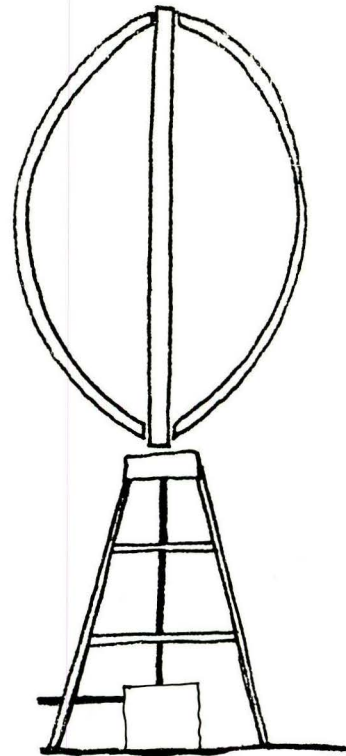
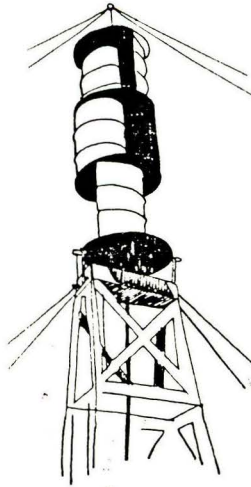
- De eje vertical
- De eje Horizontal

---

### MOLINOS DE EJE VERTICAL

---

Son máquinas sencillas, que no necesitan veleta orientadora debido a que sus aspas (dos o tres), se desplazan en planos paralelos a la dirección del viento.







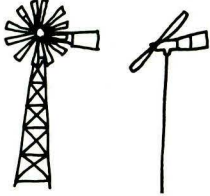

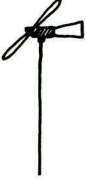

Energía producida	Aplicación	Producción	Eficiencia	Valor en Dolares US\$ 1990
Calórica	Producción de agua destilada	3 litros/día	30%	62
Calórica	Secado de granos o frutas	Según producto	25%	Según tamaño
Calórica	Agua caliente	150 litros/día	50% a 50 C° del agua	613
Eléctrica		450 Kilovatios /día	10%	715



Energía Eólica

*Convertidores*

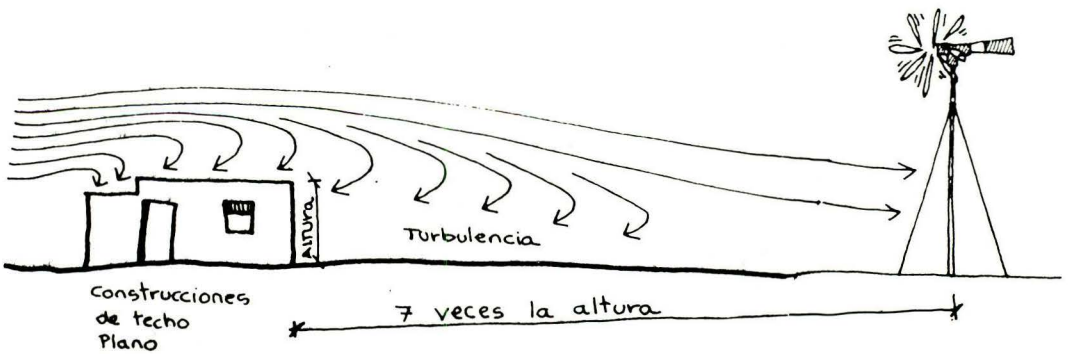
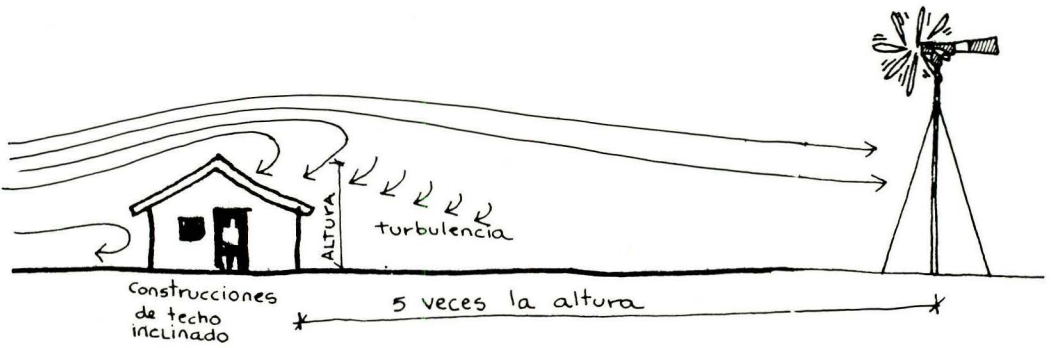
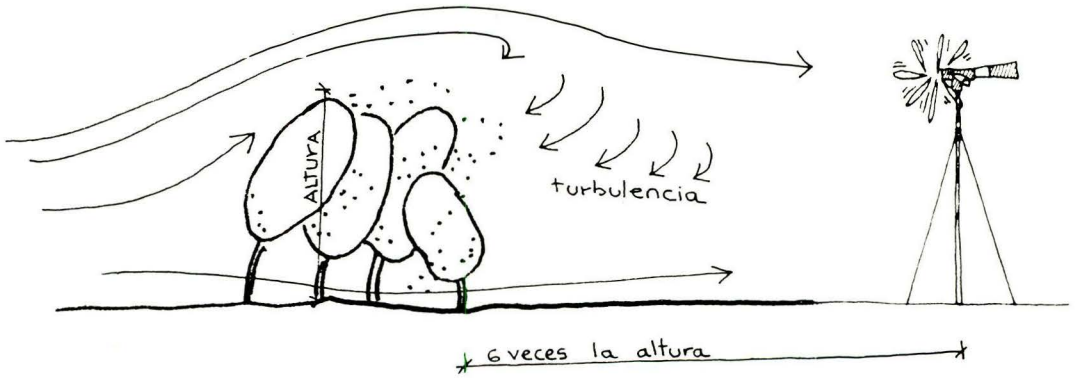
*Guía para la selección*

Velocidad del Viento m/seg.	Tipo de Molino	Porcentaje de eficiencia	Energía Producida	Potencia (W)
0-2		0.15		2-100
2-4		0.20		100-500
4-12		0.30		500-5.000
12-18		0.35		Mas de 5.000

**Mas de 18**

**Peligro**  
Control de velocidad

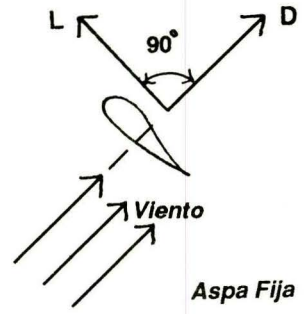




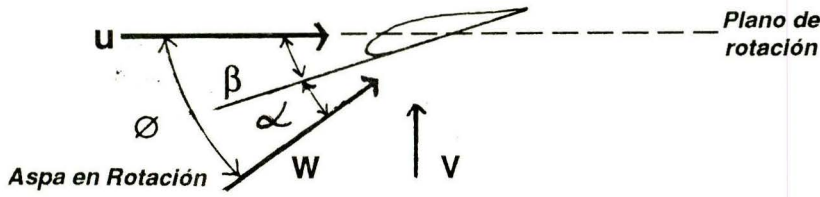
**DISEÑO DEL ROTOR DE EJE HORIZONTAL.**

**Características aerodinámicas del aspa.**

Como se había dicho en el capítulo de molinos de viento, el viento, al pasar alrededor de las aspas, produce en estas una fuerza de sustentación (L) y una de arrastre (D).



**Parametros fundamentales del perfil**



Para simplificar los cálculos se deprecian los factores de interferencia que modifican las velocidades U y V, en donde,

$\alpha$  = Angulo de ataque  
 $\beta$  = Angulo de asentamiento.

Los valores de éstas fuerzas dependen de la forma que tiene el aspa y se encuentran experimentalmente en túneles de viento, por lo que hay que ir a buscarlas en la literatura especializada. El comportamiento del perfil normalmente se grafica de la siguiente forma:

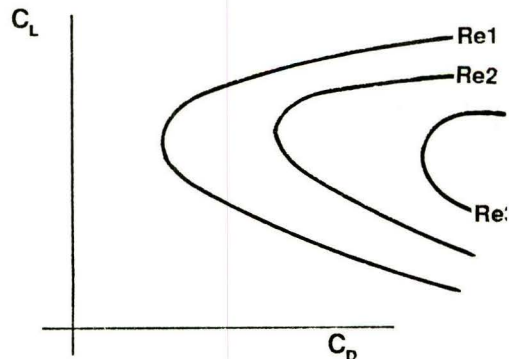
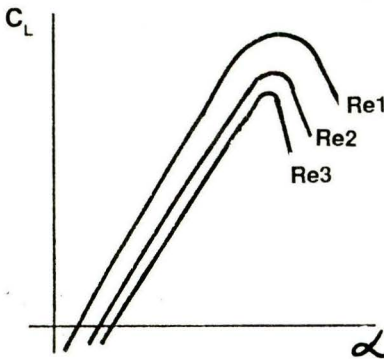
$U$  = Velocidad de rotación

$U = \Omega r$

$\Omega$  = Velocidad angular de rotación (rad/s)

$r$  = Radio del aspa

$w$  = Velocidad relativa ( $=\sqrt{U^2 + V^2}$ )



Para un perfil y un numero de Reynolds dado.

$C_L = \frac{L}{1/2 \rho V^2 A}$  Coeficiente de sustentación

$C_D = \frac{D}{1/2 \rho V^2 A}$  Coeficiente de arrastre

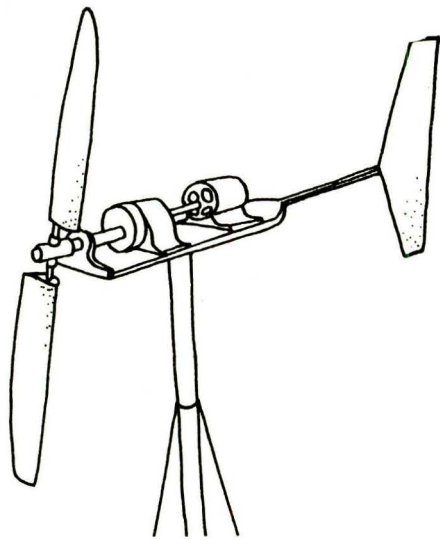
en donde

$\rho$  = Densidad del aire.

$V$  = Velocidad del viento

$A$  = Area del aspa

$\alpha$  = Angulo de ataque del viento.



**Molinos de viento de eje horizontal**

**ESCOGECIA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO DE DISEÑO**

Es deseable diseñar los molinos de viento para la velocidad del viento en que se alcanza la mayor energía en el sitio.

Para calcular esta energía se parte de la ecuación de probabilidad de Rayleigh válida para sitios con velocidades del viento mayores a 4 m/s. (Para diversas velocidades utilizar Weibull).

$$f(v) = \frac{\pi}{2} \times \frac{V}{v^2} \times \exp\left(-\frac{\pi}{4} \times \frac{V^2}{v^2}\right)$$

en donde

**f(v)**= Densidad de probabilidad.

**v**= Velocidad del viento en m/s.

**V**= Velocidad media del viento en m/s.

La posibilidad de que se de en un sitio una determinada energía por unidad de área es:

$$1/2 \rho v^3 f(v) \times T$$

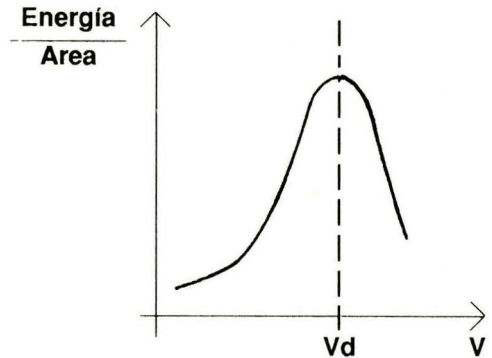
en donde

**ρ**= Densidad del aire en el sitio.

**v** = Velocidad del viento en m/s.

**T** = Tiempo, en horas, para un año son 8760 horas.

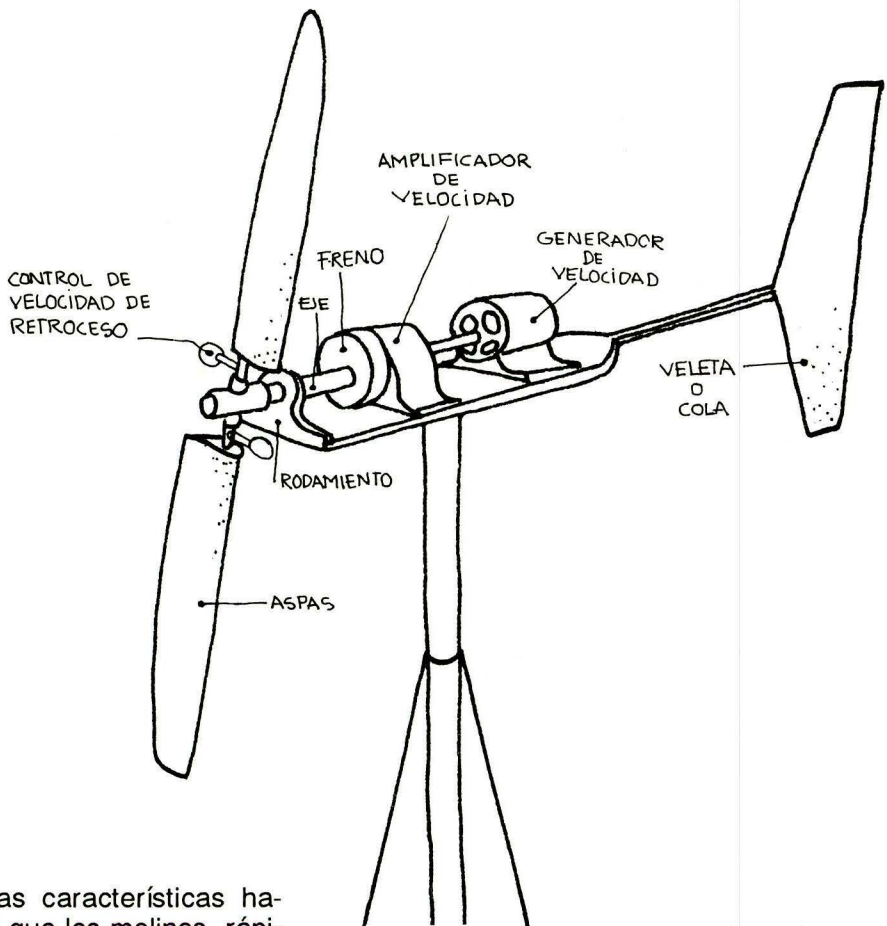
Graficamos energía por unidad de área vs V



A la máxima energía por unidad de área le corresponderá una velocidad de viento que será la velocidad de diseño Vd.

Se puede aproximar

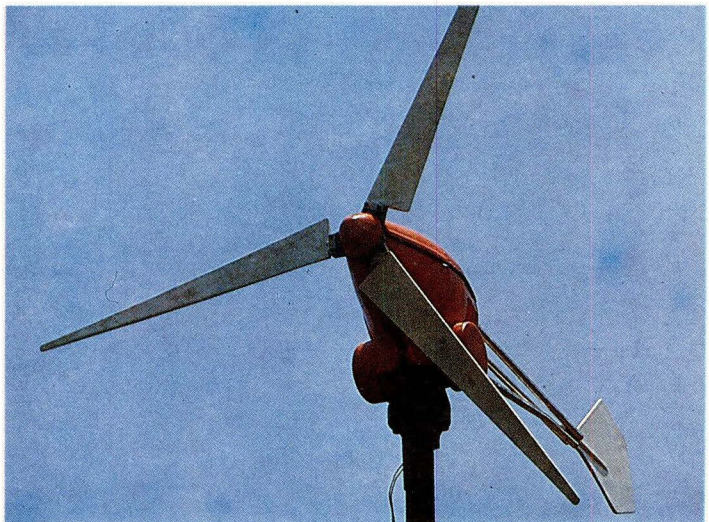
$$Vd = 1.5 \underline{v}$$



Estas características hacen que los molinos rápidos sean más complejos para construirlos pero de mayor eficiencia en la generación de energía eléctrica.

Las altas velocidades que se logran con el molino de viento rápido ( más de 100 revoluciones por minuto ) se aproximan a la velocidad necesaria para producir energía eléctrica por medio de un dinamo o un alternador. Normalmente se necesita un amplificador de velocidad.

Aereomotor  
Facultad de Ingeniería UN. Bogotá.







Energía Eólica

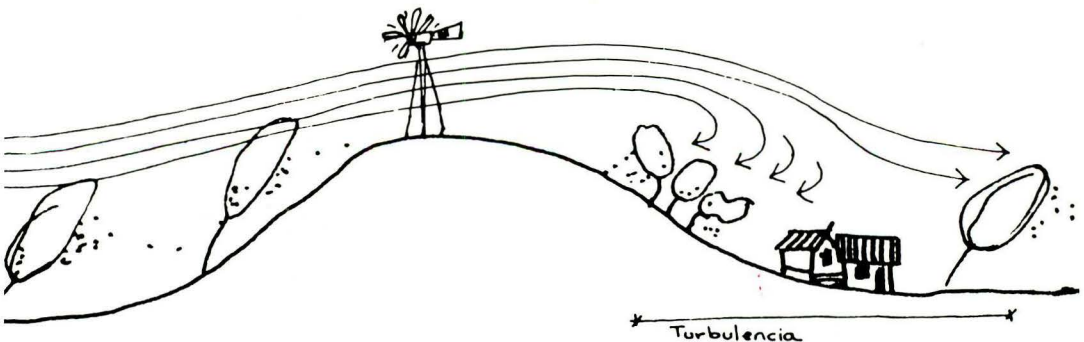
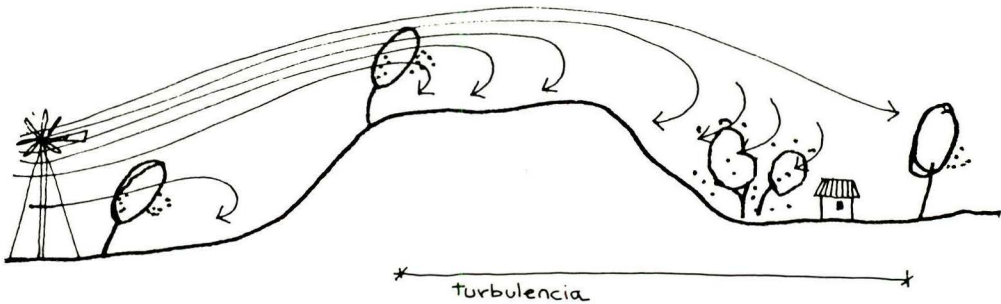
## Convertidores

### Recomendaciones para la instalación

La intensidad de la fuerza del viento es afectada por el relieve del terreno. La velocidad es más elevada sobre las colinas que en los valles.

Para ubicar los molinos debe hacerse un estudio de las características del sitio, porque en una parcela puede haber lugares óptimos y sitios poco favorables.

Las colinas con pendientes fuertes son menos favorables por presentar turbulencia.





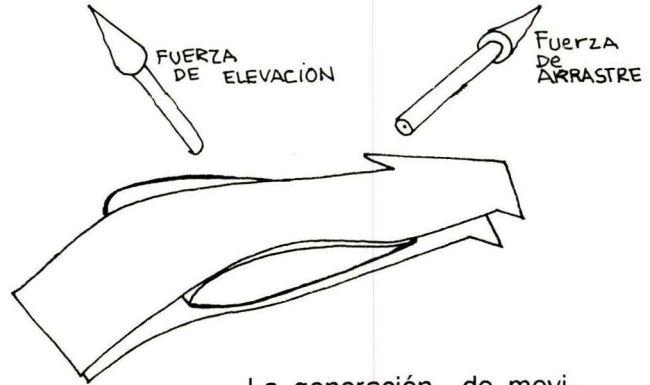
Energía Eólica

## Convertidores

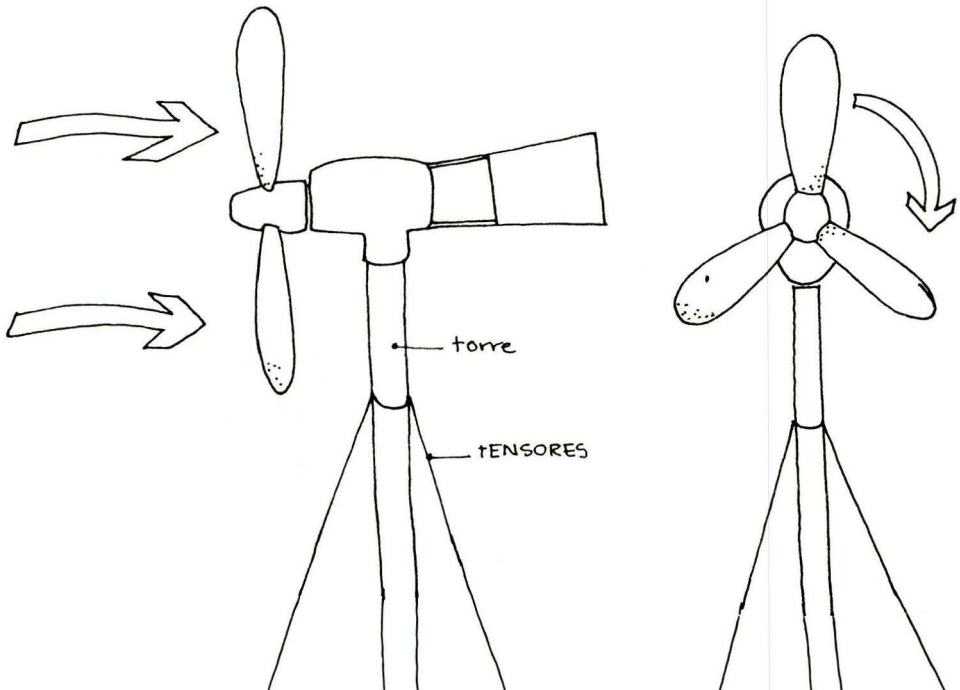
## Molinos de eje horizontal

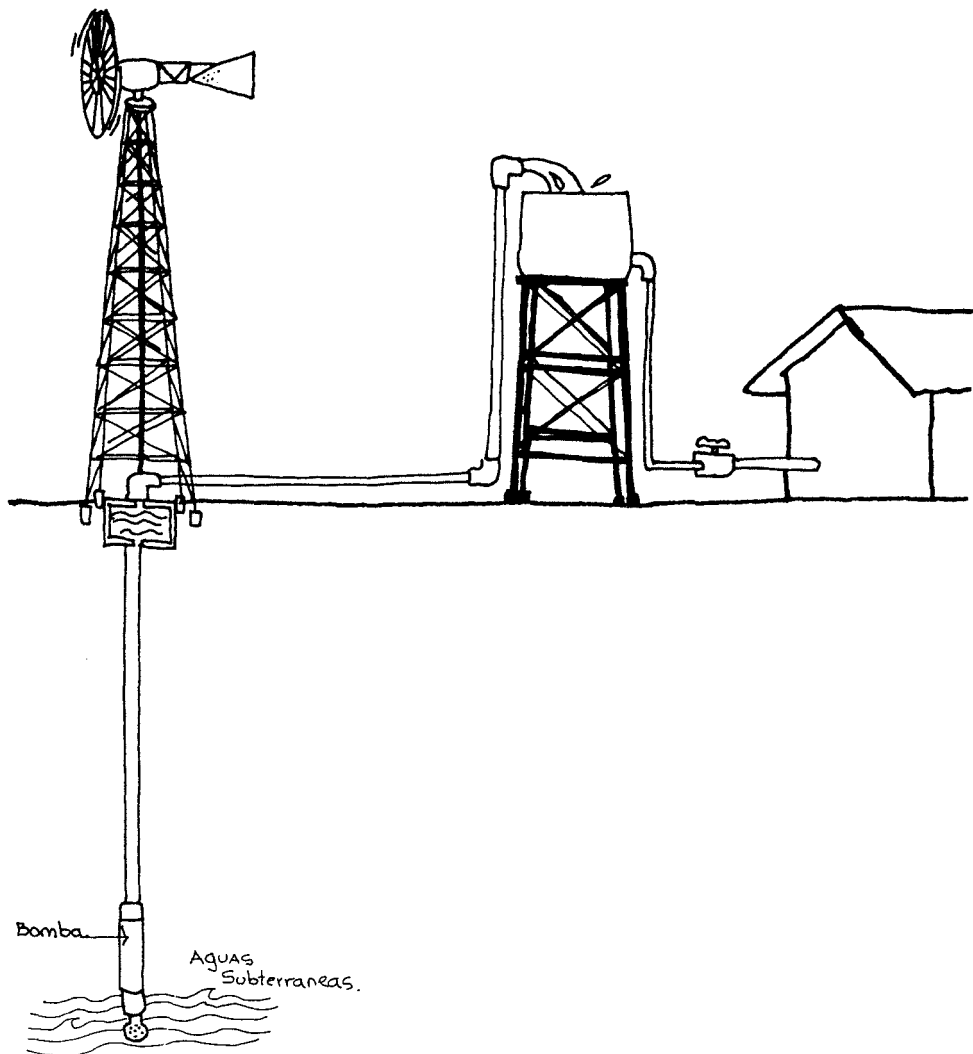
### AEROGENERADORES

Los molinos rápidos especialmente diseñados para la generación de energía eléctrica (aerogeneradores), se componen de una a cuatro aspas construidas en forma aerodinámica (como hélices) con el fin de lograr altas velocidades y un buen arranque.



La generación de movimiento se obtiene por la presión de la corriente de aire incidente sobre la forma del aspa.





El movimiento lento es compatible con el de las bombas de agua.

Por estas características los molinos lentos se usan con gran eficiencia para el bombeo de aguas subterráneas.

## **BOMBEO**

Para bombeo se puede aproximar

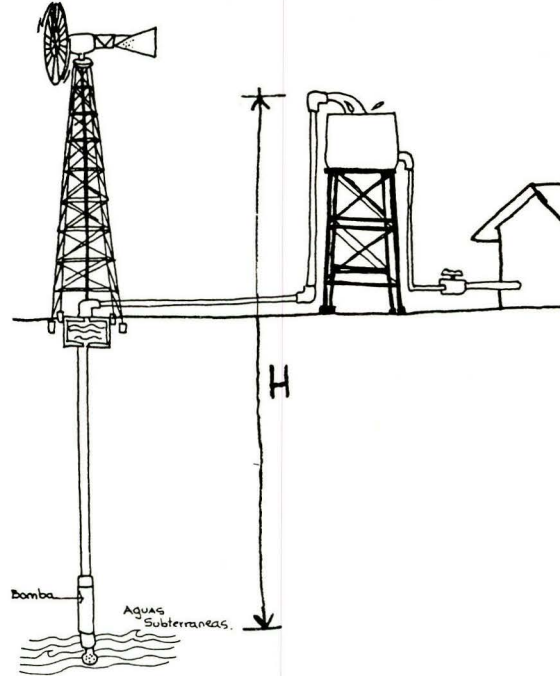
$$\text{Caudal } Q = \frac{P}{gH} \quad \text{en litros/segundo}$$

H = Cabeza de la bomba en metros

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

Además, las revoluciones en el eje de salida del molino de viento no deben exceder a las 2 revoluciones por segundo, pues puede ocurrir desprendimiento del agua en el pistón (cavitación) y la eficiencia y duración de la bomba de desplazamiento positivo baja drásticamente.

Se puede aproximar



$$V_d = \sqrt{\frac{\eta_{vol} \times S \times D_p^2 \times \lambda d \times \rho_{agua} \times g \times H}{4 \times C_p \times \eta_{mec} \times \rho \times \pi \times R^3}}$$

en donde

$V_d$  = Velocidad del viento de diseño

$\eta_{vol}$  = Eficiencia, volumetrica de la bomba aproximadamente 0,90

$\eta_{mec}$  = Eficiencia mecánica de la bomba aproximadamente 0.85

S = Desplazamiento vertical de la bomba en metros.

$D_p$  = Diámetro de la bomba en metros

$\rho_{agua}$  = Densidad del agua

R = Radio del aspa.

De la relación anteriormente anotada se despeja S.  $D_p^2$  y con ella se hace el diseño de la bomba de desplazamiento positivo.





La relación entre  $C_p$  y  $C_q$  es

$$C_p = C_q \times \lambda$$

Lo que nos indica que un molino para bombeo, que necesite un buen torque de arranque debe ser lento y un aereogenerador debe ser rápido.

Empíricamente se ha demostrado que un molino de viento rápido debe tener pocas aspas y uno lento muchas aspas.

	BOMBEO				ELECTRICIDAD		
$\lambda$	1	2	3	4	5-8	8-15	
<b>B</b>	6-20	4-12	3-6	2-4	2-3	1-2	

**B** = número de aspas.

También se puede expresar el  $C_p$  en función de  $\beta$  (No. de aspas),  $\lambda$  y  $C_d/C_L$

$$B = \varnothing - \alpha$$

Para fines de cálculo rápido, se puede inferir que para un molino con buena escogencia del perfil aerodinámico (bajo  $C_d/C_L$ ) y para  $\lambda$  mayores de 1.5, el  $C_p$  varía entre 0.5 y 0.35. Finalmente, las relaciones que nos permiten completar el diseño del aspa son

$$\varnothing = \frac{2}{3} \arctan \frac{1}{\lambda r}$$

$$\lambda r = \lambda d \times r/R.$$





$$C = \frac{8 \pi r}{BC_L} (1 - \cos \varnothing)$$

C = cuerda en metros

en donde el subíndice d indica el punto de diseño, R es el radio del molino de viento y r es la distancia del eje del molino a un punto cualquiera del aspa.

Para un buen diseño se intenta obtener una relación  $C_d/C_L$  mínima.

A continuación se muestra una tabla con algunos valores de perfiles.

PERFILES		$C_d/C_L$	$\beta$	$C_L$
Placa plana		0.10	5°	0.80
Placa curva (10% de Curvatura)		0.02	3°	1.25
Placa curva con tubo en el lado concavo		0.03	4°	1.10
Perfil NACA 4412		0.01	4°	0.80

### Potencia y Torque

La potencia que un molino de viento puede extraer del aire es

$$P = \frac{16}{27} \times \frac{1}{2} \rho A V_d^3 \eta \text{ vatios}$$

en donde

$16/27$  es el coeficiente de Betz que es la máxima cantidad teórica de energía que se puede extraer del viento.

$\rho$  = Densidad del aire

$A$  = Area de barrido de las aspas del molino y que fue obtenida en la tabla del capítulo de molinos de viento.

$\eta$  = Eficiencia que incluye

$C_p$  = Coeficiente de potencia

$\eta_m$  = Eficiencia mecánica

$\eta_e$  = Eficiencia eléctrica

$\eta_o$  = Otras eficiencias (g: hidráulica por transmisión, etc).

$$\eta = C_p \eta_m \eta_e \eta_o$$

El coeficiente de potencia esta dado como

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho V^3 A}$$

El coeficiente de torque

$$C_q = \frac{Q}{\frac{1}{2} \rho A V \cdot R}$$

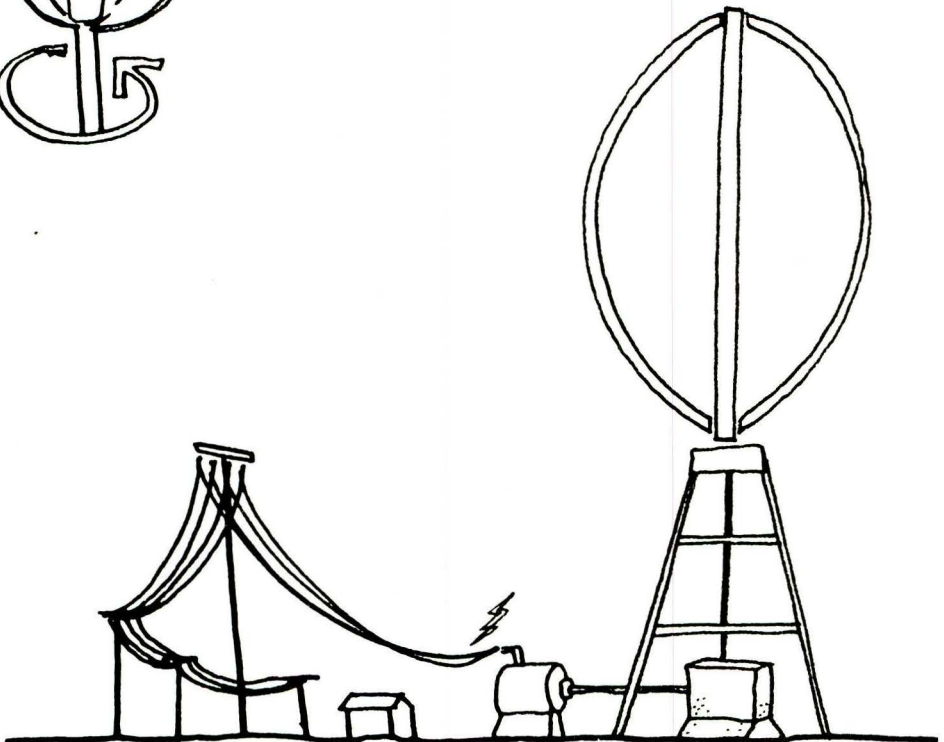
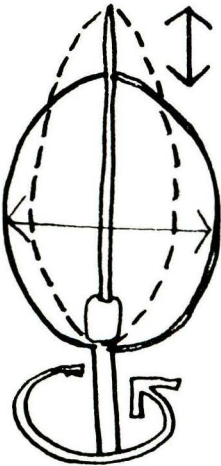
Existe un número adimensional muy importante, el lambda que relaciona la rigidez de rotación del molino con la velocidad del viento.

$$\lambda = \frac{\Omega R}{V}$$

## Rotor DARRIEUS

Compuesto por dos o tres aspas montadas en forma de batidora. Se usa para generar energía eléctrica. Arranca con dificultad, por esto generalmente se le adiciona un pequeño rotor Savonius para iniciar el movimiento.

La construcción de las aspas requiere de alta tecnología que eleva el costo de su construcción, en Colombia no se ha utilizado.



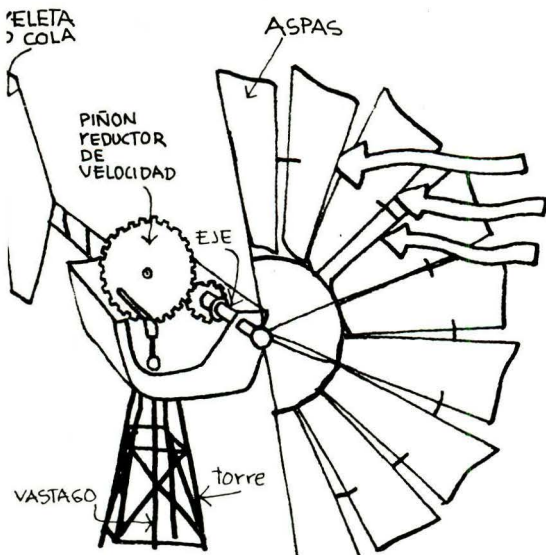
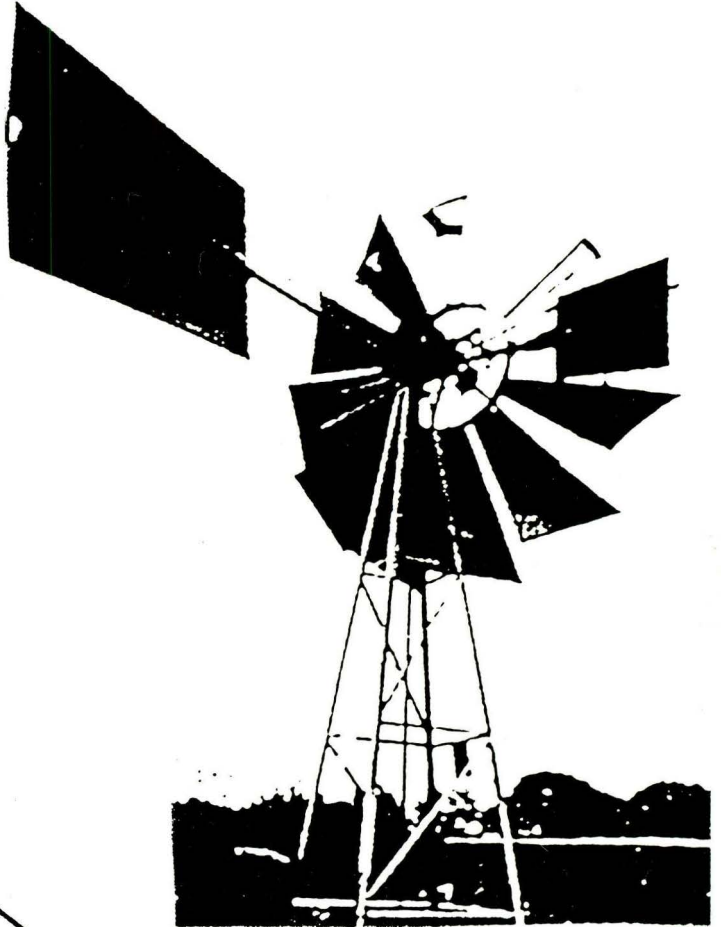




Energía Eólica

## Convertidores

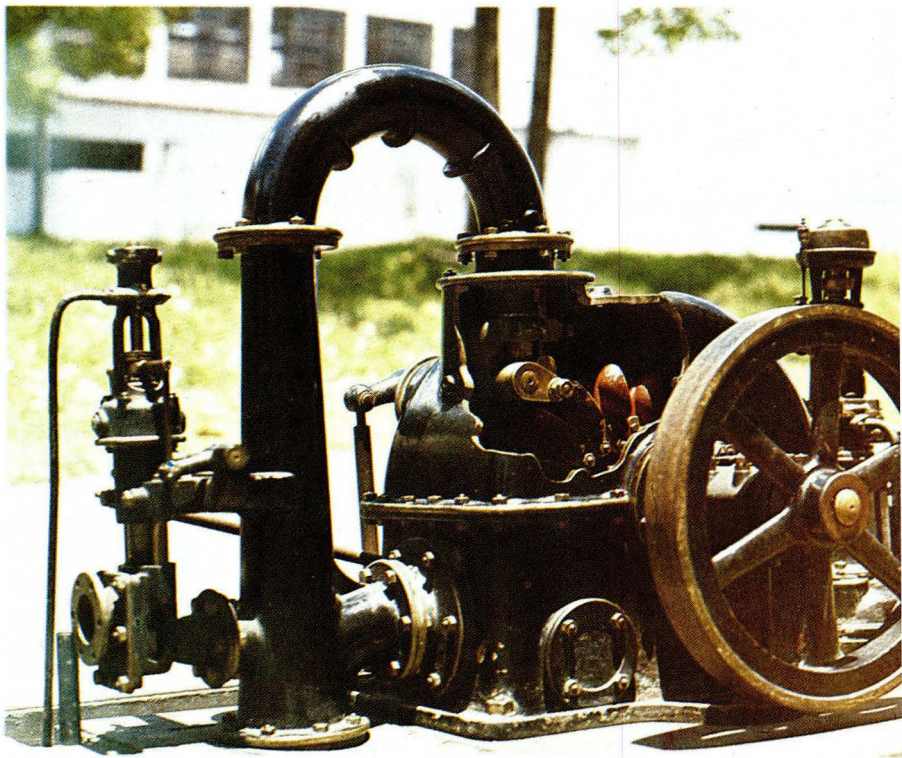
### Molinos de eje horizontal



#### Molino LENTO ( Multipala )

Esta compuesto por un rotor de más de cinco aspas, dispuestas en forma de superficie circular, esto hace que el rotor oponga una gran superficie al enfrentar y captar la energía del viento. Arranca con vientos de baja velocidad y girá lenta y constantemente.

Microturbina pelton  
Laboratorio de hidraulica UN. Bogotá.



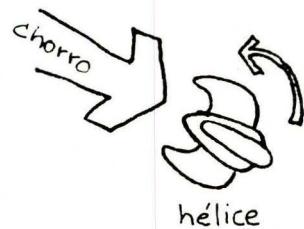
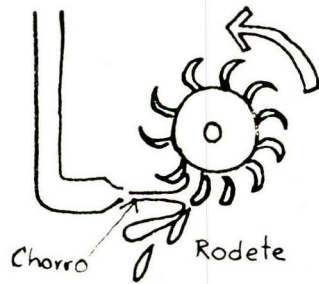
## MICROTURBINAS

Para la instalación de microturbinas, normalmente es necesario realizar algún tipo de obra civil para el correcto manejo del caudal y de la cabeza.

El uso de maquinaria industrial en la construcción de microturbinas eleva su precio, pero se debe tener en cuenta que con ellas se produce una gran cantidad de energía eléctrica.

La presión del agua hace girar, a alta velocidad, un rodete o una hélice.

De acuerdo a la topografía se utilizan diversos tipos de microturbinas, presentamos tres clases, una para cada tipo de terreno.





Energía hidráulica

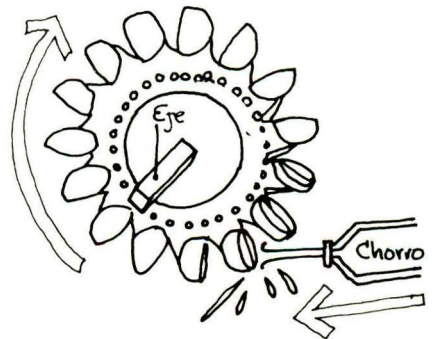
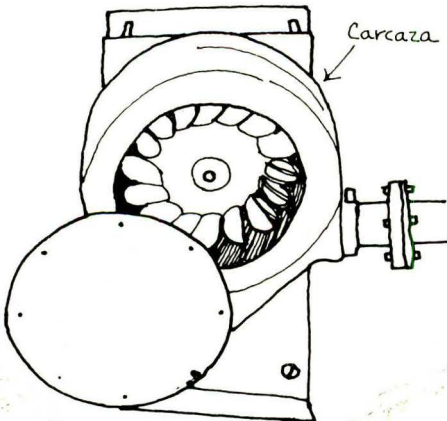
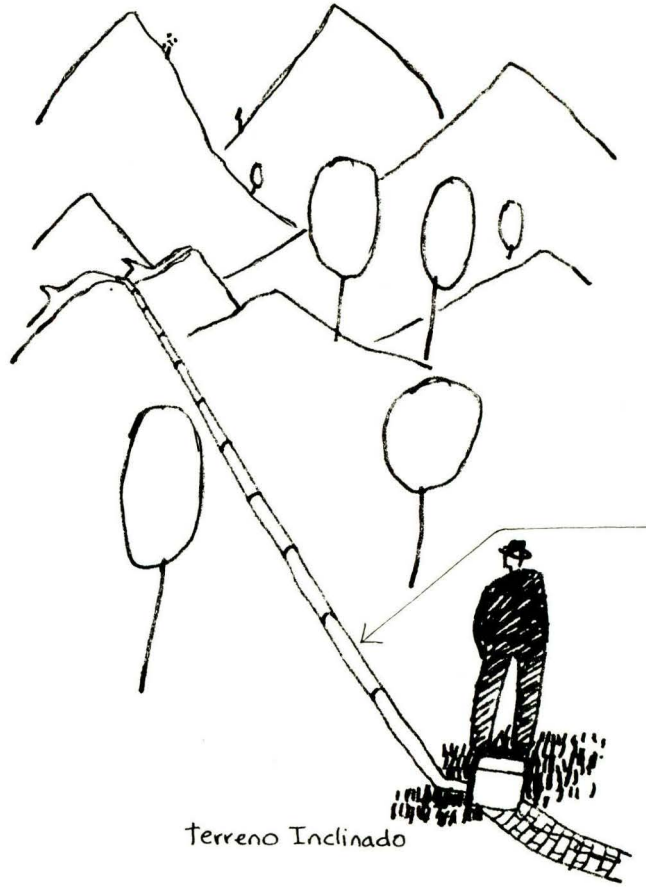
Convertidores

## Microturbinas

### Microturbinas PELTON

Son apropiadas en regiones montañosas, donde se tienen grandes "cabezas" y pequeños caudales.

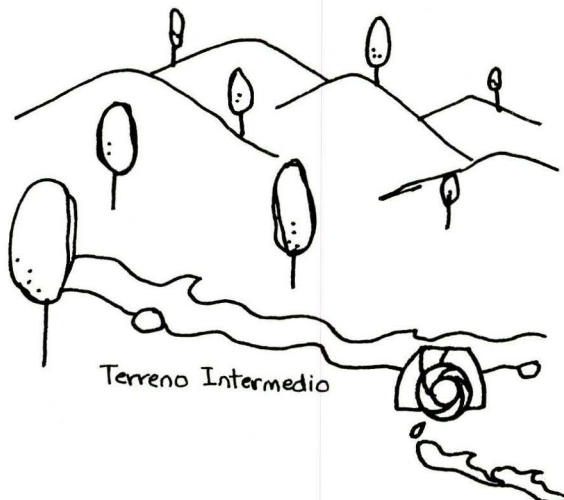
El agua se conduce haciéndola descender por gravedad a través de la tubería de alimentación, para producir el "chorro libre" que al golpear las cucharas hace girar la microturbina.





Energía hidráulica

Convertidores



## Microturbinas

### COMPONENTES

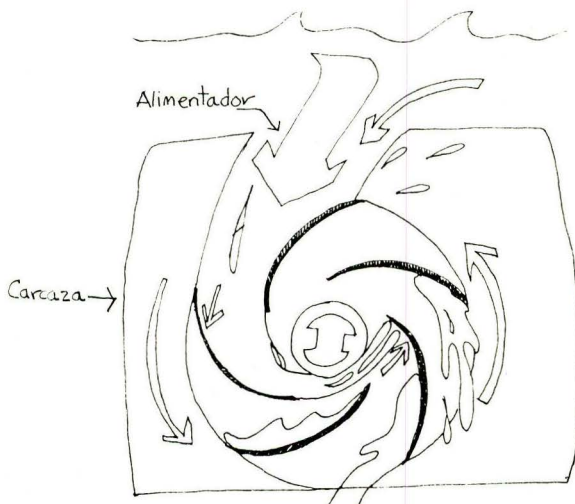
#### Microturbinas MICHEL - BANKI

Alternador  
Carcaza  
Rodete  
Aspa  
Tapa

Es una microturbina muy versátil, porque funciona con caudales y cabezas intermedias.

Al sumergir la turbina, el agua, por gravedad cae a través del alimentador que la encauza como se observa en el gráfico, para poner en movimiento el conjunto.

Esta microturbina, se puede construir con lámina galvanizada, aluminio, cobre y metales ferrosos protegidos contra la oxidación.





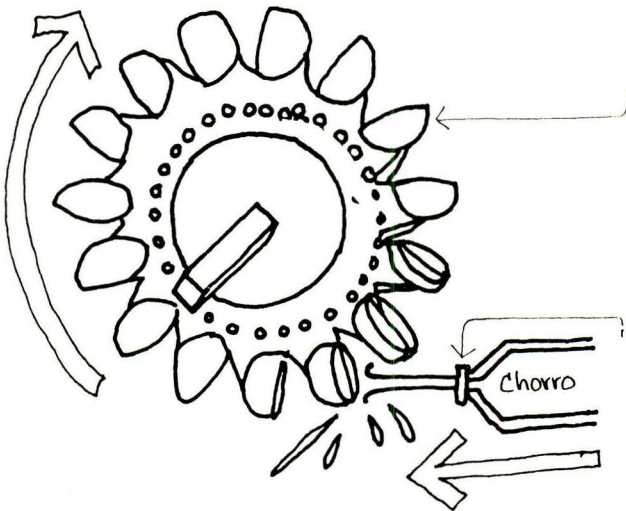
### Tubería de alimentación

La gravedad conduce el agua a través de la tubería hasta la boquilla de la turbina, el agua del "chorro libre" impulsa las cucharas, haciendo girar el rodete.

## COMPONENTES

### Carcasa

Evita que, el chorro de agua al golpear las cucharas salpique, conduciéndola al caudal de salida.



### Cucharas

La cuchara es doble para evitar esfuerzos en el eje, balanceando el sistema axialmente.

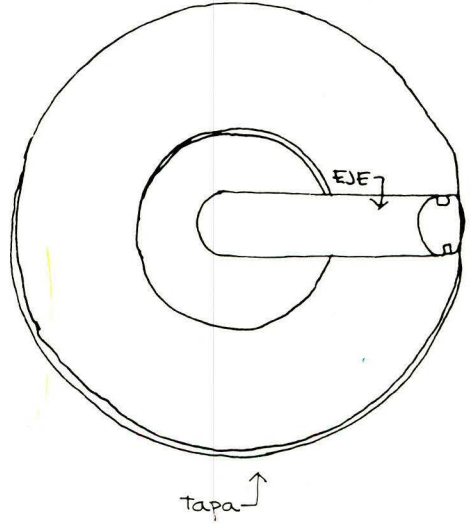
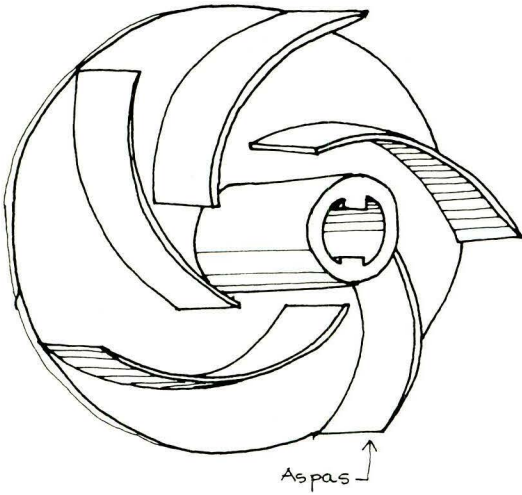
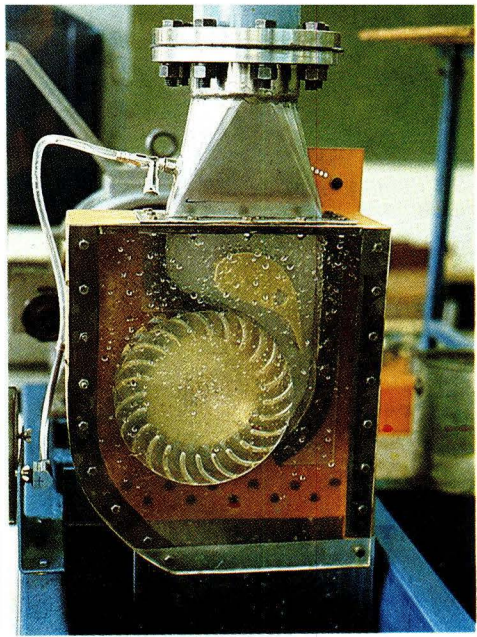
### Boquilla

En la boquilla toda la energía cinética y potencial se convierte en cinética.

### Eje

El eje gira con el rodete y transmite el movimiento, al generador eléctrico.

Microturbina Michel Benki



### Eje

El eje gira con el rodete y transmite el movimiento al alternador.

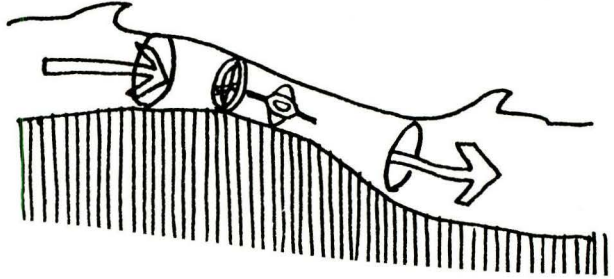


Energía hidráulica

---

## Convertidores

## Microturbinas

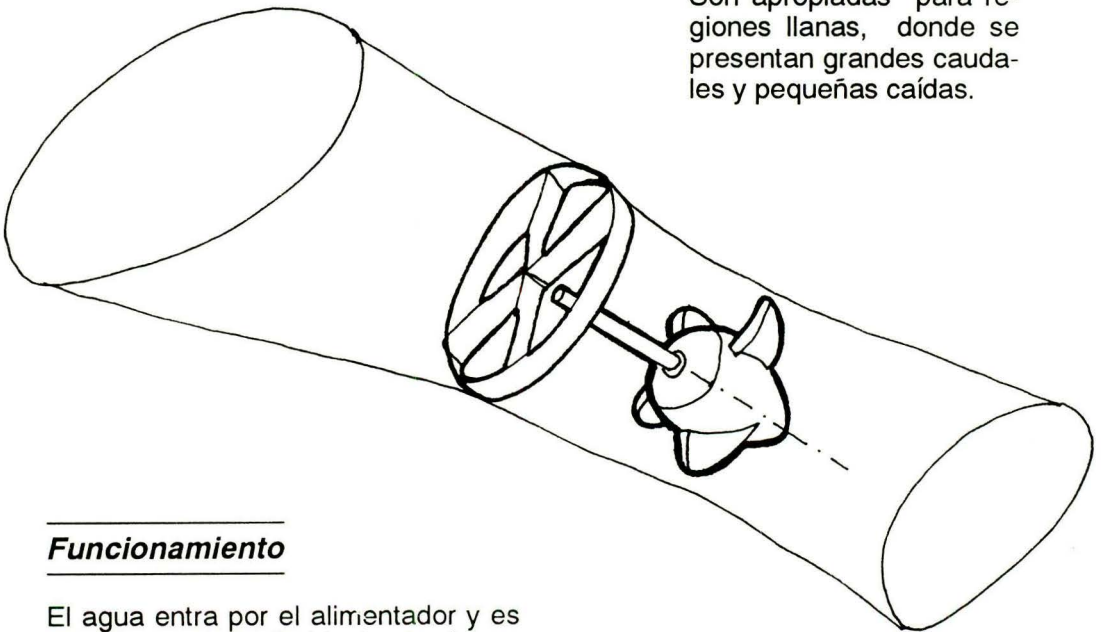


---

### **Microturbinas de HELICE**

---

Son apropiadas para regiones llanas, donde se presentan grandes caudales y pequeñas caídas.



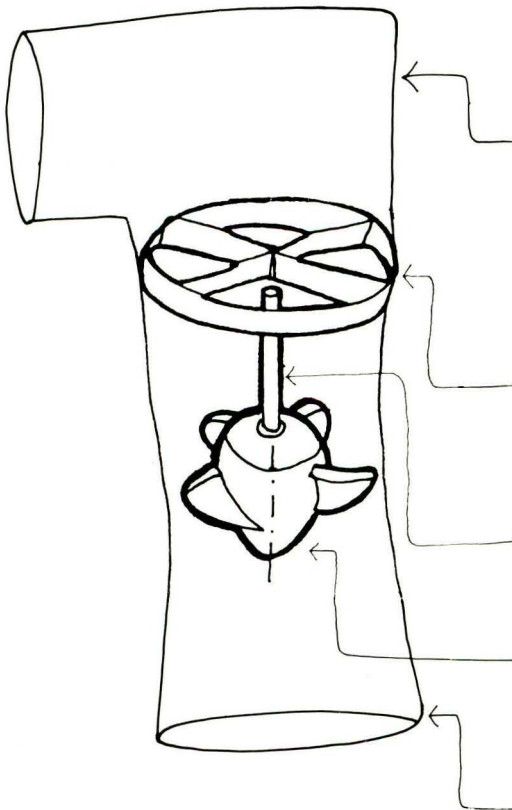
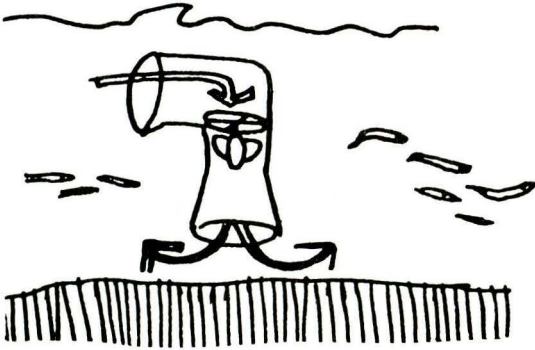
---

### **Funcionamiento**

---

El agua entra por el alimentador y es dirigida por el distribuidor hasta ejercer presión sobre las aspas.

La acción del agua en movimiento, hace girar la hélice a gran velocidad.



### **Carcaza**

Encauza el agua para que se estrelle contra las aspas de la hélice.

### **Alimentador**

Recibe el agua necesaria para el funcionamiento y la envía al distribuidor. Varía de acuerdo a la manera en que se instala la microturbina.

### **Distribuidor**

Proporciona la dirección óptima al fluido para mejorar el rendimiento.

### **Eje**

Trasmite el giro de la hélice al generador.

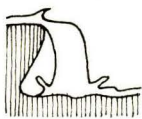
### **Hélice**

Esta compuesta por el cubo y las aspas helicoidales.

### **Tubo de aspiración**

Recupera la energía al salir de la hélice y permite una gran variación de presiones.

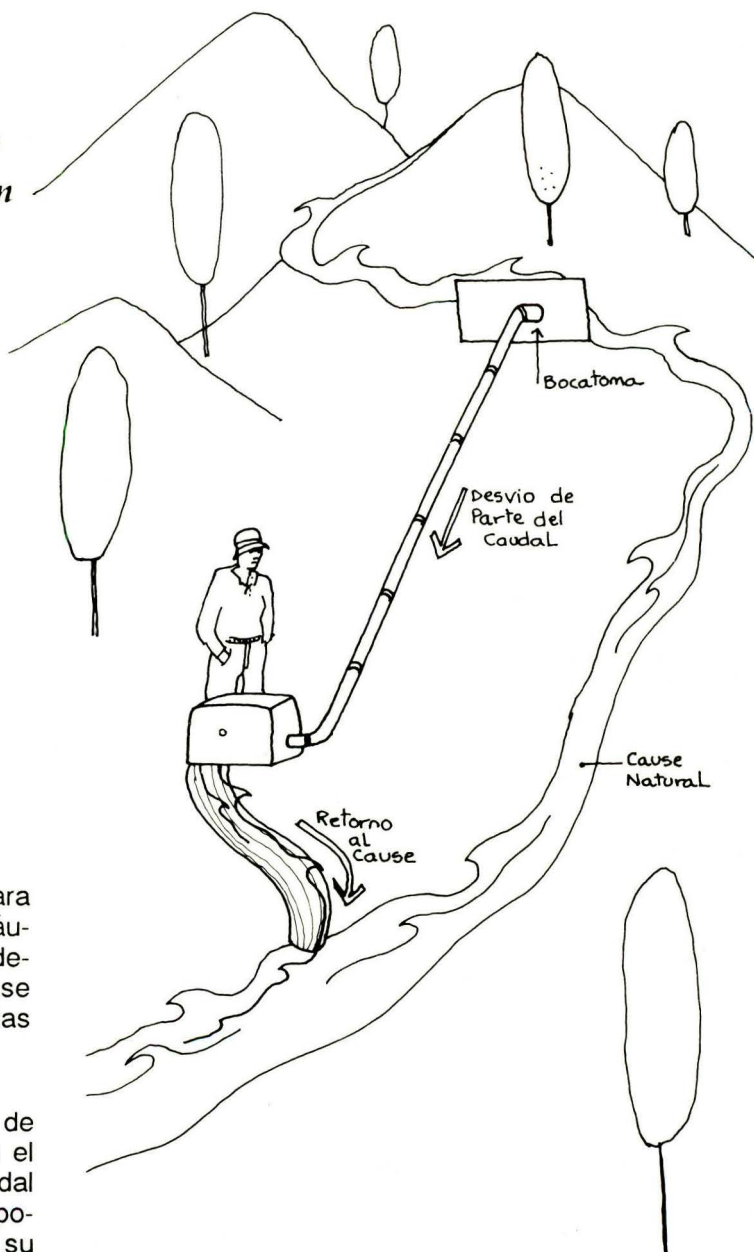




Energía hidráulica

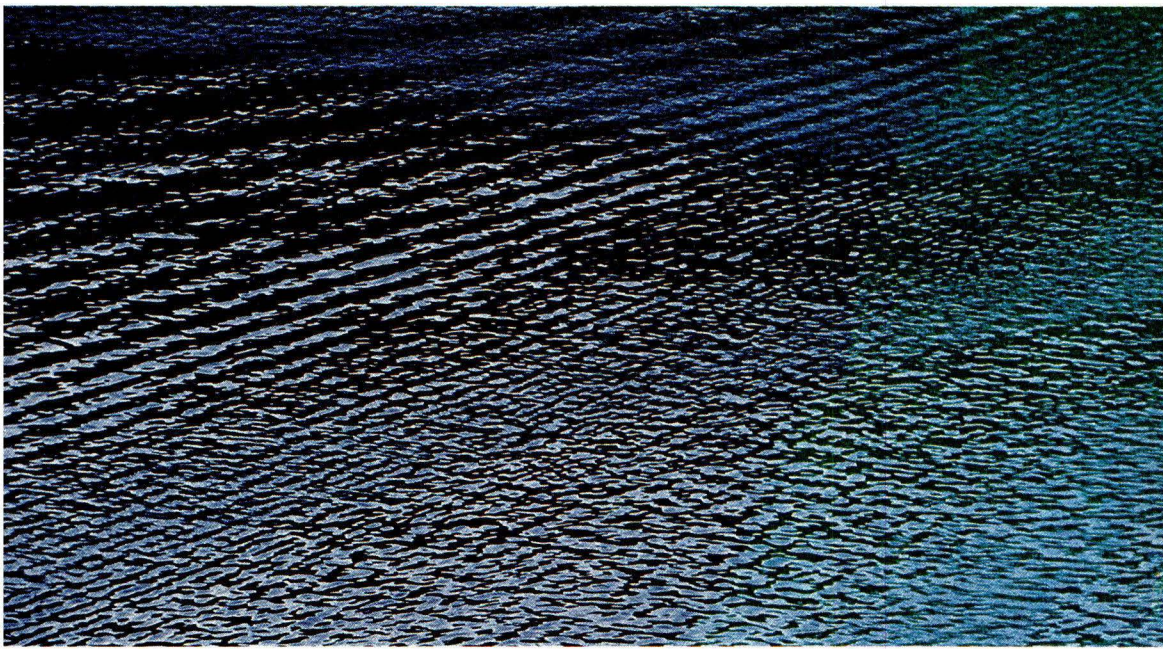
## Convertidores

### Recomendaciones para la instalación



El agua que se desvía para impulsar máquinas hidráulicas o para otros usos, debe retornar a su cause original, para no alterar las condiciones naturales.

Quando la instalación de una microturbina exige el desvio de parte del caudal de una corriente, sin la posibilidad de retornarlo a su cause original, el agua debe conducirse a otro cause del sistema fluvial de la región

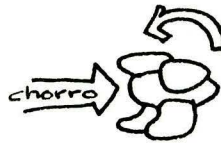
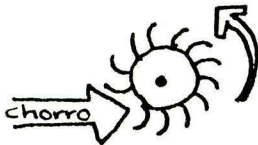
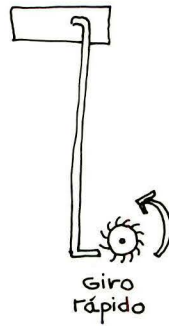


Laguna Rioprado.

## MICROTURBINAS

Producen:

- Energía eléctrica.



Las turbinas giran a gran velocidad impulsadas por un fuerte chorro de agua.



Energía hidráulica

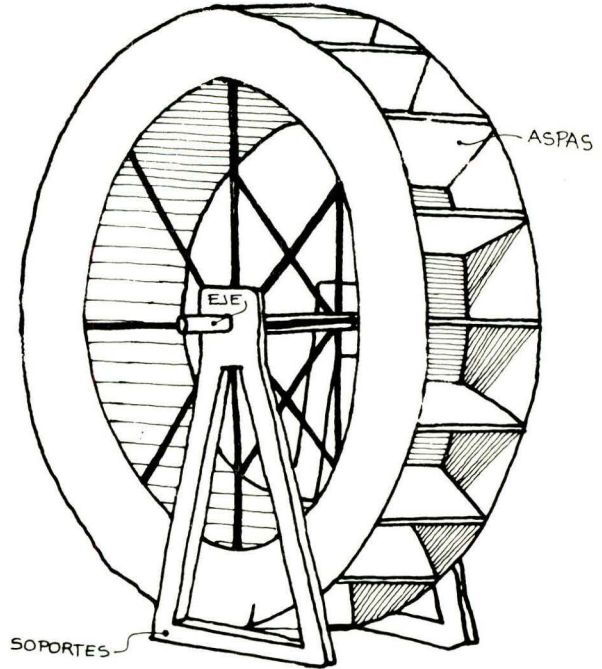
---

## Convertidores

---

### Ruedas

---



Las ruedas son máquinas simples que se impulsan con bajas presiones de agua. Su construcción e instalación es muy sencilla y económica.

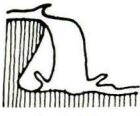
Las ruedas se pueden construir con madera, metal cubierto con anticorrosivo, y aluminio.

Las ruedas impulsadas por el movimiento del agua, giran, este movimiento de rotación "LENTO", se concentra en el eje de la rueda, obteniéndose de esta manera la energía mecánica.

---

**Hay ruedas para todo tipo de terreno.**

---



Energía hidráulica

## Convertidores

### Clases

Para transformar la energía hidráulica ( agua en movimiento) en energía útil, se usan dos clases de convertidores:

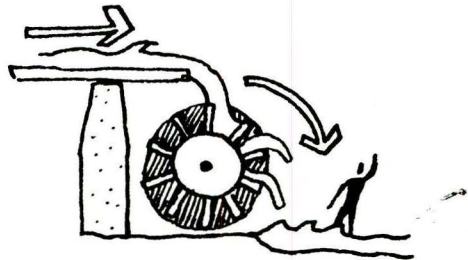
#### RUEDAS

Producen:

- Energía mecánica



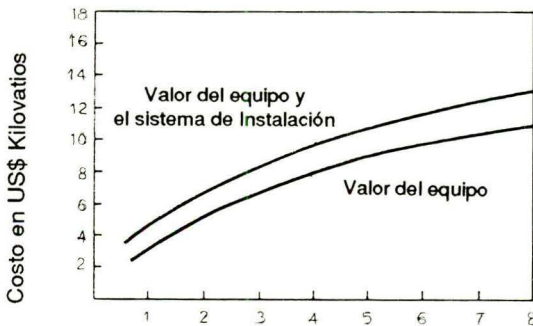
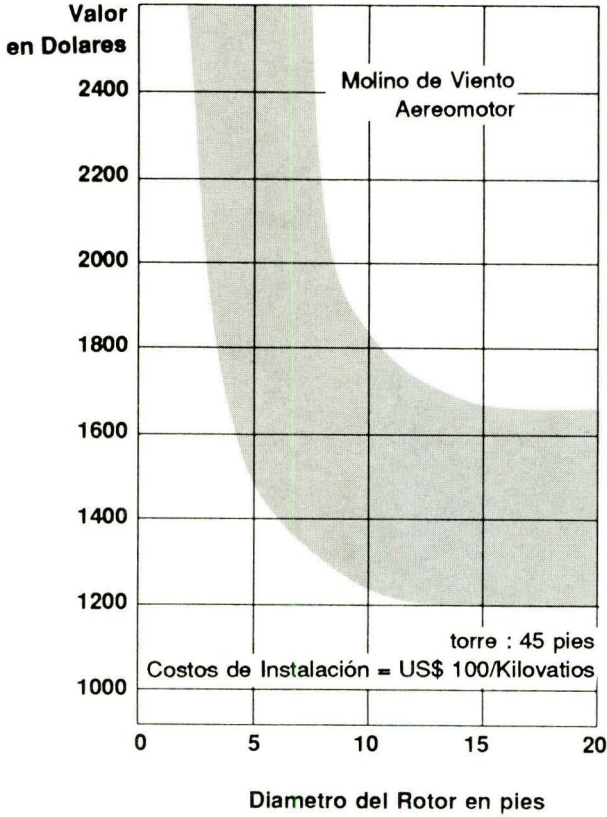
- Energía eléctrica



Por efecto de la fuerza de gravedad, el agua ejerce presión sobre los baldes y hace girar la rueda.



## TABLAS DE COSTOS DE LOS AEREOMOTORES

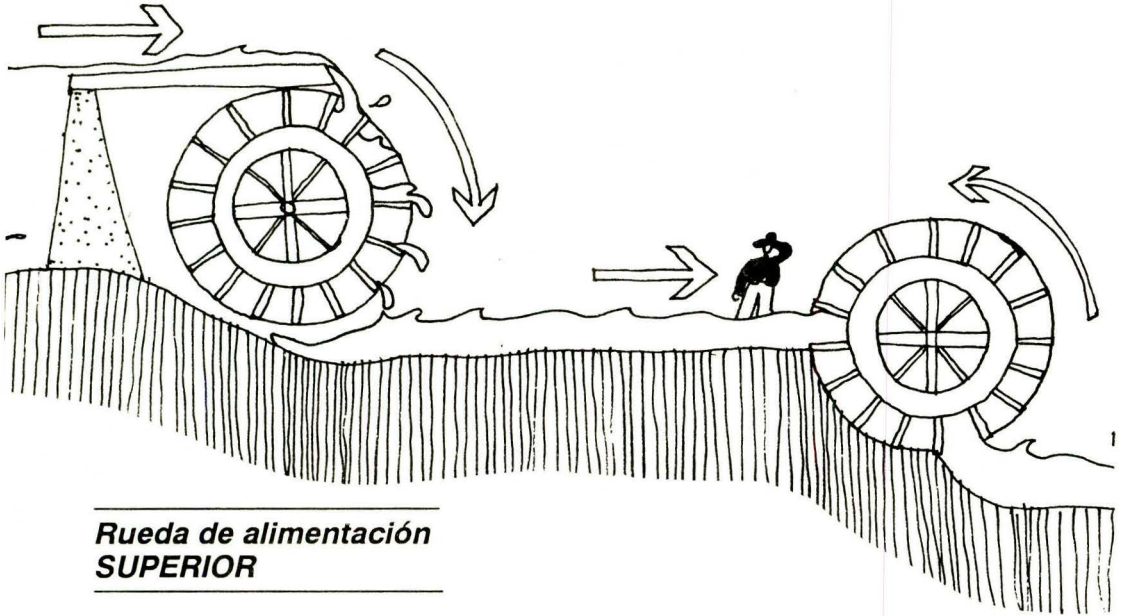


Capacidad total de producción, Kilovatios @ 18 mph



Energía hidráulica

## Convertidores



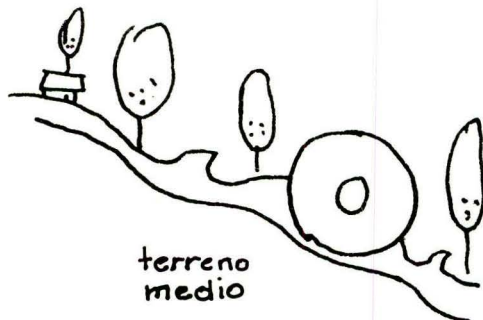
### **Rueda de alimentación SUPERIOR**

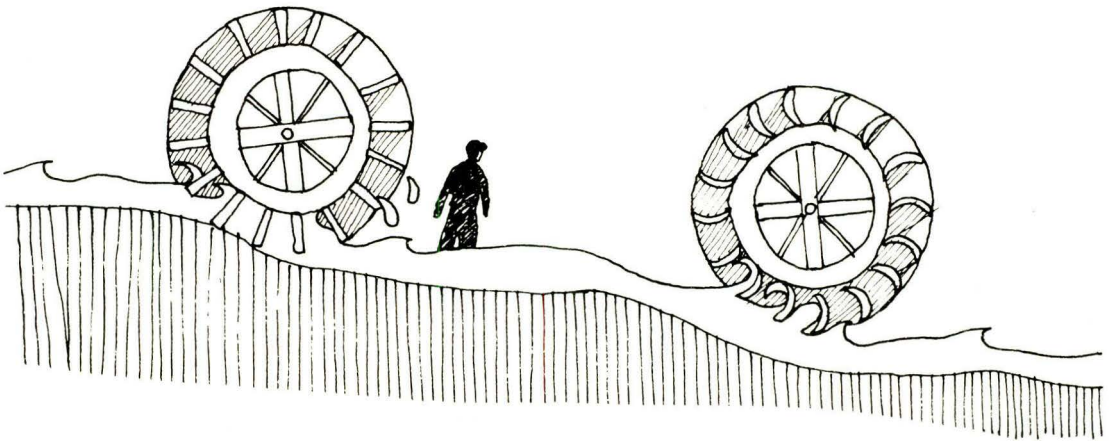
Necesita una caída natural, o la construcción de un dique, para mantener el nivel del agua por encima del punto superior de la rueda.

Gira por el peso que el agua ejerce sobre los baldes.

### **Rueda de alimentación INTERMEDIA**

Su funcionamiento también depende del peso del agua, que, ingresa en forma lateral y es encauzada como se aprecia en el gráfico.





---

### **Rueda de alimentación INFERIOR**

---

Se instala directamente sobre la corriente del río.

El agua al ejercer presión sobre las aspas la hace girar.

---

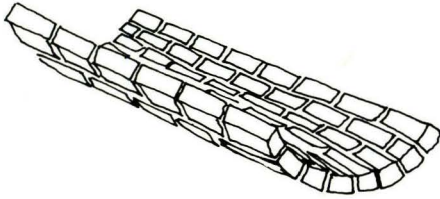
### **Rueda PONCELOT**

---

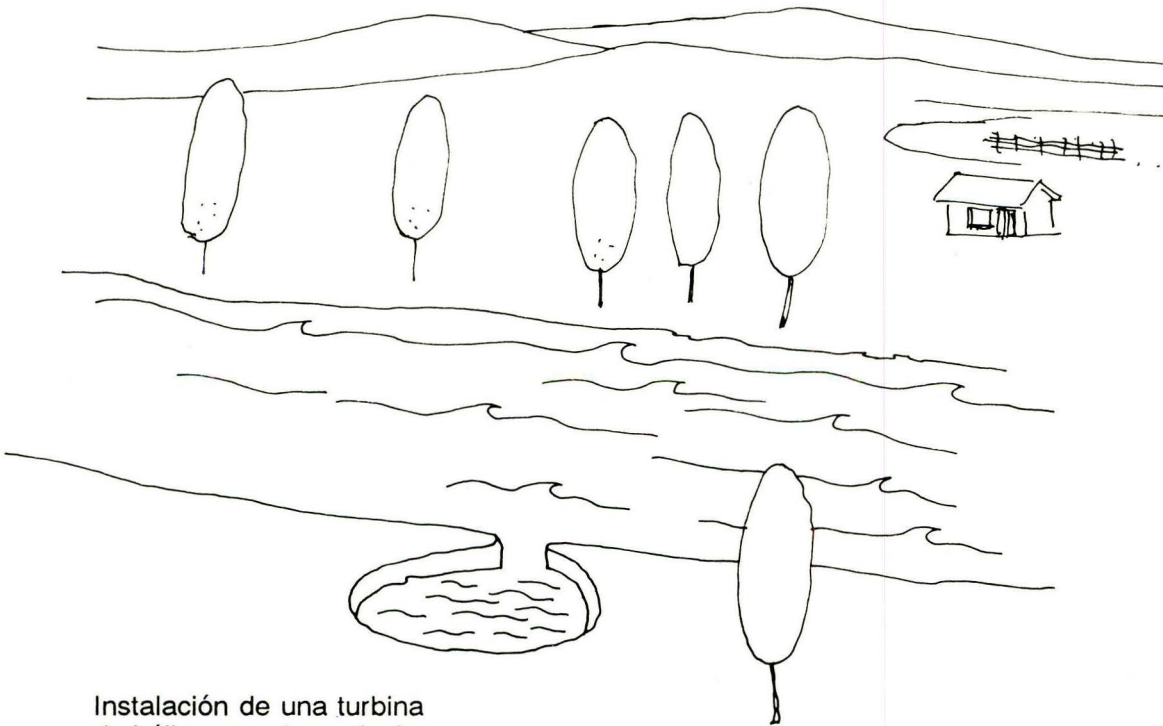
Es una variación de la anterior y probablemente la precursora de las turbinas.

El movimiento depende de la fuerza que la corriente ejerce sobre la forma curva de sus aspas.





En cualquiera de los casos mencionados, la conducción de agua debe hacerse por medio de una zanja enladrillada para evitar que el agua arrastre la capa superficial de la tierra, erosionando la región.



Instalación de una turbina de hélice con eje vertical.

Se realiza una excavación en una de las orillas del río, para producir un rincón de aguas estancadas, donde se instala la turbina.

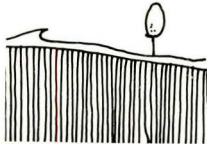

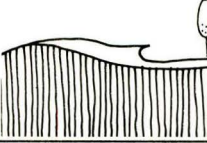
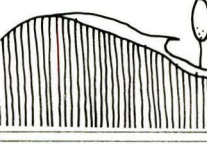


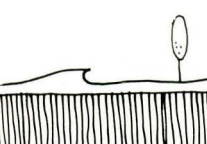




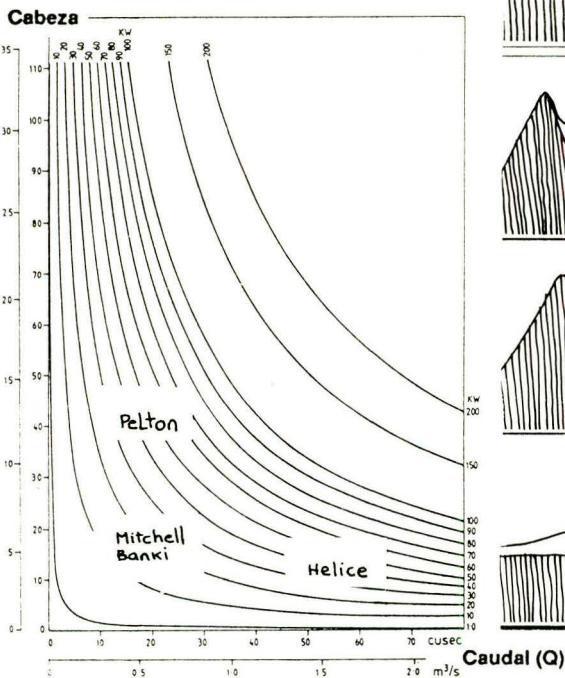
Energía hidráulica

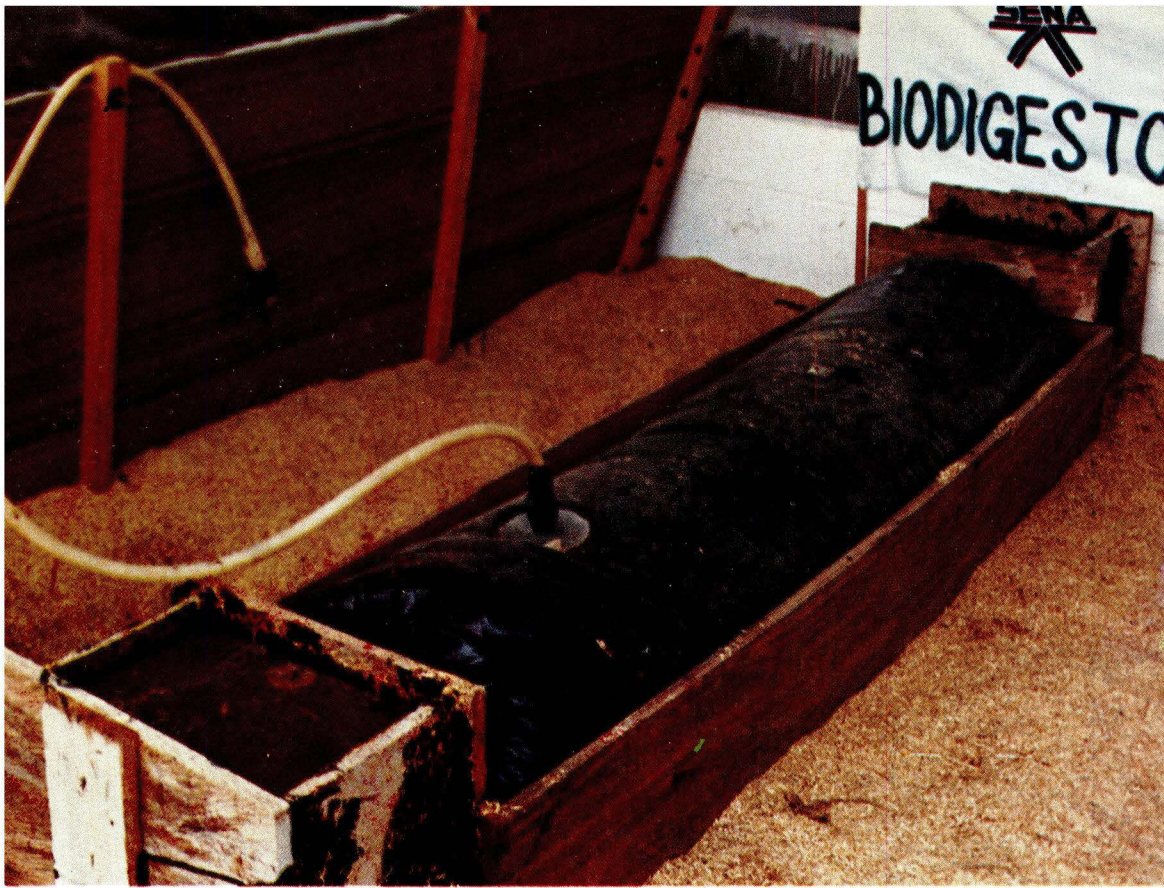
Convertidores

Guía para la selección

Tipo de terreno	Cabeza	Caudal
	Menos de 0.5 m.	Entre 10 y 25 L/seg.
	Menos de 0.5 m.	Entre 10 y 25 L/seg.
	Entre 2 y 5 m.	Entre 10 y 25 L/seg.
	Entre 0.5 y 2 m.	Entre 10 y 25 L/seg.
	Entre 40 y 100 m.	Entre 10 y 25 L/seg.
	Entre 4 y 10 m.	Entre 25 y 100 L/seg.
	Menos de 0.5 m.	100 L/seg. en adelante

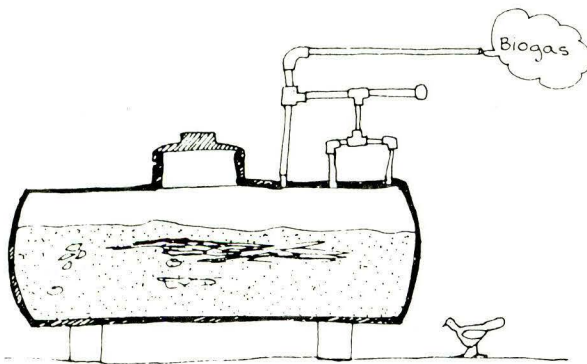
Curva para la Selección



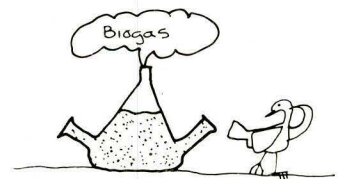


## **BIODIGESTORES DISCONTINUOS**

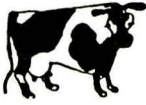
En los biodigestores discontinuos la producción de Biogas se interrumpe con la carga y descarga del material orgánico.



DE COCHADA



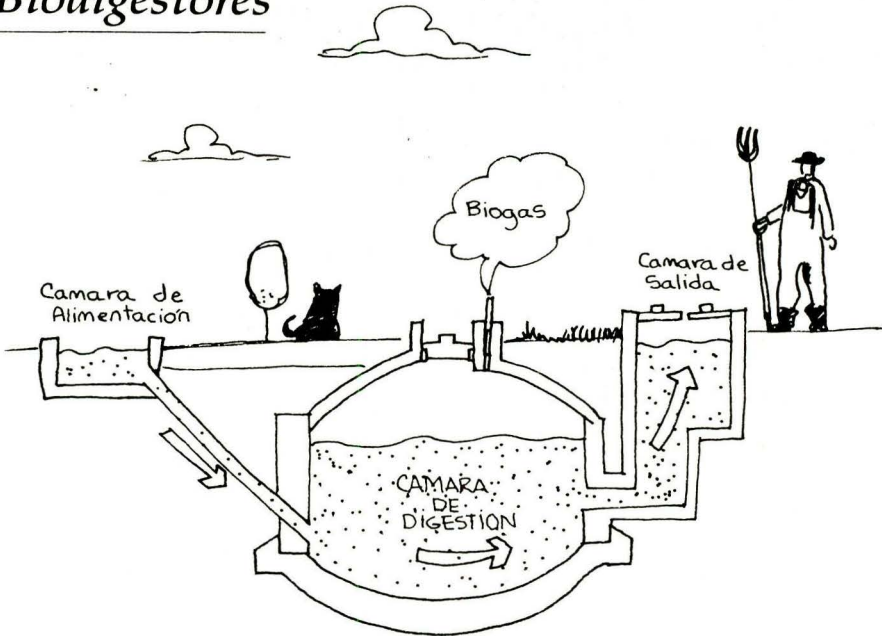
PLÁSTICO



Biomasa

## Convertidores

## Biodigestores



### Biodigestor CHINO

El biodigestor chino se caracteriza por no tener elementos móviles, o sea que la cámara de digestión y el depósito de gas constituyen una sola estructura.

Se construye debajo del nivel del suelo, en mampostería o concreto. Por

tener que operar con presiones elevadas, debe estar muy bien construido para evitar grietas que dejen escapar el Biogas.

El gas debe ser liberado continuamente para reducir la presión interna, por este motivo los biodigestores chinos se utilizan en instalaciones donde el consumo sea continuo o para almacenar el Biogas en un depósito aparte.



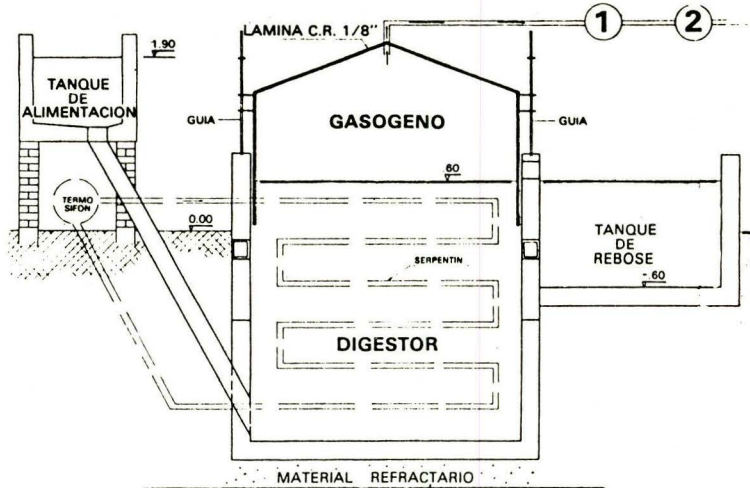
**Biomasa**

**Predimensionamiento**

Consuelo Díaz B.

Julio Mario Rodríguez D.

**Biodigestor**



Para que se justifique la construcción de una planta de biogas se deben cumplir los siguientes requisitos mínimo:

La planta más pequeña debe producir, la cantidad de gas necesaria para que una familia de cuatro personas cocine.

A continuación veremos un procedimiento sencillo para predimensionar un biodigestor.

Para un buen diseño se deben conocer algunas características de la materia orgánica (porcentaje de C/N, humedad, sólidos volátiles, entre otros), proporcionados por laboratorios especializados. La calidad y cantidad de excrementos de animales dependerá de la dieta que varía en cada región y del estado de salud de los animales.

**PRODUCCION DE BIOGAS POR CANTIDAD DE DESECHO**

Para calcular la producción de biogas es necesario conocer el porcentaje de sólidos totales y el % de sólidos volátiles del desecho.

Los sólidos totales se definen como el "peso seco" de la materia prima, o porción que permanece cuando el material es secado a una temperatura de 105°C

Los sólidos volátiles son la porción de los sólidos totales que son volatilizados a 550°C.

La cantidad de Biogas que se producirá por cada kilogramo de desecho adicionado al reactor se puede calcular así:

$$\text{Volumen de Gas } \frac{\text{m}^3\text{CH}_4}{\text{Kg desecho}} = 1 \times \left( \frac{\%ST}{100} \times \frac{\%SV}{100} \times \frac{\text{m}^3 \text{ Biogas}}{\text{KG}} \times \%CH_4 \right)$$

Tabla No.1

Material (residuos secos)	% Humedad (H)	% Sólidos Totales (ST)	% Nitrogeno (N)	% Carbono (C)	% Sólidos volátiles(SV)	C / N
Gallinaza	65.0	35.0	6.3	94.5	65.0	15
Reses (Boñiga)	86.0	14.0	1.7	30.8	80.0	18
Cerdos	87.0	13.0	3.8	76.0	85.0	20
Basura de mercado	1.0	99.0	3.04	54.7	77.8	18
Papel periodico	7.0	93.0	0.05	4.0 a 6.0	97.1	813
Desechos de campo (a)	7.2	37.0	1.2	90.0	63.0	75
Excrementos Humanos	73.0	27.0	6.0	36 a 60	92.0	6 a 10
Orina Humana	94.0	6.0	18.0	14.0	75.0	0.8

(a) Estos datos son estimativos de una mezcla (Residuos de cocina, plantas hidrófilas, entre otras). Tomado de : Julio Mario Rodríguez D. INGENIERIA E INVESTIGACIONES. Volumen 1, Número 3.



### **FUERZAS SOBRE LAS CUCHARAS:**

Sirven para determinar el torque sobre el eje de la turbina y para diseñar los elementos de unión,

$$F = \frac{\gamma Q}{g} (C_1 - U) (1 + \cos \beta)$$

En el momento de arranque la velocidad periférica es nula.

## **Turbinas Francis**

### **RELACION DE VELOCIDADES**

Ns (métrica)	50	100	200	400	500
$U_1 / 2gHn$	0.68	0.73	0.79	0.82	0.83
$U_2 / 2gHn$	0.30	0.50	0.78	1,24	1,41

Para determinar los diámetros se utiliza la Ec. 25, para cada velocidad.

### **ALTURA DEL DISTRIBUIDOR (B)**

Ns (Métrico)	100	200	400	500
B / Diámetro entrada	0.1	0.25	0.37	0.39

### **ALTURA DE ASPIRACION**

Se refiere a la altura máxima del tubo de aspiración desde el nivel de referencia. Mediante la aplicación de la ecuación de energía se tiene que,

$$H_s = \frac{P_{atm} - P_2}{\gamma} + \frac{V_3^2 - V_2^2}{2g} + hf_{23}$$

### **PARAMETRO DE CAVITACION**

El tubo de aspiración produce una depresión a la salida del rodete que puede conducir a la cavitación. Se define el parámetro de cavitación.

$$\Gamma = \frac{H_{at} - H_s}{H_n}$$

En donde  $H_{at}$  es la altura de presión atmosférica. Los valores seguros dependen de la velocidad específica y se hallan por experimentación.

Ns (métrica)	50	100	200	400	500
$\Gamma$ min.	0.03	0.05	0.15	0.5	0.7

## VELOCIDAD SINCRONICA

Generalmente las turbinas se acoplan directamente a los generadores. Para los generadores:

$$N = \frac{60 f}{p}$$

en donde **N** es la rpm del eje, **f** la frecuencia de la red (hz) y **p** el número de pares de polos.

## VELOCIDAD ESPECIFICA

Combinando los parámetros adimensionales de modo que se elimine el diámetro, se obtiene un nuevo parámetro llamado velocidad específica.

$$Ns = \frac{N\sqrt{BHP}}{H_N^{5/4}}$$

en donde la velocidad específica significa el número de revoluciones por minuto de una turbina similar que entrega potencia unitaria con altura neta unitaria. Cada turbina tiene su aplicación dentro de un rango definido de velocidad específica, siendo este rango diferente para cada clase de turbina

# Turbinas Pelton

## VELOCIDAD DEL CHORRO

Puede demostrarse que la velocidad del chorro es:

$$C_1 = C_{vt} \sqrt{2gHn}$$

en donde **C<sub>vt</sub>** es el coeficiente de velocidad por boquilla con valor usual de 0.95 - 0.98.

## ENERGIA ABSORBIDA

Mediante el análisis de la cuchara se llega a:

$$Ht = \frac{Uv}{g} (1 + \cos\beta)$$

## RELACION DE VELOCIDADES PARA MAXIMA POTENCIA

Teóricamente la velocidad tangencial debe ser la mitad de la velocidad del chorro. En la práctica es un poco menor, dependiendo de la velocidad específica.

Ns (métrica)	10	20	30
U/ C <sub>1</sub>	0.44	0.46	0.5

## DIAMETRO DE LA RUEDA:

Se obtiene del valor de la velocidad tangencial

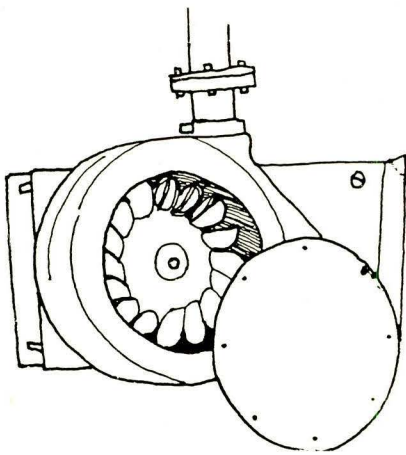
$$u = \frac{\pi D_p N}{60}$$

en donde **D<sub>p</sub>** es el diámetro primitivo Pelton.

## PASO ENTRE CUCCHARAS

No deben colocarse las cucharas tan cerca una de otra que interfiera el chorro, ni tan separados que permitan la pérdida del agua, la condición es:

$$\frac{A_1 B}{C_1} < \frac{A_2 B}{u_{A2}}$$



## Conceptos Básicos

### POTENCIAS:

Potencia neta: Es la disponible en el fluido a la entrada de la turbina.

$$P_n = \gamma Q H_n$$

en donde

$\gamma$  = Peso específico.

$Q$  = Caudal m<sup>3</sup>/seg.

$H_n$  es la altura neta y se define como la energía disponible por unidad de peso de fluido, a la entrada de la turbina.

**Potencia teórica:** Es la absorbida por la turbina.

$$P_t = \gamma Q H_t$$

$H_t$  es la energía por unidad de peso del fluido absorbida por la turbina. Se define en

**Potencia al freno:** Es la potencia mecánica suministrada por la turbina.

$$BHP = TW$$

$T$  es el torque y  $W$  es la velocidad angular

### EFICIENCIAS

La eficiencia total de una turbina se compone de las eficiencias mecánicas e hidráulica, y son cocientes de las potencias

**Eficiencia Hidráulica:** Involucra las pérdidas por fricción y por recirculación.

$$\eta_h = \frac{P_t}{P_n} = \frac{H_t}{H_n}$$

**Eficiencia Mecánica:** Involucra las pérdidas mecánicas por fricción en cojinetes y sellos.

$$\eta_m = \frac{BHP}{P_t}$$

**Eficiencia total:**

$$\eta = \eta_h \eta_m = \frac{BHP}{\gamma Q H_n}$$

### ALTURA TEORICA

Resulta de la aplicación de la ecuación del momentum para una turbina, en función de las velocidades tangenciales  $U$ , relativa  $V$ , y absoluta  $C$ . Para puntos 1 y 2 a la entrada y a la salida de la turbina puede demostrarse que

$$H_t = \frac{C_1^2 - C_2^2}{2g} + \frac{U_1^2 - U_2^2}{2g} - \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g}$$

En donde  $C_T$  corresponde a la componente tangencial de la velocidad absoluta.



Para lograr una mezcla con el 8% de sólidos

$$V_g\% = 0.192 \times \text{Peso de la mezcla de materia prima} \times (1.0 - \%H \text{ mezcla})$$

H = Contenido de humedad de la materia prima (fracción decimal)

V<sub>g</sub>% = volumen de la mezcla con 8% de sólidos.

Para calcular el tiempo mínimo no requerido para digerir los desechos es necesario conocer la demanda química de oxígeno (DQO). Este parámetro representa la cantidad de oxígeno requerida para descomponer el material orgánico por medios químicos. En general la concentración de DQO de la mayoría de los desechos que se utilizan para la generación de biogas, corresponde aproximadamente a 1.5 veces la concentración de los sólidos volátiles. Si además, se asume que cerca del 50% de los SV son biodegradables, la DQO será igual a:

$$DQO = 0.5 \times 1.5 \times \text{concentración de SV.}$$

### TIEMPO DE RETENCION HIDRAULICO

Es el tiempo promedio que permanece la mezcla en el biodigestor.

$$TRH = \frac{V}{Q}$$

donde

V = Volumen de digestor

Q = Velocidad de carga del biodigestor (m<sup>3</sup> de desecho/día).

El volumen del digestor se puede estimar fijando TRH mínimo. Generalmente, para digestores operados a 35°, con materiales fácilmente degradables el TRH mínimo es de 10 días).

### TIEMPO DE RETENCION DE SOLIDOS (TRS)

Este tiempo depende de la cantidad y la edad de los microorganismos en el biodigestor, se recomienda un TRS mínimo de 10 días.

El TRS mínimo también puede ser calculado conociendo la DQO, el rendimiento de microorganismos por material orgánico utilizado (a), la velocidad de muerte de los microorganismos (b), la constante de utilización de sustrato (k) y la cantidad mínima de alimento requerida para que las bacterias se multipliquen (Kc). Las constantes k y kc dependen de la temperatura de digestión.

$$\text{TRS mín.} = \frac{1}{[a \times k \times \{1 - (\frac{kc}{kc + DQO})^{1/2}\}] - b}$$

(ver Tabla 3)

### FACTOR DE SEGURIDAD

Para evitar fallas en la operación de los biodigestores ya sea por sobrecarga o variaciones drásticas en las condiciones ambientales se recomienda utilizar en el diseño un factor de seguridad que puede variar entre 5 y 100 dependiendo de las siguientes consideraciones:

- Variaciones en temperatura: a mayor variación mayor factor de seguridad.
- Variaciones en la concentración y tipo de materiales alimentados al digestor : a mayor variación mayor factor de seguridad.
- Cambios en las características químicas de los materiales del desecho: a mayor relación C/N mayor factor de seguridad.
- Operación y mantenimiento del biodigestor: a mejor manejo menor factor de seguridad.

$$TRH = fs \times TRS$$



Donde

% SV = porcentaje de sólidos volátiles  
(tabla 1)

% ST = porcentaje de sólidos totales  
(tabla 1)

m<sup>3</sup> biogas/kg por tipo de desecho  
(tabla 2)

% CH<sub>4</sub> en el Biogas (Tabla 2)

### RELACION CARBONO - NITROGENO PARA LA MEZCLA DE DESECHOS

Para saber la relación C/N de una mezcla de desechos, es necesario calcular la relación individual de cada desecho para finalmente establecer la relación C/N en el total de la mezcla de la siguiente forma:

**Kg de desecho x (%ST/100) = Kg de desecho seco**

**Kg de desecho seco x (%N/100) = Kg de N en el desecho seco**

Igualmente se deberá calcular los Kg de C en el desecho seco. Conocidos los Kg de N y de C en cada desecho a mezclar la relación C/N será:

$$(C/N) \text{ de la mezcla} = \frac{(\sum \text{kg de C})}{(\sum \text{kg de N})}$$

Cuando la relación C/N obtenida es inferior a 30/1, esta podrá mejorarse adicionando a la mezcla otro desecho que tenga una relación C/N mayor de 25/1

### PORCENTAJE DE SOLIDOS EN LA MEZCLA

La mezcla para alimentar un biodigestor debe tener entre el 7% y el 9% de sólidos, aunque generalmente se trabaja con 8%

El cálculo para obtener una mezcla con un 8% de sólidos es necesario conocer el volumen, la densidad y el contenido de humedad de la materia prima.

Conocidos estos factores el peso de materia prima a utilizar en la mezcla será:

$$W_r = V_r \times D_r$$

Donde:

W<sub>r</sub> = peso materia prima

V<sub>r</sub> = volumen de materia prima

D<sub>r</sub> = densidad de la materia prima

**NOTA:** la densidad aparente puede ser estimada pesando un volumen conocido de la materia prima y dividiendo este peso por el volumen.

$$\text{Volumen de la mezcla} = 0.192 \times V_r \times D_r \times (1-H)$$

**Tabla No 2 Biogas producido como función de sólidos volátiles**

Material	Proporción (%)	M <sup>3</sup> de Biogas/ Kgde materia	% CH <sub>4</sub> (%)
Gallinaza	100	0.3111	59.8
Boñiga	100	0.0871	65.2
Cerdos	100	0.3234	65.0
Basuras de cocina	100	0.2110	61.9
Residuos de papel	100	0.2178	67.1
Desechos de Campo	100	0.2999	60.0

Esta tabla muestra una manera muy general y aproximada del potencial de producción de biogas (60 por ciento metano. 40 por ciento de carbono) de materias primas si el contenido de sólidos volátiles es conocido.

en la que

$\omega$  = orientación del plano (desde el norte)

$\psi$  = inclinación del plano sobre la horizontal

La intensidad directa sobre el plano es

$$I_{pr} = I_{hr} \times \cos \beta$$

La intensidad difusa sobre el plano es

$$I_{pf} = I_{hf} = \frac{1 + \cos \psi}{2}$$

La intensidad total incidente sobre el plano es la suma de los dos

$$I_{pt} = I_{pr} + I_{pf}$$

### CONVERSION TERMICA.

Cuando cae energía sobre una superficie negra, ésta absorbe gran parte de esa energía. La energía radiante de todas las calidades (todas las longitudes de onda) se degrada en calor, y se provoca un incremento de la temperatura. El coeficiente de absorción de varios tipos de absorbentes negros varía entre 0.8 y 0.98 (el 0.2 o 0.02 restante se refleja).

Parte del calor se transmite a otras partes del cuerpo por conducción y parte se pasa de nuevo hacia el medio ambiente, mediante procesos convectivos e irradianes. La emisión de calor (pérdida de calor) depende de la diferencia en la temperatura entre la superficie y el medio ambiente. En consecuencia, a medida que se calienta la superficie, aumenta la pérdida de calor.

Cuando el régimen de admisión de calor radiante es igualado por el de pérdida de calor, se alcanza una temperatura de equilibrio.

Cuando  $Q_i = Q_l$

es decir:  $I \times a = f \times \Delta t$

la temperatura de equilibrio es:

$$\Delta t = \frac{I \times a}{f}$$

En la que

$Q_i$  = Régimen de admisión de calor ( $W/m^2$ )

$Q_l$  = Régimen de pérdida de calor ( $W/m^2$ )

$I$  = intensidad incidente ( $W/m^2$ )

$a$  = coeficiente de absorción.

$f$  = coeficiente conectivo radiactivo ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )

$\Delta t$  = Aumento de la temperatura por encima de la ambiente.

El valor de  $f$  depende del material, de la textura superficial, de la velocidad del aire que pasa sobre la superficie y de la temperatura de las superficies opuestas al absorber (a cualquier distancia); por tanto, tiene en cuenta el desarrollo de procesos de transferencia de calor, tanto convectivos como radiantes. Más allá de la gama normal ( $0^\circ - 40^\circ C$ ) ya no es constante.

se puede asumir que:

$$f = 11 + 0.85 \times v \text{ (} W/m^2 \text{ } ^\circ C \text{)}$$

En la que  $v$  = Velocidad del aire (mts/sg)

En un tiempo dado, (por ejemplo, una hora), el aumento de temperatura puede comprobarse a partir de

$$H_i = H_l + H_g$$

en la que

$H_g$  = ganancia de calor (Wh)

$H_l$  = pérdida de calor (Wh) =  $Q_l \times h \times A$

$H_i$  = admisión de calor (Wh) =  $Q_i \times h \times A$

$h$  = número de horas

$A$  = área ( $m^2$ )

$W$  = Vatios

Pero

$$H_i = I \times a \times h \times A$$

$$H_i = f \times \Delta t \times h \times A$$

$$H_g = \Delta t \times C$$

En la que C = capacidad térmica del cuerpo (Wh/°C) (masa por calor específico, o volumen por calor específico volumétrico). Tomando una hora y un m², los términos h y A pueden ser omitidos y en consecuencia, sustituyéndolos, obtenemos.

$$\Delta t = \frac{I \times a}{f + C}$$

Si la superficie de la placa del absorbedor se cubre con una plancha de cristal (con un espacio de aire de 20-30 mm) se reduce mucho la pérdida de calor, sin gran reducción de la admisión de calor. Esto se debe a la transmitancia selectiva del cristal. Es muy transparente para radiaciones solares de onda corta, pero virtualmente opaco para radiaciones infrarrojas de longitudes de onda más larga, emitidas por la placa del absorbedor por debajo de 100 °C. La tapa de cristal también, reduce las pérdidas convectivas de la placa. Este es el muy conocido "efecto de invernadero". La figura muestra la emisión solar de 6000 °C, un espectro de emisión de 100 °C y la curva de transmisión espectral de un cristal de ventana normal (curva punteada).

El cristal provocará cierta reducción de la intensidad de la radiación sobre la placa del absorbedor, pero ésta es muy inferior al ahorro resultante en cuanto a pérdida de calor. La proporción transmitida se expresa por el coeficiente de transmisión. Este tiene un valor constante para la radiación difusa, pero para la radiación directa va en función del ángulo de incidencia.

Al calcular la intensidad de la radiación incidente sobre un plano inclinado deberán aplicarse los coeficientes de transmisión pertinentes a los componentes difusos y directos, antes de sumarlos.

Con una tapa de cristal, la pérdida de calor de la placa será casi exclusivamente convectiva - conductiva. En situaciones como esta se define el coeficiente total de pérdidas U, el cual puede considerarse como:

$$U = 5.00 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C para cristal simple y}$$

$$U = 2.70 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C para cristal doble.}$$

Para aplicaciones de baja temperatura el régimen de pérdida de calor puede considerarse como:

$$Q_i = U \times \Delta t$$

y la pérdida de calor total como

$$H_i = U \times \Delta t \times h \times A$$

Curvas de emisión a temperaturas solar y terrestre, en comparación con la curva de transmisión de cristal de ventana ordinario.

a 6000 C      vatios-h 100 C

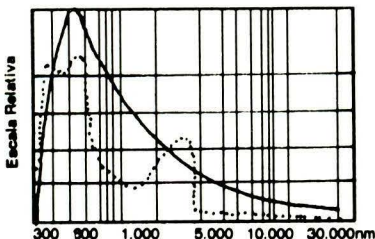



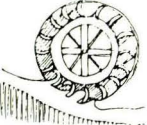


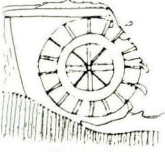





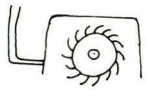

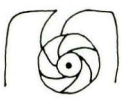

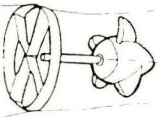



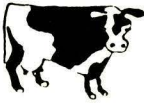
Tabla 2 = Coeficiente de transmisión.

	para difusa	para directa, si el ángulo de incidencia es						
		0°	20°	40°	50°	60°	70°	80°
<b>Simple</b>	0.70	0.08	0.80	0.79	0.77	0.72	0.60	0.38
<b>doble</b>	0.62	0.75	0.75	0.72	0.68	0.60	0.48	0.28



	Convertidor	Energía producida	Potencia Kilovatios	Eficiencia
<b>R U E D A S</b>	 Inferior	 Mecánica  Eléctrica	0.2	25 %
	 Poncelet	 Mecánica  Eléctrica	0.2	50 %
	 Superior	 Mecánica  Eléctrica	0.5	60 %
	 Intermedia	 Mecánica  Eléctrica	0.2	40 %
<b>M I C R O T U R B I N A S</b>	 Pelton	 Eléctrica	10 en adelante	80%
	 Michel - Banki	 Eléctrica	10 en adelante	80 %
	 Hélice	 Eléctrica	10 en adelante	80 %





Biomasa

---

## Convertidores

---

## Clases

---

Producen :

Biogas

### Gas combustible

El convertidor es un **BIO-DIGESTOR** que consiste en una cámara de digestión cerrada donde el material orgánico sufre la descomposición anaerobia y produce Biogas.

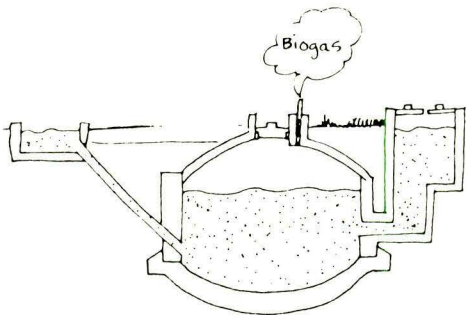
Los **BIODIGESTORES** pueden ser continuos o discontinuos.

---

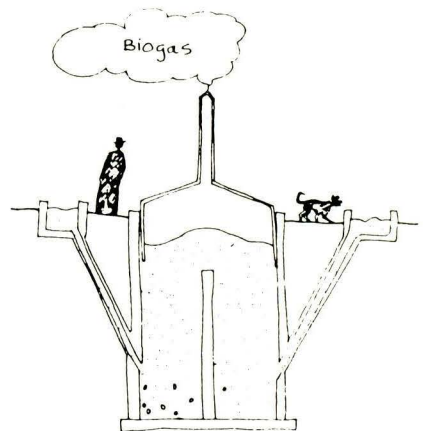
### **BIODIGESTORES CONTINUOS**

---

Los biodigestores continuos son aquellos en que se genera permanentemente Biogas.



CHINO



INDIO



Biomasa

## Convertidores

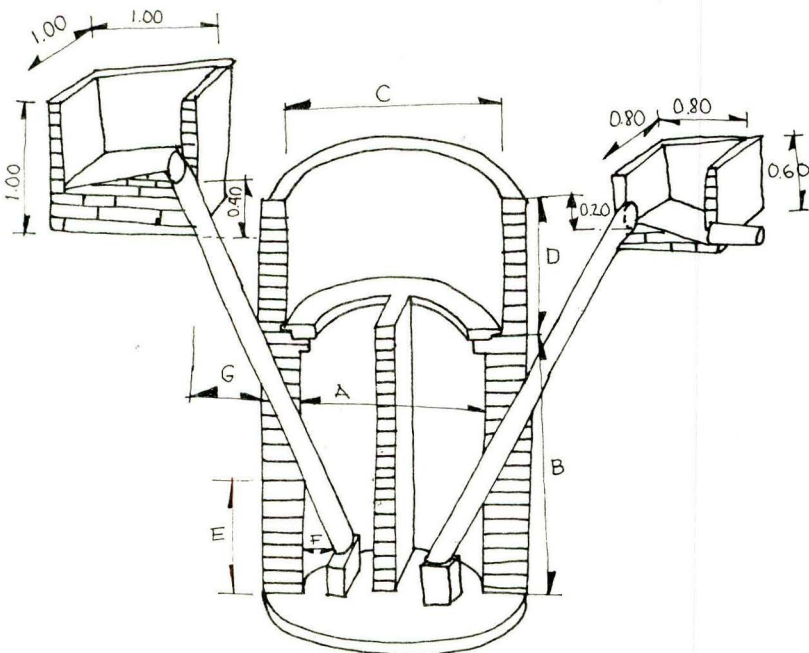
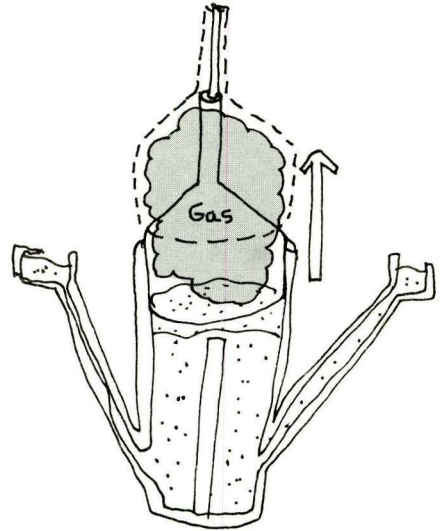
### Biodigestores

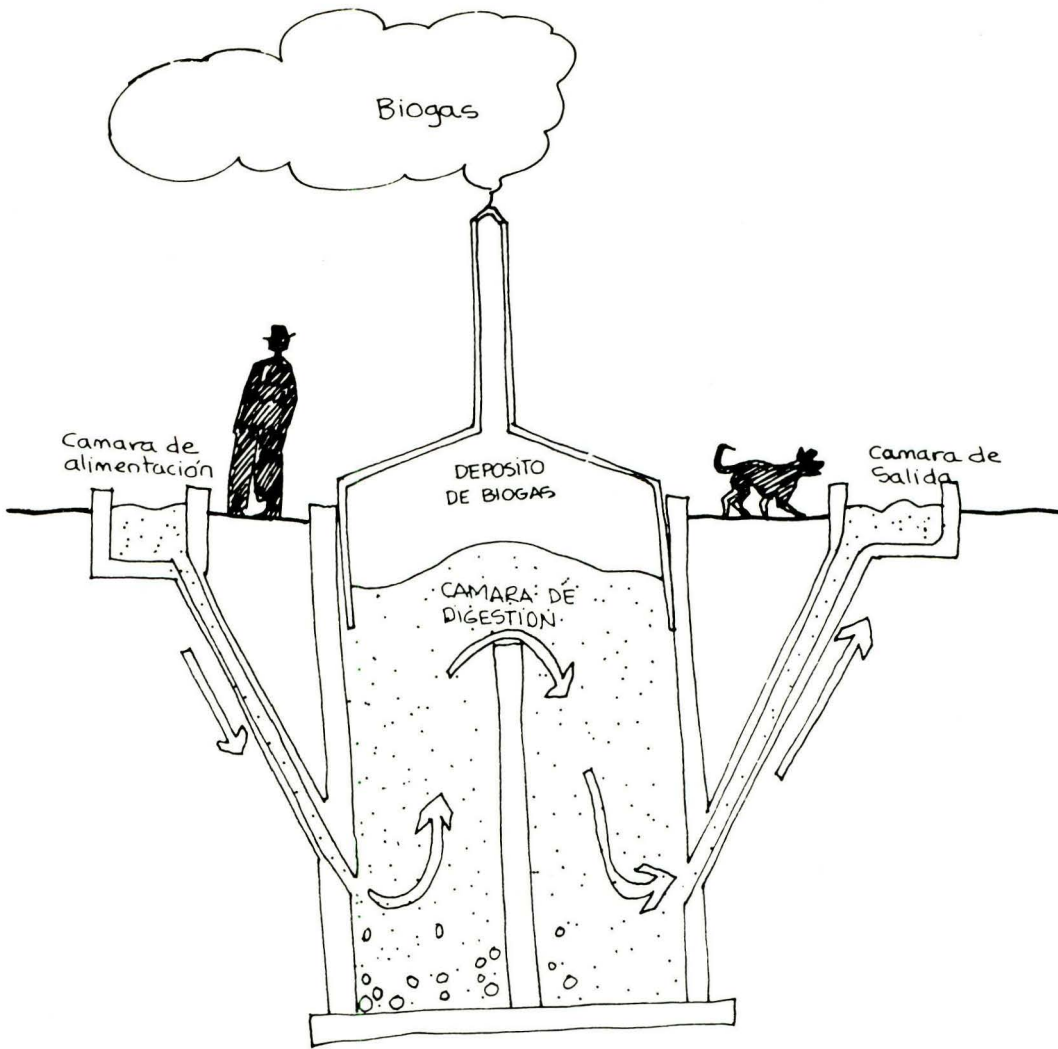
#### Depósito de Biogas

El depósito de Biogas es una campana flotante que sube y baja a través de unas guías, de esta manera se puede regular la presión del Biogas.

La campana generalmente es de hierro, pero por problemas de corrosión puede hacerse de concreto reforzado, fibra de vidrio o polietilenos de alta densidad.

El volumen de la campana es aproximadamente el 50% del total del gas a producir diariamente.





### **Biodigestor INDIO**

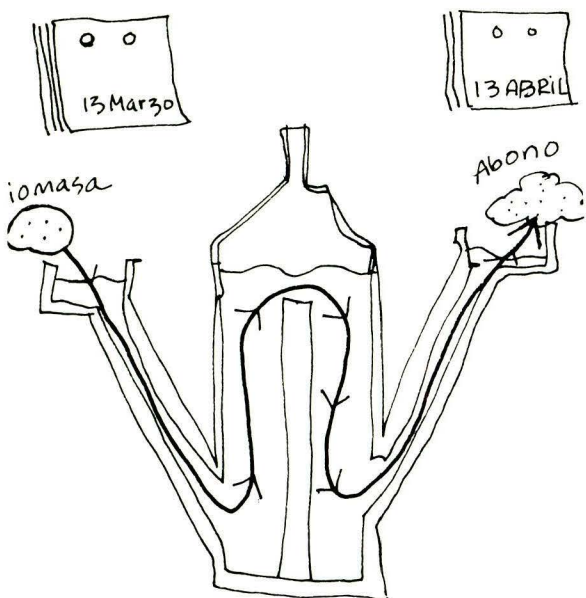
El biodigestor INDIO consiste en una cámara de digestión cerrada, construida debajo del nivel del suelo. Funciona como depósito del Biogas producido.

Se puede construir en concreto o mampostería, tiene en el centro una pared divisoria para que el material permanezca mayor tiempo en la cámara, antes de ser evacuado por la cámara de salida.

La alimentación debe ser diaria, preferiblemente constituida por estiércol fresco de cualquier especie disuelto en partes iguales de agua.

Este Biodigestor debe ser utilizado cuando se necesita de un abastecimiento continuo de Biogas y fertilizante.

El biodigestor Indio es el único que tiene un depósito de Biogas interior.



### Volumen de carga orgánica

La carga óptima varía de acuerdo a parámetros como el diseño del digester, la clase de desecho y la temperatura. ( ver capítulo predimensionamiento )

### Mezcla para la alimentación

Es la relación volumétrica entre los desechos y el agua que se les agrega antes de ingresarlos al biodigestor.

Cuando se trabaja con estiércol de bovino **fresco** se puede alimentar con partes iguales de agua y estiércol.

En biodigestores discontinuos la concentración de sólidos puede llegar a 25 partes de sólidos por 100 partes de líquido.

### Agitado de la mezcla

Se aconseja agitar diariamente la mezcla para mantener el material pesado distribuido por todo el sistema.

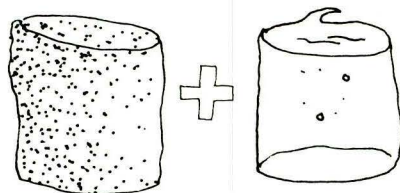
### Tiempo de retención

Es el período que se requiere para la digestión total de la carga.

Para un biodigestor de 10 M<sup>3</sup> a 35° el tiempo de retención es de 30 días.

Para un biodigestor de 10 M<sup>3</sup> a 25° el tiempo de retención es de 40 días.

Trabajando con estiércol de bovino fresco.



1 Estiercol fresco + 1 AGUA

1 Estiercol seco + 6 AGUA





Biomasa

---

## Convertidores

### Recomendaciones para el funcionamiento

---

PELIGRO



NO FUME !

Biodigestor  
en  
funcionamiento

---

### **CUIDADOS MINIMOS**

---

El manejo del Biogas exige una serie de precauciones, por ser un gas explosivo e inflamable. Los sitios de almacenamiento del Biogas no deben estar en ambientes cerrados.

El registro general de salida de Biogas, debe abrirse únicamente en el momento de utilizarlo.

Es importante mantener siempre una presión positiva en el depósito del Biogas, que puede ser controlada utilizando un medidor de presión de columna de agua.

---

### **MANTENIMIENTO**

---

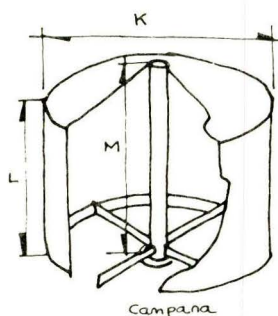
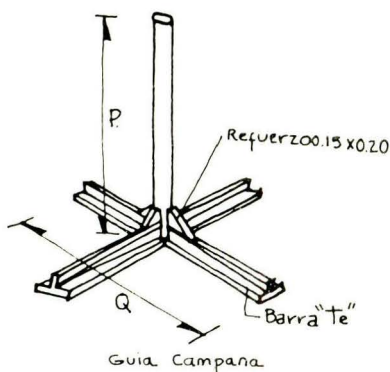
Cuando el Biodigestor se construye y opera correctamente, prácticamente no necesita mantenimiento. En estas condiciones el Biodigestor debe ser desocupado por lo menos una vez al año para ser revisado.

En caso que la cámara de digestión presente alguna fisura debe ser sellada para evitar la fuga de Biogas.

Se debe limpiar el fondo de la cámara de digestión donde se acumulan materiales no digeridos.

Si la campana es metálica, es necesario hacerle mantenimiento preventivo contra la corrosión.

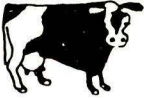
Los ductos de entrada y salida de materia, se deben limpiar periódicamente.



**Tabla - Medidas Variables del Biodigestor**

Descripcion		Para un Biodigestor de 4 m <sup>3</sup>	Para un Biodigestor de 10 m <sup>3</sup>
Foso	Largo	1.80	2.75
	Hondo	3.50	3.75
<b>Camara de Digestión</b>			
A- Ancho entre muro doble		1.80	2.75
B- Altura muro doble		3.50	1.40
La altura del muro divisorio es la misma y se construye al mismo tiempo.			
C- Ancho de los muros sencillos.		1.80	0.40
D - Altura de los muros sencillos		1.20	1.40
E - Altura del tubo de alimentación y de salida de desechos.		1.80	2.70
F- Distancia entre el pilar y el muro.		0.30	0.40
G - Distancia entre las cajas y el biodigestor.		0.50 - 0.80	0.50 - 0.80
<b>Campana</b>			
K - Ancho		1.70	2.60
L - Altura		1.00	1.20
M - Altura en el centro		1.15	1.40
<b>Guía - Campana</b>			
P- Altura		1.50	1.70
Q- Ancho (Diámetro)		2.20	3.20

Dimensiones en metros.



Biomasa

## Convertidores

### Recomendaciones

#### para el funcionamiento

En la operación de biodigestores se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

#### Temperatura

la temperatura interior en el biodigestor debe ser de 30° a 38° Centígrados siendo la óptima 35° C.

Cuando la temperatura aumenta el proceso de digestión es más rápido, además los biodigestores pueden funcionar con temperaturas entre 54° y 60° C.

A temperaturas bajas, por debajo de 30° C. la reacción se retarda hasta detenerse a los 10° C, por esto se recomienda calentar el biodigestor con una tubería de agua instalada al rededor de la cámara. El agua se puede calentar utilizando una parte de el Biogas o por medio de otra fuente de energía como los colectores solares.

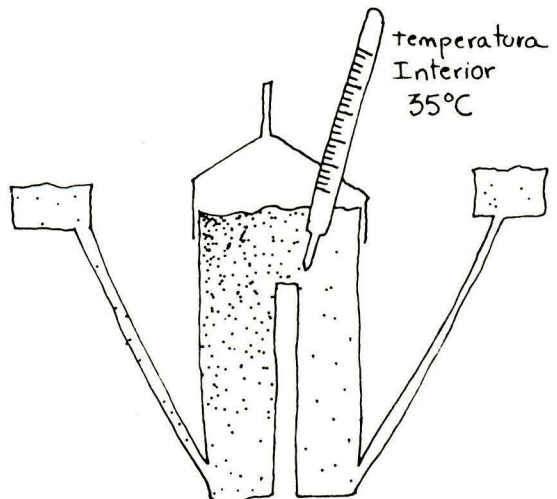
#### PH

Es la cantidad de ácido o base presente en la mezcla interior del digestor.

Los digestores operan con un pH que varía entre 6,0 y 8,0 teniendo como óptimo el pH entre 7,0 y 7,2.

Cuando el pH tiende a ser muy ácido, por debajo de 6,0 la digestión se detiene.

El pH al interior del digestor debe ser controlado por lo menos una vez por semana por medio de un papel de tornasol.





## **BIOFERTILIZANTE.**

Después de producido el Biogas, el Biodigestor proporciona un residuo que se puede utilizar como fertilizante.

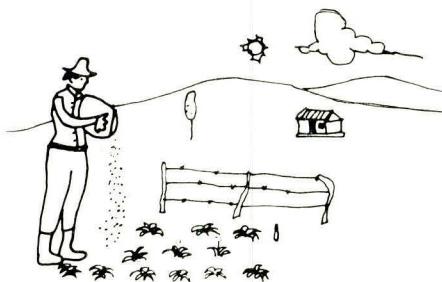
Se compone básicamente de:

- Nitrógeno 1,5 a 2,0 %
- Fósforo 1,0 a 1,5 %
- Potasio 0,5 a 1,0 %

Puede usarse en forma líquida, o dejarse decantar para almacenarlo en forma sólida y aplicarlo después.

Su aplicación no debe ser indiscriminada, es importante analizarlo para verificar que sus componentes sean los indicados.

El fertilizante seco, es un producto rico en calorías y puede ser mezclado en pequeñas proporciones con alimento para peces.



El fertilizante, producto de la degradación de desechos humanos debe manejarse cuidadosamente, por que puede llevar bacterias nocivas, causando enfermedades al hombre y a los cultivos.





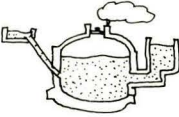
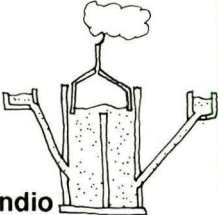




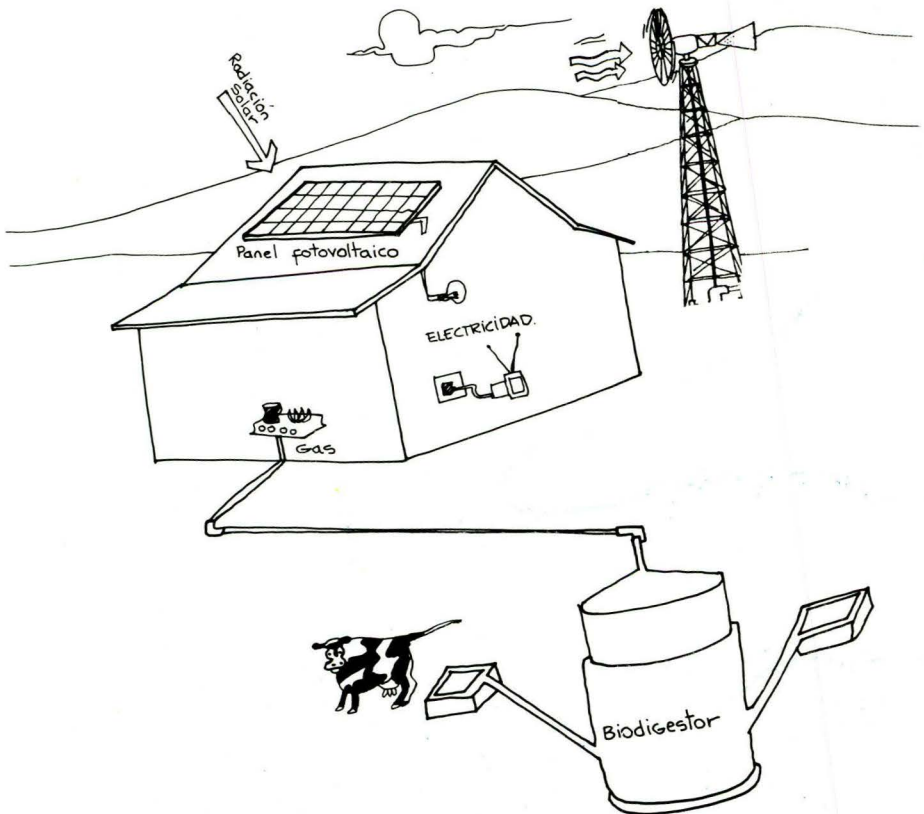
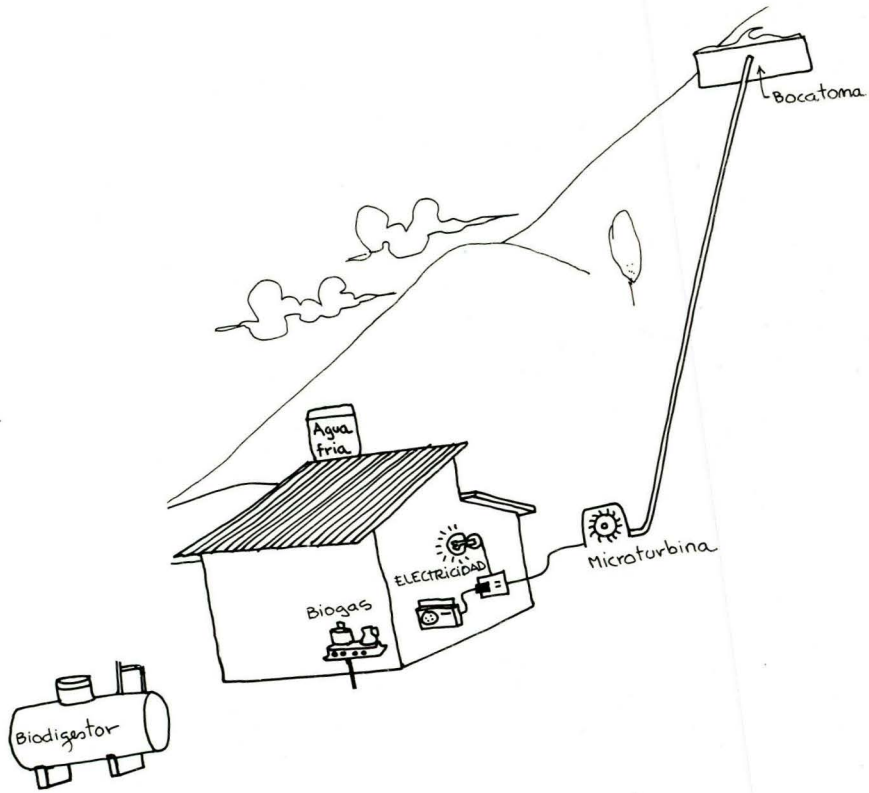
*Biomasa*

## *Convertidores*

### *Guía para la selección*

Seleccione el Biodigestor que se ajuste a sus necesidades de producción de biogas y a su presupuesto.

Tipo de Convertidor	% de eficiencia Utilizando la misma calidad de desecho para alimentar el Biodigestor	Producción de Biogas	Almacenamiento de Biogas
 Chino	83%	Continua	Fuera del Biodigestor
 Indio	100%	Continua	Dentro del Biodigestor
 Plástico	23%	Discontinua	Fuera del Biodigestor
 Cochada	33%	Discontinua	Fuera del Biodigestor



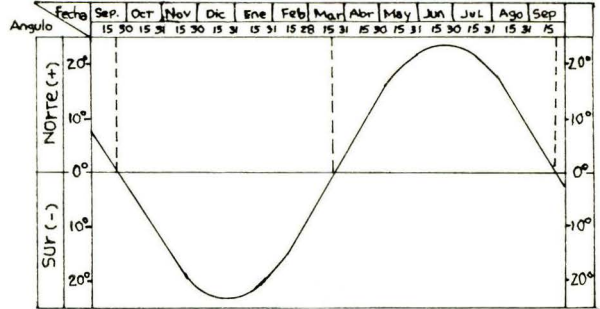
*Predimensionamiento  
de Convertidores* 4

## Energía solar

### Predimensionamiento

Tomado de SV SZOKOLAY  
ENERGIA SOLAR Y EDIFICACION

## Colector de placa plana



### RADIACION SOLAR

Si no hay disponibles datos de radiación, pero se registran las horas de sol, uno puede estimar la radiación diaria total utilizando la expresión dada por Glover y McCulloch:

$$Q = Q_{sc} (0.29 * x \cos \varnothing + 0.52 * \frac{n}{N})$$

en la que

$Q$  = radiación diaria total sobre un plano horizontal (Wattios-h/m<sup>2</sup> día)

$Q_{sc}$  = "constante solar" por día.

$\varnothing$  = latitud geográfica

$N$  = posibles horas de sol por día

$n$  = reales horas de sol por día

\* Ometto sugiere el uso de las constantes 0.26 y 0.51 respectivamente.

### RADIACION INCIDENTE

La posición del sol en la fecha y hora en cuestión se considera en términos de ángulo de altitud ( $\gamma$ ) y ángulo acimut ( $\alpha$ ) midiéndose el último desde el norte.

Pueden calcularse mediante las dos ecuaciones astronómicas:

$$\text{sen } \gamma = \text{sen } d \times \text{sen } \varnothing \cos d \times \cos \varnothing \times \cos t$$

$$\text{sen } \alpha \times \cos \gamma = \cos d \times \text{sen } t$$

en las que

$d$  = declinación (Variando de 0° en los equinoccios a + 23.5° el 21 de junio y -23.5° el 21 de diciembre).

$\varnothing$  = latitud geográfica

$t$  = ángulo horario (15° por cada hora)

Primero se halla la intensidad directa sobre un plano normal y la dirección de radiación

$$I_{hr} = \frac{I_{hr}}{\cos(90 - \gamma)} = \frac{I_{hr}}{\text{Sen } \gamma}$$

El ángulo de incidencia ( $\beta$ ) sobre el plano inclinado en particular puede hallarse a partir de :

$$\cos \beta = \text{sen } \gamma \times \cos \psi + \cos(\omega - \alpha) \times \cos \gamma \times \text{sen } \psi$$



Algunos autores sugieren que cuando el valor  $\Delta t$  excede de  $20^\circ \text{C}$ , sería más exacto utilizar una relación no lineal

$$QI = c \times \Delta t^{0.25}$$

en la que

$c = 2.38 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  para cristal simple y

$c = 1.70 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  para cristal doble

### COLECTORES DE PLACA PLANA:

Si se hace circular un fluido térmico (por ejemplo, agua o aire) como medio portante en contacto térmico con la placa de absorción, se calentará y por lo tanto se eliminará parte del calor absorbido por la placa. La temperatura de la placa, por lo tanto, caerá por debajo de la temperatura de equilibrio arriba calculada y esto reducirá la pérdida de calor.

La ecuación del aumento de la temperatura continúa siendo válida, pero el término de capacidad térmica (C) debería incluir la cantidad de agua que pasa por el panel en el tiempo en cuestión, en lugar de la cantidad contenida en el mismo.

Lo que se expone más arriba es válido para la condición inicial. En funcionamiento normal, debemos distinguir dos diferencias de temperatura:

1. Para ganancia efectiva:

$$\Delta t = t_f - t_r$$

en la que

$t_f$  = temperatura de flujo de la placa

$t_r$  = temperatura de regreso a la placa.

Es decir, el aumento de temperatura del agua en la placa de "retorno" a "flujo".

2. Para la pérdida de calor:

$$\Delta t = \frac{t_r + t_f}{2} - t_o$$

Es decir, la temperatura media de la placa, menos la temperatura del aire exterior.

Podemos sustituir en la ecuación:

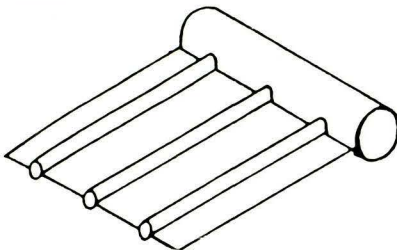
$$H_g = H_i - H_l$$

los siguientes valores:

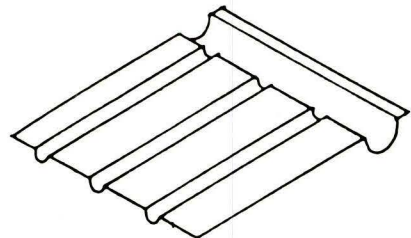
$$H_g = \Delta t \times C = (t_f - t_r) \times C$$

ya que no hay cambio en la temperatura de la placa, sólo hay que considerar la capacidad térmica del agua que pasa por ella. Si se calcula para una hora:

$$C = F \times s$$



Tubos soldados a un tubo colector mayor



Plancha inferior prensada, inclusive colector + plancha superior plana

En la que

**F** = régimen de flujo (litros/h)

**s** = calor específico volumétrico del agua = 1.16 Wh/l°C

Admisión de calor:  $H_i = I \times A \times \varnothing \times a$

en la que

**I** = intensidad incidente ( $W/m^2 = wh/m^2 h$ )

**A** = área de la placa ( $m^2$ )

$\varnothing$  = coeficiente de transmisión del cristal

**a** = coeficiente de absorción de la placa

pérdida de calor:

$$H_l = A \times U \times \Delta t = A \times U \left( x \frac{tr + tf}{2} - t_o \right)$$

Y así obtendremos:

$$C(tf - tr) = I \times A \times \varnothing \times a \left( A \times U \times \frac{tr + tf}{2} - t_o \right)$$

Si todos los demás valores son desconocidos, podemos determinar  $tf$  reestructurando la ecuación

$$tf = \frac{1A\varnothing a + tr \left( C - \frac{AU}{2} \right) + AU t_o}{C + \frac{AU}{2}}$$

Este valor puede ser sustituido en la expresión de ganancia de calor anterior para obtener la cantidad de captación útil.

La placa de absorción misma puede ser cualquier lámina metálica con canales de agua. Hay en el mercado muchos productos de acero, cobre y aluminio que podrían ser apropiados.

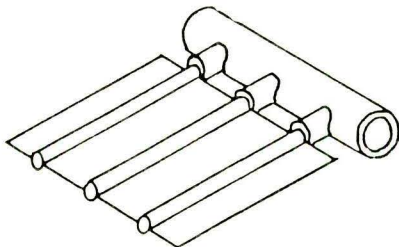
Los canales de agua deben conectarse por la parte superior e inferior a algún tipo de colector o distribuidor.

También, es posible emplear absorbedores no metálicos, pero su perfil será necesariamente diferente, dado que la conductividad térmica de los plásticos y la goma es muy inferior a la de los metales. El acabado superficial de la placa de absorción puede ser una pintura en negro mate, como por ejemplo "negro pizarra", con un imprimador anticorrosivo apropiado, debería ser del tipo de auto-ataque químico. Sin esto, la expansión y contracción térmica repetida de la placa, puede hacer que la pintura se pele después de un año más o menos.

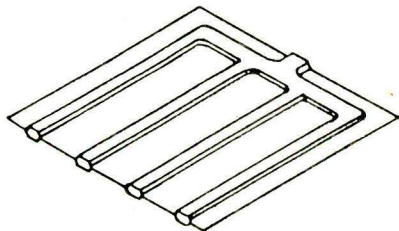
Disposición de colectores



Tubos de plástico negro estrechamente espaciados



Tubos conectados a colector de caucho



Panel de aluminio chapado por laminación

### **VOLUMEN DEL DIGESTOR**

El volumen del tanque corresponde al volumen que los lodos ocuparían excluyendo el volumen de biogas producido en el proceso.

$$V = Q \times \text{TRH}$$

### **LODOS DIGERIDOS**

Terminada la digestión, los lodos digeridos contienen entre 2 a 12% de sólidos. Ellos están constituidos básicamente por material orgánico no digerido, bacterias y cenizas. Para la utilización de los lodos, puede separarse la fase sólida ó utilizar la mezcla directamente. Dependiendo de la concentración de nutrientes en los lodos, ellos pueden ser utilizados como fertilizantes ó como acondicionadores de suelo. Los lodos deben sacarse del biodigestor periódicamente para evitar la pérdida de volumen efectivo.

### **CAMPANA**

Normalmente corresponde de 0.3 a 0.5 del volumen del tanque ó a la mitad del biogas que se produce diariamente.

### **TANQUE DE ALIMENTACION**

El volumen debe ser igual al volumen diario de alimentación y debe contar con un suministro de agua cercano para hacer la mezcla.

### **TANQUE DE REBOSO**

Debe tener un volumen tres veces mayor que el tanque de alimentación, con una profundidad máxima de 1.5m.

---

**Tabla 3**

<b>Temperatura (°F)</b>	<b>K</b>	<b>Kc</b>
59	3.37	18500
68	3.39	10400
77	4.73	6450
86	5.60	3800
95	6.67	2235

---



---

## **BIBLIOGRAFIA**

---

- S.V. Szokolay. ENERGIA SOLAR Y EDIFICACION. Editorial Blume. Milanesado, 12-23. Barcelona -17. 195 pág.
- Luis Orlando Castro. COLECTOR DE PLACA PLANA, SENA - FIC. Bogotá - Colombia 1987.
- Rene Calderón Gómez. Luis Samir Ramírez Nava. CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN DESALINIZADOR SOLAR CON DESTINO A LA GUAJIRA. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica, Bogotá, 1988. 125 Pág.
- José A. Manrique Harla. ENERGÍASOLAR, México 1984, 255 Pág.
- Daniel Hunt. WIND POWER A. handbook on wind energy conversión Systems V. Van NOSTRAND REINHOLD COMPANY .1981.
- Jack Park, THE WIND POWER BOOK. Cheshire Books, Palo Alto, California.1981.
- E.H. Lysem. INTRODUCCION TO WIND ENERGY. CWD. Consultancy sevice wind energy developing. Countries. 1983.
- Camilo Ivan Prieto M. MAPA DE VIENTOS DE COLOMBIA. Universidad Nacional de Colombia. 1985
- OLADE, AEROGENERACION DE ENERGIA, documento no. 23, Quito, Ecuador 1981.195 Pág.
- THE POWER GUIDE PETER FRAENKEL INTERMEDIATE TECHNOLOGY PUBLICATION, London, 1979. 240 Pág.
- Richard L. Crowther AIA, Charles Scribner's Sons. SUN EARTH, New York, 1977. 227 Pág.
- Miguel Vega, Mauricio González, Luis Fernando Molina. FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE MOLINOS DE VIENTO. Sena. Universidad Nacional. Bogotá, 1989. 46 Pág.
- Revista Universidad Nacional de Colombia, INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN, Facultad de ingeniería- 4 trimestre -1985. Bogotá.
- Mc. Guigan. SMALL SCALE WATER POWER DERMONT , Prims Press, Great Britain, 1980. 36 Pág.
- Oswaldo Mazzucchi. BIODIGESTOR RURAL, , Cesp, Sao Paulo, 1980. 29 Pág.
- Julio Mario Rodríguez D. INGENIERIA E INVESTIGACION. Biodigestor: Una aproximación. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá 1982. 84 pág.
- Gunnerson, C.G. y Stuckey, D.C. INTEGRATED RESOURCE RECOVERRY. ANAEROBIC DIGESTION PRINCIPLES AND PRACTICES FOR BIOGAS SYSTEMS. World Bank Technical Paper Number 49
- Leckie, J.: Witehouse, H. y Young, L. OTHER HOMES AN GARBAGE: DESUGNS FOR SELF - SUFFICIENT LIVING . Sierra Club books, San Francisco, California. 1975.
- V.I.T.A. Metane Digesters: An Introduction; V.I.T.A. Documenttation Service. Fotocopias.
- National Academy of Sciences (N.A.S.) 1977. Methane Generation from Human, Animal, and Agricultural Wastes, Washington D.C.
- Barnett, A.; Pyle, L. y Subramanian, S.K. Biogas Techology in the Third World: A Multidisciplinary Riview, International Development Research Centre, Ottawa, Canada. 1978.
- Irene Sevry. MIS PRIMEROS CONOCIMIENTOS DE LA TIERRA O. Grotier Incorporated. Publish New York 1961. 206 Pág.
- Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). I CURSO SOBRE ENERGIA RENOVABLE Fundación Ecuatoriana de Tecnología apropiada Quito, Ecuador -1985
- Enciclopedia práctica. ELECTRICIDAD Y ENERGÍA. Fascículo Número 2. Edissa limitada Bogotá.
- Enciclopedia del estudiante. SALVAT, España. 1988. 12 Volúmenes.
- Enciclopedia de las ciencias naturales "ECOLOGÍA" Nauta, Barcelona, 1984. 300 Pág.
- Enciclopedia Salvat de la Técnica. COMO FUNCIONA. Barcelona 1984 300 Pág.



