

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



APROVECHAMIENTO DE LA ENERGIA

SOLAR Y BIOMASA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A

CARLOS HERNANDEZ MADARIAGA

MEXICO, D. F.

1981



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
ARGENTINA

Al Pasante señor CARLOS HERNANDEZ MADARIAGA,  
P r e s e n t e .

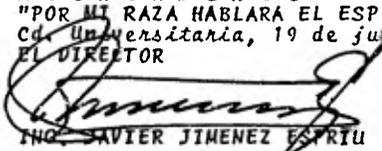
En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Ernesto Murguía Vaca, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniería CIVIL.

"APROVECHAMIENTO DE LA ENERGIA SOLAR Y DE BIOMASA"

- I. Introducción.
- II. Alternativas de energía. Efecto de invernadero.
- III. Energía solar. Incidente. Solonimetría.
- IV. Energía de la biomasa. Digestores de desechos orgánicos. Factores que gobiernan el proceso. Características y utilización del Biogas. Fertilizantes. El Biogas como alternativa energética. Zonas rurales.
- V. Conclusiones y recomendaciones.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, 19 de junio de 1981  
EL DIRECTOR



ING. JAVIER JIMENEZ ESPRIU

JJE/OBLH/ser

# I N D I C E

- I. INTRODUCCION
  - II. ALTERNATIVA DE ENERGIA  
Efecto de invernadero  
Fenomeno Solar y Teoría Básica del Calor
  - III. ENERGIA SOLAR INCIDENTE  
Solarimetría  
Fuente de energía térmica  
Desarrollo y Estado de la Técnica  
Energía Radiante del Sol
  - IV. ENERGIA DE LA BIOMASA  
Digestores de Desechos Orgánicos  
Factores que Gobiernan el Proceso  
Características y Utilización del Biogas  
Fertilizantes.  
El Biogas como alternativa energética  
Zona Rural
  - V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- BIBLIOGRAFIA

## I. INTRODUCCIÓN

Uno de los mayores problemas que nos angustia cada día, es sin lugar a duda la escasez de alimentos, energéticos y lo que en consecuencia atrae la contaminación.

La contaminación de nuestro planeta, es uno de los aspectos más negativos de la problemática del hombre moderno.

Todos los combustibles fósiles contaminan, la energía se encuentra en torno a nosotros por todas partes y se manifiesta de muchas maneras diferentes: calor, luz, sonido, magnetismo y gravedad.

El sol es antes que nada la mayor fuente de energía, la energía -- solar que se descarga es tan solo una parte de la que se recupera en el trayecto del sol a la tierra.

Es irónico que a pesar de la abundancia de energía con que nos ha dotado la naturaleza tengamos tanta escasez del bien esencial.

Pero podemos decir que no falta energía, ya que siempre ha estado con nosotros, lo que hace falta son los conocimientos para aprovecharla.

Los combustibles fósiles, tal y como los hemos estado utilizando -- hasta ahora, resultan muy ineficientes; sin embargo, a pesar de -- los muchos problemas inherentes a su uso, hemos llegado a depender de los combustibles fósiles en el curso de varias décadas porque -- hemos encontrado métodos para obtenerlos y utilizarlos con facilidad y a bajo costo.

En curso de los últimos 50 años, el uso de la energía en todas -- sus formas se está duplicando cada 15 años, mientras que el consu -- mo de energía solo de combustibles fósiles se duplica cada 10 - - años.

Estamos quemando en unas décadas lo que la naturaleza necesita mi -- llones de años para producir.

La energía la podemos obtener en varias formas una de las suales -- son: la energía solar, biomasa, hidráulica, eólica, la geotérmica, el oleaje, las mareas. Estas fuentes de energía no contaminan.

Las nuevas fuentes de energía, las llamadas fuentes nuevas de -- energía (algunas de ellas son las más antiguas) comprenden una va -- riedad de conceptos que tienen como común denominador el desarro -- llo tecnológico aún para suministrar energía económica, en la for -- ma intensiva que lo demanda un país con industria. En esta situa -- ción se encuentra la energía solar, la biomasa, la eólica, la de -- las mareas, la energía térmica, de los océanos, de las olas, etc.

La energía geotérmica se refiere a aquella energía prominente del -- subsuelo, que en el estado actual de nuestros conocimientos y a ra -- mas tecnológicas es posible aprovechar. En México se inició hace -- dos décadas el estudio de los campos geotérmicos existen en miras -- a su utilización con un gran impulso en los últimos años que cul -- minaron con la construcción de una planta de 75 MW en Cerro Prie -- to, B.C.

Esta energía geotérmica se encuentra almacenada en forma de vapor -- de agua a diferentes profundidades en estratos confinados en don --

de a través de los siglos ha adquirido elevadas temperaturas y -- presiones en equilibrio con el sistema que lo rodea. Cuando esta energía encuentra manera de salir a la superficie se manifiesta -- en forma de fuentes termales, escapes de vapor, fumarolas, volca-- nes de lava, lagunas etc. y es precisamente la existencia de esta manifestación lo que a la fecha sirve para enfocar la exploración en busca de un campo geotérmico.

El calentamiento del agua en el subsuelo de acuerdo con una de -- las teorías más aceptadas y aprobadas por los geofísicos y geo-- físicos que a la fecha se han realizado, es producido por conduc-- ción de calor y gases magmáticos que escapan por las fallas o fi-- suras originadas por movimientos terrestres y se ponen en contac-- to con reservorios de agua confinados, los cuales a través del -- tiempo y por corrientes de convección elevan gradualmente su tem-- peratura.

La energía hidráulica es aquella que libera el agua al fluir de -- lugares altos a lugares bajos, gran parte de nuestro país se en-- cuentra a una altura muy elevada con respecto a nivel del mar. En la altiplanicie, sin embargo muy pocos ríos atraviesan pequeño, -- tanto es así que el mayor potencial se encuentra en el sureste y no en los bordes de la altiplanicie, como debía de esperarse.

Durante mucho tiempo la industria eléctrica basó su desarrollo en la hidroeléctrica y el petróleo, en partes aproximadamente igua-- les. Durante los últimos años a medida que se agotan los sitios -- más económicos para instalar presas hidroeléctricas, a venido per-- mitiendo terreno ante los hidrocarburos.

Energía Eólica. Por siglos, el viento a sido aprovechado como - - fuente de energía, junto con la energía hidráulica, fué en muchos países del mundo la fuente mas importante de energía mecánica cuyos principales usos fueron transporte marítimo, bombeo de agua, molienda de granos. A fines del siglo pasado se desarrolló el uso para generar energía eléctrica y llegó a tener relativa importancia en algunos países, sobre todo para aplicaciones a pequeña escala. Sin embargo, se le desplazó por la tecnología de generación en grandes centrales alimentadas con combustibles fósiles o energía hidráulica. En México el uso de la energía eólica se limitó - a aerobomba mecánica de fabricación comercial en localidades rurales en el norte del país y la península de Yucatán.

La energía eólica es originada por la diferencia de temperatura - en la atmósfera que provoca la radiación solar. Esto da lugar a - una diferencia de presión lo que acumula energía potencial que es liberada como energía cinética en el viento. La extracción de la energía del viento se efectúa por medio de sistemas aerodinámicos. Conversiones que transforman la energía cinética del aire en energía mecánica de rotación. Esto puede utilizarse directamente o -- convertirse a otras formas de energía por ejemplo, eléctrica mediante un generador.

El problema importante en el cual incurrimos al aprovechar la energía del viento deriva de su irregularidad e intermitencia.

Energía de la Biomasa.- Una parte de la energía que incide sobre - la tierra queda almacenada en las plantas por medio de la fotosíntesis. Esta energía es convertida en energía química, al transfor

mar sustancias inorgánicas, agua y bióxido de carbono en carbohidratos orgánicos es almacenada después en tejidos vegetales. A -- partir de la mitad del siglo pasado, la biomasa particularmente -- la leña y el carbón vegetal constituyeron en muchos países la -- principal fuente de energía antes de la utilización masiva del -- carbón mineral en procesos industriales.

Recientemente se ha comenzado a prestar atención a los digestores de metano como fuentes de gas combustible y fertilizante. Es in-- concebible la falta de conciencia que existe en alguno de los sec tores de la población urbana, que considera que el agua es un re-- curso inagotable con el consiguiente desperdicio de esta posición. De toda el agua que cubre nuestro planeta se estiman los siguientes porcentajes:

Agua de océanos.....	97.2%
Agua dulce en casquetes polares o en nieve .....	2.15%
Agua dulce en ríos, lagos, manantiales.....	0.63%
Agua en la atmósfera .....	0.02%

Por lo que corresponde a México por precipitación pluvial, solo -- el 50% son susceptibles de ser utilizadas pues un 25% aproximada-- mente se pierde en escurrimientos superficiales y los otros 25% -- son aguas subterráneas.

La contaminación: durante miles de años el hombre no se ocupó de hablar de contaminación, simplemente la causó.

La contaminación es uno de los aspectos de la falta de respeto -- del hombre por los equilibrios naturales y del despilfarro de los

recursos naturales que exigen los modelos económicos actualmente vigentes en la mayor parte de los países; es la presencia de un determinado medio, de algo que lo hace inadecuado para el uso al cual se destinaba o sea una alteración de las propiedades del medio.

La contaminación puede ser; orgánica, química, radiactiva, térmica, etc. según la naturaleza de la alteración.

## II ALTERNATIVA DE ENERGIA

Hay posibilidades concretas de la aplicación de la tecnología solar para la destilación de agua, el calentamiento de agua, el secado, la cocina, el refrigerador y la climatización y la conversión de radiación solar en energía mecánica y eléctrica, básicamente lo que se necesita es elaborar un programa de investigación aplicado y desarrollado técnico y mas adelante de actividades de difusión en la esfera de la tecnología solar, haciendo incapié en la transferencia de tecnología desde los países industrializados, la promoción nacional de las capacidades de investigación y desarrollo técnico y la cooperación de países en desarrollo en el campo de la tecnología solar, de esta tecnología datan de siglos solo recientemente se ha empezado a prestar atención especial a los países industrializados y en los países en desarrollo.

El análisis económico de la tecnología solar y de equipo pertinente exige un planteamiento y enfoque diferente. Es cierto que el costo del equipo solar es superior al de productos tradicionales similares pero en cambio su costo de funcionamiento es mucho mas bajo.

Los principales problemas con que se tropieza en el desarrollo de la tecnología solar y el diseño y fabricación de los dispositivos son:

- a) Se trata de una tecnología nueva y los conocimientos están en etapa de experimentación.
- b) El equipo de los dispositivos solares no son todavía fáciles

de obtener comercialmente y en gran escala.

- c) El costo inicial del equipo es alto, debido probablemente a que las técnicas son en su mayoría de carácter experimental y no es posible obtener economías.

Se necesita una evaluación de rendimiento in situ en los países en desarrollo interesados y más adelante actividades de promoción de las inversiones además, tanto en países en desarrollo como en países industrializados hay varias instituciones que se han dedicado a la investigación aplicada, han desarrollado conceptos tecnológicos -- bien fundados y los han ensayado y transformado luego en prototipos de fabricación, prestando particular atención a las necesidades de los países en desarrollo.

La Historia enseña ya hace mucho tiempo que se viene aprovechando la energía solar pero hasta el siglo pasado aparecieron el equipo de envergadura de las calderas con espejos máquinas de vapor, máquinas de aire, y cocinas. El intenso desarrollo de máquinas térmicas y -- eléctricas y la gran baratura de energía.

En estos momentos en que el costo de la energía esta alcanzando un nivel normal y cada vez es menos frecuente descubren nuevos recursos petroleros, los países industrializados están poniendo en marcha grandes programas de investigación de la energía solar, debemos participar más en esas investigaciones y considerar cuáles son los beneficios que nos proporciona.

Algunos métodos de aprovechamiento de la energía solar, han llega--

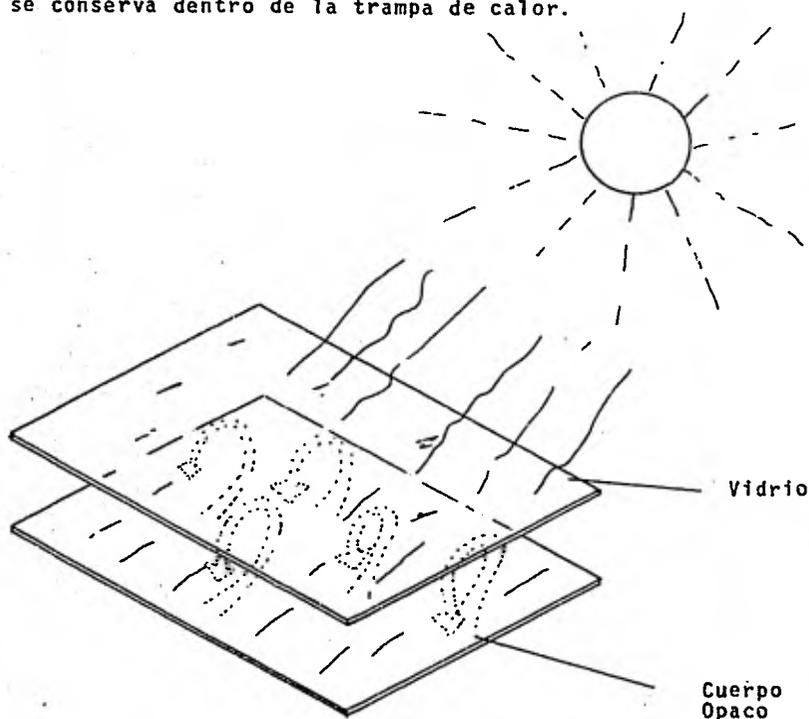
do a una fase de desarrollo en la que se pueden competir en el terreno económico con métodos de aprovechamiento de fuentes tradicionales de energía. Como en los países en desarrollo suelen encontrarse en regiones soleadas, son los primeros interesados en desarrollar técnicas de aprovechamiento de la energía solar, que es gratuita, inagotable omnipresente (no plantea problemas de transporte ni distribución) y no contamina el medio ambiente, se puede convertir en energía mecánica, eléctrica o química para utilizarla en diversas esferas como la producción de electricidad, la desalación de agua, el riego la conservación de alimentos por refrigeración, el secado de productos de pesca, el de frutas y verduras y la calefacción y climatización de viviendas.

El presente estudio tiene por objeto exponer como han evolucionado la investigación en el terreno de la energía solar y el aprovechamiento de ésta desde el punto de vista técnico pretende principalmente poner de relieve los principales asuntos relacionados con el aprovechamiento de la energía solar, en países en desarrollo y pretende que esta tesis sirva a mis compañeros como un libro en el cual se despierte la inquietud por conocer más sobre la energía.

Este trabajo no es un manual ni un estudio extenso y detallado de todos los aspectos relacionados con el aprovechamiento de la energía solar.

### EL EFECTO DE INVERNADERO

Las radiaciones de onda corta penetran el cristal y calientan la superficie debajo de él. Las radiaciones térmicas de onda larga que se generan quedan absorvidas por el cristal, y parte de este calor se conserva dentro de la trampa de calor.



## FENOMENO SOLAR Y TEORIA BASICA DEL CALOR

La mayor parte de energía que llega del sol consiste en luz visible y rayos infrarrojos.

Estas dos formas de radiación son similares, diferentes solo por su longitud de onda.

Una porción de esta radiación es absorbida y transformada en una cantidad equivalente energía calorífica. Este calor es simplemente el movimiento de átomos y moléculas en un objeto.

El calor se puede transmitir en tres formas las cuales son las siguientes: conducción, convección y radiación.

**Conducción.**- Si un extremo de una barra metálica se coloca en una llama mientras el otro se sostiene con la mano, se observará que esta parte de la barra se va calentando cada vez más, aun que no está en contacto directo con la llama. Decimos que el calor alcanza el extremo de la barra por conducción a lo largo o a través de la sustancia.

Las moléculas del extremo caliente aumenta la violencia de su vibración si la temperatura de dicho extremo aumenta.

Es bien sabido que los metales son buenos conductores del calor y asimismo de la electricidad. La conducción del calor puede únicamente tener lugar cuando las distintas partes del cuerpo se encuentran a temperaturas diferentes, y la dirección del flujo calorífico es siempre de los puntos de mayor a los de menor temperatura.

Convección.- La expresión convección se aplica a la propagación -- del calor de un lugar a otro por un movimiento real de la sustan-- cia caliente, esta sustancia podemos considerar aire o agua.

Radiación.- cuando colocamos la mano en contacto directo con un ra-- diador de calefacción de agua caliente o vapor, el calor alcanza - la mano por conducción a través de las paredes del radiador. Si la mano se mantiene ahora encima del radiador pero no en contacto con él, el calor alcanza la mano por medio de un movimiento de convec-- ción hacia arriba de las corrientes de aire. Si se coloca la mano a un lado del radiador todavia se calienta, aunque la conducción a través del aire es despreciable y la mano no está en la trayecto-- ria de las corrientes de convección. La energía alcanza ahora la - mano por radiación.

La expresión radiación se refiere a la emisión continua de la ener-- gía desde la superficie de todos los cuerpos.

Esta energía se denomina energía radiante y se encuentra en forma de ondas electromagnéticas que se propagan con la velocidad de la - luz y se transmiten a través del vacío lo mismo que a través del -- aire.

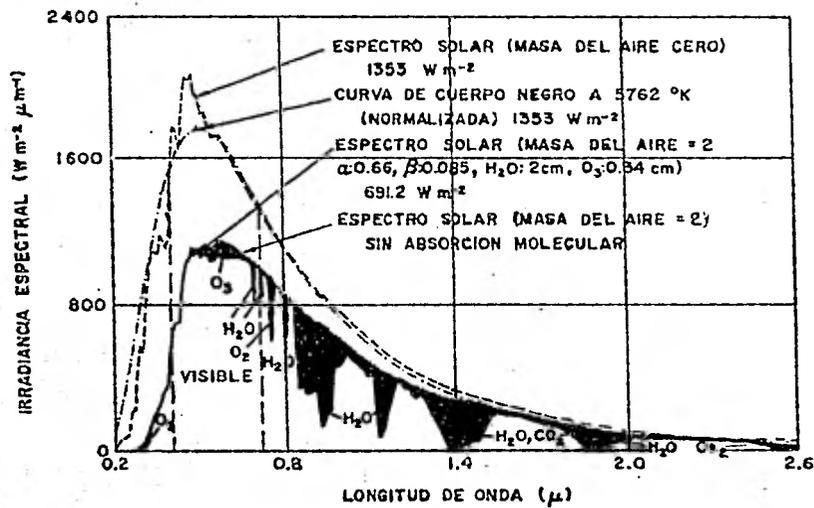
### III. ENERGIA SOLAR INCIDENTE

Es comunmente aceptado que la fuente principal de energfa solar -- es la funci3n de nucleos de hidr3geno y helio. Este proceso libera radiaciones electromagn3ticas que llegan a la atmosfera terrestre con una intensidad de I, 353 Watts/m<sup>2</sup>, al entrar esta radiaci3n en la atm3sfera es absorbida, reflejada o desviada, de manera que del total es interceptado por la tierra solo alrededor de la mitad de la radiaci3n llega a la superficie terrestre en dos componentes. Directo y difuso. La radiaci3n que efectivamente incide en un lugar determinado depender3 b3sicamente de varios factores: a) Latitud, b) Estaci3n del a3o c) Hora del d3a, d) Clima local y e) Orientaci3n de la superficie que recibe la radiaci3n.

En un d3a claro, la intensidad de la radiaci3n alcanza los 1000 -- Watts/m<sup>2</sup> al mediod3a y en su mayor parte directa (80-90%).

En M3xico la disponibilidad de energfa es alta en comparaci3n con el resto del mundo, en virtud de que se encuentra dentro del cintur3n de insolaci3n anual m3xima formada por los paralelos 35° al norte y 35° al sur. M3xico recibe el 44% de la energfa solar incidente en E.U. no obstante que ocupa el 20% de su extensi3n territorial o sea que el promedio, M3xico recibe mas del doble de energfa solar recibida diariamente equivale a 5.5W/m<sup>2</sup>.

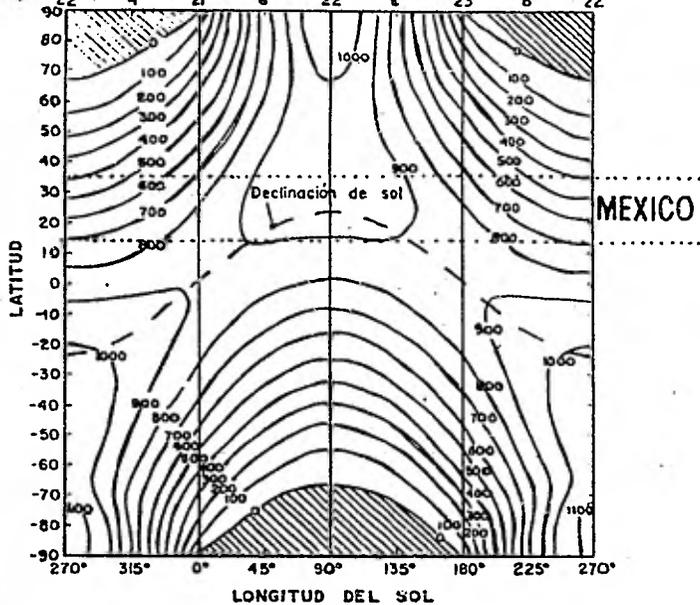
La zona mayor de insolaci3n se encuentra en el noreste del pafs. - Alcanza 8Kw/m<sup>2</sup> en verano y su componente directo es muy alto. La menor incidencia se registra en los estados de la vertiente del -- golfo de M3xico: unos 3.5 Kw/m<sup>2</sup> en los meses soleados de invierno con una mayor proporci3n de radiaci3n difusa. Hay varias formas de



CURVA DE IRRADIANCIA ESPECTRAL DEL SOL

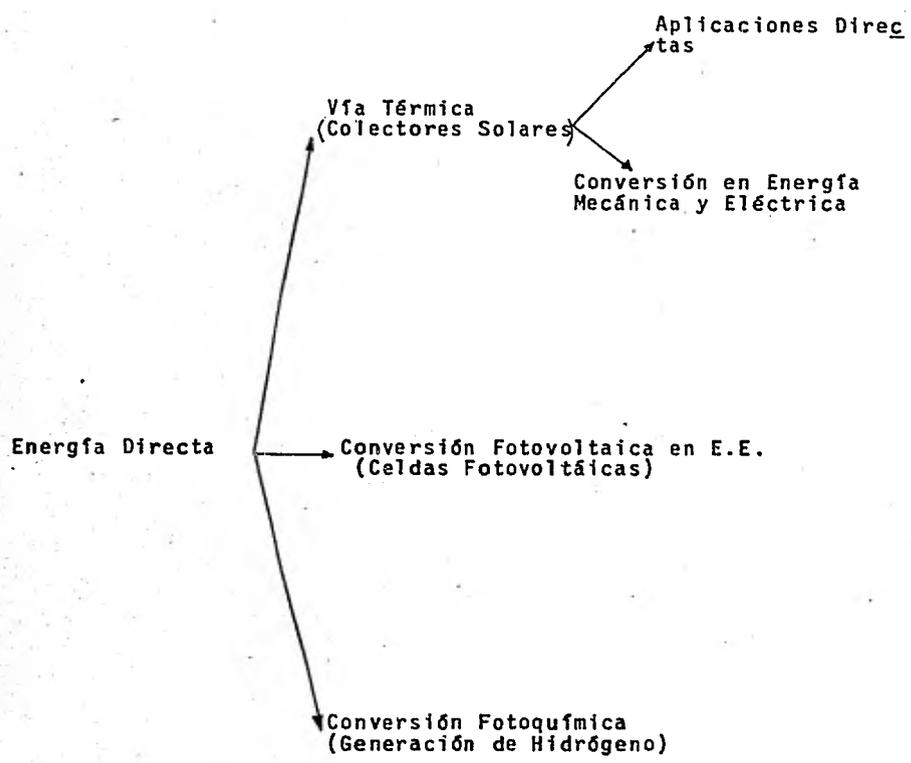
INVIERNO      PRIMAVERA      VERANO      OTONO      INVIERNO  
 SOLSTICIO    EQUINOCCIO    SOLSTICIO    EQUINOCCIO    SOLSTICIO

DIC 22    FEB 4    MAR 21    MAY 6    JUN 22    AGO 6    SEP 23    NOV 8    DIC 22



DISTRIBUCION DE LA RADIACION SOLAR  
 EXTRATERRESTRE ( $\text{cal. cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$ )

captar energía solar directa (Gráfica), puede captarse de la siguiente forma, consiste en fotovoltaicos o fotoquímicos para convertirse en energía eléctrica o energía química, respectivamente bien, aprovecharse como fuente de energía térmica mediante colectores -- solares ya sea como para su uso como tal o como paso intermedio -- para su conservación en energía mecánica o eléctrica mediante procesos termodinámicos.



## S O L A R I M E T R I A

Para poder diseñar y evaluar de manera óptima los sistemas de captación y conversión solar, es necesario contar con datos confiables sobre varios aspectos de la radiación solar en el lugar donde se -- pretende instalar el sistema: intensidad total, radiación directa, y difusa, espectro de radiación, ángulo de incidencia y nubosidad. Estos datos deben registrarse en función del tiempo durante per-- fodos seleccionados y de ser posibles con valores máximos son necesa rios para determinar la capacidad del sistema mientras que su rendim iento en su periodo largo dependerá de la intensidad promedio y - sus variaciones en el tiempo. La información sobre la probabilidad de per-- fodos de nubosidad con duración específica permite determinar para algunos sistemas los requerimientos del almacenamientos o resp aldo de energía.

En el caso de equipos con colectores planos, es necesario conocer la intensidad de la radiación solar sobre un plano paralelo al co-- llector, el ángulo de incidencia para estimar las pérdidas por - - - reflexión y el espectro de la energía solar puesto que las superf icies selectivas están optimizadas para un rango de longitudes de onda.

Para sistemas con colectores de enfoque se requiere datos sobre in-- tensidad y dirección de la radiación directa.

La energía solar incidente sobre planos verticales es importante - para diseños de helioarquitectónicos; para determinar el rendimient o de las celdas fotovoltaicas.

Existen varios equipos para guardar la radiación solar. La medición mas común es la duración de la insolación que se realiza con helios tatos.

La radiación solar total se mide con pironómetros y estos con diferentes filtros, sirven también para medir la radiación total en diversos espectros. Un perinómetro adaptado para no recibir la radiación directa sirve para medir el componente difuso. El perheliómetro mide la radiación directa, existen otros equipos para medirse - la radiación sobre diferentes planos y la radiación reflejada por - el suelo.

Hay en México un cuerpo de técnicos que construye equipos de solarimetría. Sin embargo, para mediciones confiables, la organización Meteorológica Mundial recomienda que cada estación de radiación solar cubra un máximo de 500 km<sup>2</sup>. Esto significa que en México se requerirían 4000 estaciones; pero hasta ahora sólo tres han realizado mediciones en forma regular de acuerdo con las normas pirheliométricas internacionales.

## FUENTE DE ENERGIA TERMICA

La característica común de los sistemas que aprovechan la energía solar por vía térmica es que pueden emplear para mejorar las eficiencias de captación - colectores solares. Estos son dispositivos que interceptan, absorben y transfieren la energía solar a un fluido circulante (agua, aire, mezclas, etc.) de colectores solares.

Existen dos tipos básicos de colectores solares planos y de enfoque; los primeros son generalmente fijos, aprovechan la radiación solar directa y difusa que se emplea en situaciones que no requieren temperaturas de más de 100°C. Los de enfoque cuentan comúnmente con mecanismos para seguir el movimiento del sol ya que solo aprovechan la radiación directa y pueden alcanzar temperaturas más altas.

Existen una gran variedad de diseños de colectores planos, la mayoría tiene cinco componentes básicos y son:

- 1).- Cubierta transparente formada por lo más hojas de vidrio o plástico.
- 2).- Placa absorbente, por lo común de metal de alta conductividad térmica y con superficie negra.
- 3).- Tubos o conductos integrados o conectados a la placa, por lo que circula el fluido.
- 4).- Material aislante que rodea la placa para minimizar pérdidas de calor.
- 5).- Recipiente para proteger la intemperie los demás materiales

La radiación solar que llega al vidrio es transmitida hasta en un 90% al interior del colector mientras que, el resto es absorbida o reflejada. Conforme la radiación llega a la placa absorbida, la temperatura de ésta se eleva y emite radiaciones en longitud de onda que se transmite a través del vidrio.

Esta energía es absorbida en su mayor parte por la cubierta de vidrio y remitada en todas direcciones, parte hacia el exterior y -- parte hacia de nuevo hacia la placa absorbida. El calor atrapado por la placa se transfiere al fluido que circula por los tubos. La adecuada orientación e inclinación de placa colectora permite una mayor captación de energía solar disponible. Pero no toda la energía que incide sobre un colector plano es aprovechable, hay varias pérdidas que efectúan su eficiencia, de la reflexión de la cubierta transparente y de la placa observadora, absorción de la cubierta transparente y reflexión por polvo en la cubierta. Hay también pérdidas térmicas por reradiación conducción y convección.

Existen varias formas de reducir las pérdidas de energía de los colectores, se puede cubrir la placa con una película conocida como superficie selectiva que tiene propiedades especiales para lograr una mayor absorción de las radiaciones en el espectro visible y menor emisión del infrarojo. Pueden emplearse dos cubiertas transparentes y/o aplicarles una película selectiva que por un lado refleja la radiación impropia nuevamente hacia la placa y por otro permite el paso de mayor parte de la radiación solar que llegó al colector. Hay variantes en el diseño uno de ellos minimizar la pérdida por convección, en cuyo centro se encuentra un tubo de vidrio o

metal por el que circula el fluido. El vacío, combinado con superficies selectivas, permite menor pérdida térmica que los colectores planos convencionales y elimina el material aislante que rodea el material absorbente con este tipo de colectores se pueden alcanzar fácilmente temperaturas superiores a los 100°C.

Es necesario equilibrar la ganancia extra de energía que permiten estas modificaciones en el momento de costos que abarcan en general, sofisticación de diseños y el uso de materiales más costosos en los conductores se reservan para uso que requieren temperaturas mayores de 60°C.

Los colectores de enfoque se valen de una superficie reflejante o de un lente para concentrar la radiación solar captado sobre una área menor de absorción. Los diseños de estos colectores tienen formas muy variadas y generalmente requieren de mecanismos para seguir el momento del sol puesto que solo pueden aprovechar la radiación directa. Se distinguen según se muevan a lo largo de uno o dos ejes.

Los primeros generalmente logran concentrarse hasta 50 veces la energía que normalmente incide en un punto y se usan para temperaturas mayores de 350°C.

Algunos diseños de segundo tipo alcanzan concentraciones de 1,000 veces y temperatura de 2,000°C. Las pérdidas de los sistemas de enfoque son atribuibles a sufrir reflejantes imperfectos, reflexión y absorción de los lentes, orientación inadecuada al colector, localización inadecuada del metal absorbente, polvo sobre la superfi

cie reflejante o el lente.

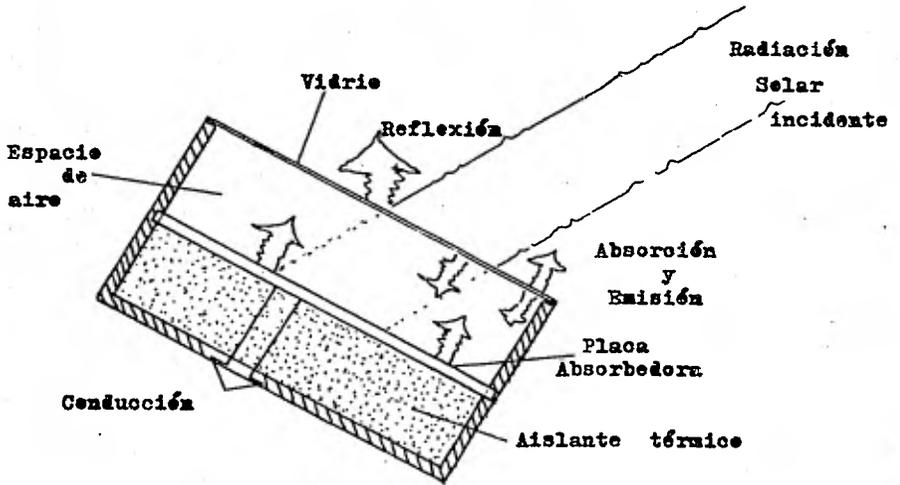
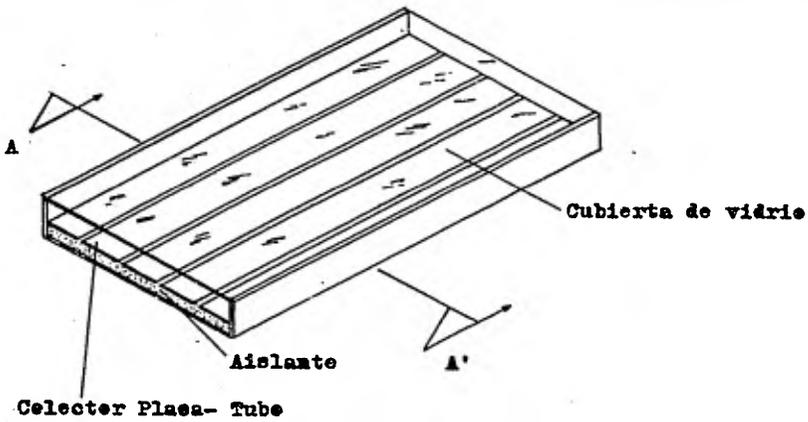


Diagrama de un colector solar y su sección transversal

## DESARROLLO Y ESTADO ACTUAL DE LA TECNICA

Conversión de energía solar en energía mecánica.

Con la expresión máquina solar se designa una máquina que funciona mediante energía solar.

El ciclo término de semejante máquina puede ser el siguiente: la radiación solar calienta un fluido motor en fase líquida y produce un vapor. Este se expande en una máquina alternativa o giratoria, realizando un trabajo de la máquina pasa a un intercambiador de calor que se condensa.

El líquido condensado se vuelve a inyectar mediante una bomba (que generalmente es accionada por su propia máquina solar) a otro intercambio de calor en el cual se evapora, cerrándose el ciclo.

El rendimiento de la máquina depende ante todo de su carnot: - - -

$$\eta_c = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

siendo  $T_1$  temperatura del foco caliente (el intercambiador del calor evaporador) y la temperatura termodinámica del foco frío (el intercambiador de calor de condensación).

De la ecuación precedente puede deducirse que, en teoría, se debe utilizar la temperatura más alta posible para el foco caliente y la más baja posible para el frío, sin embargo en la práctica, depende del funcionamiento de los colectores solares y de la presión que puedan soportar los materiales con que se haya construido la máquina. por ejemplo; la presión del freón - 22 ya es de 20 varios de 50° solamente y por otra parte,  $t_2$  no puede ser inferior a la --

temperatura del fluido utilizado para la refrigeración de agua o - aire que circulen por convección natural o forzada.

No hay anterior estándar para definir los intervalos de temperatura bajas, intermedias y elevadas. Sin embargo, en el presente estudio por baja temperatura se entiende la que no llegó a los 100°C

Los colectores solares de placa plana que capturan la energía solar directa y difusa funcionan dentro de un intervalo.

En consecuencia, se entenderá por temperatura intermedia y elevada superiores a los 100°C. En este caso se emplean colectores solares de enfoque o (concentradores) que según la trayectoria del sol y - sóloamente capturada fue directa, mediante energía solar se puede - calentar el agua a una temperatura elevada y utilizar como fluido motor en una máquina solar, puede rendir a dos ciclos:

- a) Cerrado (Stirling). Se comprime el aire en una cámara - - fría, después se le pone en contacto un foco caliente, - aumentando su presión y expansión sumándose a un cilindro motor. De allí fluye a la cámara fría cerrándose en - el ciclo.
- b) Abierto (Encron). Se introduce aire comprimido en una cá - - mara caliente. Allí se expande y es descargada a la - atmósfera.

## LA ENERGIA RADIANTE DEL SOL

La energía que irradia la superficie externa del sol (fotosfera), camina en esferas de diámetro cada vez más grande. La intensidad de radiación sobre una unidad de área como puede ser un pie cuadrado, varía inversamente al cuadrado de la distancia del sol. La intensidad de radiación solar al borde de la atmósfera terrestre, a la distancia promedio entre el sol y la tierra medida sobre una superficie perpendicular a los rayos solares se llama CONSTANTE SOLAR,  $I_{sc}$ .

La distancia promedio entre el sol y tierra es aproximadamente --- 150,000.00 km, se llama una unidad astronómica (AU), y a esta distancia y esta constante solar,  $I_{sc}$ , vale 429.2 BTU por hora por -- pie cuadrado, se usará con tanta frecuencia que emplearemos el símbolo BTU para indicar esta unidad.

Los científicos espaciales generalmente usan el sistema internacional de unidades y dicen que  $I_{sc}$  es igual a 1,353 wats por medio -- cuadrado; los meteorólogos usan todavía otro sistema de terminología en el que la constante solar es 1,940 langley's por minuto.

(La abreviación BTU significa British Thermal Units "La cantidad de calor necesaria para elevar un centígrado Fahrenheit la temperatura de una libra de agua).

La órbita de la tierra es casi una elipse y el sol se encuentra -- en uno de sus focos. Así el primero de Julio estamos mas lejos del sol (152,855,000.00 km) que lo que estamos el primero de enero --

(130,720,000km).

Esta variación es lo suficientemente grande como para poder detectar un cambio en la intensidad de la radiación solar sobre la tierra. A nosotros nos interesan otras variaciones mucho mas grandes causadas por la forma como la tierra gira sobre su propio eje. Giramos a una velocidad de 360.99 grados en 24 horas y por eso el sol parece moverse en el cielo a una velocidad de 15.4 grados por hora.

#### TIEMPO Y ROTACION DE LA TIERRA

El cambio de estaciones se debe al hecho que en nuestro viaje -- anual alrededor del sol (que efectivamente dura 365.25 días y que explica que necesitamos un año Bisiesto cada cuatro años) nuestro eje de rotación esta inclinado 23,47 grados con respecto al plano de la "Eclíptica", donde está nuestra órbita. En la figura. No. 1 que se ve la manera clásica con la que se representa la relación - Tierra-Sol como lo harfa un observador especial.

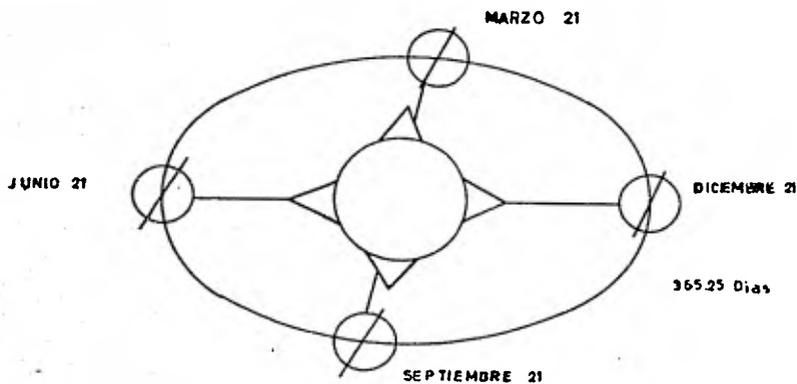


FIG. No. 1

MOVIMIENTO ANUAL DE LA TIERRA AL REDEDOR DEL SOL

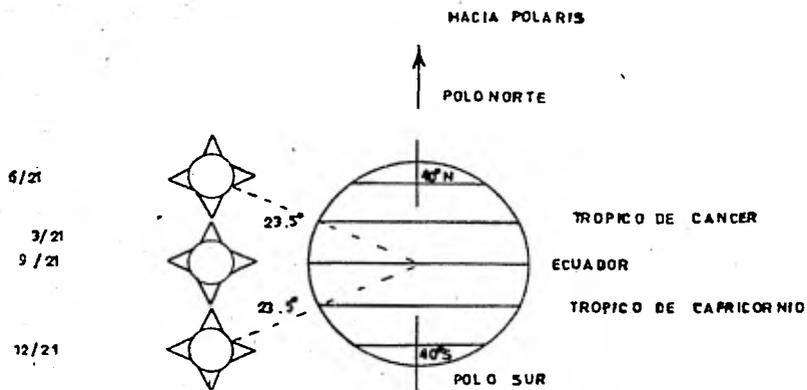


FIG. No. 2

MOVIMIENTO ANUAL APARENTE DEL SOL CON RESPECTO A LA TIERRA  
(CAUSADA POR LA INCLINACION DE 23.5 DEL EJE TERRESTRE)

Muestra que el 21 de Diciembre el sol brilla principalmente sobre el hemisferio sur, mientras que el hemisferio norte queda bastante oculto. Esto sucede al contrario el 21 de Julio.

La Figura No. 2 muestra el movimiento aparente anual del sol respecto a la tierra. El ángulo que hace la línea tierra - sol con el plan ecuatorial recibe el nombre de "Declinación del Sol" y va variando diariamente a lo largo del año de 23.47 grados a el 21 de Junio a 23.47 grados al 21 de Diciembre, el 21 de marzo y 23 de septiembre la línea tierra - sol coinciden con el ecuador y puesto que tanto el día como la noche duran exactamente 12 horas, estos días se llaman equinoccio de primavera y otoño.

Imaginamos la tierra como se ve en la Figura 2 con su eje apuntando a la estrella polar, polaris, y una serie de líneas circulares de altitud, paralelas al ecuador. Dos de ellas aparecen en la Figura No. 3 y se llama los trópicos, el de cancer + 23,47 grados al norte, marca la mas alta declinación del sol y el de capricornio a -23.47 grados tiene la misma función en el hemisferio sur.

Las líneas de altitud que aparecen en los mapas son designación hechas en grados entre el ecuador y una línea del centro de la tierra a la superficie.

Se ilustra ésto, en las dos líneas de la Figura No. 2 que indican 40 grados de latitud norte y sur. Las latitudes varían de 0 grados en el ecuador a 90 grados en los polos.

La declinación del sol para cualquier fecha se determina por el --

T A B L A 1

FECHA	DECLINACION DE GRADOS	EC. DEL TIEMPO, EN MIN.
1/21	-19.9°	-11.2
2/21	-10.6°	-13.9
3/21	- 0.0°	- 7.5
4/21	+11.9°	+ 1.1
5/21	+20.3°	+ 3.3
6/21	+23.45°	+ 1.4
7/21	+20.5°	- 6.2
8/21	+12.1°	- 2.4
9/21	+ 0.5°	+ 7.5
10/21	-10.7°	+15.4
11/21	-19.9°	+13.8
12/21	-23.45°	- 1.6

DECLINACIONES Y ECUACIONES DE TIEMPO PARA EL DIA VIGESIMO PRIMERO DE CADA MES  
EN EL AÑO.

dfa del año, empezando por el primero del año en la Gráfica 7 las de clinaciones correspondientes el día 21 de cada mes para el año.

Para cualquier otro año habrá otra ligera variación en estos datos.

Estamos interesados en la posición del sol con respecto a cualquier lugar en la tierra en cualquier tiempo en particular, pero dicho -- tiempo tiene que ser medido con el sistema cronométrico peculiar -- del sol que difiere en detalles importantes del sistema estándar -- nuestro primeramente, la velocidad de la tierra varía en su trayectoria orbital pues, como Kepler descubrió hace cuatrocientos años, -- la tierra se acelera al irse alejando del sol y se enfrena al acercarse. Esto da lugar a una serie de variaciones conocidas con el -- nombre de "La ecuación del tiempo entre el mediodía que dan los relojes hechos por el hombre y que miden el tiempo uniformemente y el mediodía solar que es el instante en que el sol está directamente -- sobre nuestras cabezas en un lugar dado. La Gráfica-7 de los valores de la ecuación del tiempo y su signo, positivo ( + ) cuando el sol está adelantado respecto a nuestro reloj ( - ) cuando el sol es ta retrasado, a fin de determinar el tiempo el círculo imaginario -- que rodea la tierra en el ecuador se ha dividido en 24 segmentos de 15° cada uno con líneas circulares de longitud que se extienden, del Polo Norte a travez de estos puntos de división hasta el polo sur. -- El tiempo se mide partiendo de la longitud de Greenwich, Inglaterra y el sol parece moverse alrededor de la tierra a una velocidad de -- 15 grados por hora o a 4 minutos por grado.

El mundo está dividido en 24 zonas de tiempo. A los 180 grados Oes-

te se llega a la Línea Internacional de Fecha y la longitud disminuye hasta llegar a 0 grados otra vez en Greenwich.

Luego se deben hacer las correcciones que pide la longitud local -- puesto que el sol necesita 4 minutos para atravesar cada grado entre la longitud del Tiempo Estándar y la longitud local. Esta corrección debe hacerse primeramente y después se debe añadir la ecuación del tiempo teniendo cuidado de observar el signo algebraico.

El tiempo solar también puede expresarse en términos del ángulo horario, H, que es igual al número de minutos a partir del mediodía solar local, dividido entre cuatro para convertirlo en grados.

El concepto usado aquí implica los círculos imaginarios que aparecen en la Figura 3 en la que el sol parece moverse conforme nuestra tierra gira debajo de él.

Debido al sentido de rotación de la tierra, esta corrección se considera positiva para puntos localizados hacia el oeste del meridiano de referencia y negativa hacia el este. Así para la Ciudad de México (catedral) cuya longitud es  $\approx 99^{\circ}07' 58''$ , de la tabla 1: del Apéndice 1, la corrección en tiempo viene a ser de 36 min., - - 31.9 seg = 32 seg. Si por ejemplo deseamos calcular la hora en TSV correspondiente a las 11 hrs. 15 min. a.m. (TC), del día 17 de Noviembre, se tendrá que para esa fecha la ec. del tiempo tomada de la Figura 7 o 8, sería de: +15min. (sol adelantado respecto al sol medio), por lo que de la ec. (1), obtenemos:

$$T.S.V. = 11 \text{ hrs. } 15 \text{ min. } + 36 \text{ min. } 32 \text{ seg. } + 15 \text{ min}$$

y las 11 hrs. 15 min. (TC) = 12 hrs. 6 min. 32 seg. (T.S.V.)

Un problema que frecuentemente se presenta, es el de expresar la -- hora en TC del paso del sol verdadero por el meridiano del lugar en cuestión (culminación local del sol). Para ilustrar este caso, sirvan como datos los siguientes:

Fecha: 1o. de Enero; lugar: Ciudad Universitaria, México, D.F.; longitud  $99^{\circ}10' 54''$ ; hora solar verdadera: 12h.

Como el valor de la ecuación del tiempo tomado de las Figuras 70 - 8 tiene signo negativo, esto implica que el sol verdadero tiene un negativo, esto implica que el sol verdadero tiene un retraso aproximadamente -3 min. respecto al sol medio. Como antes se mencionó, -- los relojes comunes se regulan respecto a las 24 horas del sol medio ficticio, por lo que en este caso como el sol verdadero viene -- retrasado, este pasará efectivamente por el meridiano de referencia 3 min. después del medio día del sol medio ó sea, a las 12h. 3 min. T.S.M. Dado que la ecuación (1) también puede expresarse como:

$$T.S.V. = TC + e.t. + (\Psi_r - \lambda_{oc}) \quad (2)$$

donde:  $\Psi_r$  = longitud del meridiano de referencia

y  $\lambda_{oc}$  = longitud del meridiano local

Se tiene que si la longitud del sitio en cuestión es:  $\lambda_{oc} = 99^{\circ}-10' 54''$ , la diferencia  $\Psi_r - \lambda_{oc}$  en tiempo viene a ser:

$$\Psi_r - \lambda_{oc} = 36 \text{ min. } 43.6 \text{ seg.}$$

Por lo que despejando a TC de la ec. (2) y sustituyendo, tenemos --

la hora del paso del sol por el meridiano local en T.S.V. ocurre a las:

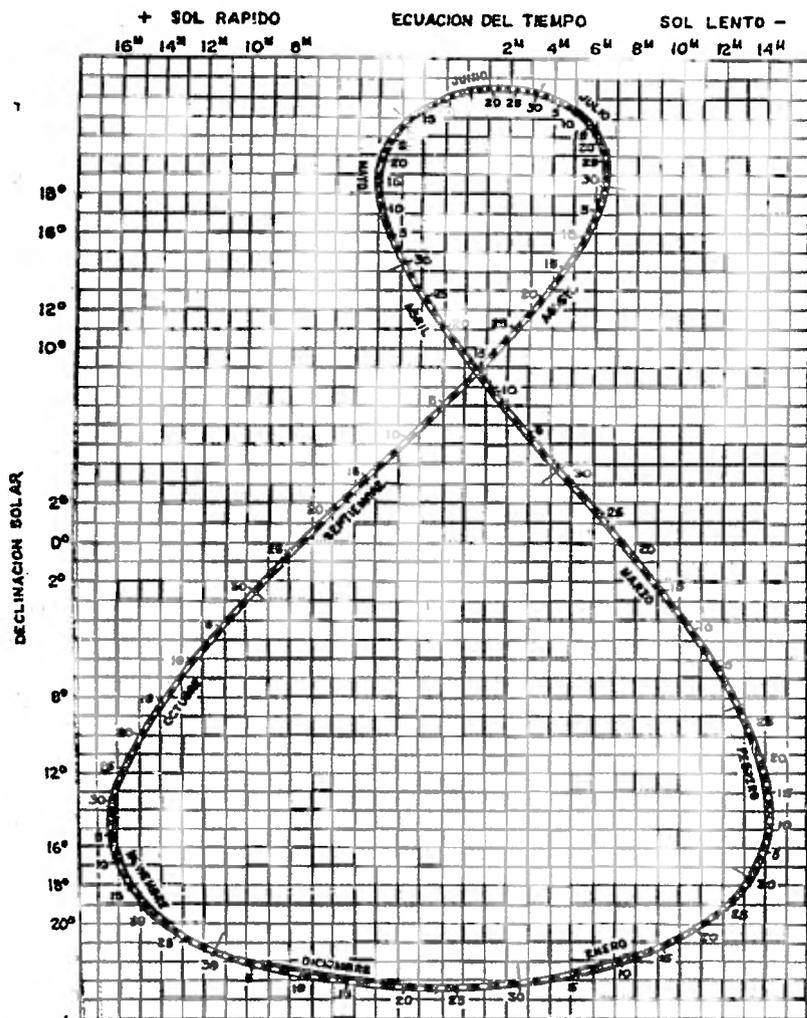
$$TC = 12 \text{ hrs.} - (-3 \text{ min}) - (-36 \text{ min. } 43.6 \text{ seg})$$

$$TC = 12 \text{ hrs. } 39 \text{ min. } 43.6 \text{ seg.}$$

### EL TIEMPO Y LA POSICION DEL SOL

La intensidad de la radiación del sol en un tiempo y lugar determinado y ángulo con el que pegan sus rayos directos en una superficie dependen de la posición del sol en el cielo, la estación del año, el grado de nubosidad y la inclinación de la superficie respecto a la horizontal, la posición del sol se define por su altitud sobre el horizonte, que se simboliza en términos científicos por la letra griega Beta,  $\beta$ , y por su Azimut usaremos la letra A que es el ángulo entre la proyección de la línea norte-sur sobre dicho plano. A, se mide partiendo del sur y así la línea de azimut se mide hacia el Este en la mañana y hacia el Oeste en las tardes. La Figura 4 muestra al sol en una posición típica de tarde iluminando la superficie de una pared vertical orientada hacia el sureste.

Usando el símbolo  $\angle$  para designar un ángulo y definiendo los ángulos por las letras que se usan en la Figura No. 4, la altitud solar B en este caso es  $\angle QOH$  y el azimut solar A es  $\angle HOS$ . Cuando nosotros conocemos la latitud L y la longitud para el lugar en el que estamos interesados y además se especifica la fecha y la hora, de tal manera que podemos determinar la declinación D y el ángulo de hora H, entonces nosotros podemos acudir a cualquiera de los libros estándar sobre la materia y buscar las ecuaciones trigonométricas -



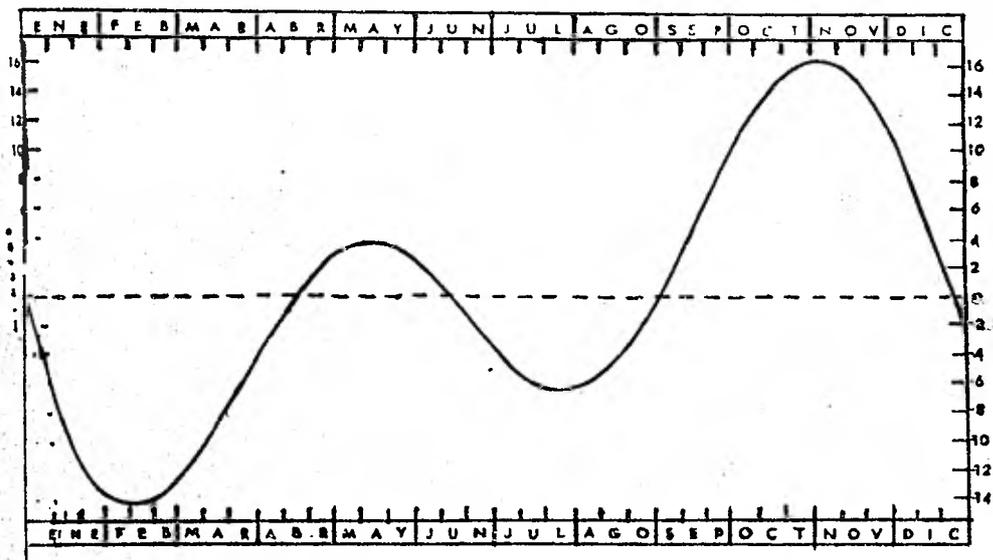


FIGURA 8 GRAFICA DE LA ECUACION DEL TIEMPO  
(aparente - medio)

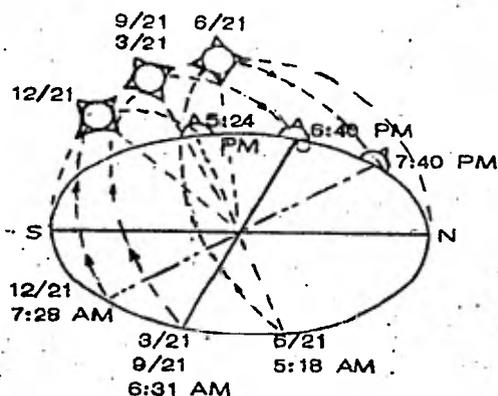


Fig. 3 Movimiento aparente del sol como lo vería un observador en Phoenix, Arizona (latitud  $33^{\circ}30'$ )

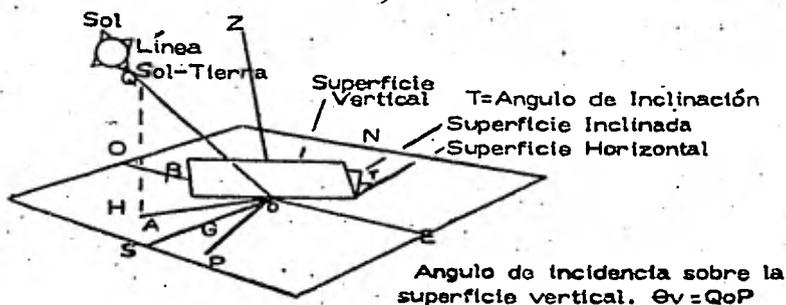


Fig. 4 Posiciones angulares del sol en una tarde, con el sol incidiendo en una superficie vertical la cual se encuentra orientada Sur-Este.

por las que se pueden encontrar la altitud y el azimut.

$$\begin{aligned} \text{seno de la} &= \text{coseno de} && \times && \text{coseno de} && \times && \text{coseno de} \\ \text{altitud solar} & \text{la latitud} && && \text{la declina} && && \text{ángulo de} \\ & \text{local} && && \text{ción del} && && \text{hora} \\ & && && \text{dfa} && && \\ & && && && && \\ & + \text{seno de la latitud local} && \times && \text{seno de la declinación del dfa} \end{aligned}$$

y en términos matemáticos

$$\text{Seno } B = \text{Cos } L \text{ Cos } D \text{ Cos } H - \text{Sen } L \text{ Sen } D$$

Después de encontrar la altitud, el azimut se encuentra:

o sea:

$$\text{Seno } A = \frac{\text{Cos } D \times \text{Sen } H}{\text{Cos } B}$$

Hay todavía un ángulo que es muy importante en la tecnología solar y es el ángulo entre los rayos directos del sol y una línea perpendicular (normal) a la superficie que se busca capte o refleje los rayos solares. Este ángulo se llama de incidencia y se muestra en la Figura No. 4 como  $\angle QOP$ , se simboliza por lo general por la letra  $\theta$ .

El ángulo de incidencia puede calcularse usando otra ecuación trigonométrica y otro ángulo,  $G$ . El azimut de la pared solar, o sea - el ángulo en el plano horizontal entre la línea del azimut del sol,  $OH$ , en la Figura No. 4 y el azimut de la pared,  $OP$ , que es la línea (en el plano horizontal) que queda perpendicular a la pared. En la Figura No. 4 el azimut de la pared es  $\angle SOP$  y el azimut de la pared solar es  $\angle HOP$ .

En términos matemáticos:

$$\text{Cos } \theta = \text{Cos B Cos G Sen T} + \text{Sen B Cos T}$$

El ángulo de inclinación, T, se mide a partir de la horizontal y puede variar de 0 grados, cuando la superficie está de hecho horizontal. Hasta 90 grados, cuando la superficie es vertical. En este caso, un vistazo al triángulo trigonométrico básico muestra que -- Seno T = 1, y Cos T = 0, de modo que el ángulo de incidencia para una superficie vertical simplemente a ser:

$$\text{Cos } \theta_v = \text{Cos B Cos G}$$

Para una superficie horizontal, el ángulo es T=0, y por lo mismo -- Sen T=0.0 y Cos T=1.0. Así para cualquier superficie horizontal -- como un techo plano.

$$\begin{array}{l} \text{Coseno del ángulo de} \\ \text{Incidencia para cual} \\ \text{quier superficie ho-} \\ \text{rizontal} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Seno de la altitud} \\ \text{solar} \end{array}$$

$$\text{Cos } \theta_h = \text{Seno B}$$

Al inspeccionar la figura 4 se puede ver que:

$$\begin{array}{l} \text{el ángulo de Incidencia} \\ \text{para cualquier superfi-} \\ \text{cie horizontal} \end{array} = \begin{array}{l} 90 \text{ grados} - B \end{array}$$

El tiempo y la Intensidad de la radiación solar. Sabemos que la -- intensidad promedio de los rayos solares del sol a la tierra es de 429.9 B.T.U. y hay una serie de variaciones según la posición de -- la tierra con respecto al sol. Al pasar por la atmósfera y llegar a la superficie de la tierra, la radiación solar sufre varios cambios..

La radiación solar directa pierde mucho de su intensidad al pasar - la atmósfera y esto depende de su trayectoria a través del medio. - Los Meteorólogos describen este fenómeno en términos de la masa de - aire, y la siguiente ecuación nos da

$$m = \frac{00}{0Z} = \frac{I}{\text{Sen} \theta}$$

La intensidad de los rayos solares depende de la altitud solar, pues to que esto determina la cantidad de atmósfera que tiene que atravesar los rayos y también depende de la cantidad de vapor de agua, partículas de polvo y contaminantes creado por el hombre que no acumulan a la atmósfera.

El vapor de agua es el factor principal para determinar la cantidad de radiación directa que va a llegar a la superficie de la tierra en un día claro. El fenómeno "irradiación directa normal" significa la intensidad de la radiación directa que cae en una superficie perpendicular o "normal" a los rayos y se simboliza por  $I_{DN}$

Usando la siguiente ecuación encontramos la intensidad en cualquier superficie para la que se conoce.

$$\begin{array}{l} \text{Irradiación Solar} \\ \text{directa en una su} \\ \text{perficie con un } \underline{\text{ángulo de incidencia } \theta} \end{array} = \begin{array}{l} \text{irradiación} \\ \text{directa} \\ \text{normal} \end{array} \quad \times \quad \begin{array}{l} \text{coseno del} \\ \text{ángulo in-} \\ \text{cidente } \theta \end{array}$$

$$\text{O bien} \quad I_{D\theta} = I_{DN} \text{ Coseno } \theta$$

La explicación física de esta valiosa (que es la razón de toda trigonometría que hemos estado usando hasta ahora) se muestra en la -- Figura No. 11.

Aquí tenemos un haz de radiación solar directa que es justamente - de un pie cuadrado de sección y que pega en una superficie horizontal con un ángulo de incidencia,  $\theta$ , que se representa por  $\sphericalangle$  MOZ. Dado que la superficie horizontal no es normal al haz de luz, la energía contenida en el pie cuadrado, representada por las letras MN tiene que entenderse sobre un área más larga representada por las letras ON y así la intensidad, o sea la cantidad de energía -- por pie cuadrado de área es:

$$I_{D\theta} = \frac{MN}{ON} = I_{DN} \cos \theta$$

Si restringimos nuestra atención a superficies que miran al Sur, - el ángulo de incidencia para cualquier superficie con una inclinación fija depende solamente de la hora del día y la fecha puesto - que estos determinan la altitud del sol y su azimut.

Si consideramos una superficie a 40 grados de latitud norte, inclinada 40 grados hacia arriba desde la horizontal con fecha 21 de julio encontramos que el ángulo de incidencia varía aproximadamente de 90 grados a las 6 A.M. (usaremos el reloj de 24 horas y notaremos 0600 horas) a un mínimo de 20 grados al mediodía (1200 horas) - y de nuevo a 90 grados a los 1800 horas.

Hasta ahora hemos considerado solamente la radiación solar directa y nos hemos olvidado de la radiación dispersada por las moléculas - de aire y polvo atmosférico. Parte de esta radiación, que se llama "difusa" puesto que proviene de estas partes del cielo, llega a la superficie de la tierra y por esto la irradiación total o "insolación"  $I_{to}$ , es la suma de la radiación difusa que simbolizaremos  $I_d$

y la radiación directa.  $I_{D0}$ . En forma de ecuación podemos decir -- que:

$$\text{Irradiación solar total} = \text{Irradiación solar directa normal} \times \text{Cos del ángulo de incidencia.} + \text{Irradiación solar difusa}$$

$$\text{O bien } I_{\theta} = I_{DN} \coseno \theta + I_d$$

No hay una manera fácil de estimar la intensidad de la radiación difusa puesto que esta también depende de la cantidad de polvo, humedad y grado de nubosidad en el cielo. En un día completamente -- nublado la única radiación que recibimos es la difusa, mientras que en un día claro la radiación depende de que tan claro este realmente el cielo, y que tanto vapor no perceptible contiene. Las curvas inferiores en la Figura No. 6 dan valores típicos de radiación difusa para diversas superficies en términos de altitud solar.

La Universidad de Florida ha desarrollado un programa de computadora por el que se puede sacar la insolación total con datos proporcionados por ASHRAE para las superficies con cualquier orientación y cualquier inclinación de la horizontal. La tabla de cantidades -- para unos cuantos valores escogidos. El espacio no permite el uso de toda información disponible y así sólo una sola superficie se -- considera en la tabla, mirando al sur e inclinada al ángulo de la latitud local.

Finalmente, debido a las variaciones del espesor de la película atmosférica, así como a la fluctuante concentración de los principales constituyentes atmosféricos reguladores o no del clima, fenómenos tales como la dispersión (molecular del aire, valor de  $H_2O$  y -- aerosoles), absorción (del ozono en el ultravioleta y del vapor de  $H_2O$  en el infrarrojo y del  $CO_2$ ) y la reflexión, atenúan en mayor o menor grado, la intensidad de la radiación solar que finalmente alcanza el suelo, ya sea en forma directa ( a lo largo del haz proveniente directamente del disco solar) o difusa (dispersada hacia abajo principalmente por las nubes).

La radiación solar directa normal puede medirse mediante un pirheliómetro, dispositivo que consta de una fotoresistencia o termopila como elemento sensor, y el cual aunque no puede discriminar irradiaciones espectrales específicas, si en cambio es sensible a la irradiancia global de todo el espectro solar que alcanza a llegar a nivel de la tropósfera y que comprende longitudes de onda entre las - 0.29 y 2.5 .

La atenuación que sufre la radiación solar directa normal en una -- atmósfera seca y limpia, puede considerarse pequeña, ya que en este caso, sólo habría que tomar en consideración la dispersión molecular y Rayleigh. En contraste, en atmósferas húmedas o contaminadas, el vapor de agua, polvo y aerosoles contribuyen notablemente al fenómeno global de atenuación.

Con el objeto de ver la variación anual de las energías recibidas -- diariamente por insolación directa, tanto sobre el plano horizontal, como en los planos verticales, se calcularon los resultados corres-

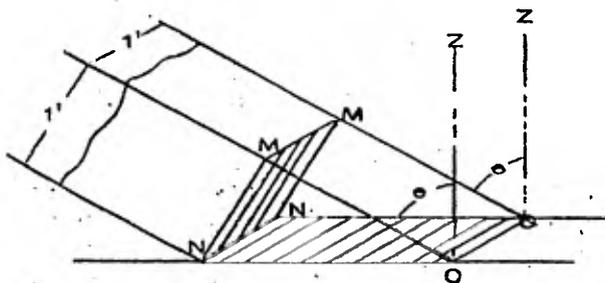
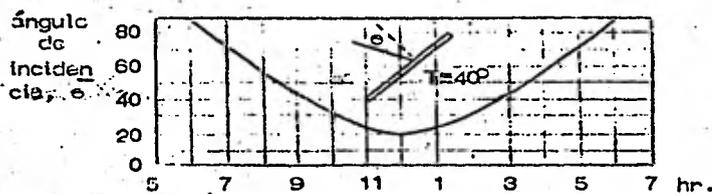
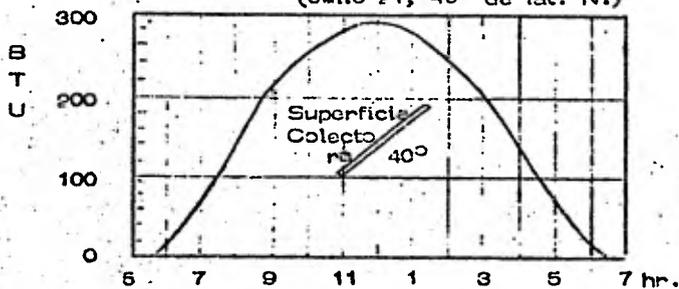


Fig. II Explicación de la ley del Coseno  
 $(I_{DO} = I_{DN} \times \text{Cos } e)$



Variación del ángulo de incidencia por cada hora en una superficie orientada hacia el Sur.

(Julio 21, 40° de lat. N.)



Variación de la radiación total por hora en una superficie orientada hacia el Sur.

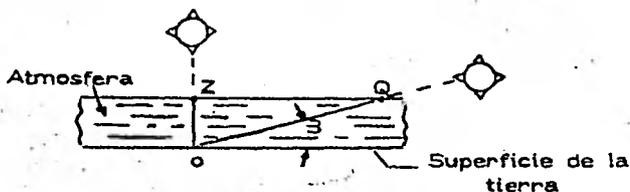
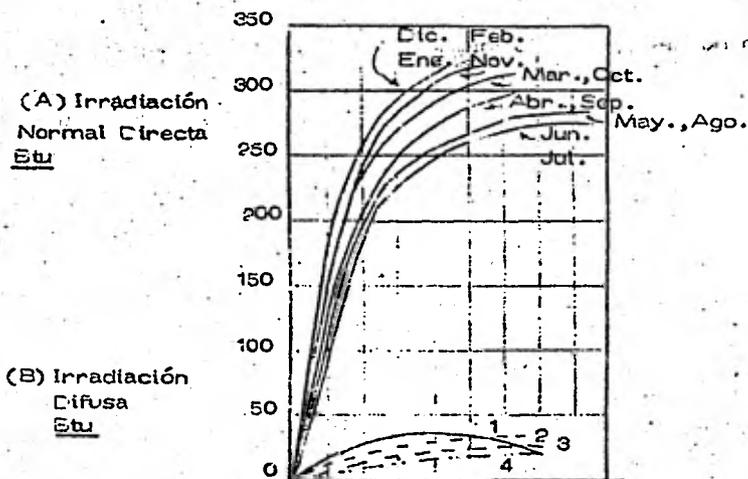


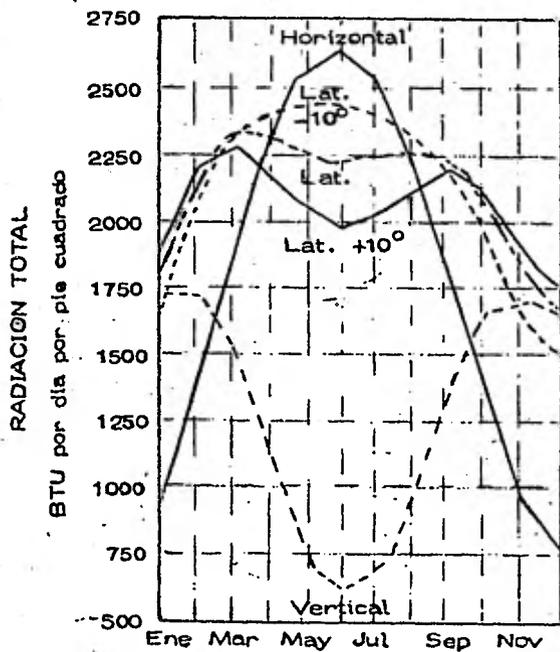
Fig. 5 Dibujo simplificado de la trayectoria de los rayos solares a través de la atmósfera terrestre.  
(masa de aire,  $m$ ,  $OQ/OZ = 1/\text{Sen } B$ )



(A) Variación de la irradiación normal directa con la altitud solar a través del año.

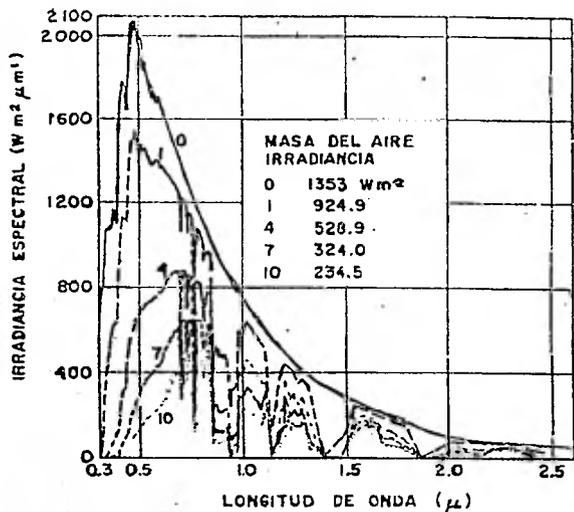
(B) Radiación Difusa Vs. altitud solar para diferentes orientaciones de superficies

- 1 Hacia el Este por la mañana  
Hacia el Oeste por la tarde
- 2 Con la Horizontal
- 3 Hacia el Sur
- 4 Hacia el Este PM, Oeste AM

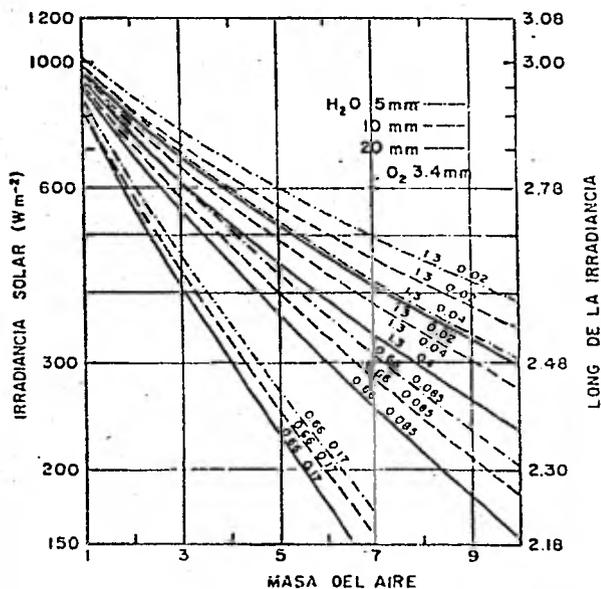


Variación de la radiación total durante el día a través del año para superficies orientadas hacia el Sur con - variación del ángulo de inclinación.

(Para el vigésimo primero día de cada mes)



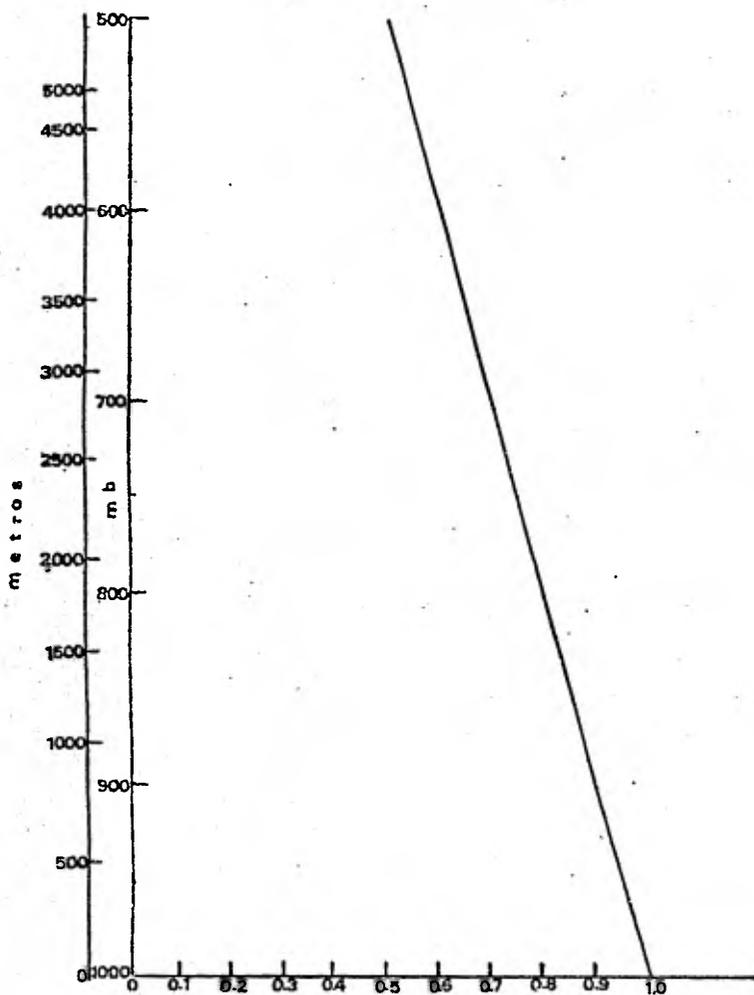
IRRADIANCIA SOLAR PARA DIFERENTES MASAS DEL AIRE (ATMOSFERA STANDARD) [15]



GRAFICA SEMILOGARITMICA DE LA IRRADIACION ESPECTRAL VS. MASA DEL AIRE. [15]

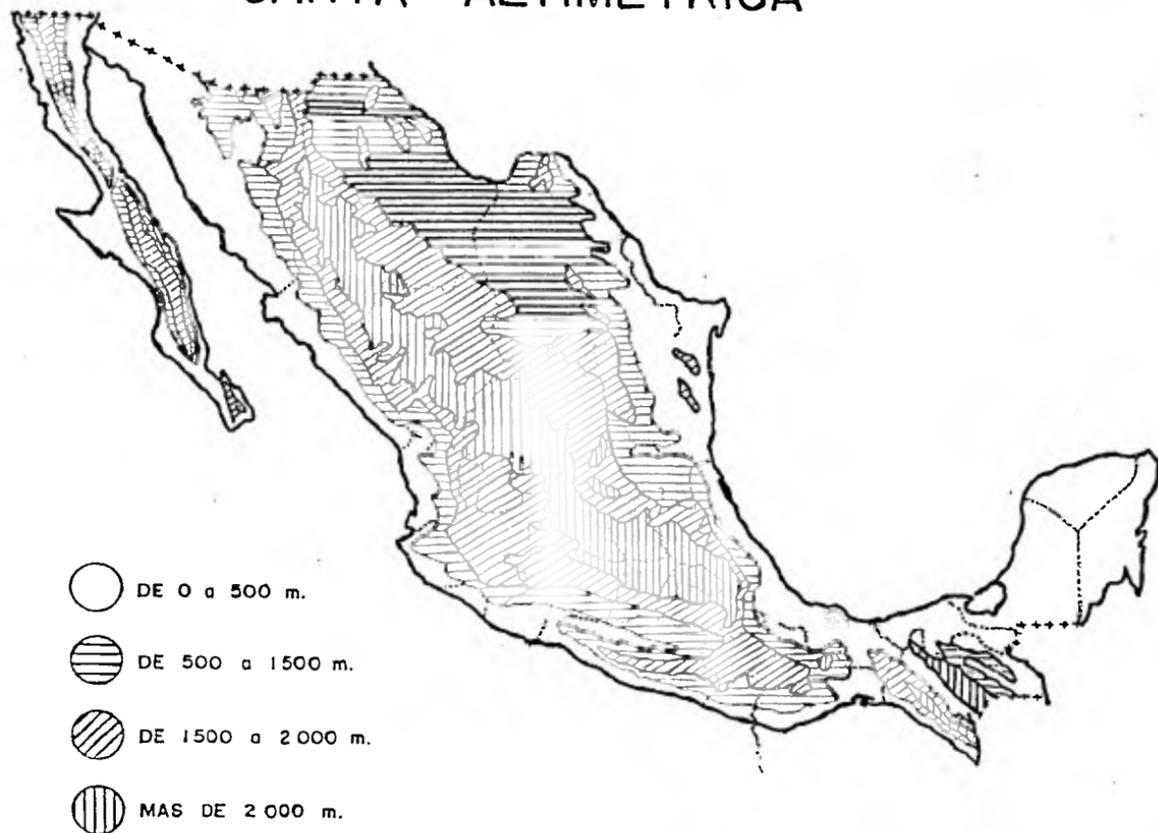
T A B L A I

Masa Relativa del Aire $m_p$									
Altura Solar h	90°	60°	30°	20°	10°	5°	2°	1°	0°
$m_p$ (Bemporad)	1.0	1.154	1.995	2.904	5.60	10.40	19.8	27.0	39.7
$m_p$ (Link)	1.0	1.154	1.995	2.904	5.60	10.50	20.1	27.5	--
$m_{p,w}$ (Schnaidt)	1.0	1.155	1.998	2.917	5.71	11.11	24.5	38.6	75.1
csc h	1.0	1.155	2.000	2.924	5.76	11.47	28.7	57.3	$\infty$
$m_p$ (para Z=25 Km)	1.0	1.153	1.975	2.835	5.11	7.92	10.2	10.72	10.91



Gráfica de la variación del factor de corrección altimétrica de la masa atmosférica.

# CARTA ALTIMETRICA



Localidad	Lat.N.	Long.	Alt.(m)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MED ANUAL
Leningrado, URSS	50°56'	38°15'E	5	676.8	795.4	927.9	941.9	841.9	814.0	833.1	879.1	886.1	823.3	890.7	488.4	823.3
Sloutsk, URSS	59°45'	30°29'E	40	607.0	707.5	858.2	900.0	921.0	927.9	900.0	858.2	823.3	788.4	869.8	565.1	798.9
Ekatharimboug, URSS	56°56'	60°39'E	290	-	888.1	976.8	983.8	955.8	875.1	879.1	927.9	886.1	879.1	865.1	-	914.0
Halde	58°23'	5°19'E	78	502.3	614.0	607.0	-	753.5	767.5	921.0	927.9	827.2	851.2	558.2	641.9	704.7
Ekdalemuir, Ing.	55°19'	3°12'W	344	621.0	711.7	802.4	816.3	879.1	837.2	872.1	837.2	830.3	795.4	821.0	593.0	767.5
Varsovia, Pol.	52°15'	21°02'E	170	607.0	711.7	802.4	851.2	851.2	830.3	830.3	830.3	830.3	760.5	655.8	544.2	753.5
Kev, URSS	51°28'	0°38'W	6	488.4	537.2	600.7	704.7	725.6	753.5	711.7	739.6	803.7	607.0	523.3	467.5	634.9
Saint Naum, Fr.	48°49'	2°29'E	50	607.0	732.6	808.3	817.2	844.2	808.3	830.3	844.2	830.3	746.6	669.8	544.2	753.5
Lausanne, Sui.	46°31'	6°38'E	718	551.2	593.0	627.9	634.9	800.0	593.0	600.0	824.0	800.0	600.0	572.1	523.3	593.0
Florenzia, It.	43°46'	13°23'E	78	725.6	781.4	900.0	844.2	844.2	844.2	837.2	802.4	788.4	774.5	718.6	704.7	735.4
Modena, It.	43°39'	10°56'E	81	767.5	704.7	858.2	823.3	655.1	809.4	830.3	858.2	795.4	851.2	802.4	732.6	809.4
Montpellier, Fr.	43°38'	3°53'E	43	865.1	837.2	934.9	934.9	865.1	781.4	837.2	-	837.2	879.1	802.4	858.2	858.2
Antibes, Fr.	42°34'	7°07'E	35	934.9	976.8	962.8	941.9	948.9	948.9	983.8	934.2	848.9	914.0	914.0	879.1	941.9
Tiflis, URSS	41°43'	44°48'E	420	879.1	900.0	934.9	921.0	990.7	948.9	921.0	934.9	907.0	888.1	886.1	830.3	914.0
Madrid, Esp.	40°24'	3°42'E	666	858.2	879.1	934.9	948.9	927.9	907.0	900.0	879.1	893.1	886.1	858.2	809.4	839.6
Sinaloa, URSS	31°07'	77°08'E	2204	1039.6	1032.6	1046.6	1025.6	990.7	900.0	900.0	962.8	997.7	1025.6	1039.6	1046.6	997.7
Tacubaya, Mex.	19°24'	99°12'W	2309	983.8	1018.8	976.8	969.8	990.7	1011.7	989.8	1004.7	1011.7	1011.7	997.7	1004.7	897.7

TABLA II. VALORES MEDIOS MENSUALES DE LA INTENSIDAD DE LA RADIACION SOLAR DIRECTA AL MEDIODIA (WATT M<sup>2</sup>).

TABLA III

VALORES MENSUALES MAXIMOS DE LA RADIACION SOLAR DIRECTA REGISTRADA EN TACUBAYA, MEX. (1911-16, 1927-28)													
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
In(watt m <sup>-2</sup> )	1137	1158	1074	1088	1060	1074	1033	1067	1095	1116	1095	1137	1088

pendientes, los cuales fueron directamente graficados por la computadora, grado por grado de latitud, como se muestra en las páginas siguientes. En cada gráfica las abscisas corresponden a los 36 periodos de 10 días en que se dividió el año y en las ordenadas aparecen los valores de la energía recibida en Kw h. m<sup>-2</sup>- día.

A la energía recibida sobre el plano horizontal,  $Q_H$ , se le asoció al graficar el número 1; a la pared Este u Oeste, ( $Q_{E,O}$ ) el 2; a la pared Sur ( $Q_S$ ), el 3; y a la pared Norte ( $Q_N$ ), el 4.

### CONCLUSIONES

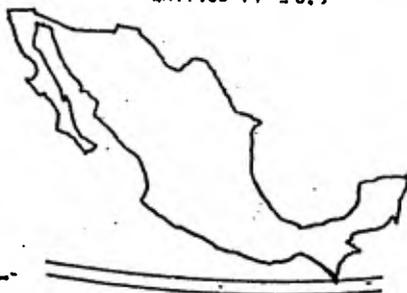
Los resultados obtenidos en este estudio deben tomarse como representativos de la energía que puede ser recibida sobre los planos verticales considerados bajo condiciones de óptima transparencia atmosférica.

La situación geográfica de nuestro país hace que las características atmosféricas sean las de una atmósfera tropical sensiblemente modificada por la elevación continental del altiplano y relieve orográfico. Como ya se mencionó en el texto, el valor asignado  $I_n$  (3 kw.m<sup>-2</sup>) viene a ser bastante representativo de las regiones de la altiplanicie.

El valor de  $I_n$  en las regiones bajas de nuestro país, principalmente en las subtropicales caracterizadas por una elevada humedad absoluta y turbidez atmosférica (polvos y aerosoles higroscópicos), puede ser hasta un 20% menor para alturas cenitales. Sin embargo, la generalidad que en primera intención ha querido imprimirse a este estudio al describir la marcha anual de la insolación directa -

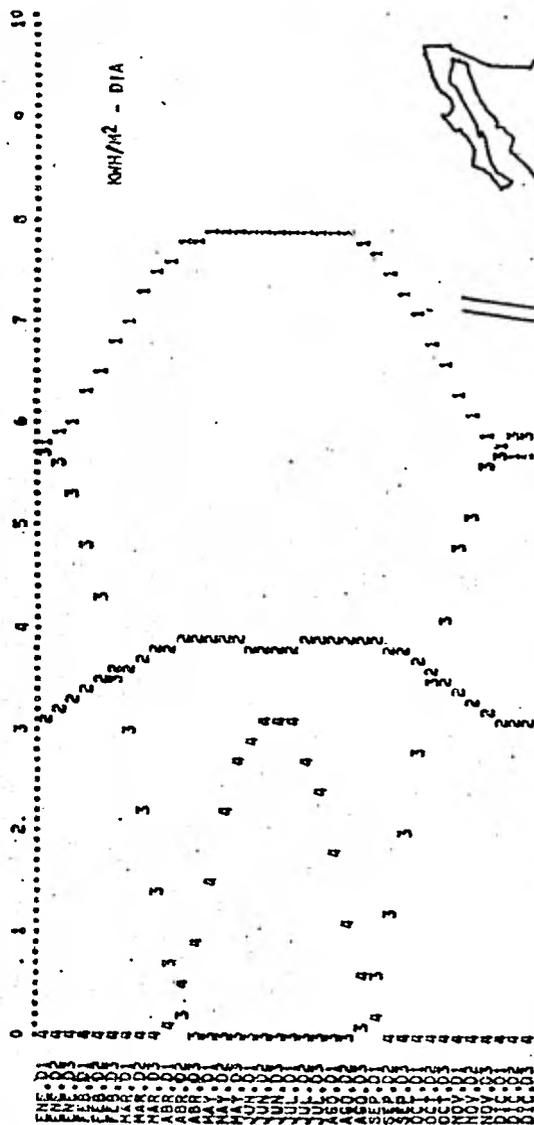
abarcando grado por grado la latitud, precisa de aproximaciones -- que si bien en muchos casos no ha sido posible verificar, si en -- cambio se encuentra cimentada en exhaustivos estudios pirheliomé-- tricos realizados en múltiples localidades, muchas de la cuales -- (a latitudes semejantes a las de México) presentan caracterfsticas climatológicas similares a las nuestras.

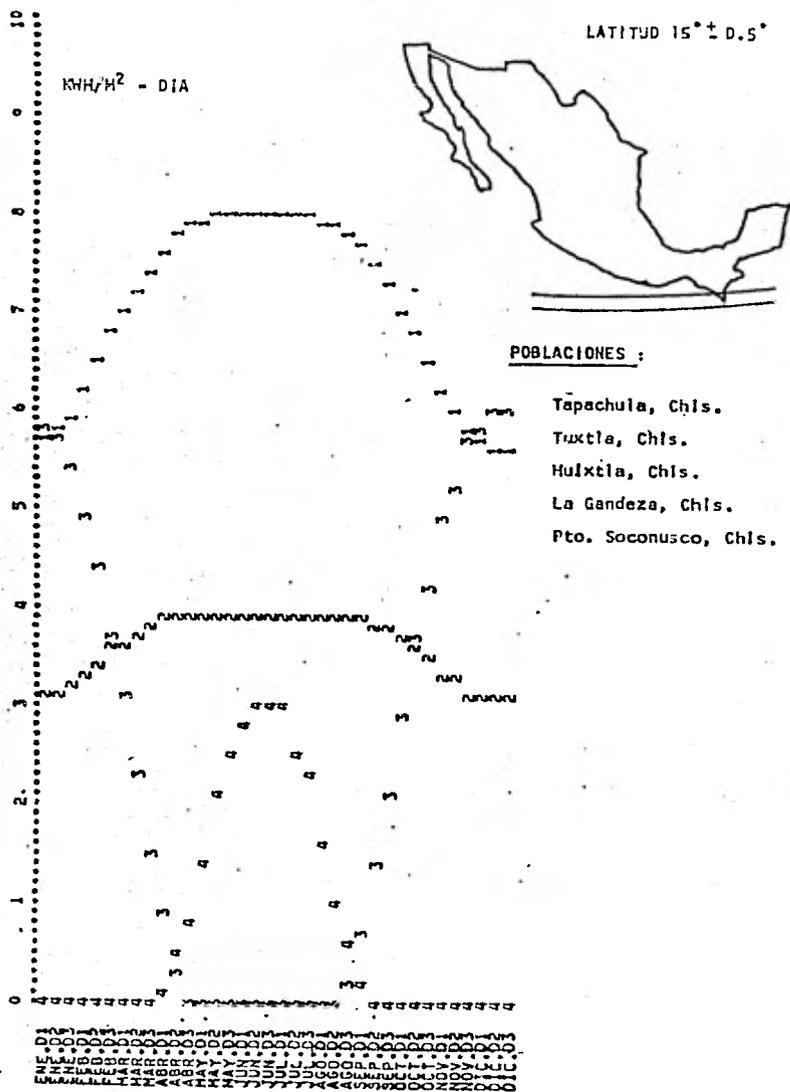
Puede decirse que los resultados aquí obtenidos, no pretenden ser definitivos sino deben ser considerados preliminares, ya que para conocer a fondo las características de la radiación solar incidente a nivel del suelo - ya no solamente la componente directa, sino también la difusa y la global - restan por hacerse muchas investigaciones tanto teóricas como pironométricas, las cuales es urgente realizar para poder lograr en un futuro inmediato el eficiente --- aprovechamiento de la energía solar en nuestro país.

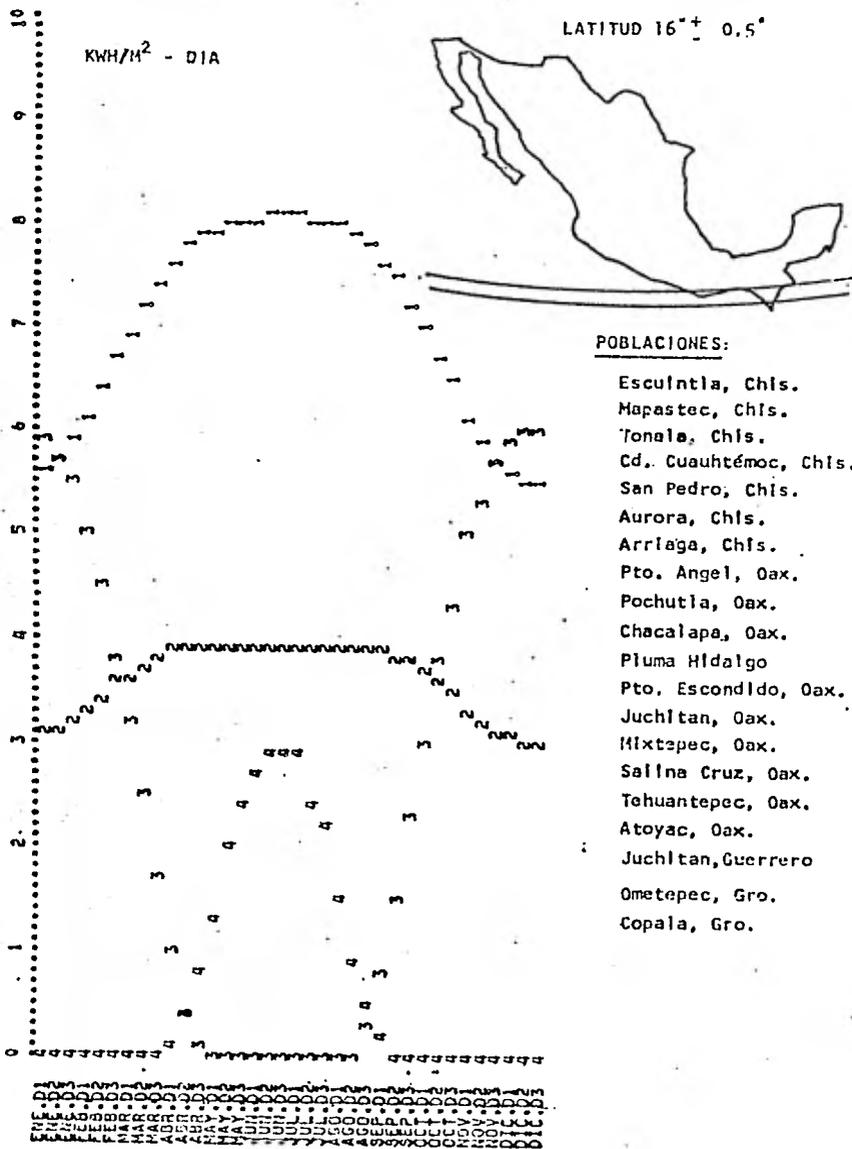
LATITUD  $14^{\circ} \pm 0.5^{\circ}$ POBLACIONES :

Puerto Madero, Chis.

Cd. Hidalgo, Chis.

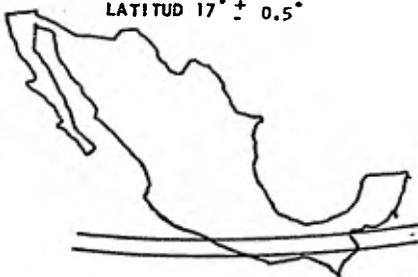




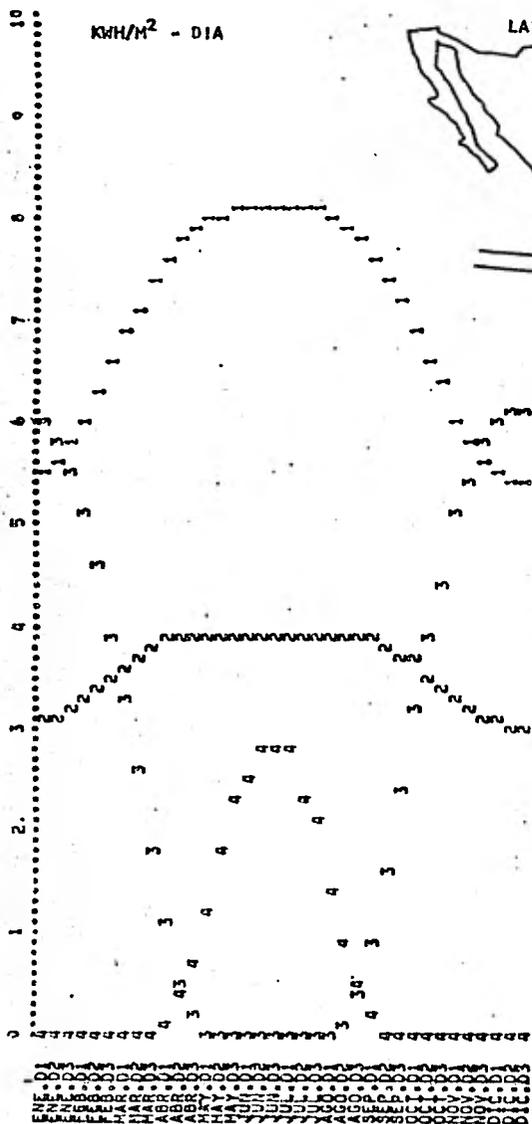


KMH/M<sup>2</sup> - DIA

LATITUD 17° ± 0.5°

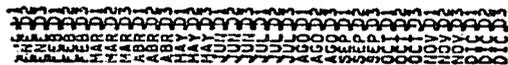
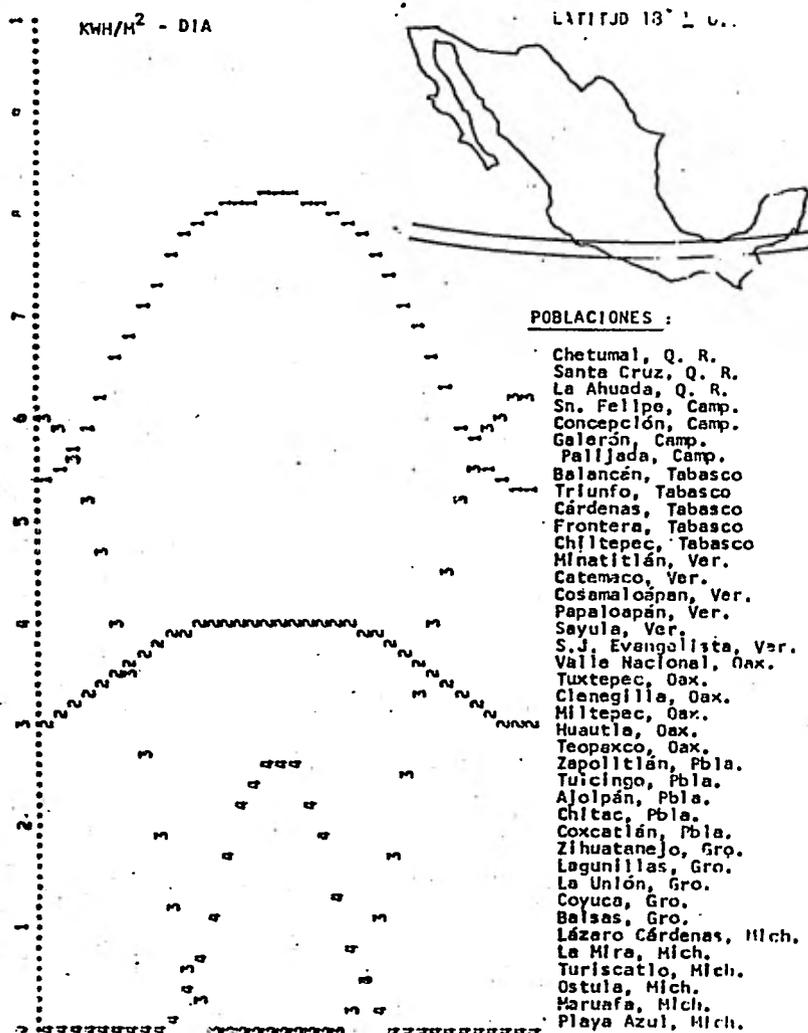
POBLACIONES :

- Tuxtla Gtz., Chis.
- S.C. Las Casas, Chis.
- Bonampak, Chis.
- Tecpatan, Chis.
- Bochil, Chis.
- Matías Romero, Oax.
- Ixcatlán, Oax.
- Villa Alta, Oax.
- Teposcolula, Oax.
- Tlaxiaco, Oax.
- Alotepec, Oax.
- Acapulco, Gro.
- Tulancingo, Gro.
- Zapotitlán, Gro.
- Tepetitlán, Gro.
- Atoyac, Gro.
- Cacalutla, Gro.



KWH/M<sup>2</sup> - DIA

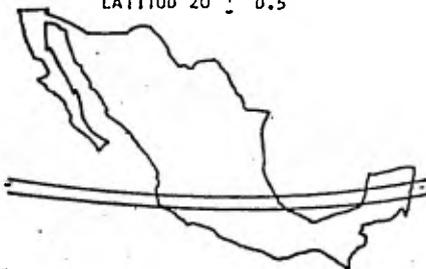
LATITUD 13° 2' 00"





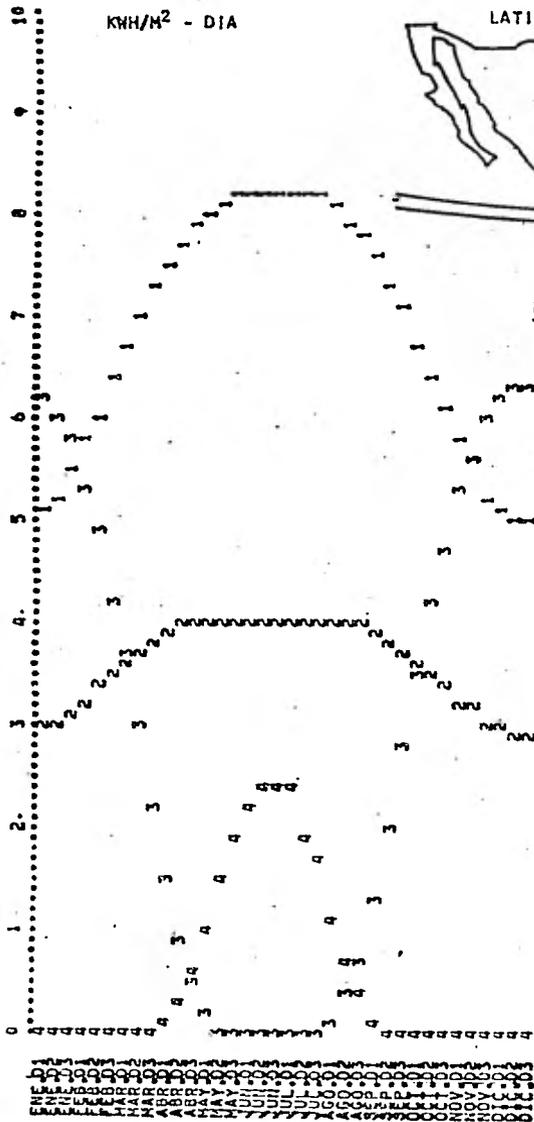
KWH/M<sup>2</sup> - DIA

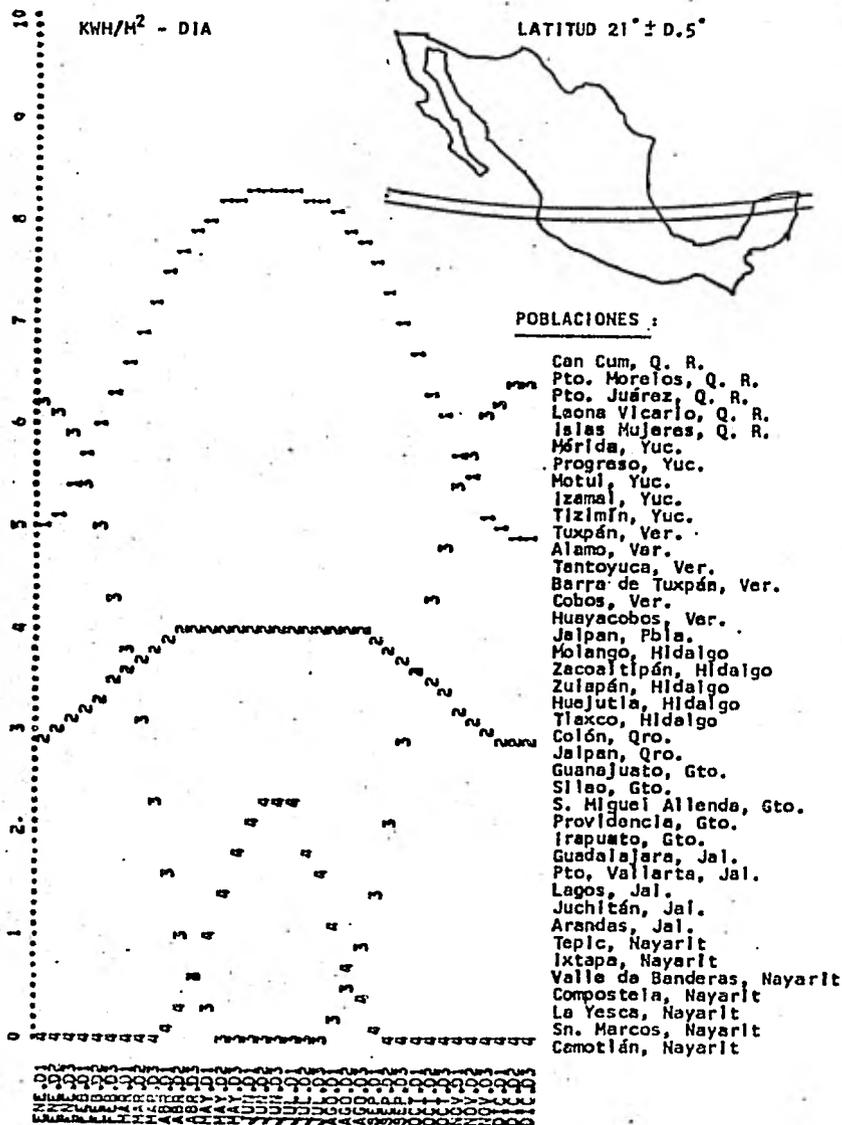
LATITUD 20° ± 0.5°



## POBLACIONES :

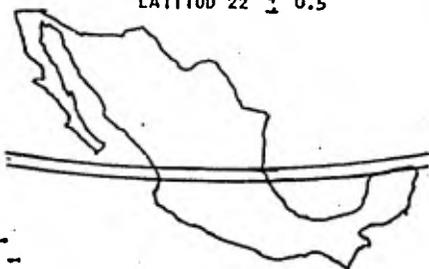
Vigla Chico, Q. R.  
 Tulum, Q. R.  
 Cozumel, Q. R.  
 Uxmal, Yuc.  
 Peto, Yuc.  
 Ticul, Yuc.  
 Becanthen, Yuc.  
 Homul, Yuc.  
 Valladolid, Yuc.  
 Campeche, Camp.  
 Bolonchenticul, Camp.  
 China, Camp.  
 Iturbide, Camp.  
 Jalapa, Ver.  
 Tecolutia, Ver.  
 Papantla, Ver.  
 Poza Rica, Ver.  
 Tezuitlan, Pbla.  
 Tetela, Pbla.  
 Jalpan, Pbla.  
 Pachuca, Hidalgo  
 Tula, Hidalgo  
 Actopan, Hidalgo  
 Tulancingo, Hidalgo  
 Sn. Juan del Rfo, Qro.  
 Queretaro, Qro.  
 Salvatierra, Gto.  
 Muro Leon, Gto.  
 Panjamo, Gto.  
 Colaya, Gto.  
 Tlanepantla, Edo. México  
 El Orp, Edo. de México  
 Jilotepec, Edo. de México  
 Otumba, Edo. de México  
 Pueblo Nuevo, Edo. de Méx.  
 Morelia, Mich.  
 Zamora, Mich.  
 Paracho, Mich.  
 Cd. Guzmán, Jalisco  
 Cocula, Jalisco  
 Tizapán, Jalisco  
 Jocotepec, Jalisco





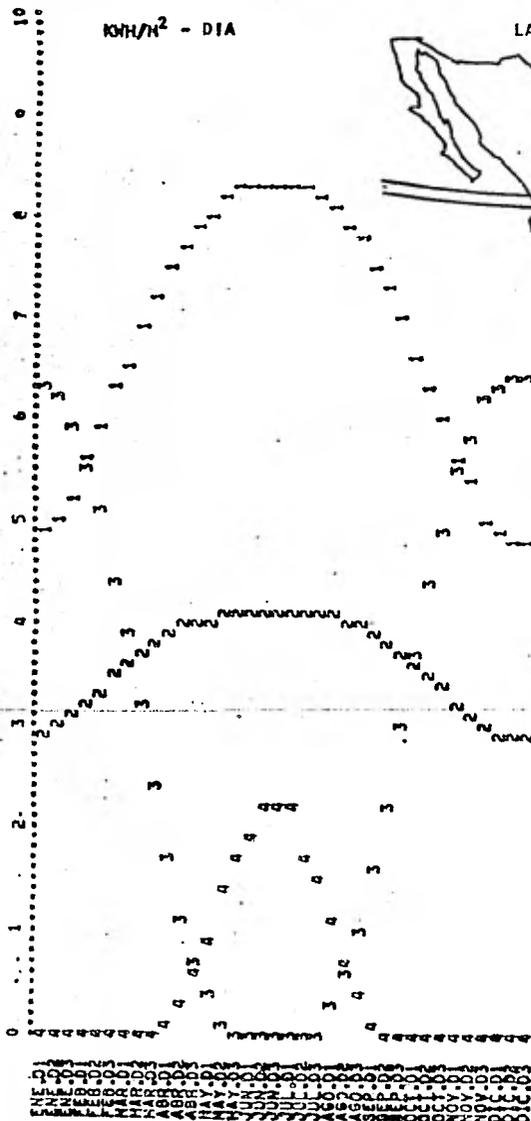
KWH/M<sup>2</sup> - DIA

LATITUD 22° ± 0.5°



## POBLACIONES :

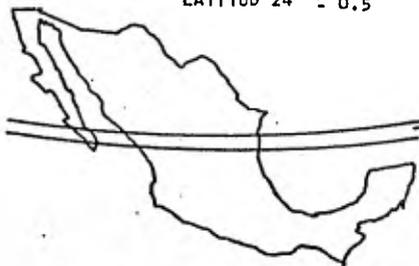
Tancuayala, Ver.  
 Tempoal, Ver.  
 Cárdenas, S. L. P.  
 Sn. Luis Potoff, S.L.P.  
 Río Verde, S. L. P.  
 Ebano, S. L. P.  
 C. del Hatz, S. L. P.  
 Soledad, S. L. P.  
 Tolentino, S. L. P.  
 Ocampo, Gto.  
 La Unión, Gto.  
 Paso de Sotos, Jal.  
 Ojuelos, Jalisco  
 Aguascalientes, Ags.  
 Calvillo, Ags.  
 Asientos, Ags.  
 Rincón de Romos, Ags.  
 Mal Paso, Za.  
 Pinos, Za.  
 Sn. Miguel, Za.  
 Colotlán, Za.  
 Mantenango, Za.  
 San Andrés, Nayarit  
 Acatán, Nayarit  
 Sta. Teresa, Nayarit  
 Sta. Cruz, Nayarit  
 Novillero, Nayarit





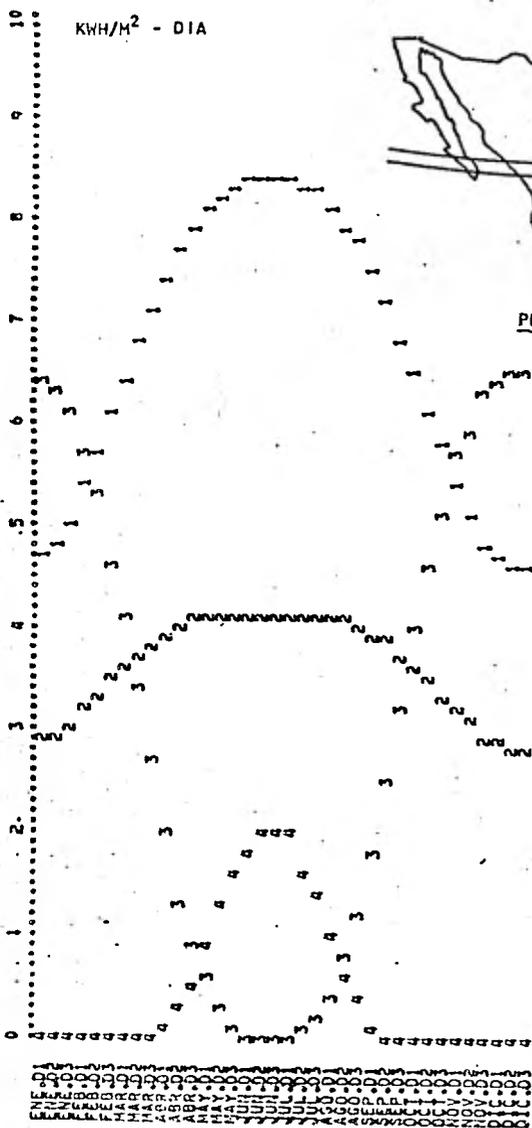
KWH/M<sup>2</sup> - DIA

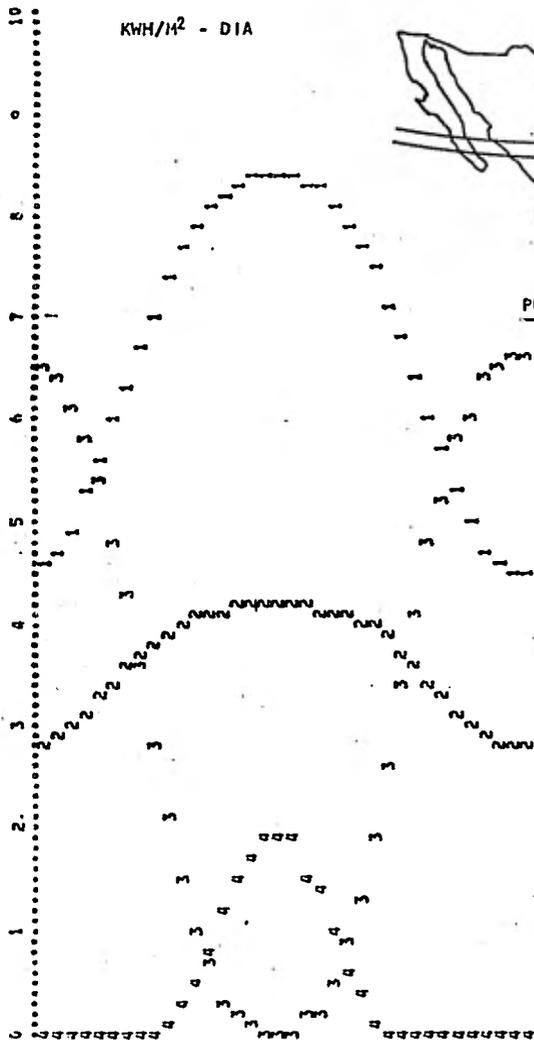
LATITUD 24° ± 0.5°



## POBLACIONES :

Cd. Victoria, Tamps.  
 La Posca, Tamps.  
 Barretal, Tamps.  
 Padilla, Tamps.  
 Carrizos, Tamps.  
 Villagran, Tamps.  
 Unión Morales, Tamps.  
 Canela, N. L.  
 Miguel, N. L.  
 Dr. Arrollo, N. L.  
 Zaragoza, N. L.  
 Sn. Juan, N. L.  
 Tinajas, N. L.  
 Majonai, Zacatecas  
 Sta. Eugenia, Za.  
 Sn Andrés, Za.  
 El Sombrero, Za:  
 El Arenal, Za.  
 Pacheco, Za.  
 Camacho, Za.  
 Juan Aldama, Za.  
 Nieves, Za.  
 Madero, Dgo.  
 Gavilanes, Dgo.  
 Jiborillas, Dgo.  
 V. Guerrero, Dgo.  
 Morcillo, Dgo.  
 Panúco, Dgo.  
 El Limón, Sin.  
 Elota, Sin.  
 Sn. Juan, Sin.  
 Conitaca, Sin.  
 La Paz, B. C. S.  
 Santiago, B. C. S.  
 Los Barriles, B. C. S.  
 Conejo, B. C. S.  
 L. Ana, B. C. S.



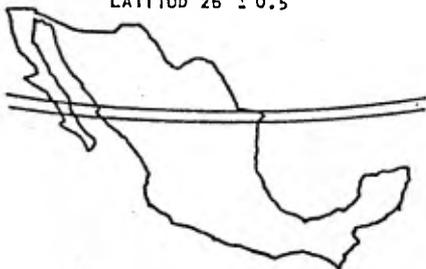


POBLACIONES:

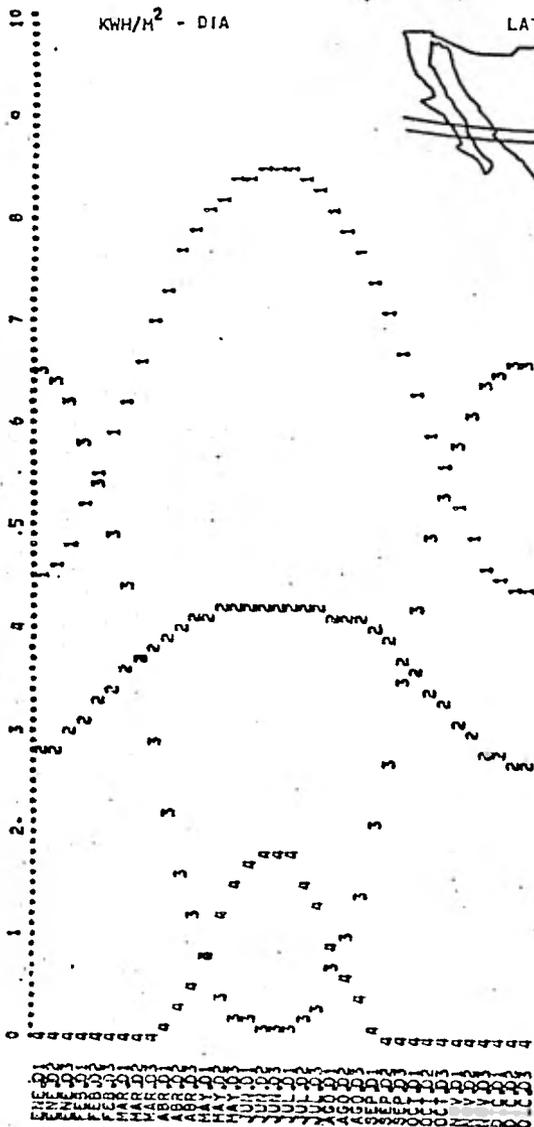
Burgos, Tamps.  
 Mendez, Tamps.  
 Soldadito, Tamps.  
 Corral, Tamps.  
 Nicolás, Tamps.  
 Sn. Antonio, NL.  
 Rayones, N.L.  
 Sn. Rafael, N. L.  
 Pastor, N. L.  
 Monte Morelos, N. L.  
 Caderita, N. L.  
 El Cercado, N. L.  
 Saltillo, Coahuila  
 Parras, Coahuila  
 Torreón, Coahuila  
 Viesca, Coahuila  
 Matamoros, Coahuila  
 La Rosa, Coahuila  
 Gómez Palacios, Dgo.  
 Atotonilco, Dgo.  
 Rodeo, Dgo.  
 Tongo, Dgo.  
 Corrales, Dgo.  
 Topia, Dgo.  
 Angostura, Sin.  
 Cullacán, Sin.  
 Huamuchil, Sin.  
 La Rastra, Sin.  
 Pericos, Sin.  
 Guasave, Sin.  
 Sn. Carlos, B. C. S.  
 El Refugio, B. C. S.  
 Villa Constitución, B.C.S.  
 Queretaro, Qro.

KWH/M<sup>2</sup> - DIA

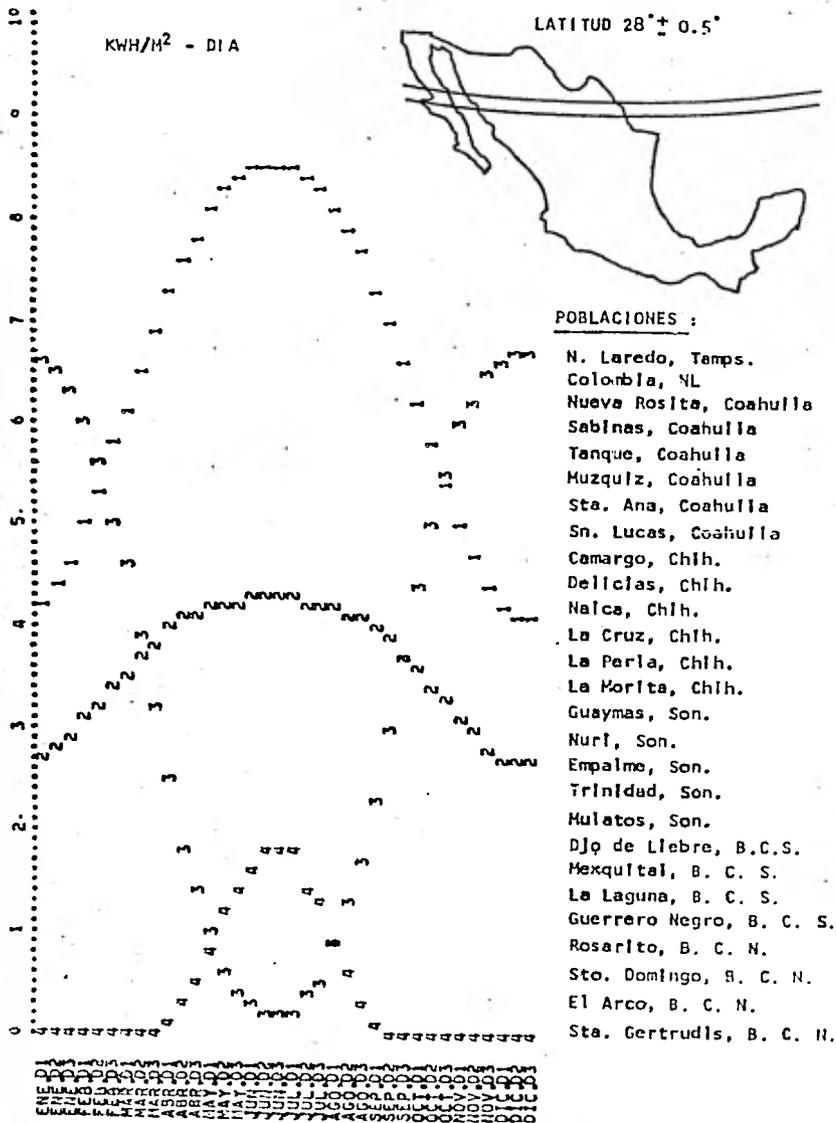
LATITUD 26° ± 0.5°

POBLACIONES :

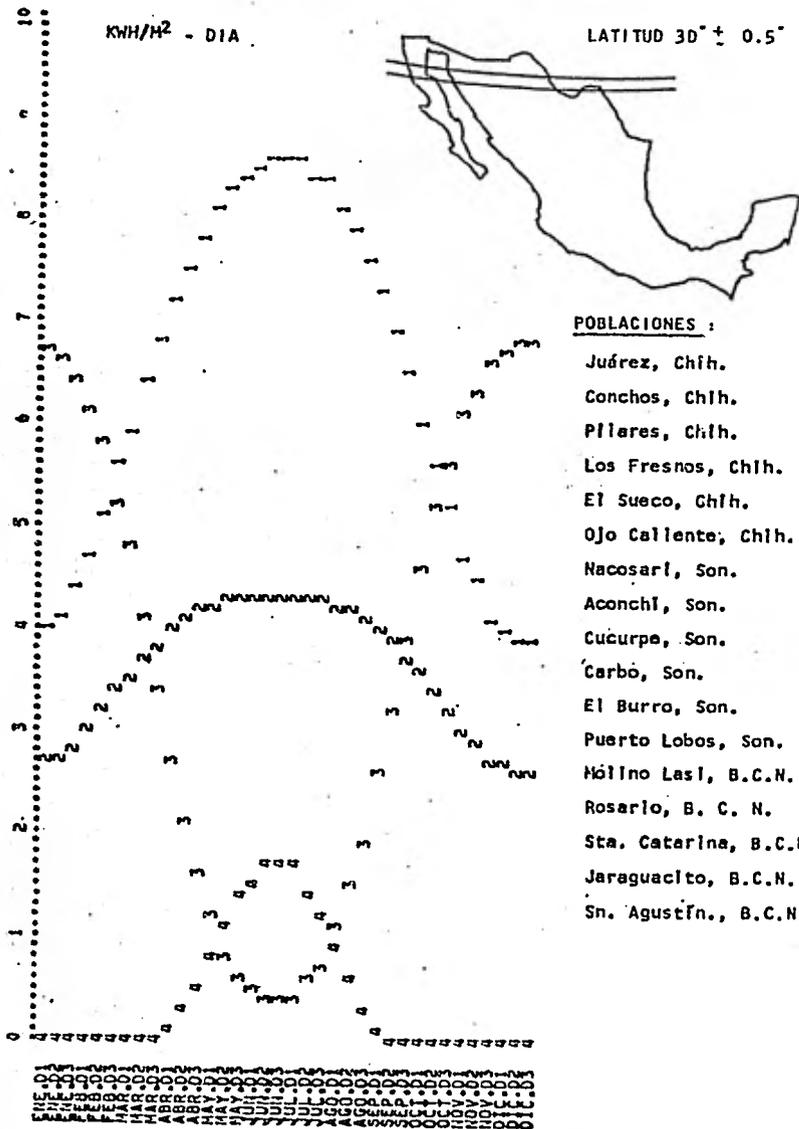
Metamoros, Tamps.  
 Bagdad, Tamps.  
 Laguna Barril, Tamps.  
 Raynosa, Tamps.  
 Dr. Coss, N. L.  
 Los Herrera, N. L.  
 Abasolo, N. L.  
 Garcia, N. L.  
 Monterrey, N.L.  
 Australia, Coahuila  
 Colorado, Coahuila  
 Guadalupe, Coahuila  
 Las Delicias, Coahuila  
 Charco de Risa, Coahuila  
 Mapini, Dgo.  
 Zape, Dgo.  
 Jarollito, Dgo.  
 Conejus, Dgo.  
 Yermo, Dgo.  
 Villa Hidalgo, Dgo.  
 Redondeado, Chih.  
 Babrigano, Chih.  
 El Vergel, Chih.  
 Real la Dura, Chih.  
 Sn. Miguel, Sin.  
 Sn. Blas, Sin.  
 Chinobampo, Sin.  
 Ocorini, Sin.  
 Sn. José, Sin.  
 Pozo Grande, B.C.S.  
 El Pabellón, B. C. S.  
 La Purísima, B. D. S.  
 Sta. Isabel, B. C. S.



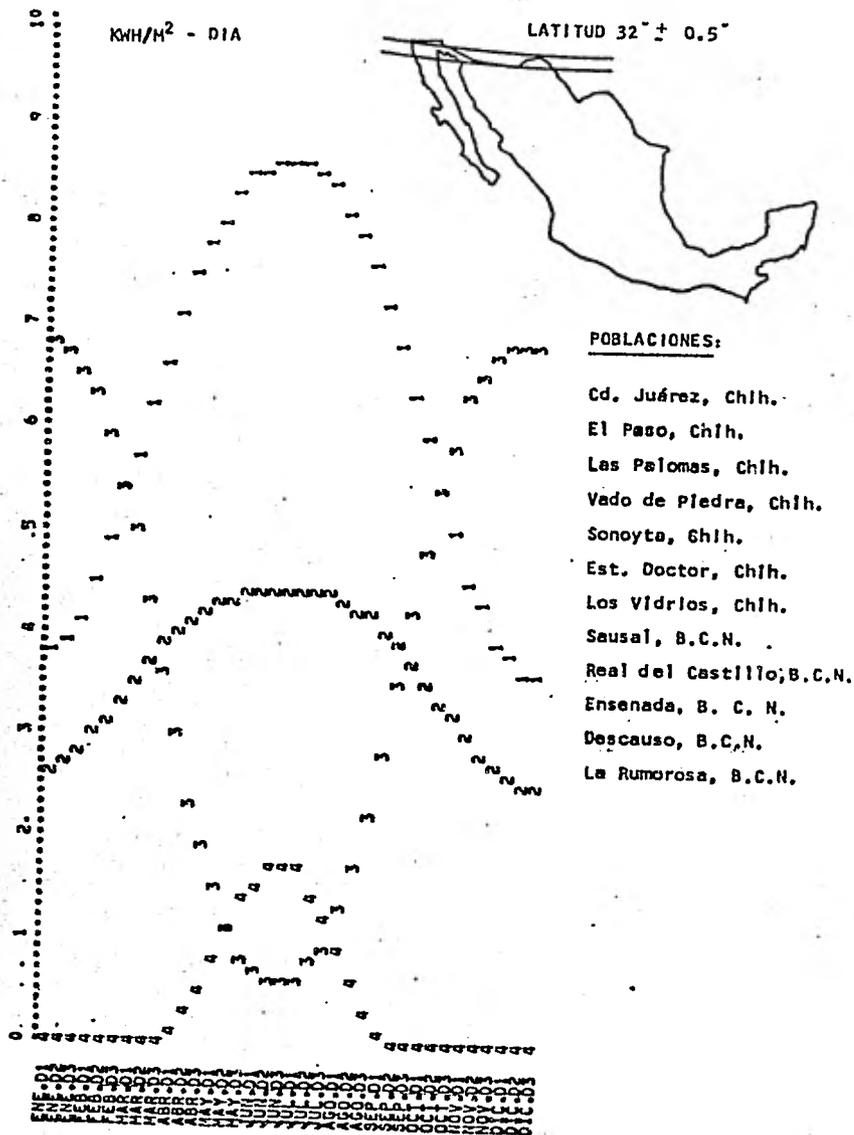


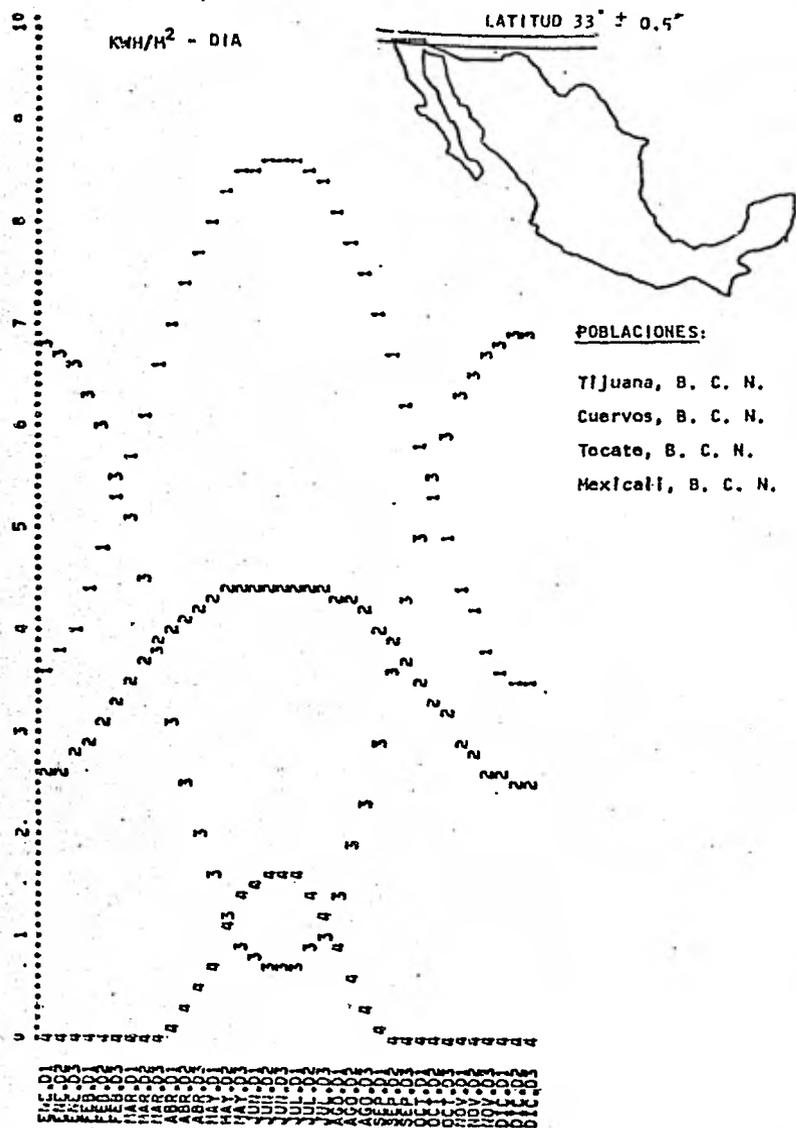










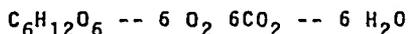


#### IV. ENERGIA DE LA BIOMASA

El desarrollo de la biomasa como fuente de energía, presenta rasgos diferentes al empleado en otras fuentes, una ventaja respecto a la energía solar directa es la facilidad de almacenar la biomasa. Además muchos de los derivados de la biomasa pueden emplearse en los equipos que utilizan combustibles fósiles sin necesidad de modificaciones importantes y sin ocasionar niveles tan altos de contaminación.

Además de los procesos de combustión directa y de alimentación de animales de tracción, existen otras formas de tratamiento de la biomasa, previas a su utilización como energético, que la transforman en compuestos ricos en energía, esto es, en moléculas ricas en carbono y/o hidrógeno y pobres en oxígeno y nitrógeno, empleados más adelante como combustibles así, mediante una variedad de procesos; pirólisis, hidrogenación, hidrogasificación, destilación, fermentación anaeróbica y fermentación aeróbica, pueden obtenerse diferentes hidrocarburos a partir de leña, caña de azúcar, maíz, como la celulosa es el material más abundante en la biomasa combustible, se puede tomar 4.5 Mcal/kg. como valor representativo de la energía acumulada en este recurso energético.

Una forma antigua y tradicional de obtener energéticos es quemar material vegetal o residuos orgánicos de animales, es decir biomasa obtenida por la fotosíntesis a través de la agricultura, la silvicultura o la ganadería, siguiendo la ecuación empírica de combustión de los carbohidratos.



En esta reacción de combustión de carbohidratos generalmente liberan  $4.5 \times 10^6$  cal/kg de materia seca.

La energía solar que incide en la tierra queda atrapada o almacenada en las plantas por medio de la fotosíntesis. Esta energía es -- convertida en energía química al transformar sustancias inorgánicas, agua y bióxido de carbono en carbohidratos orgánicos; es almacenada después en tejidos vegetales.

A partir de la segunda mitad del siglo pasado, la biomasa, particularmente la leña y carbón vegetal, fueron la mayor fuente energética antes de utilizar el carbón mineral de combustibles vegetales -- ha disminuido en México rápidamente en las últimas décadas (del -- 15% del consumo total de energía en 1940 al 3.9% en 1972).

Esto indica que el medio rural de biomasa sigue siendo, en la mayoría de los casos el recurso energético para preparar alimentos y calefacción.

No obstante, el análisis de los impactos ambientales de los distintos usos de la biomasa como energético deben considerar todas sus fases de producción y no solo su utilización final, así se conocerán problemas tales como la desforestación y agotamiento de los -- suelos, etc.

Parte de la complejidad del uso de la biomasa como energético surge del contexto productivo en que se obtiene, ya que la biomasa -- útil al hombre es tanto una fuente de energía como de alimentos

de alta digestibilidad (granos de cereales, azúcar, féculos, tubérculos) o fuentes energéticas de forrajes fibrosos para la ganadería de carne o leche (pastos, rastrojos, pajas, etc). Sustituto parcial o total de fertilizantes químicos (compostas, abonos animales de tiro (bueyes, mulas, asnos, etc), que pueden sustituir parcialmente a los energéticos empleados en los motores de combustión interna.

La disparidad en la disponibilidad porcentual de combustibles fósiles es evidente, pues el campesino de un país subdesarrollado sólo requiere 33% de energéticos fósiles y el habitante industrializado utiliza 98%, de esta forma.

Estas grandes diferencias entre la sociedad campesina de subsistencia y la sociedad industrializada nos permiten sugerir que la biomasa como energético asociado a los productos agrícolas será más importante en sociedades campesinas que en las industriales, puesto que la utilización energética de biomasa proviene del desperdicio agrícola y ganadero será más valiosa para grupos con poco acceso al petróleo y sus formas de utilización energética, a través de la Industria y los Servicios que para las sociedades en donde la situación energética es el inverso de la campesina.

## DIGESTORES DE DESECHOS ORGANICOS

La utilización de gas de los pantanos, metano o biogas como combustible no constituye una novedad tecnológica, pues ya a principio del presente siglo se iluminaban ciudades con el biogas proveniente de plantas de tratamiento de drenajes municipales; Exeter, Inglaterra (1896) Birminahan, Inglaterra (1927), Berlin (1929), - - Baltimore (1936).

Durante la Segunda Guerra Mundial se despertó en Europa un redoblado interés por el metano, a partir de los desechos orgánicos como sustituto de la gasolina debido a la escasez de este último, este gas se empleó para el funcionamiento de automóviles en Alemania, - Francia, Argelia, así, en 1952 había en Francia 1000 plantas de -- biogas en funcionamiento, posteriormente a partir de la década de los 60 y con el regreso a fuentes de energía baratas (petróleo), - la mayoría de estas plantas fueron abandonadas.

A diferencia de los países desarrollados, la producción de biogas ha sido cada vez mas creciente en los países en desarrollo, siendo India y China los que están a la vanguardia en las aplicaciones a escala familiar y comunal, para el medio rural.

El digestor, como su nombre lo sugiere, es un depósito construido a modo de estómago o intestino, con el objeto de provocar la "di--gestión" (fermentación y desintegración) de la excreta y demás elementos orgánicos que en él se depositan.

La descomposición de la materia orgánica se puede efectuar de dos

maneras o dos procesos biológicos; la descomposición anaeróbica - (sin oxígeno) y aeróbica (con oxígeno) cualquier tipo de materia orgánica se puede descomponer en cualquier sentido; pero el producto final es diferente.

Quizás lo más importante que se debe recordar es que la digestión es un proceso biológico. Las bacterias responsables de la digestión no pueden sobrevivir ni siquiera con la menor traza de oxígeno en la mezcla del estiércol que se alimenta al digestor, por eso después de la carga, pasa un tiempo antes de que se produzca la digestión.

Durante ese período aeróbico inicial, las trazas de oxígeno, liberan así grandes cantidades de dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Cuando desaparece el oxígeno, se puede iniciar el proceso de la digestión.

De una manera sencilla es posible imitar la descomposición anaeróbica natural, colocando desechos orgánicos (estiércol y materias vegetales) en recipientes aislados y herméticos al aire, que se conocen con el nombre de digestores. Estos digestores pueden ser de dos tipos; digestores cargados por lote (batch), que se llenan una vez, se sellan y se vacían cuando la materia prima han dejado de producir gas y los digestores de carga continua, que se cargan regularmente, con pequeñas cantidades de modo que se produce continuamente gas y fertilizantes.

El digestor se alimenta con una mezcla de agua y desechos orgánicos diariamente.

## DIGESTORES CLASIFICADOS SEGUN CARACTERISTICAS DE FLUJO HIDRAULICO

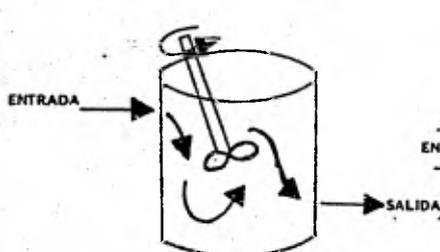
LLENAR . SACAR



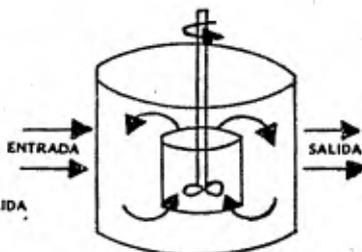
DE CARGA POR LOTES (BATCH)



DE FLUJO "TAPON"



DE FLUJO ARBITRARIO

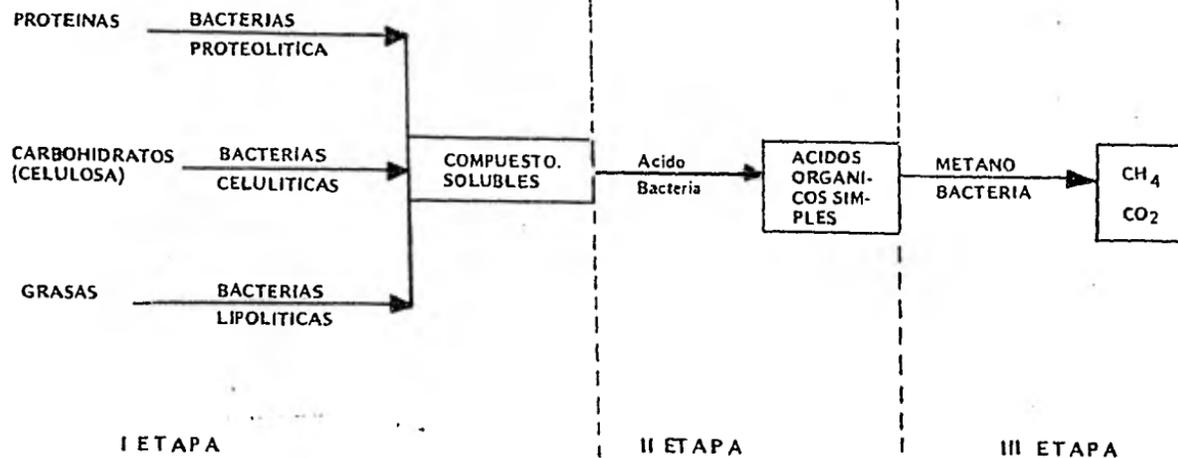


DE MEZCLA COMPLETA

Fuente: Anaerobic digester feasibility study, Ecotope Group

La producción de biogas es un proceso biológico que se lleva a cabo por una degradación anaeróbica en ausencia de oxígeno; es un proceso que se efectúa en tres etapas (ver cuadro) y en cada una de ellas actúan diferentes grupos de bacterias. La primera etapa consiste en la conversión de gases, proteínas y carbohidratos a compuestos simples, como el ácido acético, el propiónico, etc, las bacterias formadoras de ácidos que actúan en estas fases son fáciles de reproducir y no son muy sensibles a cambios bruscos de las condiciones de digestión. La tercera etapa del proceso, se refiere a la transformación de los ácidos simples a metano y bióxido de carbono, actuando en esta fase las bacterias metanogénicas, mismas que son difíciles de producir y muy sensibles a cambios del medio ambiente y a la presencia de oxígeno en el medio.

## ETAPAS DE LA DIGESTION ANAEROBICA



## BIOQUIMICA DE LA FERMENTACION ANAEROBICA

### ETAPA I: SOLUBILIZACION

MATERIA CRUDA + POLIMEROS COMPLE- JOS CARBOHIDRATOS PROTEINAS, GRASAS	MICROORGANISMOS "S" BACTERIAS ENZIMATICAS (FACULTATIVAS)	→ COMPUESTOS SOLUBLES + MONOMEROS DE: AZUCARES AMINOACIDOS GLICERIDOS Y LIPIDOS	MICROORGANISMOS "S" Y OTROS PRODUCTOS INTER MEDIOS
--------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------

### ETAPA II: FORMACION DE ACIDO

COMPUESTOS SOLUBLES + MONOMEROS DE: AZU CARES, AMINOACIDOS GLICERIDOS Y LIPIDOS	MICROORGANISMOS "A" BACTERIAS FORMADORAS DE ACIDO (Facultativas)	→ ACIDOS ORGANICOS AC. ACETICO, AC. PROPIONICO, AC. LACTICO, OTROS AL- COHOLES SIMPLES CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , H <sub>2</sub>	MICROORGANISMOS "A" Y OTROS PRODUCTOS INTERMEDIOS
------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------

### ETAPA III: FORMACION DE METANO

ACIDOS ORGANICOS + AC. ACETICO, AC. PRO- PIONICO, AC. LACTICO Y OTROS ALCOHOLES SIMPLES CO, N <sub>2</sub> , H <sub>2</sub>	MICROORGANISMOS "M" BACTERIAS FORMADORAS DE METANO (ANAEROBIAS OBLIGADAS)	→ BIO - GAS + METANO DIOXIDO DE CARBONO NITRO- GENO, SULFURO DE HIDROGENO	MICROORGANISMOS "M" Y OTROS PRODUCTOS FINALES
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------

## RELACION CARBONO - NITROGENO DE ALGUNOS DESECHOS

MATERIA PRIMA	C	N	Proporcion
	<i>o/a Peso Seco</i>	<i>o/a Peso Seco</i>	<i>C/N</i>
<b>DESECHOS AGRICOLAS</b>			
PAJA DE TRIGO	46	0.53	87
PAJA DE ARROZ	42	0.63	67
TALLOS DE MAIZ	40	0.75	53
HOJARASCA	41	1.00	41
TALLOS DE SOYA	41	1.30	32
MALAS HIERBAS	14	0.54	27
TALLOS Y HOJAS DE MANI	11	0.59	19
HENO DE ALFALFA	—	2.50	17
<b>ESTIERCOL FRESCO</b>			
OVINO	16.0	0.55	29
BOVINO	7.3	0.29	25
EQUINO	10.0	0.42	24
PORCINO	7.8	0.65	13
AVES (Pollos)	—	6.3	15
HUMANO	2.5	0.85	2.9

## FACTORES QUE GOBIERNAN EL PROCESO.

Se presenta a continuación un resumen técnico sobre los parámetros básicos que rigen el proceso.

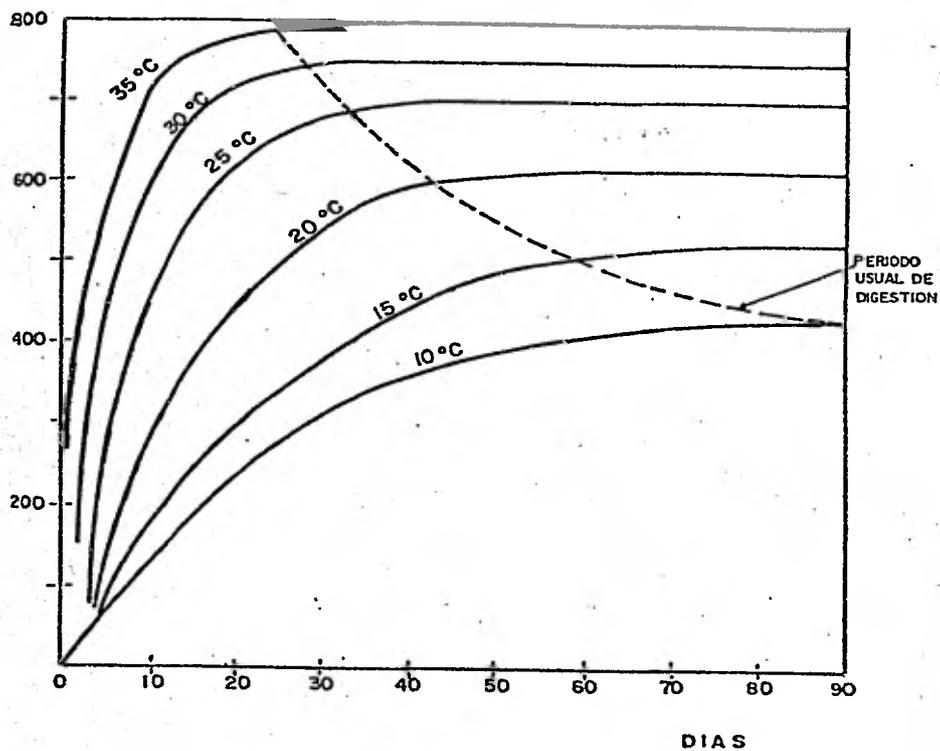
La composición del desecho que se utiliza es de importancia, ya -- que el carbono y el nitrógeno deberán estar presentes en la dirección bacteriana en proporción adecuada. Si hay muy poco nitrógeno, -- la bacteria no será capaz de usar todo el carbono presente y el -- proceso era insuficiente, si por lo contrario hay demasiado nitrógeno, usualmente en forma moniacal, éste puede inhibir el crecimiento de bacterias; especialmente las bacterias de metano. La experiencia muestra que la relación óptima es (C:N) de 30:1.

Sin embargo, aun cuando la materia orgánica tenga una buena relación C:N, no será digerida en forma apropiada si su contenido biodegradable es pequeño, o sea cuando es resistente a la acción microbiana.

### TEMPERATURA

La descomposición anaeróbica puede efectuarse a cabo en un intervalo de temperatura desde 15°C hasta 60°C. Las bacterias cuyo ciclo biológico se lleva a cabo entre 15°C y 35°C son llamadas mesofílicas, proliferando en forma óptima a 35°C y aquella cuyo ciclo se realiza a temperaturas que van de 35°C hasta 60°C llamadas termofílicas, encuentran su temperatura óptima en 55°C.

En el caso específico del medio rural, donde los sistemas deben -- ser fáciles de construir y operar resulta mucho más conveniente -- optar por las bacterias mesofílicas, es decir trabajan a temperatu



PRODUCCION DE GAS A DIFERENTES TEMPERATURAS

## PRODUCCION DE BIOGAS VS. % SOLIDOS TOTALES

LTS GAS/KG SECO INICIAL

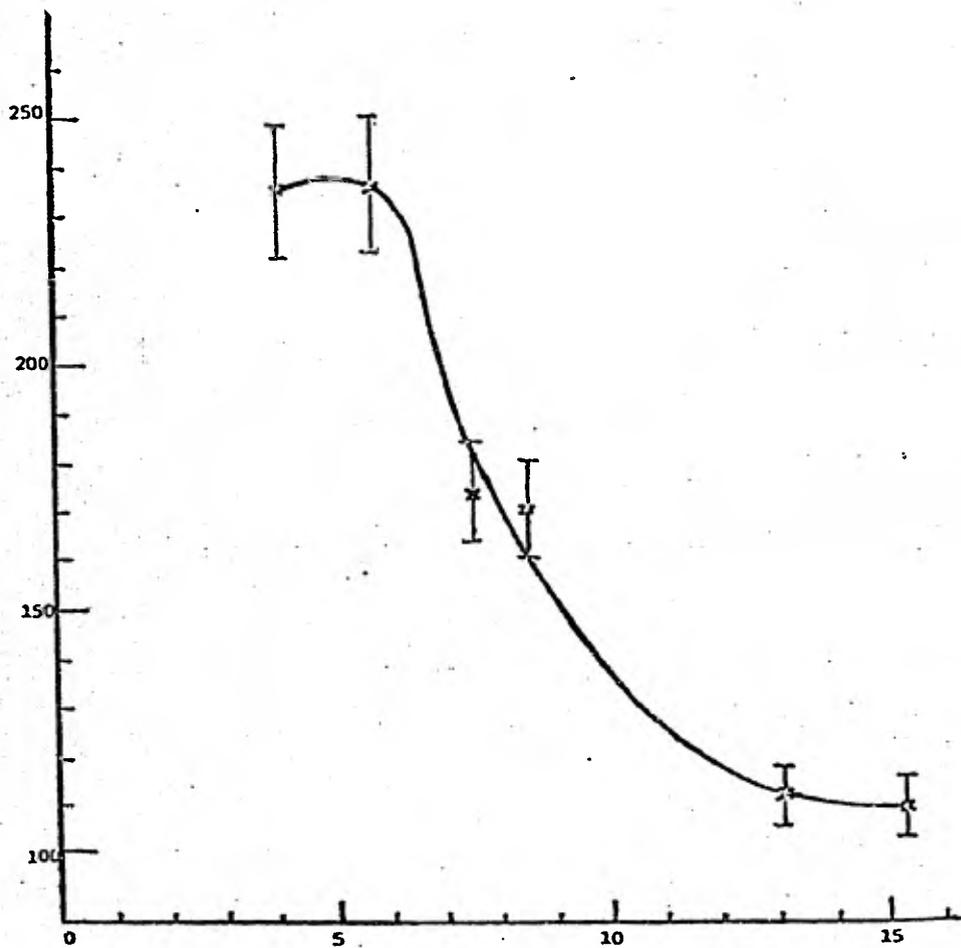


FIG. No. 11

ra ambiente, pero tomando en cuenta que son muy sensibles a cambios bruscos de temperatura.

Deberá procurarse una temperatura de operación de 30 a 35°C para lograr una buena eficiencia del proceso ya que la producción total de biogas aumenta al acercarse a la temperatura óptima, además de que la velocidad de producción de biogas aumenta considerablemente.

#### PORCENTAJE DE SOLIDOS

Los sólidos totales contenidos en un digester son también un factor importante a considerar para asegurar que el proceso se lleve a cabo en forma satisfactoria. El rango de valores van del 4 al 7%, como se muestra en la figura II. El estiércol fresco de bovino contiene alrededor de 17 al 20% de sólidos totales razón por la cual para llegar al rango de operación es necesario diluir con agua, -- de preferencia con agua caliente.

#### PH

En digestores que operan con estiércol de bovino, se han obtenido niveles de 6.7 a 7.5. El pH se mantiene en este rango si el digester está operando correctamente. Si se pierde el equilibrio de un digester y esto se torna demasiado ácido, se inhibe a las bacterias formadoras de bacterias de metano, dando como resultado un incremento en la producción de bióxido de carbono en el biogas.

Las causas por las cuales decae el pH, puede ocurrir son, entre otras, un aumento brusco de la carga, cambios súbitos de temperatura o presencia de elementos tóxico.

En algunos casos el pH bajo puede corregirse adicionando sustancias alcalinas como carbonato de sodio  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

## TIEMPO DE RETENCION

El tiempo que permanecen los sólidos volátiles en un digestor es una parte fundamental del proceso y representan el tiempo promedio durante el cual la materia orgánica es atacada por los microorganismos. Este tiempo determina la fracción de biogas que se obtenga de la producción máxima que es posible obtener a tiempos de retención muy largos. De aquí que es necesario llegar a un compromiso entre el volumen de biogas que se va a producir y el tiempo de retención determina el volumen de la carga que se adiciona diariamente al digestor, la cual deberá ser igual al volumen total del digestor, entre el tiempo de retención expresado en días.

La cantidad de biogas que es posible obtener a partir de una masa dada aumenta al aumentar el tiempo de retención.

Sin embargo, la cantidad de biogas producidos en un volumen dado de digestor, aumenta al disminuir este tiempo.

El tiempo de retención de la materia orgánica en un digestor está fuertemente ligado a la temperatura de operación ya que al trabajar a temperaturas de cada vez mas cercanas la óptima de 35°C, los tiempos de retención se reducen al conseguirse mayores velocidades de producción, aprovechandose mejor el volumen del digestor y obteniéndose además una mayor cantidad de biogas por kilogramo de materia orgánica procesada.

Para digestores de carga continua trabajando en condiciones mosofílicas, los tiempos de retención típicos son de 20 o 45 días, en estos sistemas estacionarios normalmente se trabajan a tiempos mas -

largos, llegando hasta los 90 días.

#### CARACTERISTICAS Y UTILIZACION DEL BIOGAS

Se denomina Biogás, a la mezcla gaseosa que se produce de la fermentación anaeróbica de desechos orgánicos y contiene, metano y dióxido de carbono y otros elementos.

<u>Composición del Biogas</u>	<u>% en volumen</u>
Metano (CH <sub>4</sub> )	55-62
Dióxido de C (CO <sub>2</sub> )	35-45
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	0.3
Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	0.1
Sulfuro de H	0.1

El metano es el principal constituyente y que en condiciones óptimas puede producir biogas con 70% de CH<sub>4</sub>.

El metano es el componente energético útil y del contenido de éste, depende el valor combustible del biogas (poder calorífico 5,000 - Kcal/m<sup>3</sup> aproximadamente). En el cuadro se muestra las propiedades físicas y químicas más importantes del metano.

Como ya dijimos, es prácticamente el gas natural, o sea como el que ya se usa como combustible en la industria y algunas unidades habitacionales, es decir, un combustible comercial, más limpio que el petróleo, gasolina, carbón o diesel.

Puede por tanto, ser usado como combustible directo para cocinar, calentar agua, calderas, turbinas de gas; o puede alimentar un mo-

tor de combustión interna con ligeras modificaciones. Puede usarse en la Siderurgia, y también podría comprimirse en los tanques convencionales de agua LP, para usarse en vehículos.

El sulfuro de hidrógeno es un componente indeseable porque es tóxico y en presencia de vapor de agua y oxidantes forman ácido sulfhídrico que puede corroer las tuberías; éste, puede separarse haciendo pasar Biogas através de limadura de fierro.

## FILTROS Y PURIFICADORES DE GAS

### Filtros de gas sulfhídrico

La manera más simple y económica para eliminar el gas sulfhídrico del biogas es la de pasarlo a través de un filtro seco conteniendo limaduras de hierro o escoria de acero, mezclados con aserrín de madera.

Con  $0.0325\text{m}^3$  de escoria de acero consigue remover 3,7 kg. de azufre. Habiendo 0.2% de  $\text{H}_2\text{S}$  en el biogas, este volumen de escoria de acero puede eliminar el  $\text{H}_2\text{S}$  de aproximadamente  $2500\text{m}^3$  de biogas.

La regeneración de la limadura de hierro o escoria de acero puede realizarse hasta 3 veces, haciendo pasar aire por medio de un ventilador a través de la misma, o exponiéndola simplemente al aire (esto es, al oxígeno), que convierte el sulfuro de hierro formado de nuevo en óxido de hierro y azufre como elemento.

Se debe tener algún cuidado en esta operación de regeneración porque la misma sucede bajo desprendimiento de calor.

Las reacciones que ocurren son las siguientes:

Purificación del gas  $\text{FeO}_3 + 3\text{H}_2\text{S} \text{ ----- } \text{Fe}_2\text{S}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$

Regeneración de la limadura de hierro



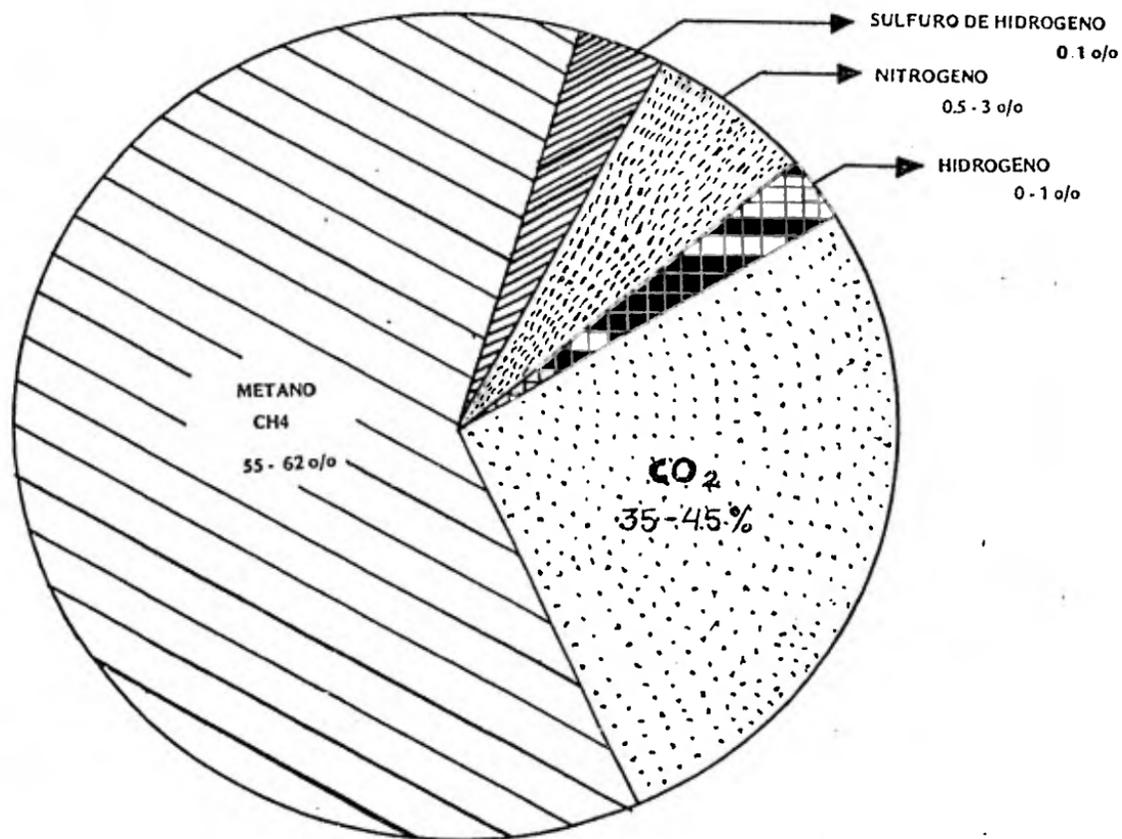
Filtros de gas carbónico

La purificación del biogas a través del agua es la mas convenient--  
te cuando la misma es disponible en grandes cantidades y a presión  
baja. Para eliminar el  $\text{CO}_2$  de  $0.2\text{m}^3$  del biogas a una temperatura -  
de  $20^\circ\text{C}$ , bajo una presión de  $1\text{Kg}/\text{cm}^2$  son necesarios 91.6 litros de  
agua (admitiendo que existan 35% de  $\text{CO}_2$  en el biogas).

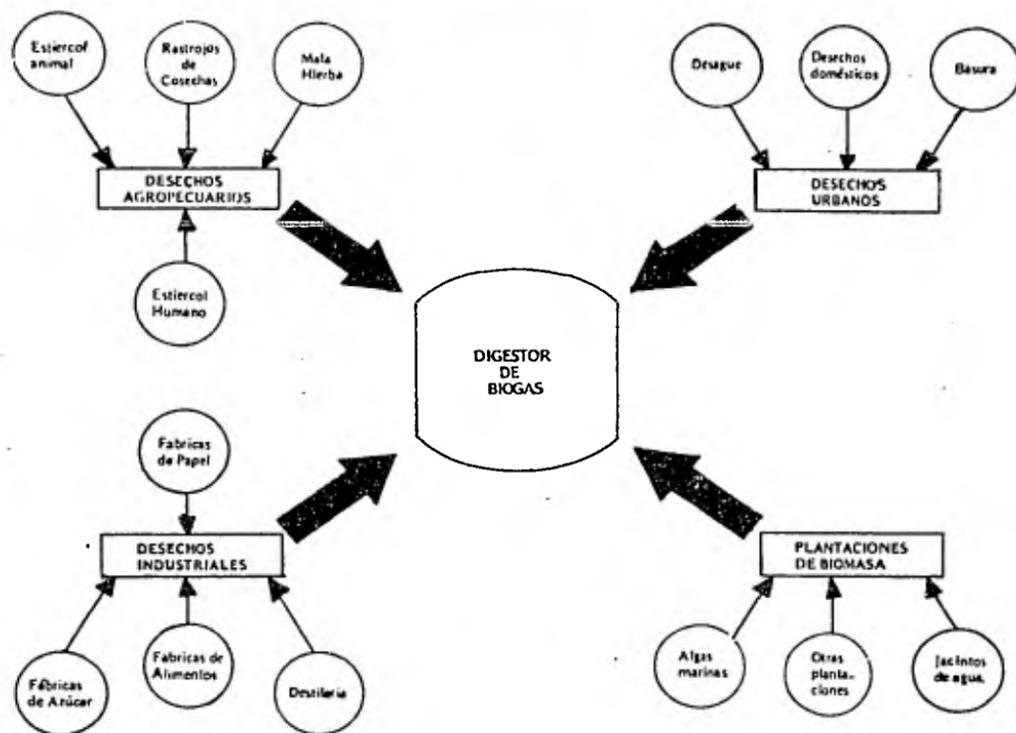
Aumentando la presión, se necesita menos agua y todavía podria - -  
ocurrir corrosión en el compresor.

Además del agua, aún pueden ser usado  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$  y  $\text{Ca(OH)}$  para puri-  
ficar el biogas. Todas estas sustancias no son regenerables a bajo  
costo, por lo que no son indicadas económicamente.

### COMPOSICION DEL BIOGAS

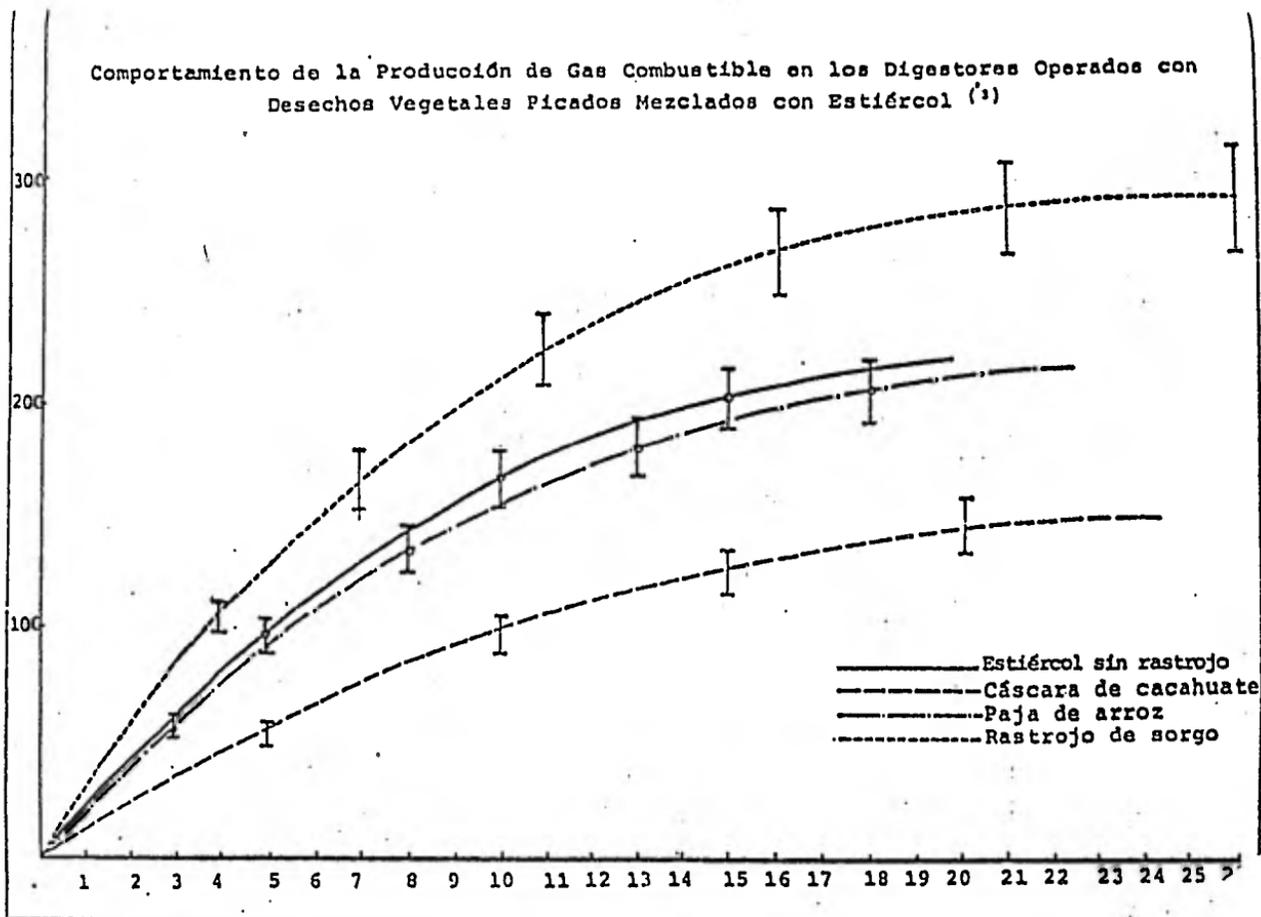


### MATERIAL ORGANICO PARA LA DIGESTION



Comportamiento de la Producción de Gas Combustible en los Digestores Operados con Desechos Vegetales Picados Mezclados con Estiércol (1)

lbs gas/kg inicial de material seco



## PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL METANO

Fórmula química	CH
Peso molecular	16.042
Punto de ebullición (a 1 atm)	-161.49°C
Punto de solidificación (a 1 atm)	-182.48°C
Presión crítica	47.363 Kg/cm <sup>2</sup>
Temperatura crítica	-82.5°C
Gravedad específica	
- Líquido (a -164°C)	0.415
- Gas (a 25°C y 1 atm)	0.000658
Volumen específico	
(a 15.5°C y 1 atm)	1.47 lt/gm
Poder calorífico (a 15,5°C y 1 atm)	9,120 kcal/m <sup>3</sup>
Aire requerido para combustión	
en m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	9.53

## FERTILIZANTES

### Usos de efluentes de digestor

- 1.- Espuma nata
- 2.- Líquido sobrenadante
- 3.- Lodos

#### A.- Fertilizantes

- i) Tierra
- ii) Agua

1.- La espuma - nata sólo se usa como mejorador de suelos, preparando como si fuera composta para cualquier clase de plantas y técnicas.

2.- Sobrenadante puede usarse como fertilizante punta de riego en cualquier cultivo sea en un suelo de campo o aún en hidropnia.

Para suelos, la dosis depende tanto del suelo (conocido mediante análisis) como de la planta.

En cultivos deberá seguirse las normas sugeridas, en cuanto a N-P-K, por los técnicos locales, usando los análisis como tabla de conversión.

ii) Para fertilizar agua (para crecimiento de algas, alimento de peces) se usa en proporción de 1/4 lt. por cada 10 m<sup>3</sup> de agua del estanque. En su caso puede seguirse normas de acuerdo a análisis, cuentas de algas, etc.

### B.- Nutrientes.

En este caso puede usarse para alimento de ciertos peces omnívoros, detritófagos, etc., aumentando la dosis antes señalada para fertilización a lo doble, aunque será preferible hacerle de acuerdo a la cantidad de peces, especie, etc.

### 3.- Lodos.

La aplicación de estos es aproximadamente en razón de 2/3 partes - de lo usado en líquido sonbrenadante.

En lo general, es necesario tan solo cuidar que, el suelo no se -- vuelva demasiado ácido. Se mide con papel tornasol y si baja de 5 -- deberá aplicarse cal a la cantidad que recomendará un técnico para el uso. Esto servirá tanto para normalizar la acidez, quitándola -- (sin pararse), como para fertilizar. Esto puede ser necesario una vez cada 5 o 10 años.

Como ya se dijo, el reciclaje de nutrientes (otra forma en que -- existe energía) permite mejoras sustanciales en los suelos.

### Materia Orgánica para

- Buen pH
- Retención de humedad
- Asiento de micro-flora y fauna degradadora
- Aniones y cationes para disponer de ciertos nutrientes de otra -- manera no asimilables
- Protección a la intemperie
- Nutrientes a largo plazo

de mejor calidad a su vez para optimizar dietas de animales y humanos.

En la tabla I se presentan los promedios y desviaciones estándar de las características de la materia prima y de los lodos residuales, observándose que, entre la materia prima y el material digerido, se presenta un decremento en el contenido de fibras y gases aumentando el porcentaje de los demás componentes. El efecto principal aparece en el aumento del contenido de nitrógeno del material digerido lo que hace que tenga mayor poder fertilizante que la materia prima sin digerir.

**VALOR PROMEDIO Y DESVIACION ESTANDAR DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA PRIMA Y MATERIAL DIGERIDO.  
(PORCIENTO EN BASE SECA)**

	MATERIA PRIMA	MATERIA DIGERIDA
Proteínas	11.89 ± 0.82	13.94 ± 0.37
Grasas	2.54 ± 0.53	1.90 ± 0.23
Cenizas	24.56 ± 3.34	24.74 ± 1.94
Fibra	29.30 ± 2.64	21.85 ± 2.78
Hidratos de Carbono	26.98 ± 3.75	31.07 ± 3.83
Nitrógeno total	1.62 ± 0.33	2.40 ± 0.29
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	0.69 ± 0.08	0.77 ± 0.16
Potasio (K <sub>2</sub> O)	2.35 ± 0.27	3.49 ± 0.57
Calcio (CaCO <sub>3</sub> )	1.82 ± 0.36	2.44 ± 0.37

Análisis efectuados en el Laboratorio de Diagnósticos de Patología Animal de la SARH en Yauhtepec, Morelos.

T A B L A I

### Nutrientes, fertilizantes:

- No se pierde N volátil tanto por estar cerrado, como por tener - baja temperatura, como también poder fijarse en compuestos orgánicos.
- No se lixivian las hormonas, los micronutrientes, etc, en líquidos no recuperables.
- No se "queman" las vitaminas, las hormonas, etc., en reacciones termoflicas (como la aeróbica).
- No se oxidan otros compuestos que al hacerlo se destruyen.

### FITOTECNIA

Mueren huevos de larvas que son plagas (gallina ciega, palomillas, nemátodos, etc.); con la fermentación aeróbica no se logra destruir los huevos de nemátodos y otros.

Al estar nutridas las plantas en forma balanceada (pues no se pierde lo que se extrae del suelo) son más resistentes y rendidoras.

Ciertas esporas, bacterias, etc., son esterilizadas.

Asimismo, permite el uso intensivo en lugar del extensivo del suelo (y agua), de policultivos que mantengan niveles más permanentes y de producción y ocupación, aumentando así la productividad (no solo el espejismo de "la producción") y diversificación.

### BROMATOLÓGICAS

El suelo y las plantas son mejores y proveen de más nutrientes y -

## EL BIOGAS COMO ALTERNATIVA ENERGETICA

Como ya se habló en el capítulo IV de las características y utilización, se puede decir que su valor energético recide en el uso diario para preparar alimentos y la utilización en motores de combustión interna.

La utilización del biogas se estudió en estufas domésticas sencillas, lámparas de gas de tipo capuchón un refrigerador de absorción y una planta de generación eléctrica. Aún cuando la intensidad luminosa del biogas es mucho menor que la del gas LP, su nivel de iluminación es aceptable.

Valor energético de la excreta animal.

Cuidadosas observaciones han comprobado, por una parte, que una vaca de regular calidad y 450 kg. de peso, si es tabulada, en tres días consume de 90 a 100 kg de pastura y forrajes.

Del conjunto energético que éste representa, el hombre recuperable en leche un promedio equivalente al 30% de esa energía invertida.

La vaca gasta en su conservación en su movimiento, sudor etc.; no mas del 10% de energía, es ese mismo lapso de tiempo arroja en su excreta y orina un 60% de energía no asimilada. Por otra parte, se ha comprobado también que en el uso y aprovechamiento tradicional del estiércol en el campo mexicano, el campesino no logra aplicar sus tierras mas que el 20% del estiércol acumulado al aire libre y no puede ser de otra manera, ya que el estiércol y orina animal, juntos contienen un 86% de humedad y un 14% de sólidos totales de los cuales mas del 80% es volátil.

## ZONA RURAL

Cuando en México les hablamos a los campesinos sobre las ventajas del digestor, les decimos que instalando un digestor en casas podrán recuperar parte de lo invertido. Y esto realmente les interesa sobre manera, y los motiva a construir una planta casera.

A ellos no les interesa todavía las ventajas sanitarias del digestor ni tampoco existe conciencia acerca de la contaminación ambiental, los campesinos los mueven primariamente los motivos económicos y de este modo conseguimos difundir el digestor en las comunidades rurales.

Problemas que hay que afrontar.

Cambios tan radicales como los que se han mencionado chocan fuertemente con una serie de comportamientos tradicionales del campesino por lo tanto importa mucho que el campesino previa y ampliamente tome conciencia de las significativas ventajas que conlleva cada uno de los elementos que se pretende introduzca en el cuidado de sus animales, del valor energético y nutricional de la excreta animal, y de la necesidad que se presenta de contar con agua a la mano para la adecuada recolección de la biomasa, de como los animales, para un mayor rendimiento, requieren de un decoroso albergue que les aisle de las temperaturas extremas, de los fuertes vientos y lluvias. Finalmente importa hacer resaltar ante el campesino y su familia las ventajas indirectas que se siguen de la recolección diaria de la excreta o detritus del establo, ya que ello propicia la desaparición casi total de las moscas y de los malos olores ca-

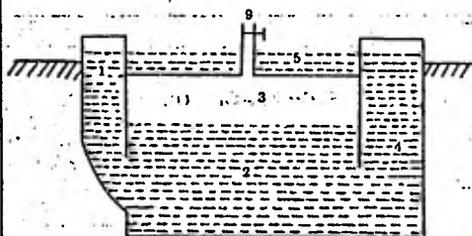
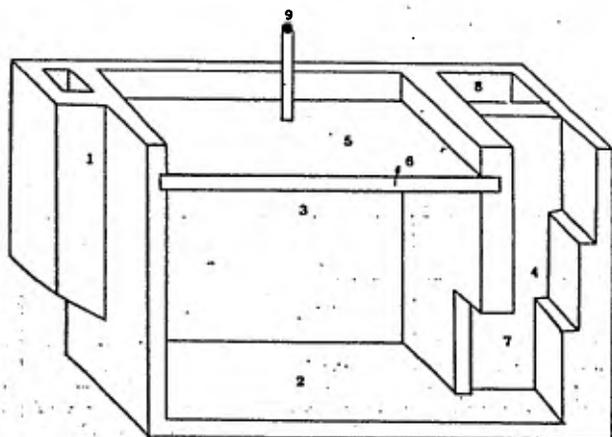
racterísticos y desagradables de todo establo tradicional.

#### Incrementos en las cosechas y posturas

Hay aquí un factor nuevo que precisa tener muy en cuenta; las posibilidades amplias que dará al campesino en orden al mejoramiento - de sus cultivos; el hecho de que en adelante una vez que ha logrado un establo como el descrito (referencia) podrá captar toda la - energía que naturalmente acumula la excreta del ganado mayor y menor.

Porque esta energía va hacer el elemento clave que progresivamente va a ir mejorando las tierras de cultivo y por lo consiguiente; va a proporcionar el incremento de las cosechas del campesino. Obviamente, este incremento en las cosechas de cada campesino va a repercutir en el monto y calidad de los insumos que consume su ganado, creándose así una interrelación en cadena (ganado - tierra y - tierra - ganado) altamente enriquecedora de energía.

Al final doy una serie de croquis y dibujos de digestores usados - en varias partes del mundo.



- 1- ENTRADA
- 2- TANQUE DE FERMENTACION
- 3- GAS
- 4- SALIDA DE LODO
- 5- TANQUE DE PRESION DE AGUA
- 6- CUBIERTA
- 7- PUERTA DE TANQUE
- 8- TANQUE ADAPTADO
- 9- SALIDA DE GAS

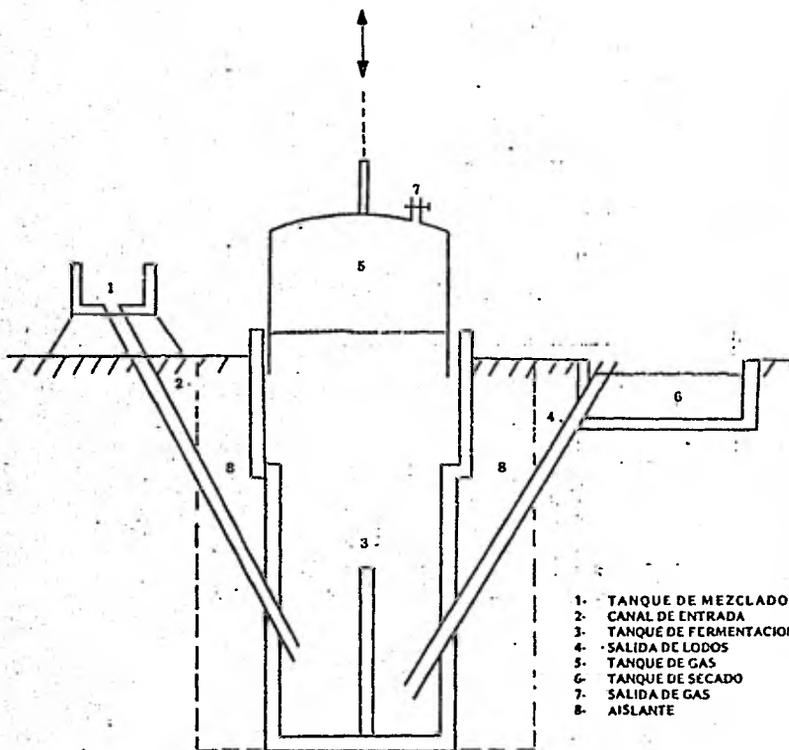
PLANTA DE BIOGAS USADA EN LA R.P. CHINA  
10 m<sup>3</sup>

PRODUCCION DE ENERGIA A PARTIR DE BIOMASA

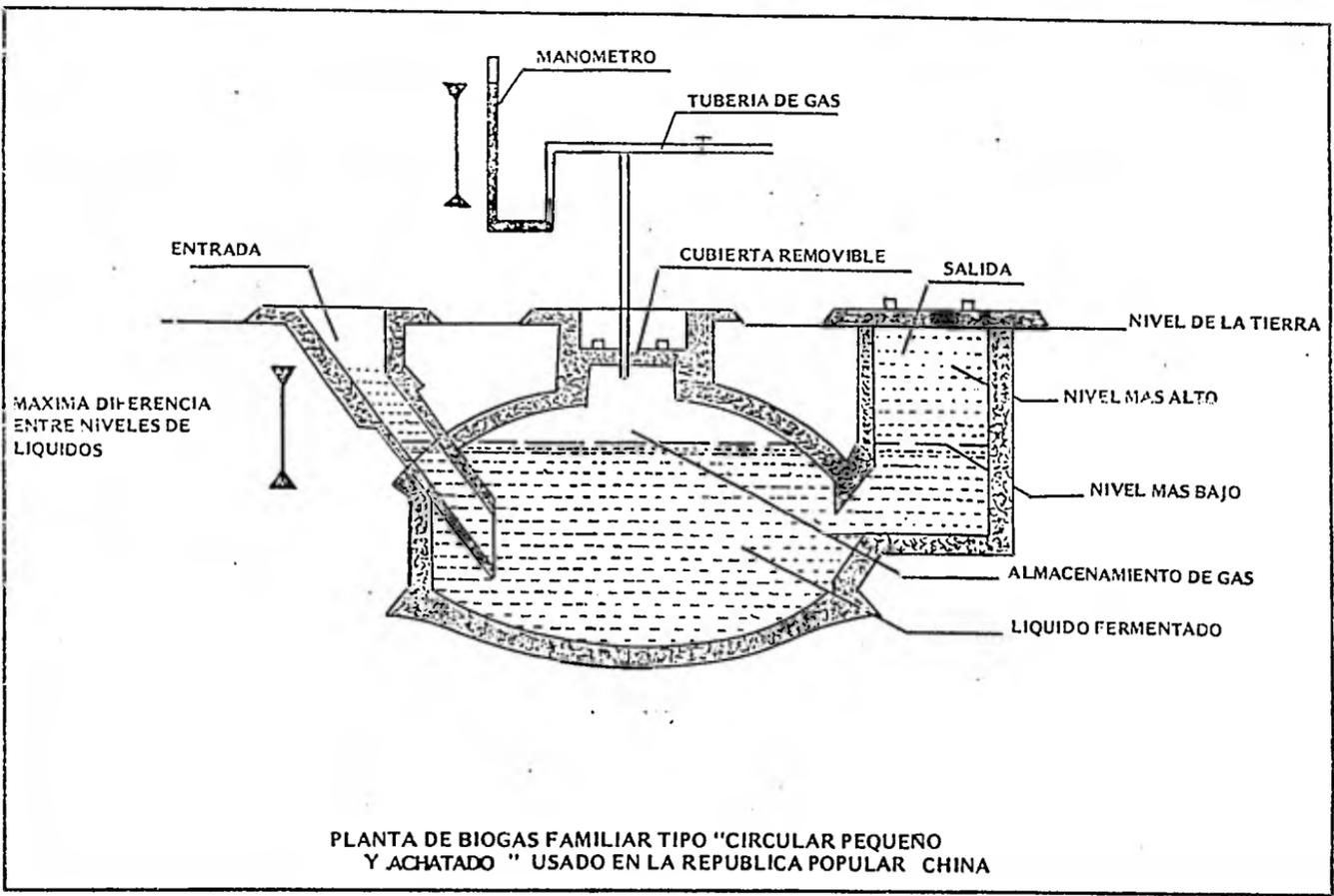
TECNOLOGIA	BIOMASA	PRODUCCION	ENERGIA Kcal/Kg. (a)
COMBUSTION DIRECTA	BASURA BIOMASA FORESTAL DESECHOS AGRICOLAS	— — EVENTUALMENTE ELECTRICIDAD	9.35 (CASO OPTIMO)
PIROLISIS Y GASIFICACION	BASURA BIOMASA FORESTAL, DESECHOS AGRICOLAS	CARBON, GAS, ACEITES COMBUSTIBLES ETC.	1,259
FERMENTACION ALCOHOLICA	COSECHAS AZUCARERAS, COSECHAS AMILACEAS	$C_2H_5 OH$	1,477
FERMENTACION ANAEROBICA	ESTIERCOL DE GANADO, DESAGÜES MUNICIPALES DESECHOS AGRICOLAS, DESECHOS DE IND. DE ALIMENTACION	$CH_4$	784

(a) DE BIOMASA SECA

## PLANTA DE BIOGAS USADA EN INDIA



- 1- TANQUE DE MEZCLADO
- 2- CANAL DE ENTRADA
- 3- TANQUE DE FERMENTACION
- 4- SALIDA DE LODOS
- 5- TANQUE DE GAS
- 6- TANQUE DE SECADO
- 7- SALIDA DE GAS
- 8- AISLANTE



PLANTA DE BIOGAS FAMILIAR TIPO "CIRCULAR PEQUEÑO Y ACHATADO " USADO EN LA REPUBLICA POPULAR CHINA

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como hemos visto dos alternativas de energía las cuales tienen un gran potencial económico y de protección ambiental para la humanidad, a las cuales se les está dando gran importancia; por organismos mundiales, asociaciones, institutos y universidades, que solo buscan dar a conocer los principios y fundamentos que el hombre -- puede hacer suyos para aumentar su nivel en el campo y la ciudad.

La energía solar como se observa tienen ventajas y desventajas, de todas estas la más importante es que podrá sustituir algún día a los combustibles fósiles.

La energía de la biomasa como ya se ha hablado es una fuente de -- energía que el campesino puede explotar para el beneficio de los -- que le rodean.

Las recomendaciones se las doy a los que tengan la oportunidad de ver esta tesis y de recomendar tratar de estudiar aun más, que no solo se queden con una visión pequeña de lo leído aquí si no que -- se despierte el interés por conocer más a fondo de lo que hemos -- hablado, porque mientras más personas conozcan estas alternativas será menos el tabú y el conocimiento de ellas será mas amplio.

B I B L I O G R A F I A

- Anderson, Bruce. "Solar Energy" Editorial Mc Graw Hill. 1977.
- Arias Chávez J. Fundación de Ecodesarrollo Xochicalli, (Información Directa). 1979.
- Anderson, Riordan. The Solar Home Book. Brice House. 1976.
- Duffie, John A. "New Materiales in Solar Energy Utilization - - -  
Proceeding of the United Nations Conference on New Sources of -  
Energy. Roma. 1961.
- Hernández Hernández E. Trabajos del Instituto de Investigaciones -  
de Materiales. U.N.A.M. 1978.
- I.T.E. Energía Solar en México (Información Directa).
- Johnn I. Yelott. "Solar Radiation and Its Uses on Earth" Editorial  
Portola Institute, Menlo Park. California 1974.
- ONU. (Viena) Tecnología para aprovechar la energía Solar, Naciones Unidas, Nueva York - 1979.
- OLADE. Boletín Energético # 14 (Ecuador) - 1980
- OLADE. Manual de Biogas primer Concurso Latinoamericano I, II - --  
(Guatemala) - 1981
- Universidad Iberoamericana. Una solución a la problemática del --  
Campo conjunto Ecológico Autosuficiente México- 1980.