



“TECHOS QUE CALIENTAN Y PRODUCEN ELECTRICIDAD”

Clave del proyecto: CIN2017A20194

Escuela de procedencia: Centro Universitario México

Autores: José Eduardo Loza Chimal

María Isabel Velarde Godínez

Fernanda Belén Vanegas Juárez

Michel Alberto Gordillo Andrade

Asesor: Jesús Flores Téllez

Área: Ciencias Físico-Matemáticas y de las Ingenierías

Disciplina: Física

Tipo investigación: Desarrollo tecnológico

Ciudad de México a 17 de febrero del 2017

Índice

Introducción	Página
Resumen.....	2
Planteamiento del problema.....	2
Hipótesis o conjeturas.....	3
Objetivo general.....	3
<u>Sustento Teórico:</u>	
Radiación solar.....	4
Espectro Solar.....	4
Relaciones geométricas entre los rayos solares y la superficie terrestre.....	5-6
La energía solar como recurso energético.....	7-8
La constante solar.....	8-9
La radiación normal extraterrestre.....	9
Distribución espectral de la radiación solar.....	9-10
Tipos de radiación y sus relaciones geométricas.....	10-11
Cálculo de la irradiancia directa sobre una superficie.....	11-12
Almacenamiento de energía.....	12-19
Variaciones estacionales de la radiación solar en algunas regiones de México.....	19-21
Datos de radiación solar en México.....	21-22
Metodología de investigación.....	23
Resultados.....	23-24
Conclusiones.....	24
Fuentes bibliohemerográficas y/o mesográficas.....	25

Introducción

Resumen:

Actualmente existe un problema energético y la Arquitectura pretende ayudar, buscando una nueva tendencia en la construcción, en la que cualquier edificación sea autosustentable y pueda producir su propia energía sin necesidad de consumir energía externa. Por esta razón nuestro proyecto pretende proponer la construcción de techos parabólicos donde a partir de energía calorífica concentrada en un colector se pueda producir energía eléctrica durante todo el día y todo el año, por lo cual, se pretende automatizar el colector para que cambie de posición conforme el movimiento del Sol.

Palabras clave: energía, construcción, producir.

Abstrac:

Currently in Mexico there is an energy problem and the architecture is intended to help, looking for a new trend in construction, in which any building can be self-sustainable and can be able tu produce it's own energy without using external power. For this reason our project intends to propose parabolic roof construction, where starting from concentrated heat energy in a collector it could produce electric power throughout the day and the whole year, for this reason, is intended to automate the collector to make it change it's position according to the path of the sun.

Key Words: energy, constrution, produce.

Planteamiento del problema:

Hoy en día existen fuentes de energía alternativas que no utilizan combustibles fósiles y no contaminan, como son la energía eólica y las celdas solares que pueden producir energía eléctrica para el uso del hombre en sus actividades cotidianas. Una de estas energías alternativas es obtenida a partir de calentadores solares que utilizan la radiación solar, para generar energía eléctrica.

Actualmente los arquitectos están en la búsqueda de estas energías alternativas para utilizarlas en edificios que sean autosustentables, pudiendo generar su propia energía para cubrir las necesidades de las personas que las habitan y disminuir el consumo de energía externa.

Nuestra investigación pretende crear un prototipo de calentador solar que pueda ser construido sobre la superficie del techo de un edificio y que a partir de la energía solar se pueda producir electricidad

Hipótesis o conjeturas:

Si construimos un dispositivo que sea capaz de reflejar la luz solar a un punto específico (Foco) y colectarla para calentar un fluido que al evaporarse produzca un aumento de presión que impulse una turbina, entonces podremos producir energía eléctrica.

Objetivo general:

Construir un modelo de una azotea con forma esférica y cubierta con un superficie de espejo, para reflejar la luz solar hacia un colector que calentara agua o aceite hasta su punto de fusión para generar la presión que mueva una turbina y produzca energía eléctrica.

Sustento Teórico:

La primera vez que un científico relacionó la energía solar con la electricidad fue en el siglo XIX, pero entonces, tan sólo convertían el 1% de la energía que recibían en electricidad.

Después de muchos años de investigación, hoy somos capaces de lograr eficiencias de hasta el 30%. Esto ha abierto nuevas posibilidades de aprovechar la energía solar.

La energía solar es muy beneficiosa para las zonas rurales donde no hay acceso a la electricidad. Actualmente viven mil quinientos millones de personas en todo el mundo sin electricidad. La mayoría de estas personas viven muy alejadas de las

ciudades y es muy costoso llevar toda la infraestructura. La energía solar soluciona este problema en gran medida ya que es capaz de brindar la electricidad que necesitan.

Radiación solar

La radiación solar la podemos definir como el flujo de energía que recibimos del Sol en forma de ondas electromagnéticas que permite la transferencia de energía solar a la superficie terrestre. Estas ondas electromagnéticas son de diferentes frecuencias y aproximadamente la mitad de las que recibimos están entre los rangos de longitud de onda de 0.4 [μm] y 0.7 [μm], y pueden ser detectadas por el ojo humano, constituyendo lo que conocemos como luz visible. De la otra mitad, la mayoría se sitúa en la parte infrarroja del espectro y una pequeña parte en la ultravioleta.

Espectro Solar

A pesar de la compleja estructura del Sol, para el aprovechamiento de su energía se puede adoptar un modelo mucho más simplificado. Así, se considera el Sol como un cuerpo negro que radia energía a la temperatura de 5780 °K, ya que su distribución espectral es muy similar a la de dicho cuerpo negro para el rango de longitudes de onda típico de los procesos térmicos y foto térmicos.

La luz visible, ya sea de origen solar, o generada por un foco incandescente o fluorescente, está formada por un conjunto de radiaciones electromagnéticas que está contenida dentro de un determinado rango de frecuencias, al que se lo denomina espectro visible. La intensidad de la radiación luminosa varía con la frecuencia.

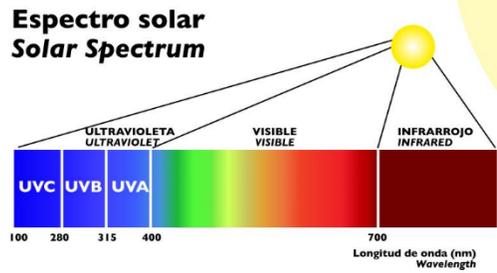


Fig.1.0.Rango de frecuencias y longitud de onda del espectro solar.

Relaciones geométricas entre los rayos solares y la superficie terrestre

Las relaciones geométricas entre los rayos solares, que varían de acuerdo con el movimiento aparente del sol, y la superficie terrestre, se describen a través de varios ángulos:

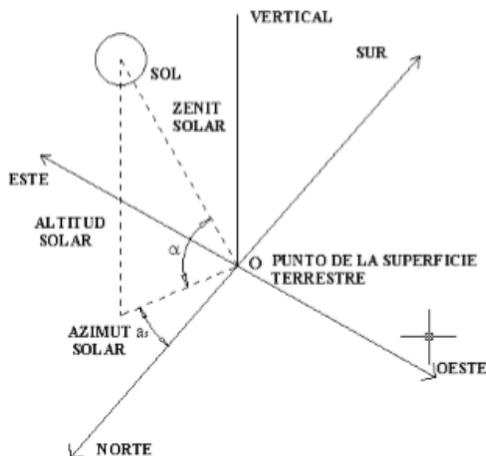


Fig.2.0 Representación de los ángulos α y a_s .

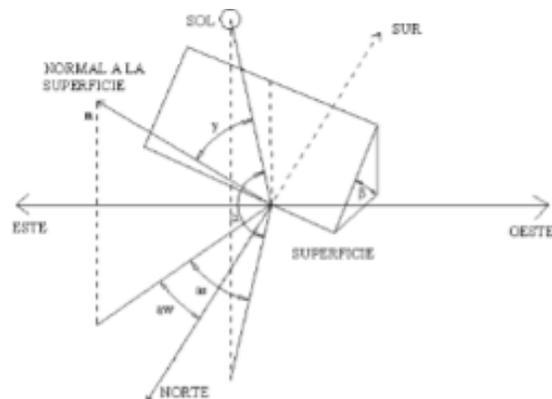


Fig.2.1 Coordenadas de orientación de la superficie, aw y β , y el ángulo γ

- Ángulo de incidencia (γ): Ángulo formado entre los rayos del sol y la normal a la superficie de captación.

- Ángulo acimutal de la superficie (a_w): Ángulo entre la proyección de la normal a la superficie en el punto horizontal y la dirección sur-norte (para localizaciones en el hemisferio norte) o norte-sur (para localizaciones en el hemisferio sur). El desplazamiento angular se toma a partir del sur o norte dependiendo de si estamos en el hemisferio sur-norte o norte-sur.
- Ángulo acimutal del sol (a_s): Ángulo entre la proyección del rayo solar en el plano horizontal y la dirección sur-norte (para localizaciones en el hemisferio norte) o norte-sur (para localizaciones en el hemisferio sur) obedece a la misma convención mencionada anteriormente.
- Altura solar (α): Ángulo comprendido entre el rayo solar y la proyección del mismo sobre un plano horizontal.
- Inclinación (β): Ángulo entre el plano de la superficie a considerar y la horizontal. En el intervalo $0 < \beta < 90^\circ$ la superficie ve hacia arriba, mientras que en el intervalo $90 < \beta < 180$ la superficie ve hacia abajo. Una azotea horizontal tendrá $\beta = 0^\circ$, mientras que para una pared vertical $\beta = 90^\circ$.
- Ángulo horario del sol u hora angular (W): Desplazamiento angular este-oeste del sol, a partir del meridiano local, y debido al movimiento de rotación de la tierra. Así, cada hora corresponde a un desplazamiento de 15° . Se adapta como convención valores positivos para el período de la mañana con cero a las 12:00 horas.

La energía solar como recurso energético

La energía solar como recurso energético terrestre está constituida por la porción de luz que emite el sol y que es interceptada por la tierra. México es un país con alta incidencia de energía solar en la gran mayoría de su territorio, la zona norte es de las más soleadas del mundo

Directa: Una de las aplicaciones de la energía solar es directamente como luz solar, por ejemplo, una aplicación directa muy común es el secado de ropa y algunos productos en procesos de producción con tecnología simple.

Térmica: Se denomina térmica la energía solar cuyo aprovechamiento se logra por medio del calentamiento de algún medio la climatización de viviendas calefacción refrigeración secado etcétera son aplicaciones térmicas.

Fotovoltaica: Se llama fotovoltaica la energía solar aprovechada por medio de celdas fotoeléctricas capaces de convertir la luz de un potencial eléctrico sin pasar por un efecto térmico.

Para los fines del aprovechamiento de su energía, el sol es una inmensa esfera de gases a alta temperatura, con un diámetro de $1.39 \times 10^9 m$ situado a la distancia media de $1.5 \times 10^{11} m$ respecto de la tierra esta distancia se llama unidad astronómica

Interior del sol debe ser del orden de 10^7 K pero en la fotosfera es decir en la superficie externa del sol la temperatura efectiva de cuerpo negro es de 5762 K (i.e., calculada según el modelo radioactivo del cuerpo negro) existen sin embargo, otras formas de calcular la temperatura de la fotosfera que dan como resultado alrededor de 6300 K. Es claro que nadie ha colocado un termómetro la superficie del sol, su temperatura se mide por métodos indirectos basados en diversos modelos, de ahí que no coincidan todas las estimaciones de su temperatura.

Un dato interesante es que el sol genera su energía mediante reacciones nucleares de fusión, por ejemplo, dos átomos de hidrógeno que producen helio, o uno de helio y uno de hidrógeno que producen litio, etc., que se llevan a cabo en su núcleo. La generación de energía proviene por tanto de la pérdida de masa del sol que se convierte en energía de acuerdo con la famosa ecuación de Einstein $E=mc^2$ en dónde E es la cantidad de energía liberada cuando desaparece la masa m , c es la velocidad de la luz.

El núcleo solar es la región comprendida dentro del 23% de su radio a partir del centro que corresponde a tan sólo 15% del volumen, pero en cambio contiene el 40% de la masa y ahí se genera el 90% de la energía en esa región la temperatura es del orden 10^7 y la densidad desde el orden 10^5 kg/m^3 recordando que la densidad del agua es de 10^3 kg/m^3

A una distancia del 70% del radio solar la temperatura es del orden 10^5 K y la densidad es de unos 70 kg/m^3 . La zona que va del 70% al 100% del radio solar, se le conoce como zona convectiva y su temperatura cae hasta 5000 a 6000 K mientras que la densidad descienda 10^{-5} kg/m^3 .

La capa externa de esta región recibe el nombre de fotosfera y es considerada como la superficie del sol por ser está una región opaca de donde se emite la gran mayoría de la radiación solar hacia el espacio (opaco en óptica significa que no deja pasar la radiación).

La constante solar

La combinación de tres factores: la distancia Tierra – Sol, el diámetro solar y la temperatura del Sol, determinan un flujo luminoso, un flujo de energía que incide sobre la superficie de la Tierra.

Se llama flujo de “algo” (materia, energía), la cantidad de ese “algo” que pasa a través de una superficie, por unidad de área y por unidad de tiempo. Por tanto el flujo luminoso, que es un flujo de energía, tiene unidades de energía por unidad de área y por unidad de tiempo.

Muchos se ha discutido acerca de si el sol emite un flujo de energía constante, o se trata de una estrella variable. Algunos estudios parecen indicar que la variación de la emisión de energía por parte del sol es menor al 1% a lo largo de un ciclo solar que dura 22 años. No se conoce a ciencia cierta la causa de estas variaciones.

El recurso energético solar está mucho más ligado en la superficie terrestre a las variaciones meteorológicas que a las solares.

La radiación emitida por el Sol, junto con sus condiciones geométricas respecto a la Tierra, dan por resultado que sobre la atmósfera terrestre, incide una cantidad de radiación solar casi constante, esto ha dado lugar a la definición llamada constante solar.

La constante solar es el flujo de energía proveniente del sol que, incide sobre una superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación solar, ubicada a la distancia media de la Tierra al sol fuera de toda atmósfera.

La radiación normal extraterrestre

La radiación extraterrestre que incide sobre la tierra está sujeta a las variaciones geométricas y a las condiciones físicas del propio sol. Por otro lado la órbita que describe la tierra alrededor del sol no es circular sino cuasielíptica. La pequeña excentricidad de la órbita hace que alrededor del 4 de enero, cuando la tierra se encuentra en el perihelio (mínima distancia al sol) la radiación solar extraterrestre sea máxima, por otro lado alrededor del 11 de julio la tierra se encuentra en el afelio (máxima distancia del sol) entonces la radiación solar extraterrestre es mínima.

Distribución espectral de la radiación solar

El sol emite radiación en toda la gama del espectro electromagnético. Desde los rayos gamma, hasta las ondas de radio. Sin embargo para los fines de aprovechamiento de su energía, sólo es importante la llamada radiación térmica que incluye sólo el ultravioleta (UV), la radiación visible (VIS) y la infrarroja (IR).

Todos los cuerpos emiten cierta cantidad de radiación en virtud de su temperatura. A mayor temperatura ocurren los cambios en la radiación emitida:

- 1-. La intensidad de la emisión es mayor refiriéndose a un mayor número de watts por metro cuadrado abandonan el cuerpo.
- 2-. El color o tipo de radiación cambia hacia una menor longitud de onda, esto es de la infrarroja a la radiación visible y a la ultravioleta, a medida que aumenta la temperatura.

Tipos de radiación y sus relaciones geométricas

La radiación solar sufre ciertas transformaciones al incidir sobre la atmósfera de modo que es necesario manejar algunos conceptos específicos para los diversos tipos de radiación.

Se conoce como *radiación directa* la que se recibe directamente del sol sin sufrir ninguna dispersión atmosférica. La radiación extraterrestre es por tanto radiación directa.

La *radiación difusa* es la que se recibe del sol después de ser desviada por dispersión atmosférica. Es radiación difusa la que se recibe a través de las nubes, así como la que proviene del cielo azul. De no haber radiación difusa el cielo se vería negro aun siendo de día.

Por otro lado se conoce como *radiación terrestre* la que proviene de objetos terrestres, por ejemplo, la que refleja una pared blanca, un charco, un lago, etc.

Se conoce como *radiación total* la suma de las radiaciones directa, difusa y terrestre que se reciben sobre una superficie, por ejemplo, sobre una pared o una ventana incide la radiación directa del sol, la difundida por las nubes y por el cielo y además puede entrar la luz reflejada por algún otro objeto frente a la pared o ventana.

Para expresar la potencia solar y en general la de cualquier radiación se utiliza el término irradiancia. La irradiancia es la rapidez de incidencia de la energía radiante sobre una superficie, por unidad de área.

Para expresar la potencia solar se utiliza el término irradiancia. La irradiancia, $W m^{-2}$, es la rapidez de incidencia de energía radiante sobre una superficie, por unidad de área. Generalmente se usa el símbolo G para la irradiancia, junto con los subíndices adecuados: G_0 , G_b , G_d , para la irradiancia extraterrestre, directa, difusa, etc. Nótese que la irradiancia tiene la virtud de indicar muy claramente que la radiación es un fenómeno que transcurre en el tiempo, que "va de pasada", que no es estático. Es energía que incide instantáneamente sobre una superficie.

Cuando incide la radiación sobre un plano, durante un tiempo determinado, puede hablarse entonces de que incidió una cierta cantidad de energía. La cantidad de energía, por unidad de área, que incide durante un período de tiempo dado, recibe el nombre de irradiación, $J\ m^{-2}$, y no es otra cosa que la integral de la irradiancia durante el período en cuestión. Generalmente se usa el símbolo "I" para la insolación por hora, mientras que "H" se usa para la insolación en el período de un día. Se aplican los mismos subíndices, por ejemplo: H_o simboliza la irradiación extraterrestre en un día; I_d simboliza la irradiación difusa en una hora, etc. De acuerdo con lo anterior, la relación entre la irradiación y la irradiancia está dada por la expresión:

$$I = \int_{t_1}^{t_2} G(t) dt$$

En donde la irradiación se está calculando desde el tiempo t_1 hasta el tiempo t_2 y la irradiancia se considera función del tiempo.

Cálculo de la irradiancia directa sobre una superficie

Consideremos por ahora el cálculo de la radiación directa sobre una superficie. El flujo de energía sobre una superficie determinada depende no sólo de la irradiancia que exista, sino también de la orientación que tenga la superficie en cuestión respecto de la dirección de propagación de la radiación. La irradiancia será máxima sobre un plano que esté en posición normal a la dirección de propagación de la radiación (es decir, que le dé "de frente" o "de cara"). En cambio, será mínima si el plano es paralelo a la radiación (es decir "de canto"). La intensidad de radiación sobre la superficie dependerá pues, del ángulo Θ que forme la normal de la superficie, respecto de la dirección de propagación de la radiación. Este ángulo Θ se conoce con el nombre de ángulo de incidencia. Entonces, la irradiancia incidente sobre la superficie será:

$$G_T = G_n \cos \Theta$$

En donde G_T se refiere a la irradiancia sobre un plano con cualquier inclinación y G_n se refiere a la irradiancia medida sobre un plano normal a la dirección de propagación de la radiación. Si se conoce la irradiancia normal y se conoce el ángulo θ , mediante la ecuación anterior se puede calcular la irradiancia sobre un plano con cualquier inclinación.

Almacenamiento de energía

La energía solar es intermitente por naturaleza debido a los movimientos de rotación y traslación de la tierra y también debido a las condiciones meteorológicas de cada lugar (nubes). Además, es una fuente de energía dependiente del tiempo y en muchas ocasiones no coincide la necesidad con la disponibilidad. Generalmente la energía se requiere más, precisamente cuando no hay radiación solar (noche). Esto hace necesario que prácticamente todos los procesos de conversión foto térmica requieran de un sistema de almacenamiento de energía, para poder satisfacer las demandas de energía en el momento que sean requeridas.

Sistemas de almacenamiento

Sistemas pasivos

Los sistemas pasivos se usan generalmente en el acondicionamiento calorífico de edificios y tanto lo que sirve de colector como el sistema de almacenamiento se encuentran incorporados en los distintos componentes de mismo edificio, como: pisos, paredes, recipientes con agua y techos. El tipo de almacenamiento de energía utilizado en estos sistemas es generalmente por calor sensible (cambios de temperatura de los distintos componentes del edificio). Debido a que en estos sistemas las temperaturas de almacenamiento son bajas, usualmente menores de $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, se requiere de grandes volúmenes del material que sirve como almacén.

Sistemas activos

La característica principal de los sistemas activos es que estos utilizan un fluido de trabajo en movimiento que puede ser agua, aire, aceites o algún otro fluido. Los principales componentes que intervienen en estos sistemas son: el colector solar, la unidad de almacenamiento, sistemas de conversión y control y el lugar donde se hace la descarga de energía. Generalmente, el medio de almacenamiento es agua si por el colector se hace circular un líquido. Similarmente, si en el colector circula aire, el medio de almacenamiento serán rocas o piedras. Las temperaturas alcanzadas en este tipo de sistemas andan entre los 50 y 100 °C. En este caso el almacenamiento de energía se puede dar por cualquiera de los mecanismos calor sensible, cambio de fase, reacciones químicas o estanques solares.

Almacenamiento por calor sensible o capacidad calorífica

Diversos tipos de materiales líquidos, sólidos y combinaciones de líquidos y sólidos, pueden almacenar energía por cambios de temperatura. Esta energía almacenada es igual al cambio de energía interna (ΔU) que sufre el material al cambiar su temperatura y viene a ser igual al calor sensible (Q_s) que se vio anteriormente y que se representa por la ecuación:

$$\Delta U = Q_s = m C_p \Delta T$$

Según la ecuación, la capacidad de almacenamiento depende específicamente de las capacidades caloríficas (mC_p) de los materiales utilizados y de los cambios de temperatura que en ellos se den. Esta ecuación también puede quedar en función de la capacidad volumétrica térmica, C_v , de manera que:

$$Q_s = \Delta U = V C_v \Delta T$$

Donde:

$$C_v = \rho C_p$$

Y V el volumen del material utilizado.

Almacenamiento por calor latente o cambio de fase

La energía que una sustancia necesita para cambiar de fase, generalmente es mayor que la que se ocupa para tener incrementos de temperatura pequeños en la misma sustancia. Esto da la pauta para pensar que se puede aprovechar el cambio de fase de algunas sustancias para utilizarlas como medios de almacenamiento de energía solar. La idea es que la sustancia absorba la energía solar de forma directa (sistema pasivo) o mediante un colector solar (sistema activo) y cambie de fase. Al cambiar de fase la sustancia conserva en forma latente la energía absorbida. Esta será cedida posteriormente, cuando la sustancia regrese a su estado original. Los cambios de fase pueden ser sólido<->líquido, líquido<->vapor y sólido<->sólido. El cambio de fase líquido<->vapor casi no se utiliza debido a que el vapor genera grandes presiones y en muchos casos no resulta práctico trabajar con este tipo de sistemas debido a que este tiene que ser diseñado para soportar presiones altas y por lo tanto se hace más complicado y costoso. Por esta razón, lo que más se aprovecha son los cambios de fase líquido<->sólido y sólido<->sólido, aunque en esta parte sólo hablaremos del cambio de fase sólido<->líquido. Las sustancias que pueden utilizarse como medios de almacenamiento por cambio de fase sólido<->líquido pueden ser muy variadas (hielo, sustancias orgánicas, sales hidratadas, compuestos inorgánicos y metales o aleaciones). Algunas tienen puntos de fusión altos por lo que se haría necesario utilizar colectores concentradores para poder obtener altas temperaturas y provocar el cambio de fase en la sustancia.

Datos de algunas sales hidratadas que se utilizan como medios de almacenamiento de la energía solar.			
Sal	Punto de fusión	Entalpía de fusión, KJ/Kg	Densidad, Kg/m ³
CaCl ₂ .6H ₂ O	29.39	174	1 637
Na ₂ CO ₃ .10H ₂ O	32.36	246	1 445
Na ₂ HPO ₄ .12H ₂ O	36	265	1 830
Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	39-42	139	1 557
Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	31-32	251	1 557
Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O	48-49	209	1 667

En esta tabla se presenta una lista de sustancias (sales hidratadas) que tiene un alto calor de solidificación<->fusión, bajo costo y donde la temperatura para provocar el cambio de fase puede ser alcanzada fácilmente mediante colectores planos que utilizan la energía solar. La tabla muestra la temperatura de fusión, la entalpia de fusión y la densidad. El tener más capacidad de almacenamiento en las sustancias, reduce el tamaño de los sistemas de almacenamiento. Por ejemplo, el agua líquida tiene un calor específico igual a 4.186 kJ/kg-°C y su calor de solidificación o fusión es igual a 334.24 kJ/kg. En consecuencia el agua puede almacenar aproximadamente 80 veces más energía al cambiar de fase, que como líquido al cambiar su temperatura en 1°C. Otra ventaja de estos sistemas es que liberan la energía a una temperatura casi constante.

Algunos de los problemas que presentan este tipo de sales son los siguientes:

1. En algunos casos la sal presenta un sobre enfriamiento o falla de la sal para solidificarse en la temperatura respectiva.
2. Segregación de los componentes de la mezcla por efecto de la gravedad mientras se encuentra en fase líquida.
3. Degradación de la sal después de varios ciclos de uso.
4. Falla de los recipientes que contienen las sales debido a que estas son corrosivas.
5. Áreas de contacto grandes entre la sustancia y el fluido de trabajo que transporta la energía de y hacia el tanque almacén, en caso de sistemas activos.

Almacenamiento en estanques solares

Un estanque común con agua es capaz de captar una gran cantidad de energía solar a través de todos los días del año. Sin embargo, la temperatura del agua permanece baja debido a que también hay grandes pérdidas de energía por radiación, convección y evaporación principalmente. Una manera de evitar esas pérdidas de calor es mediante el uso de estanques con agua salada. Debido al

aumento en la densidad del agua por efecto de las sales disueltas, no se da el efecto de la convección dentro del estanque y además esto permite que se desarrolle un gradiente de temperatura estable y positiva hacia abajo. De esta forma, la temperatura del fondo es mayor que la que se tiene en la superficie y por la tanto se evita la mayor parte de las pérdidas de calor que se dan en la superficie del líquido. Otros aspectos que ayudan a que esto suceda, es que el agua -con sales o sin sales disueltas- no es buena conductora térmica y además es opaca a la radiación infrarroja. También, permite que la fracción visible y ultravioleta de la radiación solar penetre hasta el fondo del estanque y ahí se quede almacenada. La captación de energía solar se puede mejorar si el fondo y paredes están pintadas de negro. La remoción del calor se hace mediante intercambiadores de calor apropiados, para evitar que la solución tenga movimiento y por lo tanto se pierda el gradiente de temperatura positivo. Otro factor que puede contribuir a que se pierda dicho gradiente es el viento que pega en la superficie del líquido. Esto se puede evitar colocando una cubierta transparente adecuada sobre el estanque solar.

La absorción de la radiación de longitud de onda larga debe tomarse en cuenta debido a que el 27% de la radiación en el espectro solar total es absorbida en el primer centímetro de la salmuera. La eficiencia de aprovechamiento, en consecuencia, está limitada a la absorción en la capa con gradientes. Puede demostrarse que la fracción de luz que resta después de atravesar una distancia x de agua clara es:

$$f(x) = a - b \ln(x) \quad 1 < x < 1000 \text{ cm}$$

Donde $a = 0.73$ y $b = 0.08$. La profundidad x se expresa en centímetros.

Podemos decir que en un estanque solar con salmuera se distinguen tres regiones distintas, aunque difusas: Una capa de agua pura en la superficie, una intermedia donde ocurren los gradientes de densidad y una convectiva en el fondo. Esta última es lo que constituye en realidad el sistema de almacenamiento

de energía, dado que tiene las mayores temperaturas y se encuentra aislada de la atmósfera por las capas superiores.

Reacciones químicas

La energía solar también puede almacenarse por medio de reacciones químicas. Estas deben ser reacciones endotérmicas reversibles, que se invierten cuando se requiere que la energía sea liberada. Para que una reacción sea utilizada en el almacenamiento de la energía solar, se requiere que:

1. La reacción sea reversible.
2. Los reactivos puedan hacer uso de la energía del espectro solar, tanto como sea posible.
3. La energía almacenada en la reacción sea grande. Al menos del orden de 600 W-h/kg.
4. Que los reactivos sean económicos.

En caso de que los productos de la reacción puedan separarse y usarse como combustibles, no se necesita que la reacción sea reversible. Un ejemplo típico es la producción de hidrógeno. Este puede ser obtenido mediante al menos cuatro procesos donde se puede utilizar la energía solar: proceso térmico directo, termoquímico, electrolítico y fotolítico.

El primero de ellos necesita de temperaturas muy altas (3000 °C) para descomponer el agua en sus elementos hidrógeno y oxígeno, y por lo tanto se haría necesario el uso de colectores concentradores.

En el segundo proceso se llevan a cabo una serie de reacciones químicas de diversas sustancias, generalmente también a temperaturas altas (700 - 800 °C), para finalmente obtener el hidrógeno.

Si la energía solar primero se convierte en energía eléctrica mediante el uso de paneles fotovoltaicos, el agua puede ser electrolizada para producir hidrógeno. En

las reacciones fotolíticas, los fotones de la radiación solar pueden ser absorbidos por el agua y cuando la energía absorbida alcanza un cierto nivel, (285.9 kJ/mol de agua), se libera el hidrógeno. La energía solar también puede emplearse en los procesos de fermentación anaeróbica de algas para la producción de metano (CH₄). Este es estable a temperatura ambiente y al reaccionar con el oxígeno mediante una combustión, libera la energía almacenada para producir altas temperaturas.

Variaciones estacionales de la radiación solar en algunas regiones de México

La cantidad de radiación solar que llega a la superficie terrestre depende de diversos factores, uno de ellos es la distancia de la tierra respecto al sol según la época del año, así como la inclinación del eje terrestre respecto al plano de la órbita solar. Esto ocasiona que los rayos solares lleguen con más potencia a algunas regiones del planeta dependiendo del mes del en el que nos encontremos.

En México, estos factores tienen gran repercusión en las variaciones de radiación solar que se recibe en el territorio nacional. En la siguiente tabla mostramos algunas regiones de interés de la República Mexicana con sus valores de radiación solar según el mes.

Estado	Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
Sonora	Hermosillo	4.0	4.6	5.4	6.6	8.3	8.5	6.9	6.6	6.7	6.0	4.7	3.9	6.0
Sonora	Guaymas	4.5	5.7	6.5	7.2	7.3	6.8	5.9	5.8	6.3	5.9	5.0	5.6	5.9
Chihuahua	Chihuahua	4.1	4.9	6.0	7.4	8.2	8.1	6.8	6.2	5.7	5.2	4.6	3.8	5.9
SLP	SLP	4.3	5.3	5.8	6.4	6.3	6.1	6.4	6.0	5.5	4.7	4.2	3.7	5.4
Zacatecas	Zacatecas	4.9	5.7	6.6	7.5	7.8	6.2	6.2	5.9	5.4	4.8	4.8	4.1	5.8
Guanajuato	Guanajuato	4.4	5.1	6.1	6.3	6.6	6.0	6.0	5.9	5.8	5.2	4.8	4.6	5.6
Aguascalientes	Aguascalientes	4.5	5.2	5.9	6.6	7.2	6.3	6.1	5.9	5.7	5.1	4.8	4.0	5.6
Oaxaca	Salina Cruz	5.4	6.3	6.6	6.4	6.1	5.0	5.6	5.9	5.2	5.9	5.7	5.2	5.8
Oaxaca	Oaxaca	4.9	5.7	5.8	5.5	6.0	5.4	5.9	5.6	5.0	4.9	4.8	4.4	5.3
Jalisco	Colotlán	4.6	5.7	6.5	7.5	8.2	6.6	5.8	5.6	5.8	5.3	4.9	4.1	5.9
Jalisco	Guadalajara	4.6	5.5	6.3	7.4	7.7	5.9	5.3	5.3	5.2	4.9	4.8	4.0	5.6
Durango	Durango	4.4	5.4	6.5	7.0	7.5	6.8	6.0	5.6	5.7	5.1	4.8	3.9	5.7
Baja California	La Paz	4.4	5.5	6.0	6.6	6.5	6.6	6.3	6.2	5.9	5.8	4.9	4.2	5.7
Baja California	San Javier	4.2	4.6	5.3	6.2	6.5	7.1	6.4	6.3	6.4	5.1	4.7	3.7	5.5
Baja California	Mexicali	4.1	4.4	5.0	5.6	6.6	7.3	7.0	6.1	6.1	5.5	4.5	3.9	5.5
Querétaro	Querétaro	5.0	5.7	6.4	6.8	6.9	6.4	6.4	6.4	6.3	5.4	5.0	4.4	5.9
Puebla	Puebla	4.9	5.5	6.2	6.4	6.1	5.7	5.8	5.8	5.2	5.0	4.7	4.4	5.5
Hidalgo	Pachuca	4.6	5.1	5.6	6.8	6.0	5.7	5.9	5.8	5.3	4.9	4.6	4.2	5.4

Claramente podemos observar en la tabla anterior que el mes de Enero es en el que recibimos menor cantidad de radiación solar; aunque en ese mes la distancia de la tierra respecto al sol no es la máxima, el ángulo de inclinación de la Tierra provoca que precisamente en esa época del año los rayos solares no lleguen directamente al hemisferio norte (región donde se encuentra México), teniendo el invierno en esta zona del planeta y el verano en el hemisferio sur.

Lo contrario pasa en el mes de Mayo cuando en México se tiene el mes de máxima insolación, a pesar de que en esta época del año se tiene la distancia máxima entre la Tierra el Sol la inclinación de la Tierra respecto al plano solar permite que los rayos solares peguen directamente en el hemisferio norte teniendo el verano en esta región del planeta y el invierno en el hemisferio sur.

En los mapas que se muestran a continuación se presentan las variaciones máximas y mínimas de la radiación solar que se recibe en el territorio nacional según la época del año:

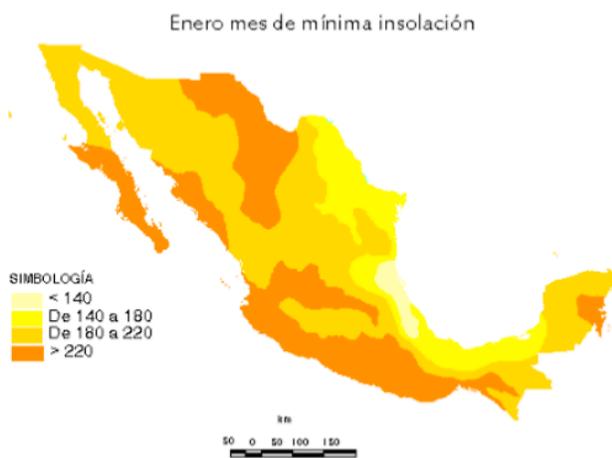


Fig.3.1 Mapa que muestra la distribución de la radiación solar mínima en la República Mexicana en el mes de Enero. Medida en W/m².

Fig.3.2 Mapa que muestra la distribución de la radiación solar máxima en la República Mexicana en el mes de Mayo. Medida en W/m².

Datos de radiación solar en México

El sol está jugando un papel cada vez más importante en nuestra economía, y puede llegar a ser una fuente de empleos para nuestro país. Actualmente en México es posible hacer uso de la energía eléctrica generada por el uso de paneles fotovoltaicos o sistemas de concentración solar utilizando la radiación directa, y existen mecanismos concretos para lograr que la inversión sea rentable.

Considerando la capacidad energética del Sol, la cual perdurará durante millones de años, así como la privilegiada ubicación de México en el globo terráqueo, la cual permite que el territorio nacional destaque en el mapa mundial de territorios con mayor promedio de radiación solar anual con índices que van de los 4.4 kWh/m² por día en la zona centro, a los 6.3 kWh/m² por día en el norte del país, resulta fundamental la adopción de políticas públicas que fomenten el aprovechamiento sustentable de la energía solar en nuestro país.

Zona centro	Zona Norte
4.4 Kwh/m ²	6.3 kWh/m ²

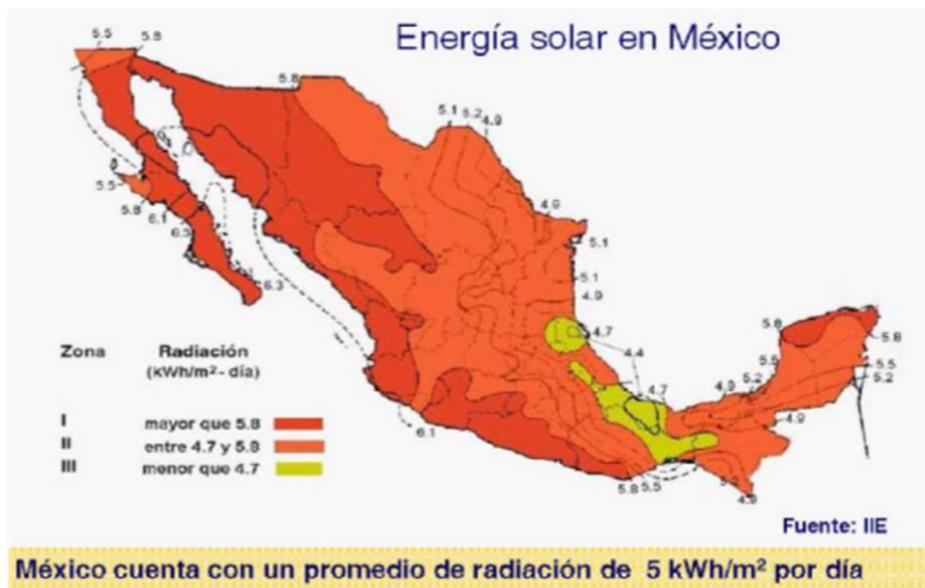


Fig.3.3 Mapa de Irradiación Solar, México, kWh/m² al día.

Metodología de investigación:

Para la construcción del modelo seguimos los siguientes pasos:

1. Se construirá un bloque de concreto con una de sus caras en forma esférica, como modelo a escala de lo que sería la azotea de un edificio
2. Se cubrirá la pared con una superficie reflectora
3. Construir un dispositivo colector de rayos solares, que contendrá agua, y que tendrá un controlador que lo moverá para modificar su posición dependiendo de la posición del sol.
4. El vapor producido en el colector se transportará a través de un conducto a una turbina para generar electricidad.

Resultados:

Nuestro modelo tiene una base cuyas medidas son 90x 90 centímetros, una superficie circular cóncava cuyo diámetro es de 120 centímetros y una altura de 15 centímetros.

Hasta el momento se tiene terminado la superficie reflectora y el colector. El sistema del controlador que moverá el colector está detenido ya que se hizo el pedido de un dispositivo electrónico que permita controlar automáticamente los motores que corregirán la posición del colector para estar alineado con el foco del espejo esférico dependiendo de la posición del Sol. Por esta, razón no se ha logrado la cantidad de vapor en el colector que permita el movimiento de una pequeña turbina que se encuentra conectada a un motor.



Fig.4.0 Superficie reflectora y colector del sistema.

Conclusiones.

Hasta el momento no se ha logrado mover la turbina que mueve a un motor eléctrico para producir la electricidad, por lo que no tenemos medidas del voltaje que se podrá producir, esperamos que en el momento que terminemos de construir el controlador de los motores que moverán al colector podemos seguir el movimiento del sol y entonces concentrar una mayor cantidad de energía calorífica en el colector para poder producir una mayor cantidad de vapor y producir una mayor cantidad de presión para mover la turbina.

Fuentes bibliohemerográficas y/o mesográficas:

Çengel, Y. (2003). Heat transfer. 1st ed. Boston: McGraw-Hill.

Giancoli, D. (1997) Física, principios y aplicaciones México Prentice Hall

Tippens E. Paul (2007) Física, conceptos y aplicaciones México McGrown Hill

Callister, D. W. (2007) Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales.
Barcelona: Reverté.

Corona, R. L. G.,Abarca, J. G. S. & Mares, C. J. (2014) Sensores y actuadores:
Aplicaciones con Arduino. México: Patria.

Gudiño, D. (1995). Notas sobre el curso de Energía Solar. Departamento de
Procesos Tecnológicos e Industriales División de Ingeniería Sitio web:
file:///G:/energia%20solar.pdf