

73



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

CARACTERIZACION Y PRUEBAS DE LA CONSTRUCCION
E INSTALACION DE UN SEGUIDOR SOLAR DE TIPO
TERMODINAMICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

EDGAR FERNANDO PEREZ LOPEZ

ASESOR: ING. RAMON OSORIO GALICIA

284252

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO

2000



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.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ESTADOS UNIDOS MEXICANOS
 REPUBLICA NACIONAL
 ESTIPENDIA 14
 MEXICO

ASUNTO VOTOS APROBATORIOS

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
 PRESENTE

ATN: Q. Ma del Carmen García Mijares
 Jefe del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Caracterización y pruebas de la Construcción e Instalación
de un Secuidor Solar de tipo Termodinámico.

que presenta el pasante [Nombre] con número de cuenta [Número] para obtener el TITULO de [Título]

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO

ATENTAMENTE
 "POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 2 de Junio del 2000

- PRESIDENTE [Firma]
- VOCAL [Firma]
- SECRETARIO [Firma]
- PRIMER SUPLENTE [Firma]
- SEGUNDO SUPLENTE [Firma]

A MIS PADRES:

*CON MUCHO AMOR Y GRATITUD.
POR EL GRAN APOYO Y CONFIANZA
QUE SIEMPRE ME HAN OTORGADO.
GRACIAS!*

A MIS HERMANOS, SOBRINOS Y CUÑADOS

ROSALVA, MARISELA, BENITO,

EDUARDO, DAVID, MARA,

LUIS Y ULISES.

POR LA MOTIVACION,

QUE ME DIERON DURANTE

LA REALIZACION DE ESTA TESIS.

A ROSARIO Y RIGEL:

CON MUCHO AMOR Y CARINO

POR LA BUENA COMPANIA Y PACIENCIA

QUE ME HAN BRINDADO.

AL ING. JOSE ANTONIO URBANO CASTELAN:

POR SU COLABORACION Y

APOYO INCONDICIONAL

QUE ME BRINDO DURANTE

LA PLANEACION, DESARROLLO Y

CONCLUSION DEL PROYECTO DE TESIS.

A MI ASESOR DE TESIS:

ING. RAMON OSORJO GARCIA

POR SU GRAN APOYO

A MAURICIO Y GASPAR:

POR LAS FACILIDADES

QUE ME OTORGARON DURANTE

MI ESTANCIA EN EL CINVESTAV

INDICE

INTRODUCCION	3
CAPITULO I.- ENERGIA SOLAR	5
1 1 ENERGIA SOLAR	5
1 2 RECURSO SOLAR NACIONAL	8
1.2 1. HORA-PICO	13
1.3. FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA	14
CAPITULO II.- CONVERSION FOTOVOLTAICA	18
2.1. RESEÑA HISTORICA FOTOVOLTAICA	18
2 2 CONFIGURACION BASICA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO	21
2 3. SISTEMAS DE ENERGIA FOTOVOLTAICA	23
CAPITULO III.- SEGUIDORES SOLARES	25
3.1 SISTEMAS DE SEGUIMIENTO	25
3.1 1. CINEMATICA DE SEGUIMIENTO DEL SOL	26
3 1 2 ORIENTACION DE COLECTORES SOLARES	28
CAPITULO IV.- SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR TERMICO	31
4 1. CONCEPTOS TEORICOS	32
4 2 ECUACIONES Y CALCULOS BASICOS	38
4 3 TIPO DE FLUIDO	42
CAPITULO V.- INSTALACION DEL SISTEMA	44
5 1 MATERIALES	44
5 2 UBICACION DE LA UNIDAD PROTOTIPO	45

CAPITULO VI. PRUEBAS Y CARACTERIZACION DEL SISTEMA	47
6 1 GRAFICAS DE OPERACION DEL SISTEMA TERMODINAMICO	47
6 2 RESULTADOS ELECTRICOS EN LA GENERACION DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	58
CAPITULO VII.- COSTO DEL SISTEMA	59
7 1. COSTO DIRECTO Y RENTABILIDAD	59
CAPITULO VIII.- CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS	62
-BIBLIOGRAFIA	64
APENDICE 1	67
APENDICE 2	68

INTRODUCCION

El crecimiento de la población, las mejoras en la calidad de vida, los progresos en el desarrollo tecnológico y las continuas alzas del precio del petróleo de los últimos años ha colocado a la energía en un lugar de la actualidad muy importante. Las fuentes de energía tradicionales, de carácter extinguido, no podrán satisfacer por mucho tiempo la creciente demanda de energía. La solución nuclear podría, teóricamente, asegurar el suministro energético, pero a las centrales de fisión les quedan por resolver problemas de tanta importancia como el almacenamiento de residuos y las centrales de fusión se encuentran aún en estado de investigación. La oposición a la solución nuclear actual es, por ello, creciente y ha paralizado o, al menos, ralentizado los programas de algunos países.

La necesidad del desarrollo de nuevas fuentes de energía ha renovado el interés por el aprovechamiento de la energía solar. La energía solar puede aprovecharse de forma directa para la obtención de agua caliente y el acondicionamiento de edificios, en general, o bien puede convertirse en energía eléctrica. Las centrales solares, actualmente en desarrollo, pueden ser de tipo térmico, que utiliza el calor del sol para producir el vapor necesario para mover una turbina, o basarse en el efecto fotovoltaico, mediante la utilización masiva de celdas solares montadas en grandes paneles.

En cualquier caso, la primera condición que debe reunir un sistema de aprovechamiento de energía solar es la de recoger la mayor cantidad posible de energía recibida en un determinado lugar. Esto es obviamente así, tanto para los colectores térmicos, como para los heliostatos (espejos móviles) de una central solar térmica, al igual que para los paneles de

una central fotovoltaica. Esta condición exige que la superficie colectora sea, en todo momento, perpendicular a los rayos solares y, por tanto, una colección óptima sólo puede conseguirse si dicha superficie está dotada de un movimiento de seguimiento del sol

El presente trabajo muestra los resultados de la construcción, instalación y prueba de un seguidor solar de tipo termodinámico, aplicado a un panel de 8-13 módulos solares fotovoltaicos basándose en dos captadores tubulares, sobre los cuales al incidir la radiación solar se presenta un proceso térmico (expansión de un gas), el cual se manifestará como energía hidráulica a través de un actuador, que realizará un trabajo útil (declinar el arreglo fotovoltaico en dirección Este-Oeste), para aumentar las horas de irradiancia directa. La ventaja de este seguidor es que no consume energía adicional, sino que la adquiere del sol, ya que trabaja con áreas laterales, normalmente no aprovechables, de esta manera, el seguidor funciona autónomamente, lo que hace interesante al sistema, y así se vuelve autosuficiente, de escaso mantenimiento, fácil de instalar y requiere de una mínima inversión.

La figura A muestra una panorámica del sistema instalado, objetivo de la presente tesis.

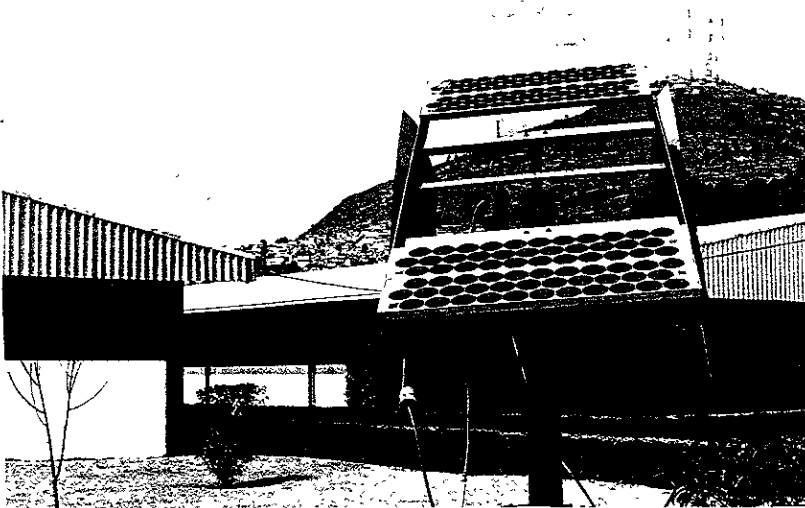


FOTO A

CAPITULO I. ENERGIA SOLAR

1.1. ENERGIA SOLAR

Hace sólo doscientos años, el hombre derivó sus fuentes de energía casi exclusivamente del sol. Energía solar significa toda la energía que ha sido recientemente originada del sol. Esta incluye formas directas e intermedias de energía solar como son energía del agua o hidroelectricidad, viento, productos de procesos fotosintéticos (biomasa), desechos orgánicos, gradientes térmicos oceánicos y otros. Si bien, el carbón, petróleo y gas es el resultado de la fotosíntesis que ocurrió hace millones de años, estos son llamados combustibles fósiles y no-energía solar. La diferencia es que la energía solar es renovable, mientras que los energéticos fósiles no. Hace tiempo, cuatro o cinco generaciones atrás, la madera fue usada para calentar y los animales usados para el transporte. Ambas clases de estos energéticos son provistos directa o indirectamente por la fotosíntesis. El proceso por el cual las plantas son capaces de utilizar parte de la energía solar para convertir dióxido de carbono y agua en combustible y alimentos. Otras formas de energía derivadas del sol, son la energía del agua y del viento, las aplicaciones mejor conocidas comienzan con el molino de viento y el molino de agua.

La energía solar ha hecho feliz a la humanidad por mucho tiempo. Tan vasta es esta energía, que sólo 40 minutos de energía solar interceptada por la tierra equivale al consumo de energía anual del mundo. Además, ésta es inagotable y puede ser usada sin temor de contaminar el medio ambiente. Y no está sujeta a determinada ubicación geográfica como el petróleo. Por esta razón, es el tipo de energía no fósil más prometedora

Sin embargo, la densidad de la energía de la superficie de la tierra es baja solo de 1 KW por metro cuadrado y esta es fundamental para cubrir los problemas de abastecimiento, durante nublados y días lluviosos

Podemos usar la energía solar de diferentes formas (1) por generación de electricidad a través del uso de celdas fotoeléctricas las cuales convierten la energía solar en electricidad, (2) por almacenamiento de calor, para calentar, enfriar, (3) por conversión en energía eólica, aereogeneradores, y otras formas de conversión que se puede resumir en el diagrama a cuadros de la figura 1

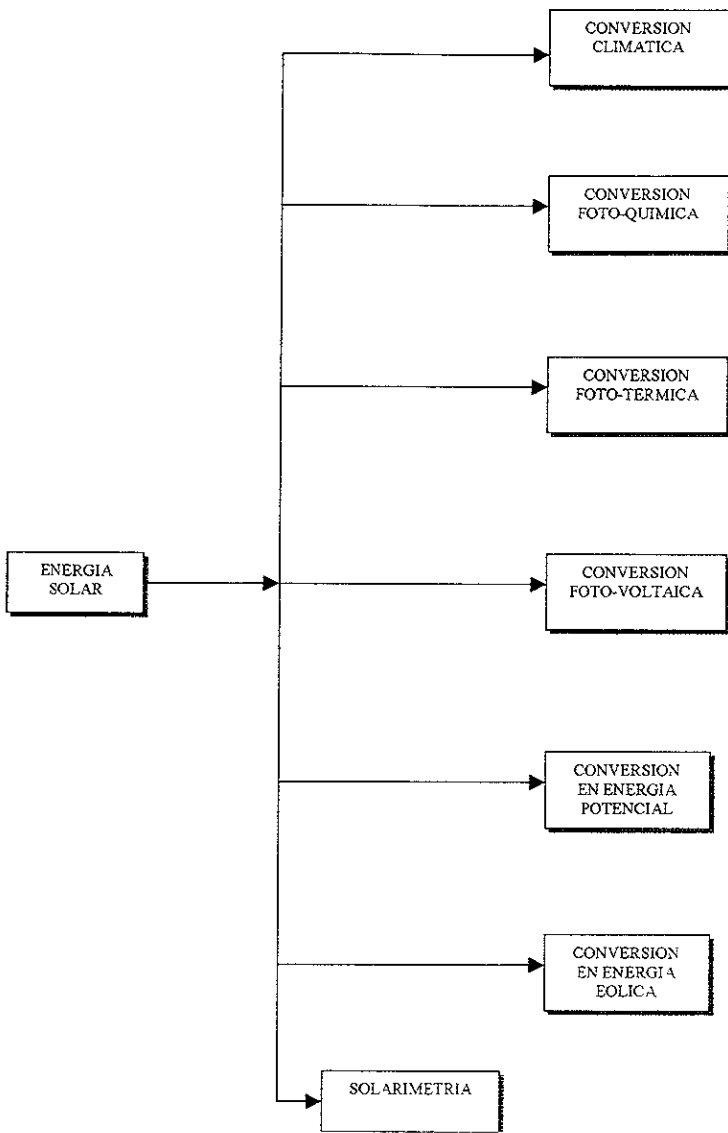


Figura 1.1

Diagrama a cuadros donde se muestra las diferentes conversiones de la energía solar

1.2. RECURSO SOLAR NACIONAL

Considerando al sol como una esfera incandescente de plasma y radiando como un cuerpo negro a la temperatura de 5800 K en la superficie, éste emite alrededor de 66×10^{14} kW- m^2 . Esto implica una transformación de materia en energía, equivalente a 4×10^9 Kg por segundo. De esta enorme densidad superficial de energía, la cual es radiada continuamente hacia el espacio, la tierra intercepta a través de su sección diametral de 1.275×10^{14} m^2 alrededor de 1.73×10^{17} watts

La radiación solar incidente sobre un elemento de superficie horizontal en el límite de la atmósfera superior (radiación extraterrestre), solamente depende de la época del año y la latitud geográfica, mientras que la radiación solar que finalmente llega hasta el suelo, es resultado de una atenuación producida principalmente por los gases constituyentes de la atmósfera, los cuales dan lugar a fenómenos de reflexión, dispersión y absorción.

México posee un potencial considerable de generación de energía a partir de fuentes renovables, tanto por su extensión territorial de casi 2 millones de kilómetros cuadrados, como por su ubicación geográfica comprendida entre los paralelos de latitud $14^{\circ}30'$ y $32^{\circ}42'$, respectivamente, se encuentra dentro del cinturón latitudinal de insolación anual máxima, comprendido entre los $\pm 35^{\circ}$ de latitud. Nuestro país recibe una cantidad inmensa de radiación solar, en casi el 40% de su extensión territorial de aproximadamente 2 millones de kilómetros cuadrados, se reciben unos 583 kW-hr/ m^2 día. En un día despejado en las horas de mayor irradiancia, incide cerca de 1 kW térmico sobre cada metro cuadrado de superficie. Sobre una azotea de 100 m^2 de planta, se reciben unos 550 kW-hr/cada día. En principio, si se lograra convertir en energía eléctrica tan sólo el 1 % de la energía solar que

incide sobre el territorio nacional, ¡en un día se generaría prácticamente toda la electricidad consumida en México en 1996! (Oferta eléctrica en 1996 = 1.1×10^{11} kW-hr, energía solar incidente en un día sobre el territorio nacional = $(2 \times 10^6 \text{ km}^2) (5.5 \text{ kW-hr/m}^2) = 1.1 \times 10^{13}$ kW-hr) El recurso es pues inmenso, pero las tecnologías para su aprovechamiento tienen que ser suficientemente baratas para en verdad resolver nuestros problemas. Esto implica que sean tecnologías propias. De aquí que un estudio de las características de insolación en nuestro país, resulte por demás interesante dadas las grandes perspectivas que ofrece la conversión térmica y fotovoltaica de la radiación solar, como sustituto de las fuentes convencionales de energía, cada día más escasas y costosas. Además, el uso de esta fuente latente de energía, al no producir materiales de desechos contaminantes, ayudará a mantener el equilibrio ecológico cada día más crítico y el cual es urgente preservar.

La determinación de la radiación solar incidente en la superficie de la tierra durante un cierto período, puede llevarse a cabo mediante mediciones periheliométricas.

En la tabla 1.1 se puede ver la distribución anual de radiación en la República Mexicana, dicha distribución se divide en tres categorías en las que se tiene como máxima radiación $500 \text{ cal.cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$, en determinada región territorial.

Categoría	Características	Porcentajes aprox. que ocupan de la sup. total del territorio nacional.	Extensión territorial (aprox) (Total=1,972,647 km ²)
I	Regiones con más de 500cal.cm ⁻² día ⁻¹	38	749,570 Km ²
II	Regiones comprendidas entre 500 y 400 cal. cm ⁻² día ⁻¹	57	1,124,350 Km ²
III	Regiones con menos de 400 cal. cm ⁻² día ⁻¹	5	98,627 Km ²

TABLA 1.1

DISTRIBUCION ANUAL DE LA RADIACION SOLAR NACIONAL

Dentro de la primera categoría, el valor máximo anual calculado, fue para la región de San Javier, B.C S (23 ° 51' N, 111° 35' 0.) con 549 cal. cm⁻²día⁻¹ (6.38 Kwh.m⁻² día⁻¹). En la tercer categoría, el valor máximo calculado, fue la región de Cosamaloapan, Ver. (18°22'N, 95°48'0.) con 363 cal. cm⁻²día⁻¹ (4 22 Kwh m⁻² día⁻¹).

En las tablas siguientes se puede observar la gran capacidad territorial que tiene el país para generar energía eléctrica o térmica, aprovechando la radiación mensual o anual.

MAXIMA RADIACION MENSUAL

Mes	Localidad	Radiación global Máxima Mensual calculada (kW-hr m ² día ⁻¹)
ENE	San Luis de la Loma, Gro.	5.93
FEB	Cihuatlán, Jal.	6.86
MAR	San Luis de la Loma, Gro.	7.15
ABR	Chilpancingo, Gro.	8.03
MAY	Punta Peñasco, Son.	8.41
JUN	Punta Peñasco, Son.	8.31
JUL	Guerrero, Tam.	8.14
AGO	Jesús María, Nay.	7.74
SEP	Cerro Giganta, B.C.S	6.96
OCT	La Paz, B.C.S.	5.95
NOV	Chilpancingo, Gro.	6.16
DIC	Juquila, Oax.	5.91

MINIMA RADIACION MENSUAL

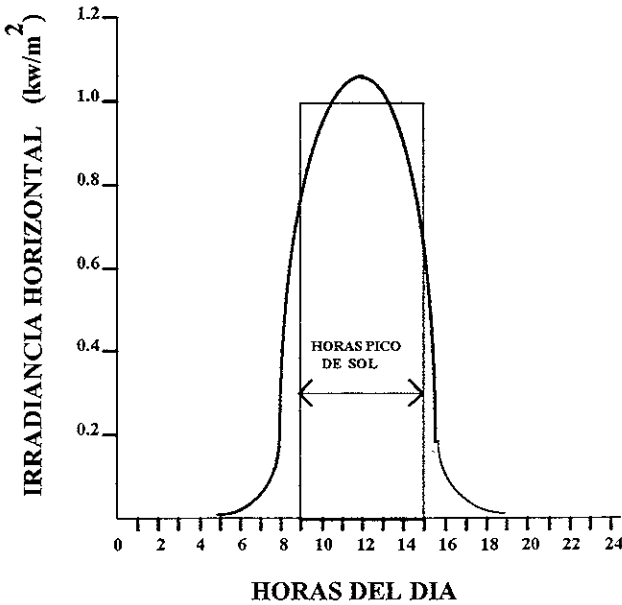
Mes	Localidad	Radiación global Mínima Mensual calculada (kW-hr m ² día ⁻¹)
ENE	Guerrero, Tam.	2.54
FEB	Camargo, Tam	3.51
MAR	Tampico, Tam	4.32
ABR	Ozulama, Ver.	4.78
MAY	Ozulama, Ver.	5.26
JUN	Tuxtla Gutiérrez, Chis	4.90
JUL	Tequisistlán, Oax	3.86
AGO	Tequisistlán, Oax.	3.81
SEP	Cosamaloapan, Ver	2.94
OCT	Unión, Coah.	3.36
NOV	Cosamaloapan, Ver.	2.88
DIC	Cosamaloapan, Ver.	2.68

En las tablas 1.2 se muestran los valores máximos y mínimos mensuales calculados

1.2.1. HORA PICO

Se puede definir por hora -pico como la máxima radiación solar que hay en un día despejado, en equinoccio, con el sol perpendicular al observador, a nivel del mar y al medio día (12 p.m.). Este valor es aproximadamente, 1Hora pico = $1\text{kW-hr} / \text{m}^2$. Como se puede observar en la figura 1.3, notamos que este valor representado como un rectángulo, resulta de integrar la irradiancia en un intervalo de 14 horas de un día.

CONCEPTO DE HORA PICO



LAS HORAS PICO EQUIVALENTES SON DE $6.2 \text{ kW-H} / \text{m}^2$

FIGURA 1.3

1.3. FUENTES ALTERNAS

El elevado consumo de energía ha creado la necesidad de generar en todo el mundo fuentes de energía diferentes a las convencionales, las cuales se muestran a continuación.

ENERGIA GEOTERMICA.

La energía geotérmica se caracteriza por su limpieza con el medio ambiente, comparada con los combustibles fósiles como el petróleo crudo, y también por la potencialidad de comercialización. USA, es el mayor país por su actividad volcánica en el mundo (alrededor de 200 campos geotérmicos). Actualmente nueve de las plantas de energía geotérmica están en operación con una capacidad total de 215 MW.

En un sistema de generación de energía de ciclo binario, los cambios de agua caliente geotérmica, realizan el trabajo en los fluidos de bajo punto de ebullición, como son el freón y el isobutano que pasa del estado líquido al gaseoso y al final el gas hace rotar una turbina, normalmente en la geotérmica se aplica directamente

En México, la energía geotérmica, podría ser en los próximos años un factor importante en la diversificación energética, que ocupa el 3^{er} lugar a escala mundial en este recurso. Se conocen más de 400 zonas con manifestaciones geotérmicas en el país, estimándose en 12,000 MW el potencial para la generación eléctrica.

En 1959, la CFE comenzó con la puesta en marcha de la primera unidad de 3 5 MW en el Estado de Hidalgo, actualmente el campo de la geotermia en México es uno de los más desarrollados a nivel mundial. Se contaba en 1993 con una generación de 753 MW en cuatro centrales, siendo la más importante la de Cerro Prieto, que tiene una capacidad nominal de 620 MW y 200 MW en desarrollo. La segunda planta de importancia en México es la de Los Azufres localizada en Michoacán, con 100 MW instalados, el tercer lugar es para Los

Humeros, en el Estado de Puebla, con unos 30 MW, y La Primavera, cerca de Guadalajara, con una capacidad de 10 MW.

LICUEFACCION Y GASIFICACION DE CARBON.

El carbón, el cual en un tiempo fue el más utilizado por el hombre para la generación de energía, fue prácticamente olvidado durante la aparición del petróleo. Pero ahora, este es visto con nuevo interés al aumentar la necesidad como fuente de energía alterna para reemplazar al petróleo. La reserva total de carbón esta considerada alrededor de 12 trillones de toneladas y alrededor de 928 billones de toneladas de recursos del carbón teóricamente en el mundo son recuperables. Sin embargo, el almacenaje, el transporte y el manejo de este combustible sólido se vuelve ineficiente. Antes, el carbón podía ser utilizado como una nueva fuente de energía, ahora es necesario cambiar el modo convencional de uso para convertirlo en energía de fluido (gasificación y licuefacción).

Proceso de licuefacción. Este proceso es para licuar carbón con activación de hidrógeno usando hierro de alta eficiencia como catalizador e hidrógeno (donador) como solvente, a una temperatura de 430-460°C y a una presión de 150-200 Kg/cm².

El objetivo principal de este proceso es establecer una producción tecnológica de bajo costo en la producción del hidrógeno en estado gaseoso. En este proceso se puede obtener hidrógeno con varios tipos de carbón

ENERGIA DEL HIDROGENO

El hidrógeno puede ser utilizado como energía eléctrica, mecánica y térmica.

Por otra parte, un nuevo tipo de batería de hidrógeno usando metales híbridos. Esta batería no contamina y tiene una alta densidad de energía y una buena carga y descarga

OTRAS FUENTES

Sistema de conversión de energía termo-oceánica (OTEC).

Estudio fundamental en la conversión de energía por medio de olas.

Producción de hidrógeno por microorganismos fotosintéticos

Sistemas de generación de energía termoeléctrica.

Producción de combustible líquido de biomasa.

Investigación y desarrollo en la producción de un nuevo biocombustible.

Sistemas de conversión de energía en una pequeña diferencia de temperatura.

Sistemas de generación con petróleo y gas natural.

Sistemas de generación con carbón.

Sistemas de generación Eólicos.

En la figura 1.4, se muestra una clasificación de fuentes de energía, se puede observar que se dividen en dos importantes grupos.

Las Fuentes de Energía Convencionales y las Fuentes de Energía Alternas, (que son derivados de la energía solar)

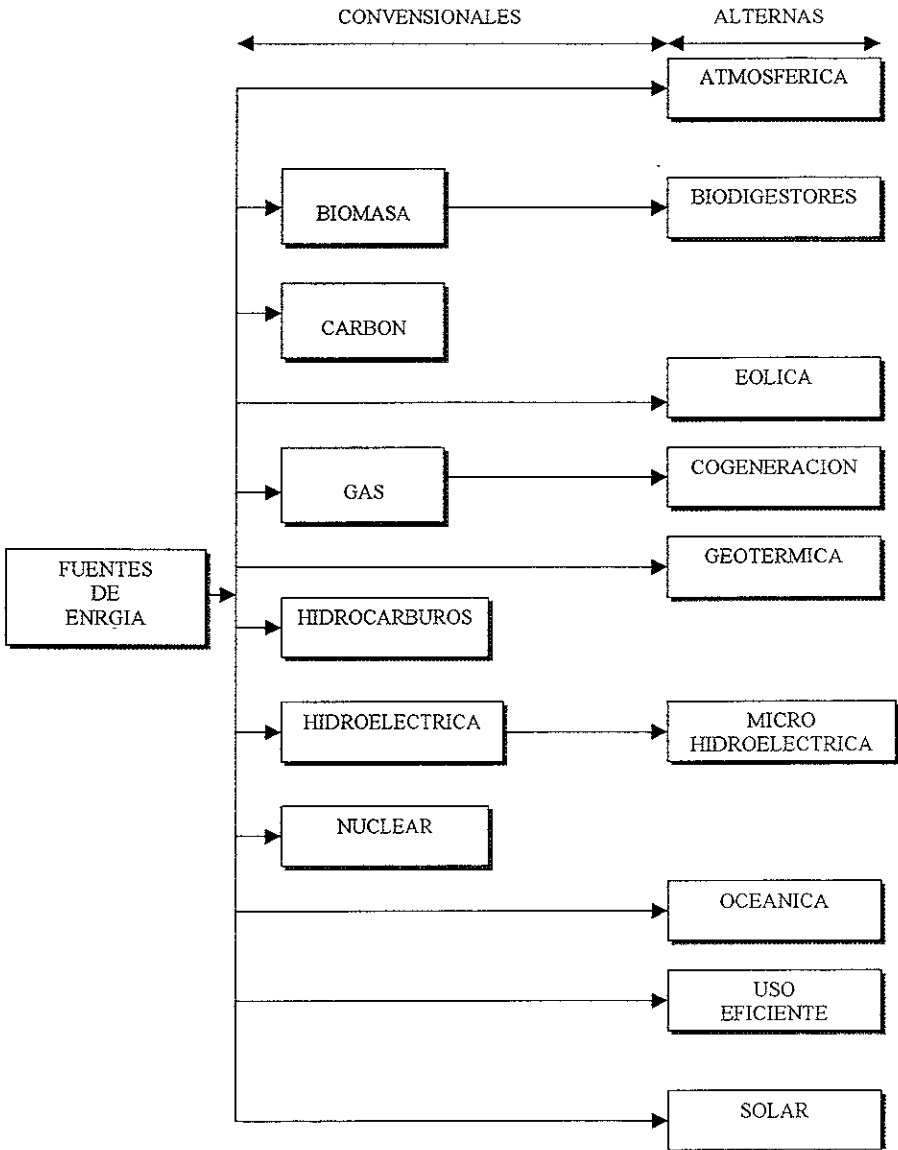


Figura 1.4

CAPITULO II. CONVERSION FOTOVOLTAICA.

2.1. RESEÑA HISTORICA FOTOVOLTAICA

El efecto fotovoltaico, esto es, la aparición de un voltaje en las terminales de un material cuando es expuesto a la luz, fue observado por primera vez por el físico Edward Becquerel en 1839, casi accidentalmente sobre un pedazo de selenio en electrolito.

En la década de 1870, Heinrich Hertz estudió el efecto y obtuvo eficiencias de 1 a 2 %.

La optimización de la celda solar para su uso práctico llegó hasta la década de 1950 cuando la física había ya explicado lo que ocurría en un sólido semiconductor que es iluminado (mecánica cuántica, efecto fotoeléctrico, etc.) y los primeros dispositivos electrónicos de estado sólido (como el transistor) habían sido desarrollados

La primera celda solar de silicio cristalino en oblea fue fabricada en 1954 en los Laboratorios Bell en Estados Unidos con un 4 % de eficiencia. Estos mismos laboratorios fueron los responsables del desarrollo del primer transistor.

El programa espacial permitió aplicar prácticamente la celda solar casi de inmediato (1959), debido a sus características idóneas: bajo peso, larga vida, resistencia al ambiente exterior y alta confiabilidad.

Durante los siguientes 15 años la tecnología de la celda fue mejorada y estuvo lista para que en 1975, con la llegada de la crisis petrolera y el incremento de los costos de energía, se pensara en dicha tecnología como alternativa de solución en uso terrestre.

Durante los siguientes 5 años el incremento en la producción encaminada a uso terrestre permitió disminuir los costos de las celdas solares de \$ 100 dólares por watt a \$ 12 dólares

por watt, abriendo con ello una multitud de aplicaciones prácticas. Actualmente el costo de la celda es de tan sólo \$4 dólares.

La perspectiva de mejoramiento en los costos es buena. Basándose en el trabajo científico de desarrollo, en donde se evalúan nuevos materiales y tecnologías de fabricación, es posible prever que en el lapso de esta década los costos puedan disminuir 20 a 30 % con el consiguiente incremento en la cantidad y magnitud de las aplicaciones. En 1965 en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN se iniciaron las investigaciones sobre materiales semiconductores para la fabricación de celdas solares. Con estos trabajos se dio principio a la formación de uno de los grupos de investigación dedicados al estudio y al aprovechamiento de las fuentes renovables de energía más importantes del país. Los primeros sistemas solares fotovoltaicos instalados en México datan de 1967, cuando la Comisión Nacional del Espacio Exterior, dependiente en aquel entonces de la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial (la SEPAFIN, que posteriormente se transformó en la SEMIP, la que a su vez se convirtió en la actual Secretaría de Energía) lanzó globos meteorológicos instrumentados con celdas de 2 cm^2 de silicio monocristalino de unión, cuya eficiencia de conversión era del orden de 8%, con metalización de oro y dióxido de titanio como capa antirreflejante. Estas celdas fueron fabricadas en el CINVESTAV y el sistema operaba a 9 voltios. Los primeros radioteléfonos rurales y el sistema de enseñanza vía televisión se instalaron en el Estado de Puebla en 1977. En 1978 se instaló, también en el Cinvestav, una línea de producción de celdas solares de silicio monocristalino que permitió adquirir experiencia en la fabricación de este tipo de dispositivos y demostró la capacidad técnica de los mexicanos para lograr exitosamente estos desarrollos. En el periodo de 1979 a 1981 se desarrolló en ese mismo centro, un sistema fotovoltaico de bombeo de agua de

735 W-pico, con una capacidad de 3.7 litros por segundo a 90 m de profundidad; de 1981 a 1984 se diseñaron, construyeron e instalaron sistemas para la iluminación de albergues infantiles del Instituto Nacional Indigenista (INI) en cooperación con el CINVESTAV, en los que se beneficiaron 153 localidades rurales. Actualmente se construye una estufa solar de 4000 W. En 1989, el Gobierno Federal estableció un plan de electrificación rural mediante pequeños sistemas fotovoltaicos, a través, de "PRONASOL". En dicho plan participaron diversas instituciones paraestatales, entre las que destacaban la CFE, la CLyFC, Pemex, Telmex, el IMSS, el INI, Ferronales y la SCT.

A largo plazo el uso de los sistemas fotovoltaicos será más y más extensivo, no- solo debido a su disminución en costos, sino también por el aumento que seguramente experimentaran los energéticos no renovables como el carbón y el petróleo, según vayan siendo más y más difíciles de extraer.

Por otro lado, la conciencia de una tecnología benigna al medio ambiente será cada día más relevante y seguramente la comparación entre alternativas energéticas desde el punto de vista costo-impacto ambiental, dará un lugar importante a la conversión fotovoltaica de la energía solar. Ha existido, y cada vez serán más evidentes, planes para instalar grandes plantas comerciales para la generación de electricidad empleando la energía solar que en verdad son mucho más limpias que las termoeléctricas más avanzadas, pero al igual que estas últimas, emplearán tecnologías extranjeras que pagaríamos muy caras por el hecho de no utilizar nuestros propios desarrollos.

2.2. CONFIGURACION BASICA DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

Al conjunto de 32-36 celdas solares se le llama modulo, un panel es el conjunto de 5 o más módulos, un sub-arreglo solar esta constituido por 3 o más paneles. El arreglo fotovoltaico es el conjunto de 6 sub arreglos, que generan corriente eléctrica a un voltaje dado cuando son expuestos a la luz del sol. El arreglo fotovoltaico es pues el generador eléctrico en sí mismo cuya energía variará de acuerdo a como lo haga la insolación. La figura 2.1 muestra los componentes de un campo solar fotovoltaico

COMPONENTES FOTOVOLTAICAS DE UN SISTEMA SOLAR FV.

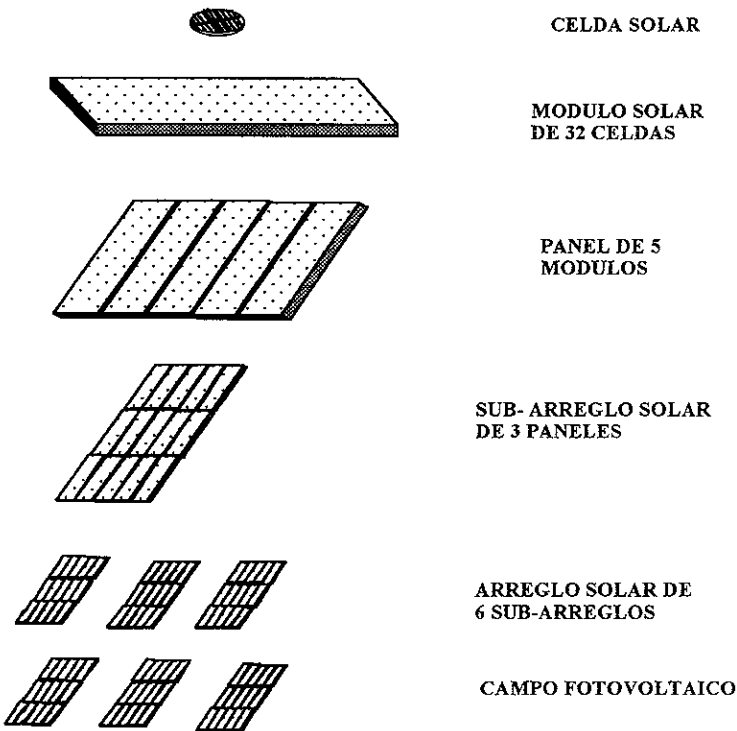


FIGURA 2.1

Como se puede observar, el sistema solar fotovoltaico cuenta con un banco de baterías que recibe la corriente fotovoltaica a través del control de carga y es recargado tanto tiempo y en la magnitud en que esté disponible la radiación solar. Este también fija el voltaje de operación de los módulos solares, ya que aunque estos últimos pueden variar, el voltaje de las baterías es relativamente estable sin importar el nivel de insolución. Por lo anterior el voltaje de un sistema fotovoltaico está dado por el banco de baterías, que además, permite disponer de electricidad al consumo a través del control de carga, en cualquier momento a pesar de las variaciones de insolución, en especial en las noches y en los periodos de nublados. La figura 2.2 muestra un diagrama del conjunto de un sistema solar fotovoltaico.

SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO FUNCIONAMIENTO B A S I C O

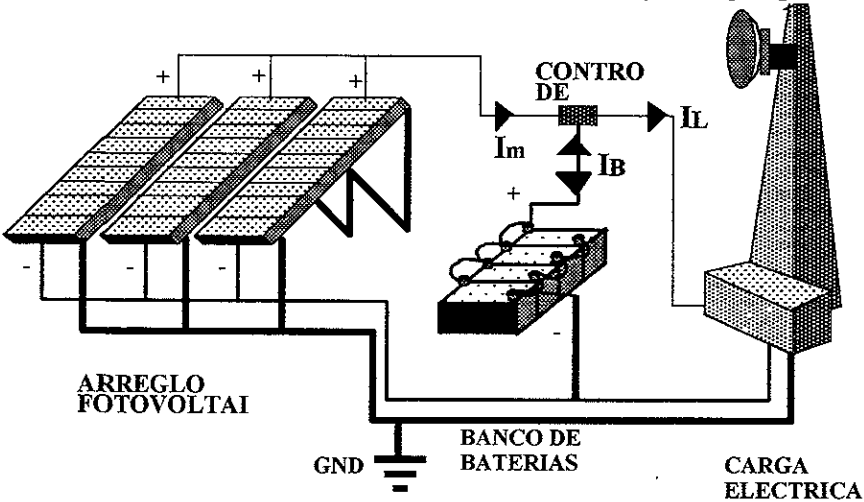


Figura 2.2 Sistema Solar Fotovoltaico

2.3. SISTEMAS DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

En un sistema fotovoltaico, la energía de los rayos del sol es convertida directamente en electricidad. En este sistema una corriente eléctrica fluye entre electrodos, esto ocurre cuando la luz solar choca con el dispositivo semiconductor (p-n) que constituye una celda solar.

Como las fotoceldas son costosas con respecto a la energía eléctrica generada por CFE, estas aun no son apropiadas para la producción masiva y la presente aparición es prometedora solo en aplicaciones remotas no electrificadas así, como por sus grandes costos de inversión. Sin embargo, los sistemas de energía fotovoltaica tienen mucho mérito, tal como la simplicidad del sistema, la flexibilidad del diseño, bajo mantenimiento y no es contaminante.

Actualmente los desarrollos de alta eficiencia y bajo costo, de los sistemas de energía fotovoltaica, permiten dar un gran paso hacia el futuro, logrando.

1. Desarrollar el bajo costo de SOG (grado solar) de la producción tecnología del silicio.
2. Disminuir el costo en la producción tecnológica de la celda solar de silicio cristalino, tal como técnicas de vaciado y torneado.
3. Desarrollar la producción tecnológica de las celdas de silicio amorfo, tal como aumentar la eficiencia, la superficie del área y otras
4. Desarrollar las aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos, por control remoto, la instalación de centrales fotovoltaicas.

La figura 2 3 muestra un cuadro de la conversión fotovoltaica y sus diferentes sistemas de aplicación

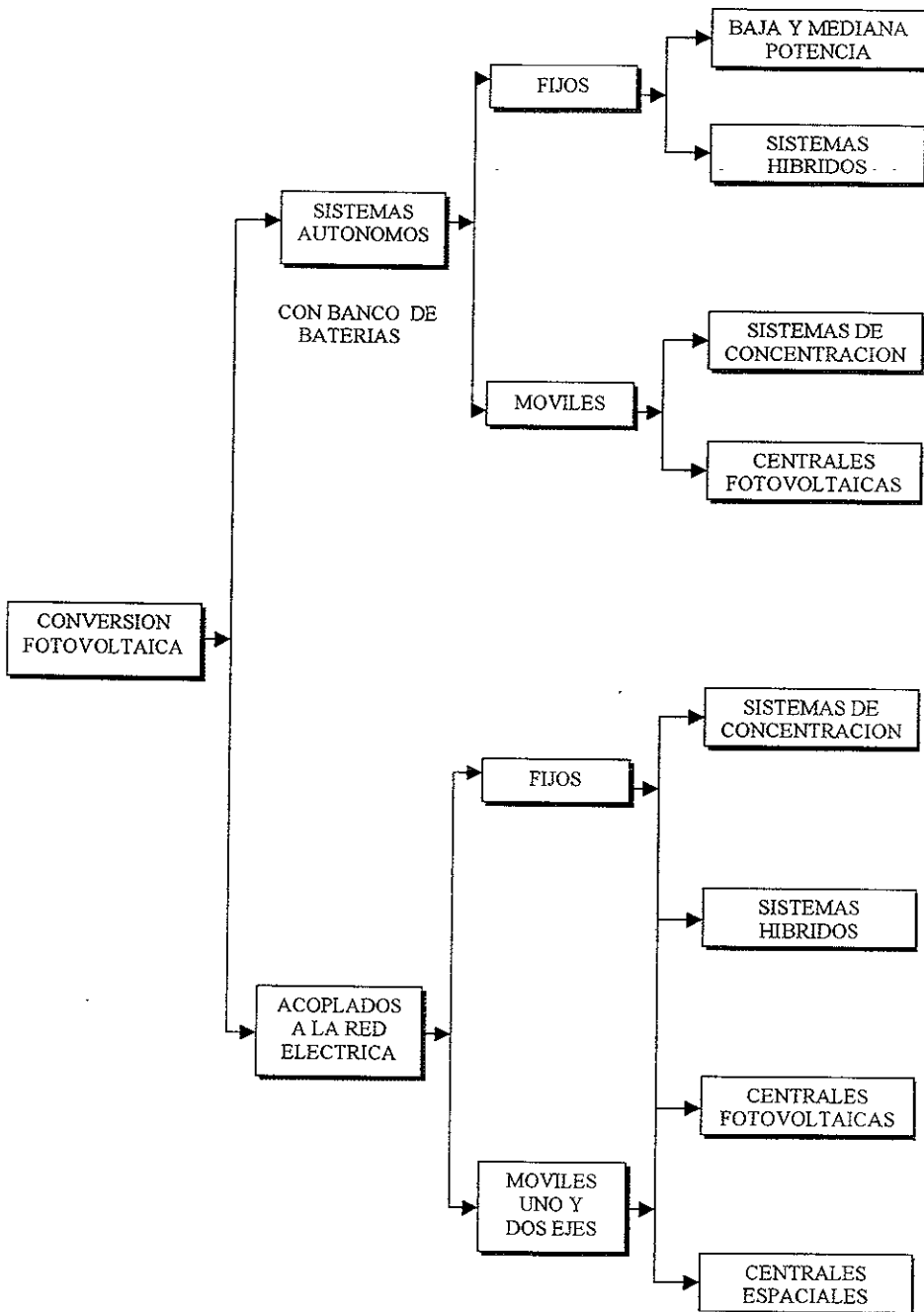


Figura 2.3

CAPITULO III.- SEGUIDORES SOLARES

3.1. SISTEMAS DE SEGUIMIENTO

La necesidad de captar la mayor cantidad posible de la energía incidente en un determinado lugar es, evidentemente, una exigencia común a todos los sistemas de aprovechamiento de la energía solar. La máxima captación se obtiene si la superficie colectora se mantiene constantemente en posición normal a los rayos del sol, lo que únicamente puede conseguirse si dicha superficie está dotada de un movimiento de seguimiento del sol. En comparación con la energía captada por un colector estático, la captada por uno dotado de un sistema de seguimiento del sol recibida en un día claro puede aumentar hasta un valor del orden de un 35 % o más. Sin embargo, en la práctica este aumento puede reducirse considerablemente para el caso de nublados frecuentes y en todas aquellas condiciones climatológicas en las que la relación entre la energía recibida por radiación directa y la recibida por radiación difusa tienda a disminuir. Esto hace que el seguimiento sea una solución definitiva para pequeños sistemas de colector plano.

Pero el seguimiento es imprescindible, en mayor o menor grado, cuando se trata de grandes colectores y es completamente necesario (seguimiento ideal) en el caso de aquellos sistemas que se basan en la concentración óptica de la radiación solar (concentración mediante espejos parabólicos sobre tubos colectores, concentración mediante espejos o lentes sobre celdas solares) También es imprescindible en el caso de los campos de heliostatos de una central térmica solar que han de enfocar, todos ellos, luz solar sobre un único colector. Todos los sistemas de concentración utilizan únicamente la radiación directa; pero aún así, puede obtenerse una ganancia de la energía captada respecto al colector estático que recoja

la radiación total, siempre que se trate de climas poco nublados. El aumento de energía así conseguido compensa sobradamente en muchos casos prácticos el consumo de energía y el costo de los propios mecanismos de seguimiento. Todo lo expuesto hasta aquí explica la importancia del desarrollo de sistemas de seguimiento del sol paralelamente al desarrollo del aprovechamiento de la energía solar. En este sentido, este trabajo presenta el estado actual y una explicación del planteamiento general y de las funciones particulares que se esperan de un sistema de seguimiento.

3.1.1 CINEMATICA DEL SEGUIMIENTO DEL SOL

Una superficie colectora está apuntada al sol cuando un vector perpendicular a la misma es paralelo a los rayos solares. En general, para mantener un colector apuntado en todo momento, se precisa un giro del mismo al rededor de dos ejes. Sin embargo, para los sistemas que utilizan sistemas ópticos de concentración con punto focal, es posible emplear sistemas de seguimiento de un solo eje, que si bien no presentan un rendimiento de colección óptimo pueden representar un compromiso global aceptable entre la energía total captada a lo largo de un día o de un año y la complejidad, costo y consumo de energía de un sistema de seguimiento de dos ejes.

Las configuraciones de dos ejes más comunes en la práctica están representadas esquemáticamente en la figura 3.1. El montaje polar posee un eje de giro paralelo al de la tierra y otro, horizontal, perpendicular a éste. Este montaje es muy apropiado para pequeños colectores por su sencillez de movimientos: el giro alrededor del eje polar es de velocidad prácticamente uniforme e igual a la del reloj y el giro alrededor del eje horizontal solo se necesita para corregir las variaciones de la declinación solar, por lo que muy bien puede

hacerse únicamente una vez al día, o incluso, sólo varias veces al año, sino se requiere gran precisión.

Los sistemas de control pueden agruparse en dos tipos: los sistemas que utilizan fotosensores para obtener la señal de error de puntería y los que calculan la posición del sol en función de datos astronómicos, geográficos del lugar y la hora del día.

En el primer caso, el sensor suele estar constituido por pares de elementos fotosensibles (fotorresistencias, fototransistores, fotoceldas, etc.) montados de tal manera que proporcionan una señal de salida nula cuando la orientación del panel coincide con la del sol y una señal positiva o negativa proporcional a la desviación, en caso de que no se dé tal coincidencia. En estos casos el fotosensor va sólidamente unido al propio colector y se mueve con él de tal manera que su función sustituye a la de los captadores de orientación del sol y del colector.

En el caso de seguimiento por coordenadas calculadas, una forma de proceder puede consistir en un calculador (generalmente un micro o miniordenador) que tenga en memoria o calcule la posición instantánea del sol en la esfera celeste y, a partir de estos datos, los del día del año, la hora local y las coordenadas geográficas del lugar, calcule los ángulos de acimut y elevación del sol en cada momento. A partir de estos ángulos, el controlador obtiene el vector de orientación S que debería poseer el colector para apuntar al sol y lo compara con el vector de orientación real C del mismo, obtenido a partir de la información recibida del captador de posición angular. La diferencia entre ambos vectores permite conocer los errores de orientación en acimut y elevación y generar las órdenes oportunas de control para los motores correspondientes.

El Sistema de Seguimiento Solar Termodinámico, tiene la misma cinemática de seguimiento que los seguidores antes mencionados, a diferencia que este último, trabaja mediante la expansión de un gas y en casos de nublados este no tiene reorientación instantánea, ya que no cuenta con motores ni equipo electrónico, pero para los fines que se construyó es funcional

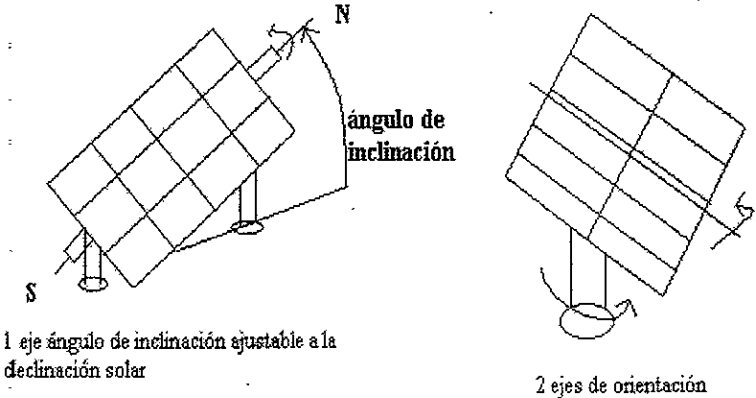


Figura 3.1

3.1.2. ORIENTACION DE COLECTORES SOLARES

Los sistemas que dependen exclusivamente de la radiación directa del sol serán controlados con un dispositivo de orientación, que ordene el movimiento aparente del sol hora por hora y día por día. Las figuras 3.2 y 3.3, muestran que, en el equinoccio el sol se eleva exactamente en el este y se oculta en el oeste en todas las latitudes del globo terrestre. El sol

describe un arco de un círculo, el centro en el cual se sitúa el punto de observación. El hecho de que la órbita del sol sea inclinada en todas las latitudes excepto el ecuador puede ser demostrado tomando el ejemplo de la posición de medio día a una latitud de $23^{\circ}27' N$

ESTACIONES ANUALES, EQUINOCCIOS Y SOLSTICIOS

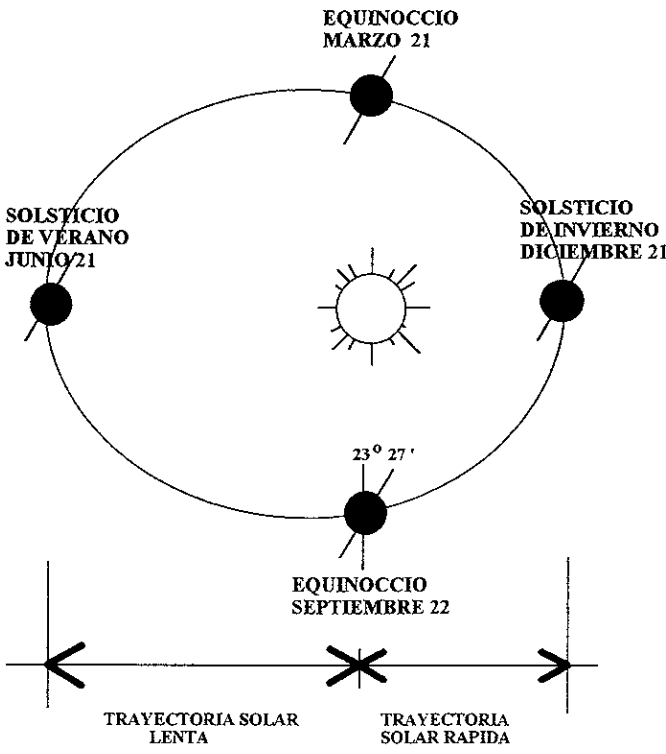
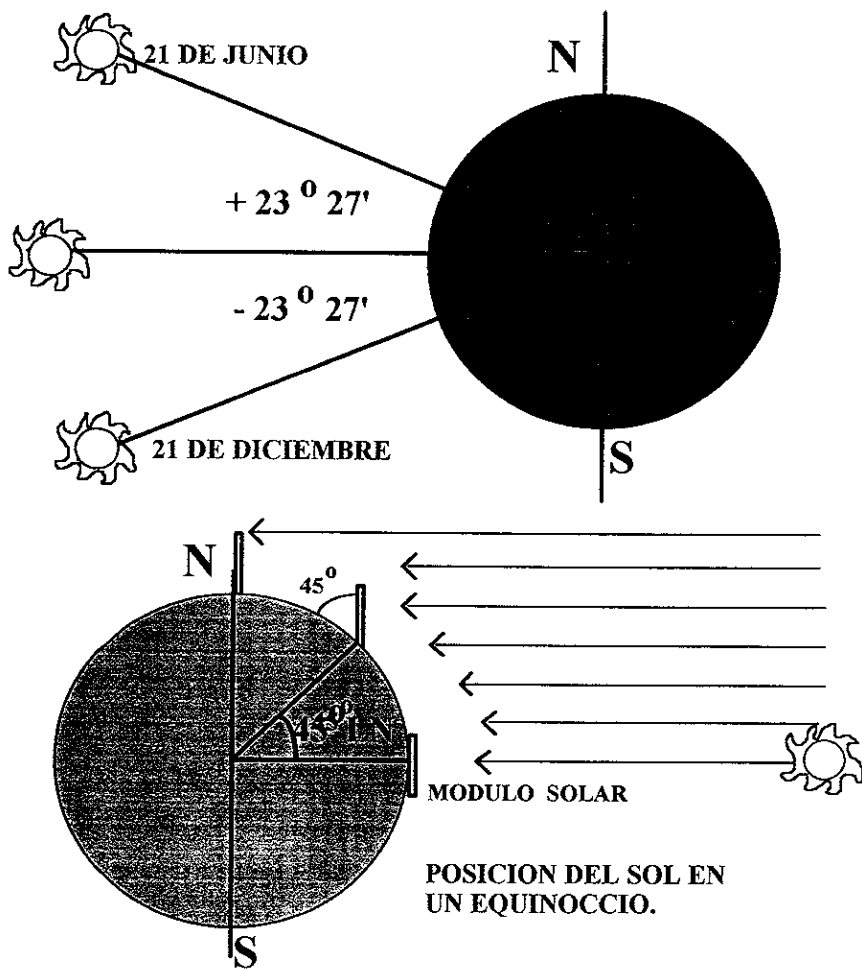


Figura 3.2

DECLINACION SOLAR A LO LARGO DEL AÑO PARA UN OBSERVADOR TERRESTRE.



EFFECTOS DE LA LATITUD DEL LUGAR SOBRE LA TRAYECTORIA SOLAR PARA 45 GRADOS NORTE.

Figura 3.3

CAPITULO IV.- SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR TERMICO

Los primeros seguidores solares desarrollados con la técnica de utilizar dos tubos de cobre llenos de gas para accionar un actuador y que éste mueva un conjunto de equipo solar datan desde 1982, cuando se presentaron los primeros prototipos para aplicaciones fotovoltaicas.

La ventaja de un seguidor solar en cualquier aplicación fototérmica o fotovoltaica, es la de obtener una ganancia de energía con respecto a un colector fijo, pudiendo variar ésta de 30 al 40 % adicional de captación solar, lo que redunda en una optimización del equipo y un abaratamiento de costos del watt-hora generado o captado térmicamente.

En la década de los ochenta se desarrollaron comercialmente algunos equipos basados en este principio hasta llegar a la maduración comercial de seguidores solares.

Existen aplicaciones tanto en los Estados Unidos como en Japón y Europa, lo que hizo interesante el desarrollo del presente trabajo

El principio básico del seguidor solar de tipo térmico, es que mediante la expansión de un gas (CO_2), causada por la radiación solar, contenido en dos tubos de cobre, se desplace un actuador hidráulico que mediante un arreglo mecánico, de un giro al panel de módulos fotovoltaicos siguiendo la trayectoria del sol y esta pueda presentar una superficie perpendicular a la fuente de radiación solar incidente, con lo que se tiene una mayor ganancia en generación de watts-hora, comparado con un colector estático o fijo. La orientación del sistema de captadores (tubos de cobre), permite que la radiación de incidencia en el lado oriente, expanda al gas contenido en dicho captador, y así realizar un trabajo en el vástago del actuador (carrera), mientras que del lado que no hay incidencia directa de radiación se comprima el gas por el efecto de transmisión en el actuador. Las áreas efectivas de los tubos respecto a la captación del sol, son de 762 cm^2 , lo que

representa una potencia incidente de 76.2 watt por tubo por segundo en condiciones AM 1.0. Esta secuencia de trabajo se presenta a lo largo del día. El panel de módulos tiene una inclinación predeterminada, ajustable a las cuatro estaciones del año y el eje de giro es de Norte a Sur.

FUNCIONAMIENTO DEL SEGUIDOR.

Cuando, la luz solar incide en el captador del lado este, el gas es calentado, lo cual se traduce en un aumento de temperatura y volumen del mismo y este se expande desplazando el émbolo del actuador, dando al vástago una carrera proporcional al incremento de volumen y temperatura. Mientras el “sol sigue su trayectoria”, el gas continúa expandiendo y proporcionando energía al actuador para continuar con el seguimiento solar. Una vez que el sol se encuentra en el zenit, el sistema adquiere una posición horizontal, lo que demuestra que hay un equilibrio térmico. Al continuar el sol con su trayectoria, el captador del lado oeste comienza a tener un incremento de temperatura y el gas empieza a expandirse y a realizar el trabajo de retorno del actuador. Para evitar enfriamiento por masas de aire, los captadores se aislaron con tubos de acrílico de 7.5 cm de diámetro y 3 milímetros de espesor.

4.1. CONCEPTOS TEORICOS

Fuerza. Es todo aquello que tenga tendencia a iniciar el movimiento de un cuerpo, hacer que cese dicho movimiento, o cambiar su dirección. Una fuerza puede también cambiar el tamaño o forma de un cuerpo. Esto es, que el cuerpo puede deformarse, torcerse, doblarse, alargarse, comprimirse o, en general, distorsionarse por la acción de una fuerza. La unidad de medida es el N y el Kgf.

Presión. La presión es la fuerza ejercida en la unidad de área. Se puede describir como la medida de la intensidad de una fuerza en un punto cualquiera sobre la superficie de contacto. Siempre que una fuerza se encuentre distribuida uniformemente sobre un área dada, la presión en cualquier punto de la superficie de contacto es la misma y puede calcularse dividiendo la fuerza total aplicada entre el área total sobre la cual se aplica la fuerza.

$$P=F/A; \text{ Kg/cm}^2, \text{ Pa}$$

Donde P= Presión

F= Fuerza total

A= Area total

Trabajo. Se efectúa trabajo cuando una fuerza aplicada a un cuerpo, lo mueve una distancia. La cantidad de trabajo efectuada es el producto de la fuerza y de la distancia sobre la que actúa ésta.

$$W= F \times d; \text{ Kg-m, J, Kcal.}$$

Donde F= Fuerza aplicada

d= Distancia a lo largo de la cual actúa la fuerza, en unidades lineales

W= Trabajo efectuado, expresado en unidades de fuerza y longitud

Energía. Con objeto de efectuar trabajo o desarrollar movimiento de cualquier clase, se utiliza energía. Se dice que un cuerpo posee energía cuando tiene la capacidad de desarrollar trabajo. Por lo tanto, la energía se describe como la capacidad de desarrollar trabajo. La cantidad de energía requerida para efectuar un trabajo determinado, es siempre igual a la cantidad de trabajo hecho y la cantidad de energía que posee un cuerpo es igual a la cantidad de trabajo que puede efectuar al pasar de una condición o posición a otra.

Energía cinética. Es la energía que posee un cuerpo como resultado de su movimiento o velocidad. La cantidad de energía cinética que posee un cuerpo, es una función de su masa y

su velocidad y se puede determinar de acuerdo con la ecuación siguiente:

$$K = \frac{M \times V^2}{2g}$$

donde K= energía cinética en Kg-m

M= peso del cuerpo en Kg

V= velocidad en metros por segundo

g= constante de gravedad

Energía potencial. Es la energía que posee un cuerpo debido a su posición. La cantidad de trabajo que puede efectuar un cuerpo al pasar de una posición o condición dada a otra posición de referencia.

Calor. El calor es una energía en transición (en movimiento) desde un cuerpo o sistema hasta otro, debido sólo a la diferencia de temperatura entre los sistemas. La interacción ocurre por radiación o por conducción

El calor radiante es una emanación electromagnética; todos los cuerpos radian calor. Si dos cuerpos están interactuando sólo con calor radiante, el cuerpo más caliente radia más calor que el que recibe y el cuerpo más frío radia menos calor que el que recibe.

Fluido. Es aquella sustancia que, debido a su poca cohesión intermolecular, carece de forma propia y adopta la forma del recipiente que lo contiene.

Los fluidos se clasifican en líquidos y gases.

Los gases a una presión y temperatura determinada tienen un volumen determinado, pero puestos en libertad se expansionan hasta ocupar el volumen completo del recipiente que lo

contiene, y no presentan superficie libre. Los gases ofrecen poca resistencia al cambio de forma y de volumèn.

Métodos de transferencia de calor. La transferencia de calor de un punto a otro se presenta en tres formas: (1) conducción, (2) convección y (3) radiación

Conducción. La transferencia de calor por conducción se presenta cuando se transmite energía por contacto directo entre las moléculas de un solo cuerpo entre las moléculas de dos o más cuerpos en buen contacto térmico entre sí. En cualquier caso, las moléculas calentadas comunican su energía a las otras que se encuentran inmediatamente adyacentes a ellas. La rapidez de la transferencia de calor por conducción, está en proporción directa con la diferencia de temperatura entre las partes de alta y baja temperatura, sin embargo, no todos los materiales conducen calor con la misma rapidez. Algunos materiales, como los metales, conducen calor muy rápidamente, mientras que otros como el cristal, madera y corcho, ofrecen una resistencia considerable a la conducción del calor. Por lo tanto para una diferencia de temperatura dada cualquiera, la rapidez de flujo calorífico por conducción a través de materiales diferentes de la misma longitud y sección transversal, variará con la capacidad particular de los diferentes materiales, para conducir calor. La capacidad relativa de conducción de calor en un material, se conoce como conductividad térmica.

Convección. La transferencia de calor por convección ocurre cuando hay movimiento de calor de un lugar a otro, por medio de corrientes que se establecen dentro de un medio fluido. Estas corrientes se conocen como corrientes de convección y resulta que el cambio de densidad es producido por la expansión de la porción de fluido calentado.

Cuando se calienta una porción cualquiera de un fluido, éste se expande, aumentando su volumen por unidad de peso. Así pues, la porción calentada es más ligera y tiende a subir, siendo inmediatamente substituida por una porción más fría y más pesada del fluido.

Radiación. La transferencia de calor por radiación se presenta en la forma de un movimiento de onda similar a las ondas de luz, y en el cual la energía se transmite de un cuerpo a otro sin la necesidad de concurso de materia inmediata. La energía calorífica transmitida por movimientos duratorios se llama energía variante.

Se supone que las moléculas de un cuerpo se encuentran en rápida vibración y que esta vibración produce un movimiento duratorio en el éter que rodea al cuerpo. Así pues, la energía molecular interna del cuerpo se convierte en ondas de energía radiante. Cuando estas ondas se ven interceptadas por otro cuerpo de materia, son absorbidas por ese cuerpo y convertidas en energía molecular interna.

La tierra recibe calor del sol, por radiación. La energía de la vibración molecular del sol es impartida en la forma de ondas de energía variante al éter del espacio interestelar que rodea al sol, las ondas de energía viajan a través de billones de kilómetros de espacio e imparten su energía sobre la tierra y sobre cualesquiera otros cuerpos materiales que intercepten su trayectoria. La energía radiante es absorbida y transformada en energía molecular interna, de manera que el movimiento vibratorio del cuerpo caliente (el sol) es reproducido en el cuerpo más frío (la tierra).

Ecuación general de la energía. La ley de la conservación de la energía indica claramente que la energía transferida a un cuerpo debe conservarse totalmente. Se ha demostrado que una cierta parte (o toda) de la energía tomada por un material, puede abandonar al material como trabajo y que solamente la porción de la energía transferida que

no se utilice para efectuar trabajo externo, permanece en el cuerpo como “energía térmica almacenada”. Es evidente entonces que la energía transferida a un cuerpo debe conservarse o manifestarse en alguna de las formas que se indican enseguida o en combinaciones de ellas.

- (1) como un aumento en la energía cinética interna.
- (2) como un aumento en la energía potencial interna.
- (3) como trabajo externo efectuado.

La ecuación general de la energía es un enunciado matemático de este concepto y se puede escribir:

$$\Delta Q = \Delta K + \Delta P + \Delta W$$

Donde ΔQ = energía calorífica transferida al material, en calorías

ΔK = la fracción de la energía transferida, que aumenta la energía cinética interna

ΔP = la fracción de la energía transferida, que aumenta la energía potencial interna

ΔW = la fracción de la energía transferida que se utiliza para efectuar trabajo externo

Cambio de la energía cinética interna. Durante un proceso cualquiera en el que cambie la temperatura del gas, se tendrá un cambio en la energía cinética del gas. Independientemente del proceso, cuando la temperatura de un peso de gas dado, aumenta o disminuye, el cambio en la energía cinética interna se puede determinar según la ecuación.

$$\Delta K = MC_v(t_2 - t_1)$$

donde ΔK = aumento en la energía cinética interna en Kcal; kg - m

M = peso en kilogramos

C_v = calor específico a volumen constante

t_2 = temperatura final

t_1 = temperatura inicial

Trabajo externo durante un proceso a presión constante.

$$W = P(V_2 - V_1)$$

donde W = trabajo efectuado en Kg - m; J

P = presión en kg / m²

V_2 = volumen final en metros cúbicos

V_1 = volumen inicial en metros cúbicos

Calor transferido durante un proceso a presión constante.

$$\Delta Q = \Delta K + \Delta W$$

Puesto que el calor específico a presión constante toma en cuenta no solamente el aumento en energía interna por kilogramos, sino también el trabajo efectuado por kilogramos y por grado de elevación de temperatura durante una expansión a presión constante, solamente para el proceso a presión constante, que se puede determinar por la ecuación siguiente:

$$\Delta Q_p = MC_p(t_2 - t_1)$$

4.2. ECUACIONES Y CALCULOS BASICOS

Cálculo del volumen:

$$V_{\text{tubo}} = \pi r^2 l = \pi (2.54)^2 \text{ cm}^2 (150) \text{ cm} = 3040.25 \text{ cm}^3 = 3.04025 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V_{\text{man}} = \pi r^2 L = \pi (1.27)^2 \text{ cm}^2 (400) \text{ cm} = 2026.9 \text{ cm}^3 = 2.026 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Suponemos que para una presión de 14 Kg/cm² (140000 Kg/m²), necesitamos una masa $M=?$,

con un volumen en el tubo de $3.04025 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

Utilizando la ecuación general de los gases $MRT=PV$, despejando M

$$M = \frac{PV}{RT}; \text{ sustituyendo } M = \frac{140 \times 10^3 \text{ Kg} (3.04025) \text{ m}^3}{19.255 \frac{\text{Kgf} \cdot \text{m}^2}{\text{Kgm} \cdot \text{k}} (297) \text{ K}} = 0.074 \text{ Kg}$$

$$M = 0.074 \text{ Kgm} \text{ ó } 74.43 \text{ grs. de CO}_2$$

$$\text{Con un } T_f = 84^\circ \text{C} + 273 \text{ K} = 357 \text{ K}$$

$$P = 140 \times 10^3 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^2} \quad V = ? \quad R = 19.255 \frac{\text{kgf} \cdot \text{m}}{\text{kgm} \cdot \text{K}}$$

$$M = 0.074 \text{ kgm} \quad T = 357 \text{ K}$$

$$V_f = \frac{MRT}{P} = \frac{(0.074)(19.255)(357)}{140 \times 10^3} = 3.65 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\Delta V = V_f - V_i = 3.65 \times 10^{-3} \text{ m}^3 - 3.040 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 6.143 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\Delta V = 6.143 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Calculamos la masa para el lado de retorno

$$P_c = 7.39 \text{ Kgf/cm}^2 = 73900 \text{ Kgf/m}^2; \quad M = ?; \quad R = 19.255$$

$$T = 297 \text{ K}; \quad V = 3.04025 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$M = \frac{PV}{RT} = \frac{73900 (3.04025 \times 10^{-3})}{19.255 (297)} = 0.0393 \text{ Kgm}$$

$$M = 39.3 \text{ grs de CO}_2$$

$$P_r = 14 \text{Kgf/cm}^2 \quad ; \quad F_r = ? \quad ; \quad A_r = 10.69 \text{ cm}^2 ; \text{cm}$$

$$F_r = 14 \text{Kgf/cm}^2 (10.69 \text{ cm}^2) = 149.66 \text{ kgf}$$

Para una P_c igualamos $F_c = F_r$

$$P_c = ? \quad ; \quad F_c = 149.66 \text{ kgf} \quad ; \quad A_c = 20.26 \text{ cm}^2$$

$$P_c = \frac{149.66 \text{ kgf}}{20.26 \text{ cm}^2} = 7.39 \text{ kgf/cm}^2$$

Cálculo del calor transferido en el lado de retorno

$$\Delta K = MC_v(t_2 - t_1),$$

$$= 0.074 \text{ Kg} (0.162) \text{ kcal/kg} (357-297) = 0.72 \text{ Kcal}$$

$$\Delta K = 720 \text{ cal} \left[\frac{1.163 \times 10^{-3} \text{ w-h}}{1 \text{ cal}} \right] \left[\frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ h}} \right] = 50.24 \text{ w-seg}$$

$$\Delta W = P(V_2 - V_1)$$

$$= 140 \times 10^3 \left(6.1425 \times 10^{-4} \right) = 86 \text{ Kg-m} \left[\frac{86}{427} \right] = 0.20 \text{ kcal}$$

$$\Delta W = 0.20 \text{ kcal} = 14 \text{ w-seg}$$

$$\Delta Q_p = \Delta K_p + \Delta W_p$$

$$= 0.72 \text{ Kcal} + 0.20 \text{ Kcal} = 0.92 \text{ Kcal} \quad \text{ó} \quad 392 \text{ Watts}$$

$$\Delta Q = MC_p(t_2 - t_1) = 0.074(0.207)(357 - 297)$$

$$= 0.92 \text{ Kcal}$$

$$\Delta Q = 0.92 \text{ Kcal} = 64.2 \text{ w-seg}$$

Cálculo del calor transferido del lado de carrera.

$$\Delta K = MC_v(t_2 - t_1);$$

$$= 0.0393 \text{ Kg} (0.162) \text{ kcal/kg} (357-297) = 0.382 \text{ Kcal}$$

$$\Delta K = 0.382 \text{ Kcal} = 26.7 \text{ w-seg}$$

$$\Delta W = P(v_2 - v_1)$$

$$= 73900 \left(6.1425 \times 10^{-4} \right) = 45.4 \text{ Kg} \cdot \text{m} \left[\frac{45.5}{427} \right] = 0.106 \text{ kcal}$$

$$\Delta W = 0.106 \text{ kcal} = 7.4 \text{ w-seg}$$

$$\Delta Q_p = \Delta K_p + \Delta W_p$$

$$= 0.382 \text{ Kcal} + 0.106 \text{ Kcal} = 0.49 \text{ Kcal} = 34.2 \text{ w-seg}$$

$$\Delta Q = MC_p(t_2 - t_1) = 0.0393(0.207)(357 - 297)$$

$$= 0.49 \text{ Kcal} = 34.2 \text{ w-seg}$$

$$\Delta Q = 0.49 \text{ Kcal} \quad \text{ó} \quad 34.2 \text{ w-seg}$$

4.3. TIPO DE FLUIDO

En este sistema de seguimiento solar, el fluido (gas), como elemento motriz en el actuador, es parte fundamental para obtener un eficaz seguimiento solar y por lo tanto, una ganancia en la generación de energía eléctrica sobre los módulos fotovoltaicos. Por razones económicas, ecológicas, practicas y por sus características se utilizó como fluido bióxido de carbono (CO_2), en estado sólido (hielo seco). El bióxido de carbono (CO_2) es uno de los primeros refrigerantes que se emplearon en sistemas de refrigeración. No tiene olor, no es tóxico, inflamable o explosivo, ni es corrosivo. Debido a sus propiedades, se ha usado mucho en el pasado para servicio marino y para acondicionamiento de aire en hospitales, teatros, hoteles y otros lugares en que la seguridad es una condición primordial, ahora la utilizaré en el seguidor solar, el cual no contaminará el medio ambiente. La temperatura de ebullición a presión atmosférica es de $(-78.5\text{ }^\circ\text{C})$ y se encuentra abajo de su temperatura de congelación $(-56.6\text{ }^\circ\text{C})$ a esta presión el CO_2 no puede existir en estado líquido a la presión atmosférica ni a una presión inferior a la presión triple, de 5.28 kg/cm^2 , el bióxido de carbono en estado sólido, se sublima directamente al estado gaseoso, y por lo tanto, abajo de esta presión, sólo se encuentra en el estado sólido y gaseosa. Debido a la temperatura crítica del CO_2 ($31\text{ }^\circ\text{C}$), se requieren temperaturas de condensación relativamente bajas para la licuefacción. El bióxido de carbono no es miscible con el aceite, es más ligero que el aceite. La detección de fugas se hace solamente por solución jabonosa.

Estas características permiten su utilización en recipientes de cobre (captadores), que están expuestos a la humedad y a la corrosión.

Los valores corresponden a las siguientes condiciones.

Densidad a $t= 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $P= 1\ 0132\ \text{bar} = 760\ \text{Torr}$.

Temperaturas de fusión y evaporación a $P= 1.0132\ \text{bar}$.

Conductividad térmica a $t= 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $P= 1.0132\ \text{bar}$.

Calor específico a $t= 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $P= 1.0132\ \text{bar}$

Tabla 4.1 Propiedades del Bióxido de Carbono (CO₂)

Densidad ρ	Punto de fusión sold $^{\circ}\text{C}$	Punto de ebullición $^{\circ}\text{C}$	Conductividad térmica λ W/ m * k	Calor específico		Constante de gas R J/Kg*K
				C_p	C_v	
1 96	-57	-78.5	0.01326	0.84	0.63	189

CAPITULO V. INSTALACION DEL SISTEMA.

4.1 MATERIALES

Los materiales utilizados en la construcción del sistema de seguimiento son

Cuatro módulos fotovoltaicos de 31.2 cm * 77.3 cm * 3.2 cm y de 35 watts c/u.

Un actuador hidráulico de efecto simple, con cilindro de 5.08 cm de diámetro, con vástago

de 3.5 cm de diámetro y carrera de 20.3 cm

Dos Tubos de cobre tipo L de 5.08 de diámetro y 150 cm de longitud

Dos Manómetros de presión tipo Bourdon de 14 Kg/cm²

Dos tubos de acrílico de 7.5 cm de diámetro

Dos tramos de aluminio negro de 420 cm * 10.2 cm

Dos tramos de aluminio negro de 366cm * 7.6 cm.

Una barra de acero 1046 de 150 cm de longitud y 2.54 cm de diámetro

Dos chumaceras de 1.905 cm de diámetro.

Cuatro tapones capa de bronce de 5.08 cm de diámetro.

Cuatro mangueras para gas de 150 cm de longitud.

Una rotula de 0.4 cm de diámetro.

Dos tramos de riel de 150 cm de longitud.

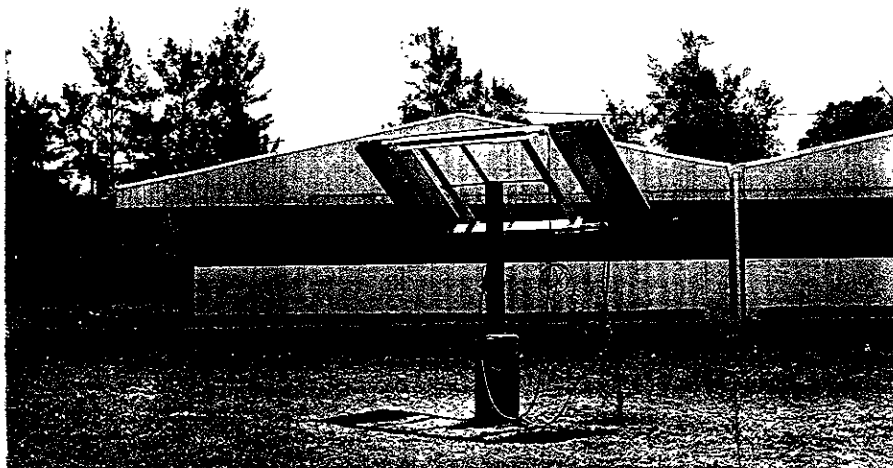
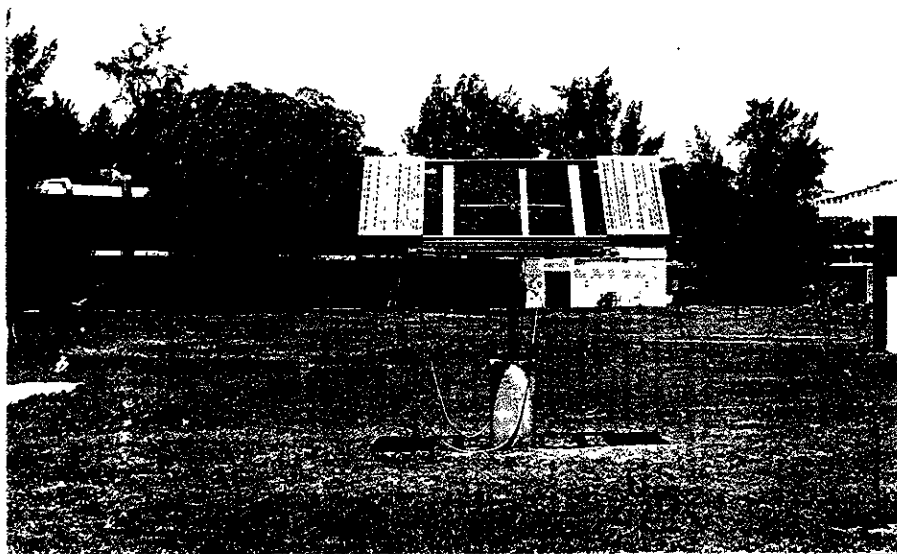
Un clicímetro

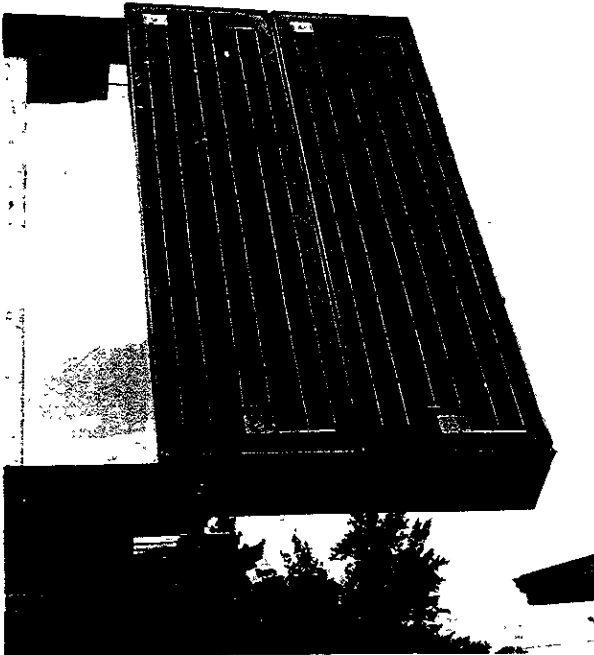
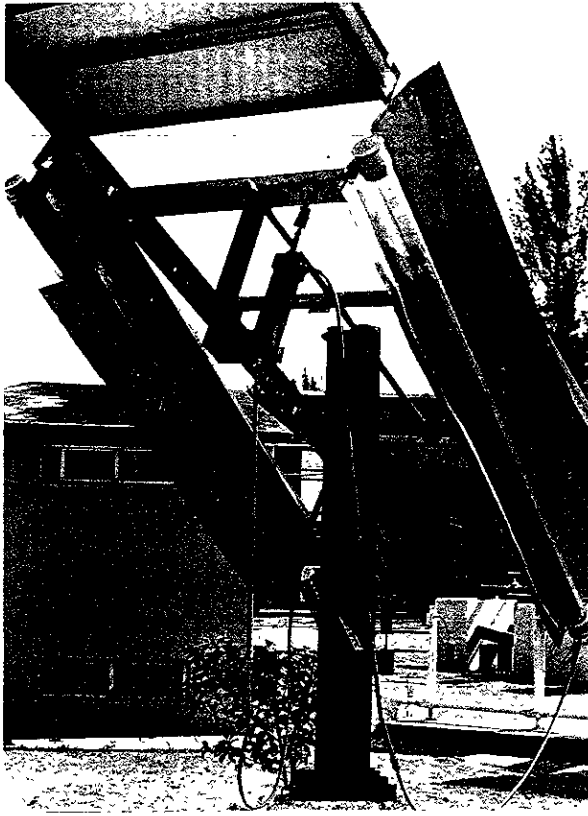
Un solarímetro.

Medio litro de pintura color negro mate

5.2. UBICACION Y UNIDAD PROTOTIPO

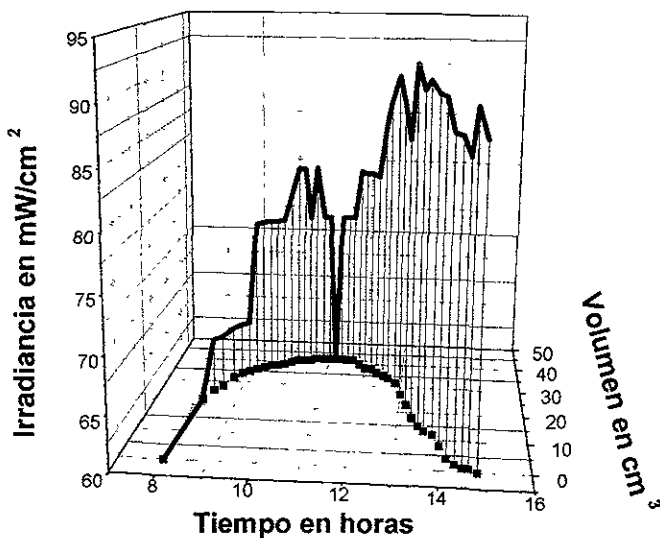
El Seguidor Solar se encuentra instalado a un costado de la Planta Piloto de la Sección de Electrónica de Estado Sólido en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados. A continuación se muestran algunas fotografías del Sistema de Seguimiento.





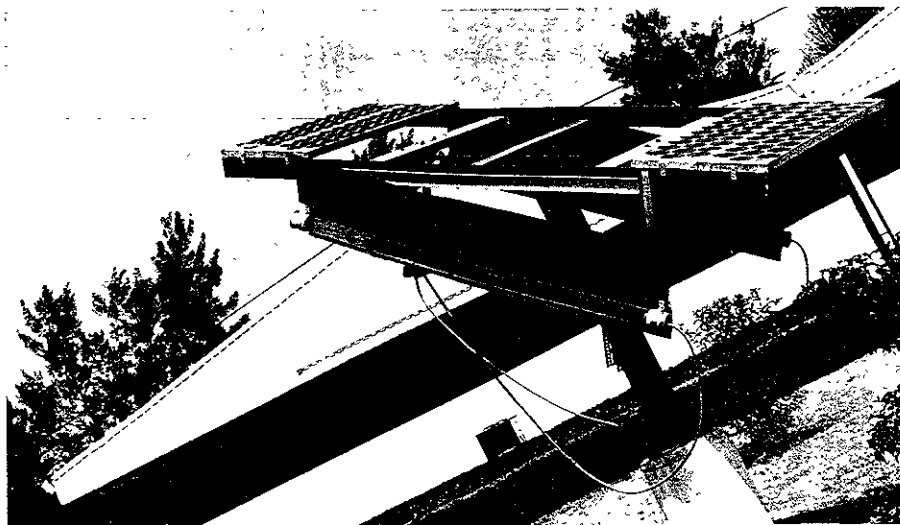
CAPITULO VI PRUEBAS Y CARACTERIZACION DEL SISTEMA TERMODINAMICO

El presente capítulo muestra los resultados y gráficas del seguidor solar de tipo termodinámico, obtenidos de la medición realizada el día miércoles 10 de Marzo de 1999, en la zona Norte del Distrito Federal correspondiente a la zona de Zacatenco (día soleado y nublado), durante siete horas, en intervalos de diez minutos. Los resultados y gráficas se obtuvieron tomando las siguientes variables: presiones, temperaturas, irradiancias en ambos lados (Este-Oeste) de los captadores solares y el desplazamiento del actuador (carrera y retorno), tomado como volumen para poder graficar fácilmente.



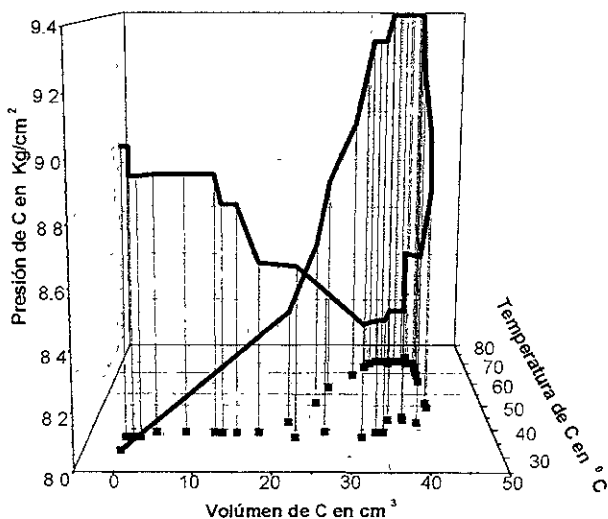
Gráfica 6.1 Irradiancia, volumen y temperatura del sistema de colectores solares

En esta gráfica se muestra la irradiancia, el tiempo y volumen (desplazamiento) en condiciones reales de operación, notese cómo a lo largo del día de la evaluación, hay un aumento de volumen que se manifiesta como un trabajo (giro) del panel solar fotovoltaico, con lo que se obtiene ganancia en potencia, (Apéndice 1) Dicha ganancia se presenta en el intervalo de tiempo de las 8:00 - 8 10 hrs, lo que indica que el tiempo de respuesta del gas a la irradiancia es casi instantáneo. Algo característico de este sistema de seguimiento solar, es ser, un sistema térmico cerrado, es decir, no hay transferencia de masa, por lo cual hace más difícil el trabajo del gas, mientras que un captador trabaja (el de carrera) el otro se opone (el de retorno), esto es debido a la inercia térmica del gas, causada por radiación difusa. Cuando el segundo captador trabaja, el primero tiene el mismo comportamiento. Esto origina pérdidas e ineficiencias del sistema en su conjunto, sin embargo, ya que el movimiento del sol es lento (15° por hora) y dado que el $\text{Cos } 0^{\circ}$ es 1, el de 10° es 0.98 y el de 20° es 0.93, podemos permitir un ligero retardo en el seguimiento solar, aunado al tiempo de respuesta del propio sistema. En otras palabras la operación lenta del sistema en su conjunto con todas sus pérdidas inherentes, pueden ser despreciables debido al movimiento tan lento requerido. Como se puede observar en la siguiente fotografía.



Vista Frontal

La gráfica 6.2 muestra el aumento de presión, temperatura y volumen del lado Este, donde se pueden identificar tres puntos básicos de discusión, denominados por A, B y C.



Gráfica 6.2 Resultados de las mediciones del colector solar de carrera en presión, volumen y temperatura

El segmento que va del punto A al B representa la expansión del gas en forma de trabajo, del captador de carrera (tubo orientado al este)

Como se puede observar en el segmento A al B el captador del lado Oriente se calienta aumentando su presión de 8 kg/cm^2 a 9.4 kg/cm^2 lo que permite que el volumen aumente en el actuador de 0 a 42 cm^3 este incremento del volumen se traduce como un giro de todo el panel fotovoltaico hacia la salida del sol, con lo que se posiciona para ganar más radiación solar durante el amanecer, en este incremento se puede apreciar la rapidez de la velocidad de respuesta del sistema.

Del segmento B al C el gas se comienza a enfriar y a perder presión, temperatura y volumen debido a que entra en sombra por el desplazamiento del sol a lo largo del día. El decrecimiento de volumen se debe a lo siguiente

1. A la pérdida de presión y temperatura y
2. Al trabajo que realiza el tubo de retorno a expensas de obligar la compresión del primero (captador de carrera) Con este calentamiento es obligado el panel de módulos solares fotovoltaicos regresar progresivamente a la posición inicial para llegar al volumen cero.

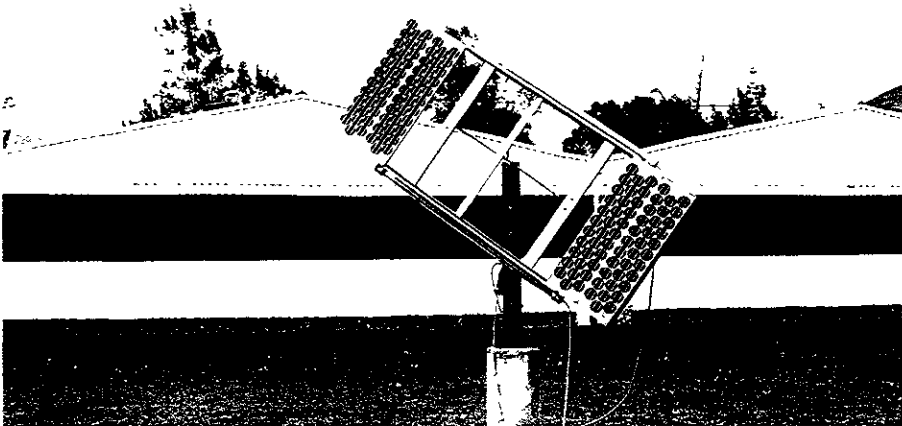
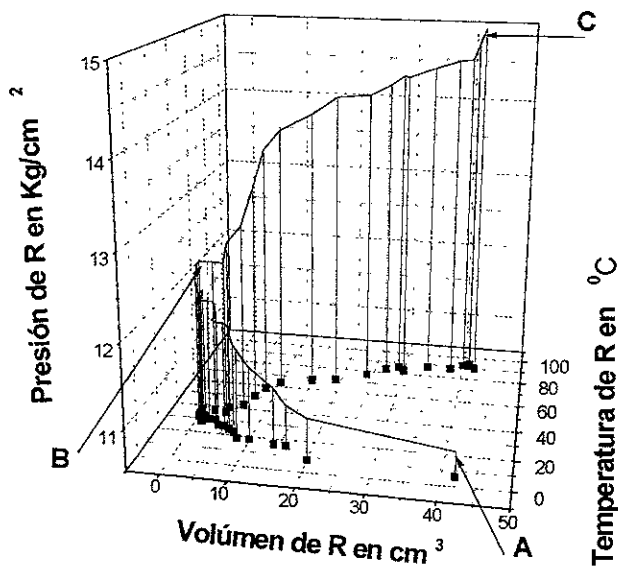
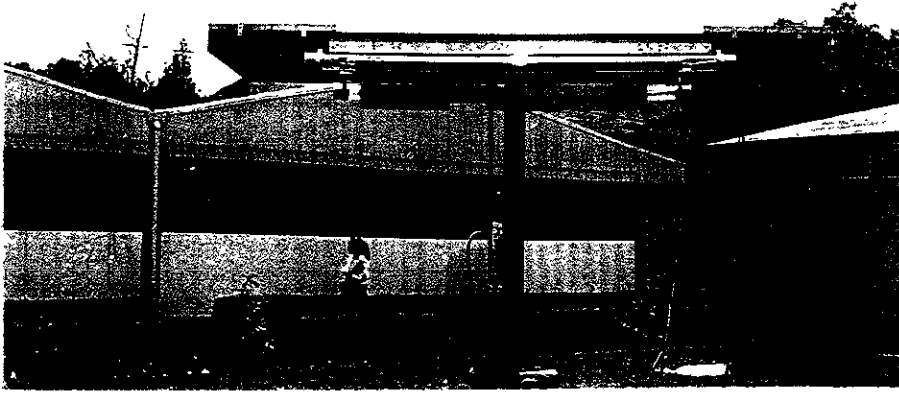


Figura 3 Vista lateral del colector solar térmico Oriente de 76 watt-pico de potencia para el seguidor solar termodinámico

La gráfica 6.3 muestra el comportamiento termodinámico del captador de retorno (lado Oeste). Si observamos la gráfica, en el segmento que va del punto A al punto B, hay un ligero incremento en la temperatura del gas, esto es debido a que el captador esta en sombra y recibe radiación difusa, es decir, aquella radiación que no proviene directamente del sol, también se puede notar un incremento en la presión que es debido a que el actuador se desplaza y así transmite energía provocando que el manómetro registre el cambio de presión. Del punto B al punto C, se tiene un aumento mayor que en el punto A-B de la temperatura y presión, que es por causa de la radiación directa, como se puede ver en la gráfica corresponde la incidencia solar al lado Oeste, que ahora el vástago del actuador retornará.



Gráfica 6.3 Resultados de las mediciones del colector solar de retorno en presión, volumen y temperatura.



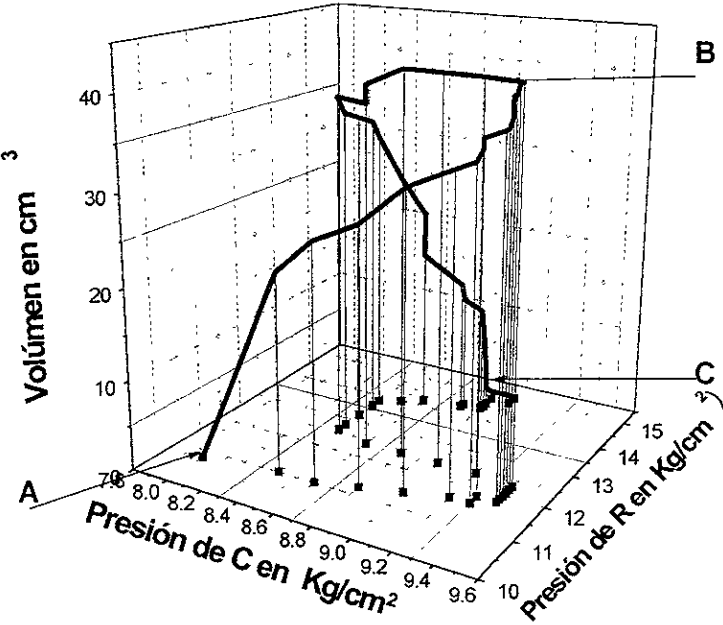
La Figura 4 muestra una vista lateral del captador de retorno (o lado poniente)

El resultado en conjunto para ambos colectores solares, el de carrera y el de retorno se muestra en la composición tridimensional de la gráfica 6 4 donde se muestran las dos presiones de carrera y de retorno en función del volumen (desplazamiento).

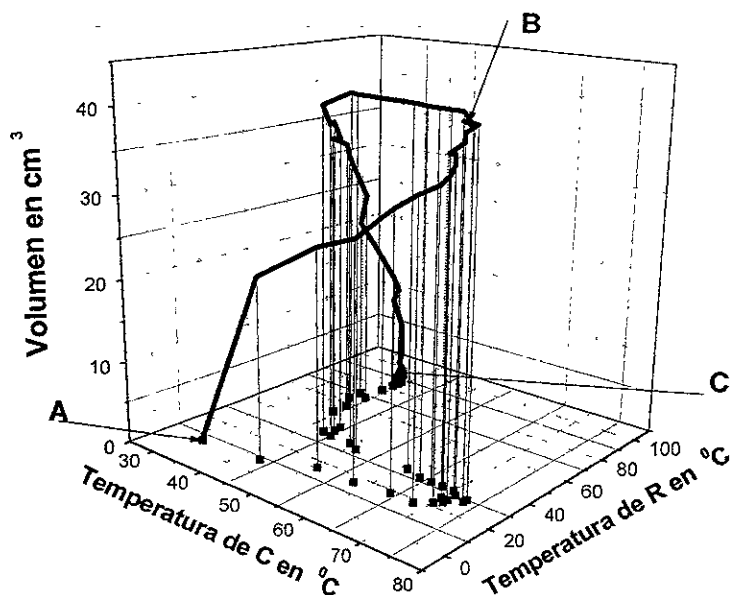
Nuevamente se ha fragmentado la gráfica para facilitar su análisis. Así se tiene que el segmento de la curva A-B corresponde al captador de carrera mientras que el segmento B-C corresponde al captador de retorno. Obsérvese en el punto A-B cuando aumenta la presión, el volumen crece con rapidez, y después el incremento es lento, hasta llegar a la estabilización térmica, que se ve como una recta. Del punto B-C hay un retorno del vástago del actuador, esto indica que se está realizando el trabajo del actuador, es decir, se está expandiendo el volumen del gas en el captador del lado de retorno (oeste), por lo que podemos decir que se está realizando el seguimiento.

Finalmente se tiene el comportamiento de los dos colectores térmicos solares de 76 watts-pico de potencia c/u en la gráfica 6.5 donde se muestran las temperaturas en función del volumen (o desplazamiento).

Cabe mencionar que los colectores térmicos, tienen una capa de color negro mate para que haya mayor absorción de energía radiante.



Gráfica 6.4 Efectos combinados entre el colector de carrera y el colector de retorno



Gráfica 5 Composición tridimensional de las temperaturas de ambos colectores solares en función del volumen.

Como se puede observar esta última gráfica, es muy parecida a la 6.4, ya que ahora se está graficando las temperaturas contra el volumen. Y anteriormente se explicó que hay un aumento proporcional de estas propiedades. De aquí que se parezcan las gráficas.

La tabla 6.1 muestra datos de la prueba realizada al seguidor con las variables antes mencionadas.

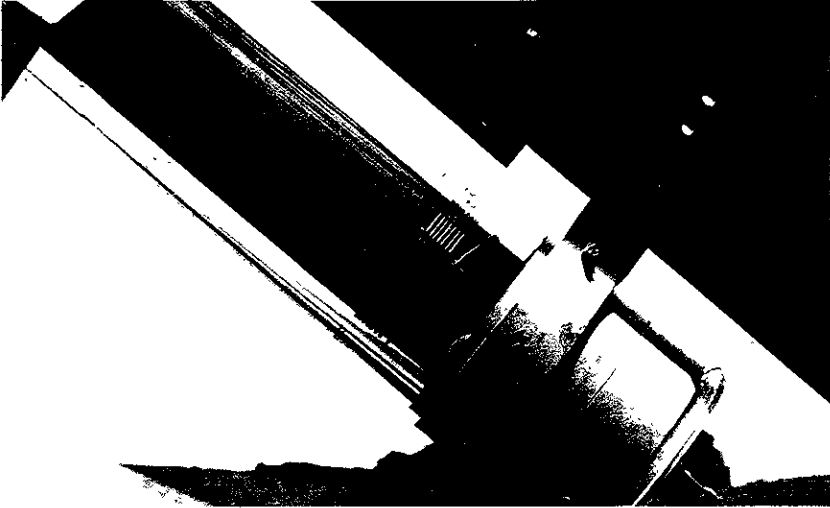
La medición de las temperaturas se obtuvieron instalando dos termopares tipo J (hierro-constantan y/o hierro-cobre-niquel) en cada uno de los captadores. La presión con manómetros tipo bourdon.

Tabla 6.1

Pc	Pr	Irra.	Tc	Tr	Desp.	Tiempo
Kg/cm²	mW/cm²	°C			cm	horas
8	10.8	60	32	6	0	08:00
8.4	11	60	43	8	22	08:10
8.6	11	65	51	16	26	08:20
8.8	11.2	65	58	16	28	08:30
9	11.4	65	64	18	32	08:40
9.2	11.6	65	68	18	34	08:50
9.3	11.6	65	70	22	35	09:00
9.3	11.8	75	71	24	36	09:10
9.3	11.8	75	71	26	37	09:20
9.4	11.8	75	71	26	38	09:30
9.4	11.9	75	70	26	38	09:40
9.4	12	75	71	30	39	09:50
9.4	12	77.5	71	30	40	10:00
9.4	12	80	73	30	41	10:10
9.4	12.1	80	70	32	41	10:20
9.4	12.1	75	73	28	41	10:30
9.4	12.2	80	70	32	42	10:40

Pc	Pr	Irra.	Tc	Tr	Desp.	Tiempo
Kg/cm²	mW/cm²	°C			cm	horas
9.4	12.2	75	68	32	42	10:50
9.4	12.2	75	66	32	42	11:00
9.4	12.3	60	64	32	42	11:10
9.2	12.4	75	61	34	42	11:20
9	12.4	75	51	34	42	11:30
8.8	12.4	75	49	36	42	11:40
8.6	12.4	80	43	37	40	11:50
8.6	12.4	80	45	36	38	12:00
8.4	12.6	80	44	40	38	12:10
8.4	12.8	80	44	43	36	12:20
8.4	13.2	85	39	51	35	12:30
8.4	13.6	87.5	39	58	34	12:40
8.4	13.8	90	37	64	32	12:50
8.5	14	88	39	68	27	13:00
8.6	14.2	85	37	70	23	13:10
8.6	14.2	92	39	77	18	13:20
8.8	14.3	90	39	83	15	13:30
8.8	14.4	91	39	86	13	13:40
8.9	14.4	90	39	83	12	13:50
8.9	14.5	90	39	88	8	14:00
8.9	14.6	87.5	39	88	4	14:10

8.9	14.6	87.5	37	92	2	14.20
8.9	14.8	86	37	94	1	14.30
9	14.8	90	37	92	1	14.40
9	15	87.5	37	90	0	15.00



Vista del termopar tipo j instalado en el captador del lado Oriente



Vista del Manómetro instalado en el captador Poniente

6.2 RESULTADOS ELECTRICOS EN LA GANANCIA DE ENERGIA SOLAR

FOTOVOLTAICA

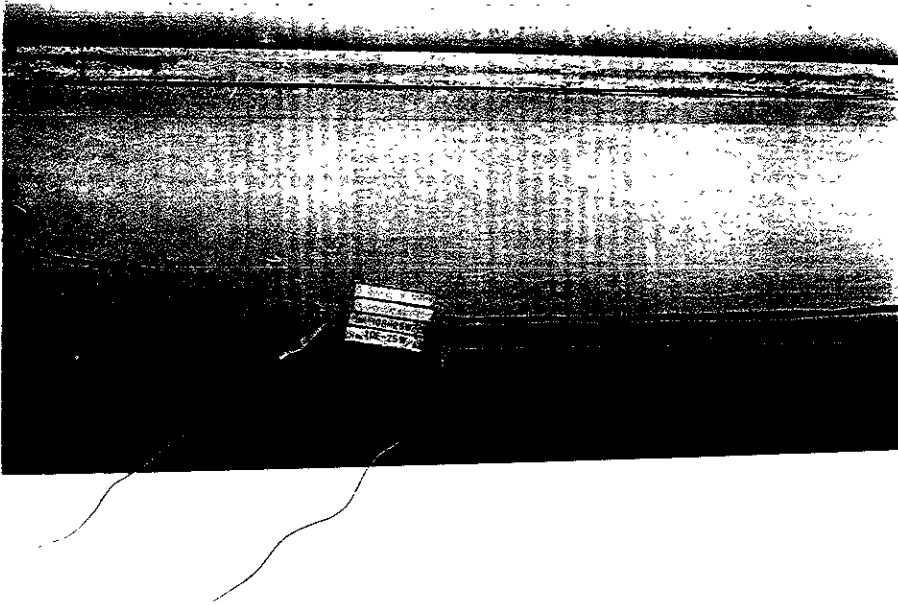
Mediciones Eléctricas.- En las evaluaciones realizadas el día 30 de Julio de 1997 se obtuvieron los siguientes resultados

Potencia eléctrica del modulo horizontal a lo largo del día: 767:80 Watt-hr

Potencia eléctrica del modulo con seguimiento a lo largo del día. 1022 60 Watt-hr

Las mediciones eléctricas fueron hechas con una resistencia en paralelo de 2 5 ohm, con lo que se operó el modulo en la región de corriente constante.

La ganancia de energía entre el modulo horizontal (fijo) y el de seguimiento es del orden de 33% (Apéndice 2).



CAPITULO VII.- COSTO DEL SISTEMA

7.1. COSTO DIRECTO Y RENTABILIDAD.

Costo Directo

El costo del sistema es tan solo de \$ 3000 00 (tres mil pesos 00/100 M.N.)

Actuador \$ 1500.00

Tubos de Acrílico \$ 500 00

Tubos de cobre,

Remaches, manómetros,

Tapones capa, uniones,

Mangueras, barra de acero,

Chumaceras. \$ 1000.00

El material restante como es el riel de acero y la zapata de concreto, fue una donación hecha por la Planta Piloto de la Sección de Electrónica de Estado Sólido

Rentabilidad

La rentabilidad de este sistema se puede obtener de la siguiente forma.

Considerando que el sistema utiliza 8 módulos fotovoltaicos de 35 watts c/u, que están en operación un tiempo de 5.5 hrs-sol y es fijo o estático

$$8 * 35 \text{ watts} * 5.5 \text{ hrs-sol} = 1540 \text{ watts-hr/día}$$

Que resulta ser la potencia generada en un día.

Para el sistema de seguimiento donde hay una ganancia del 35 % con respecto a un sistema estático se tiene:

$$1540 * 1.35 = 2079 \text{ watts-h /día}$$

Obteniendo la diferencia de potencias generadas en ambos sistemas se tiene

$$2079-1540 = 539 \text{ watts-hr/día}$$

Esta cantidad que es la ganancia, si se divide entre el tiempo de radiación se obtendrá

$$539/5.5 = 98 \text{ watts-pico}$$

Los 98 watts-pico ahora será la cantidad de potencia que requerirá generarse extra, por lo tanto se tiene que

$$98 \text{ watt-pico} * 10 \text{ dls/watt} * 10 \text{ \$/dls} = \$ 9800.00$$

Restando \$ 9800 00 - \$ 3000 00 = \$ 6800

\$ 6800.00 es el ahorro que se tiene al utilizar el sistema de seguimiento, o es la inversión extra que se requiere en un sistema fijo

Es importante hacer notar que el costo no es nada más económico, sino ecológico y social, ya que el sistema trabaja con un gas que no contamina el medio ambiente como sería el freón o algún otro clorofluorometano. Como el dispositivo es autónomo requiere de poco mantenimiento, como sería limpiar los paneles y captadores del polvo y esto no requiere de un gasto adicional, en caso de presentarse alguna fuga del el gas, este se puede obtener en cualquier paletería, como hielo seco. Con respecto a las celdas solares, en un reporte muy

reciente¹ se informa que las ventas de éstas se incrementaron en más del 40% durante 1997, y su mercado ha crecido a una tasa del promedio de 16% anual desde 1980. De acuerdo con éste “ los mercados de sistemas solares están creciendo 10 veces más rápido que el de la industria petrolera, cuyas ventas se expandieron con una tasa de sólo el 1.4% anual desde 1990”; la industria solar, junto con la de computadoras y la de telecomunicaciones, serán las líderes en crecimiento industrial en el siglo XXI. Además “ la energía solar, junto con otras fuentes renovables como la energía del viento y las celdas de combustible alimentadas por hidrógeno, suministrarán la mayor parte de la energía en el próximo siglo.

¹ **Solar Power Markets Boom**, reporte escrito por Christopher Flavin, publicado en sept 1998 del World Watch M

CONCLUSIONES Y SUEGERENCIAS

De acuerdo a los objetivos planteados para este trabajo, el resultado es favorable, con respecto a lo teórico, ya que el funcionamiento del sistema requiere de algunos ajustes en la parte mecánica, para que la velocidad de seguimiento pueda ser comparable con un sistema de seguimiento electrónico

La ganancia de 33% de energía da un saldo favorable a la inversión

También es importante remarcar que se pudo superar problemas de fugas de gas y se ajustó el sistema a una operación diaria de más de 10 meses, una vez estabilizado y operado cotidianamente, se buscó el día apropiado para hacer las mediciones aquí reportadas. Se hicieron ajustes finales al colocar dos pantallas reflectoras ya que le hacia falta más energía al sistema para una mayor carrera del actuador, se hicieron varias pruebas sobre la cantidad de gas utilizado, para designar la cantidad de masa óptima de operación

Por otra parte, se puede concluir que en este proyecto no hay un proceso termodinámico común, como es el isobárico o el adiabático. Ya que en las pruebas realizadas y gráficas expuestas la presión y temperatura son variables, pero la energía calorífica que utiliza el gas es externa, no es interna como supone la teoría. Por lo que podemos decir, que tenemos una combinación de los procesos antes mencionados.

Por otra parte es recomendable instalar un actuador de tipo neumático con resorte, para poder disminuir las pérdidas causadas por la inercia térmica en los captadores

Espero que este trabajo, sirva de motivación para el desarrollo industrial, intelectual y de investigación, ya que en nuestro país, de no desarrollar nuestras propias tecnologías para aprovechar las abundantes fuentes de energía renovables del país, seguiremos teniendo la necesidad de comprar tecnologías extranjeras a costo muy alto

De acuerdo a un reporte reciente² “la reestructuración de la industria eléctrica puede conducir a amplios cambios, que incluyen el retiro de plantas nucleoelectricas, la clausura de las menos competitivas minas de carbón, y al incremento del uso del gas natural para generar electricidad”, “legislaturas estatales y el congreso han considerado una variedad de propuestas que incluyen provisiones específicas para dar soporte al desarrollo continuo y al uso de las fuentes alternas. Lo que implica una oportunidad para este tipo de proyectos

² Challenges of Electric Power Industry Restructuring for Fuel Suppliers.

BIBLIOGRAFIA

1. -La Distribución de la Radiación Global en México Evaluada Mediante la Fotointerpretación de la Nubosidad Observada por Satélites Meteorológicos.
Hernández H. Everardo
Centro de Investigación de Materiales U.N.A.M.
2da Edición
2. - The Sunshine Project, for Establishing Clean, New Energy Technology
Published by Japan Industrial Technology Association,
March, 1988
- 3 - Gay C F , Yerkes J. W., and Wilson J H. 1982,
“Performance Advantage of Two -Axis Tracking for Large Flat-Plate Photovoltaic Energy Systems” sixteenth IEEE photovoltaic Specialist Conference, San Diego California, USA.
p p 1368-1371.
4. - Imamura M S , and Palz W , “Pv array Configuration Flat-Plate Module with Stationary and Moving Structures” Photovoltaic Systems Technology
Commission of the European Communities, handbook
p p 95-108
- 5 - Pete Ron, December 1991, “ Tracking Arrays Maintenance and Operation of Stand-alone photovoltaic systems”,
Sandia National Laboratories,
p.p.29-38
- 6 – Asociación de Energía Solar, XIX Semana de Energía Solar.

Memoria, 1997.

Pérez L. F y Urbano C. José. A

7 - Asociación de Energía Solar, XXI Semana de Energía Solar

Memoria, 1999

Pérez L. F y Urbano C. José. A

8. - Estado del arte de la Investigación en Energía Solar en México

Rincón Mejía Eduardo

FICA

México, 1999

9. - Architectural Energy Co “ Maintenance and Operation Stan-Alone Photovoltaic Systems”

p.p. 29-34

10 - Principios de Refrigeración

Dossat Roy J.

CECSA

11 - “Stationary Reflector/tracking Absorber, Solar Colector Services”

Howell Yvonne and Bereny Justin A.

Engineer’s Guide to Solar Energy, 1979

pp. 111-117

12. - Termodinámica

Faires/Simmang

UTEHA

13 - Mechanics Synthesis and Analysis

Soni A.H.

1985

14 - Manual de Hidráulica Industrial

Vickers Co.

Olé-Hidráulica

APENDICE 1

ARTICULO PUBLICADO EN LAS MEMORIAS DE LA ANES

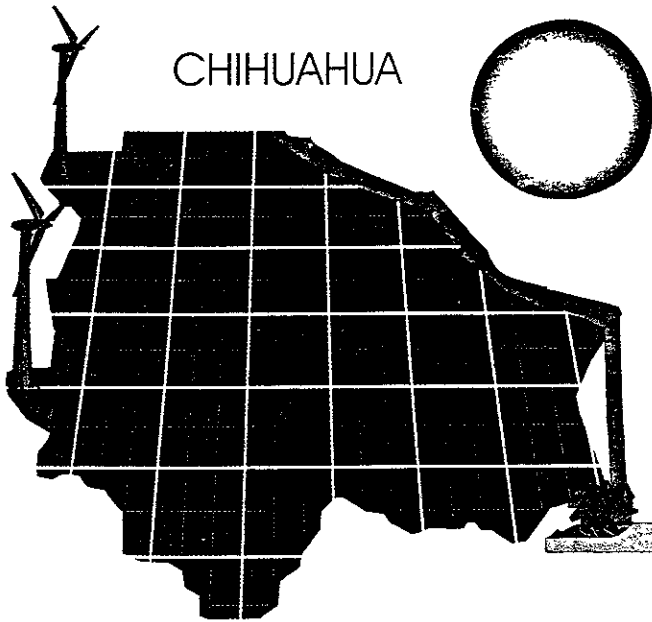
OCTUBRE 1997



INES

ASOCIACION NACIONAL DE ENERGIA SOLAR

ESTADO DE CHIHUAHUA



XXI SEMANA NACIONAL DE ENERGIA SOLAR

MEMORIA

TUBRE 1 AL 3 DE 1997

CONTENIDO

APLICACIONES EÓLICAS Y FOTOVOLTAICAS

AEF02	2
Diseño construcción y prueba de un seguidor solar de tipo termodinámico Pérez Fernando, Urbano A., Matsumoto Y. y Asomoza R. <i>CINVESTAV-IPN, Departamento de Ingeniería Eléctrica y ESIME, IPN</i>	
AEF03	7
Diseño y construcción de una estufa solar por generación, almacenamiento y combustión de hidrógeno fotovoltaico Solís Correa H., Barceló I., Gordon M., Palos de Anda J., Hernández Hernández H. <i>UAM-A</i>	
AEF08	12
Resultados del programa de energía fotovoltaica para bombeo de agua en Chihuahua Ojinaga Lilia M., Foster Robert E. <i>Dirección Regional de Desarrollo Rural del Estado de Chihuahua y New Mexico State University</i>	
AEF10	19
Sistema híbrido: aerogenerador-módulo fotovoltaico Wilfredo Soto Gómez <i>Instituto Tecnológico de Tijuana</i>	
AEF13	22
Sistema híbrido eólico diesel para aplicación ecoturística Ellis Abraham, Romero-Paredes A., Corbus David. <i>SWRES, Ecoturismo y Nuevas Tecnologías S. A. de C.V. y National Renewable Energy Laboratory</i>	
AEF14	27
Propuesta de un método para el diseño de sistemas fotovoltaicos Vega Pérez J., Castillo García L., Vargas Garza A. <i>Instituto Politécnico Nacional</i>	
AEF16	31
Resumen de cinco años de operación del sistema híbrido de X-Calak Romero-Paredes Rubio A., Foster Robert, Durand Steven <i>Ecoturismo y Nuevas Tecnologías S. A. de C. V. y New Mexico State University</i>	
AEF17	37
Inversor trifásico-motor asíncrono: Solución a los sistemas inmersos de bombeo de agua Guzmán Serrano E. <i>UAM-A</i>	

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBA DE UN SEGUIDOR SOLAR DE TIPO TERMODINÁMICO

Fernando Pérez*, A. Urbano*, Y. Matsumoto* y R. Asomoza*

* Sección de Electrónica del Estado Sólido
Departamento de Ingeniería Eléctrica, CINVESTAV-IPN.
Apdo. Postal 14-740, 07000, Mexico, D.F.
Tel: 747-70-00 Ext. 3175 Fax: 747-71-14

* Laboratorio de Electrónica del Depto. de
Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica de la ESIME-IPN
Unidad Profesional "Adolfo López Mateos"
Col. Lindavista C.P. 07738 México D.F.
Tel 729-60-00 Ext. 54819.

RESUMEN

El presente artículo muestra los resultados de un seguidor solar a base de dos captadores tubulares, sobre los cuales al incidir la radiación solar se presenta un proceso térmico (expansión de un gas), el cual se manifiesta como energía hidráulica a través de un actuador, que realizara un trabajo útil (declinar el bastidor de módulos solares en dirección Este-Oeste), para aumentar las horas de irradiación directa. A este conjunto se le ha denominado ACTUADOR TERMODINÁMICO SOLAR, "ATS".

La ventaja de este seguidor es que no consume energía adicional sino que la adquiere del sol, así, el ATS funciona autónomamente, lo que hace muy atractivo al sistema ya que se vuelve autosuficiente y con un mantenimiento mínimo. En este trabajo, se evalúan las temperaturas, insolación, trabajo termodinámico desarrollado y se comparan con el diseño teórico. También se discute y analizará el funcionamiento del sistema para un mejor diseño en el futuro.

INTRODUCCIÓN

Los primeros seguidores solares desarrollados con la técnica de utilizar dos tubos de cobre llenos de gas para accionar un actuador y que éste mueva un conjunto de equipo solar datan de 1982, cuando se presentaron los primeros prototipos de sistemas ATS para aplicaciones fotovoltaicas. La ventaja de un seguidor solar en cualquier aplicación fototérmica o fotovoltaica, es la de obtener una ganancia de energía respecto a un colector fijo, pudiendo variar ésta de 30 al 40 % adicional de captación solar, lo que reduce en una optimización del equipo y un abaratamiento de costos del watt-hora generado o captado térmicamente.

En la década de los ochenta se desarrollaron comercialmente algunos equipos basados en este principio hasta llegar a la maduración comercial de seguidores solares hasta llegar al desarrollo

Existen aplicaciones tanto en los Estados Unidos como en Japón y Europa de seguidores del tipo ATS, lo que hizo interesante el desarrollo del presente trabajo.

El principio básico del ATS, es que mediante dos tubos, uno al lado oriente y otro al lado poniente, se hace girar por medio de un actuador y un sistema de chumaceras, el panel conteniendo varios módulos solares fotovoltaicos, para que éstos presenten una superficie perpendicular a la fuente de radiación solar incidente, con lo que se obtiene una mayor ganancia en generación de watts-hora, comparado con un colector estático. El sistema usa un par de tubos para desarrollar los movimientos de carrera y retorno. El soporte mecánico tiene una inclinación predeterminada, ajustable a las 4 estaciones del año y el eje de giro es de Norte a Sur. El ATS es de gran utilidad e importancia, ya que puede tener aplicaciones inmediatas en Helioarquitectura, al abrir o cerrar persianas, domos, ventilas, ductos, compuertas, trampas de aire, ventanas, etc., aplicables al campo Bioclimático en Arquitectura tradicional y Holística.

MODELO

El Modelo propuesto en el presente artículo se esquematiza en la vista de corte de la Fig. 1. Como se puede apreciar en esta figura, se cuenta con dos tubos colocados en los extremos del soporte mecánico de módulos, uno al lado oriente y otro al lado poniente.

Las áreas efectivas de los tubos respecto a la captación del sol es de 762 cm cuadrados, lo que representa una potencia incidente de 76.2 watt por tubo por segundo en condiciones AM 1.0.

Dado el movimiento tan lento del sol (15 grados por hora) el seguidor solar no requiere de pares mecánicos grandes por lo que la respuesta del ATS es favorable.

El modelo contempla seguimiento de inclinación para las cuatro estaciones del año.

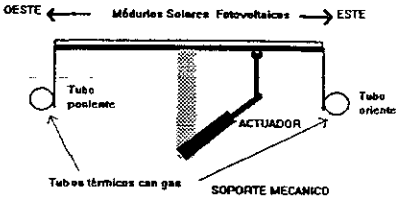


Fig. 1 Vista de corte del prototipo de actuador termodinámico solar (ATS)

Un actuador acoplado a un par cinemático, es el sistema que realiza el trabajo mecánico de seguimiento solar, Fig 2

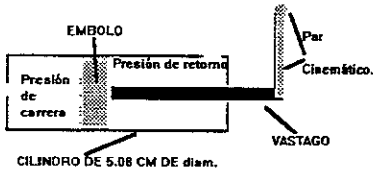


Fig. 2 Vista de corte del actuador utilizado en el ATS

ECUACIONES UTILIZADAS

$$M = V \times \rho \quad (1)$$

$$\Delta Q_p = \Delta K_p + \Delta W_p \quad (2)$$

$$\Delta K = M \times C_v (t_2 - t_1) \quad (3)$$

$$W = P (V_2 - V_1) \quad (4)$$

- Donde
- ΔQ_p calor ganado por el gas.
- ΔK_p Energía Cinética del gas.
- ΔW_p Trabajo en joules.
- ρ Densidad del gas
- M Masa del gas en Kg.
- V Volumen total en metros cúbicos

$$P = F / A ; F = P (A)$$

Donde

- P presión del gas en kg / cm cuadrado
- F fuerza de trabajo en kg
- A área efectiva de trabajo en centímetros cuadrados.

DESARROLLO

Cuando, la luz solar incide en el tubo del lado oriente, el gas es calentado, lo cual se traduce en un aumento de temperatura y volumen del mismo y este se expande para así, realizar un trabajo útil a través del actuador, dando al vástago una carrera proporcional al incremento de volumen y temperatura. Figura 3.

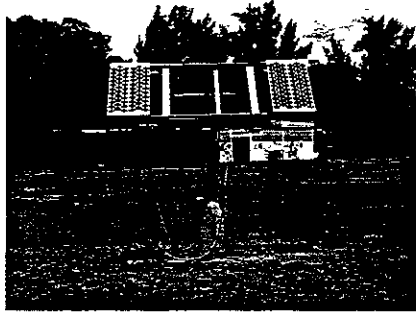


Figura 3.- Vista frontal del ATS en el amanecer.

Mientras el sol sigue su camino, el gas se continua expandiendo y proporcionando energía al actuador (76.2 watt-seg por tubo) para continuar el giro (seguimiento solar)

Una vez que el sol se encuentra en el zenit, el sistema se posiciona en forma horizontal, lo que nos muestra que el volumen del gas en ambos tubos es igual. Figura 4.

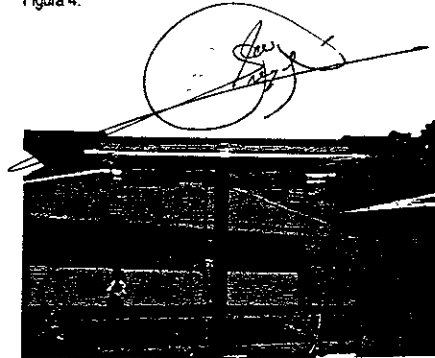


Figura 4. Vista frontal del ATS a las 12:00 hrs .

Dado que el incremento del volumen del gas en el tubo del lado Oeste es 1 / 273 por grado Centígrado, su respuesta es proporcional a la cantidad de irradiancia recibida. Como se puede observar en la Figura 5,

mientras existe dicho incremento, en el tubo del lado Este al enfriarse hay una disminución del volumen

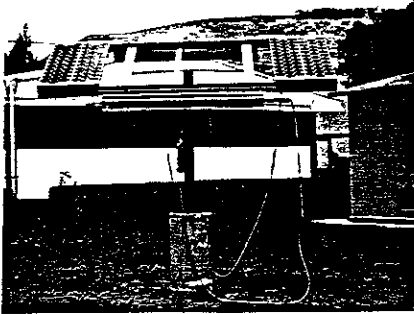


Figura 5. Vista frontal.

Una vez que el sol se encuentra en el ocaso, el gas desarrolla su expansión final, dando el actuador su máxima carrera, concluyendo así el trabajo del día

Una vez que se oculta el sol dicho tubo empieza a perder temperatura y volumen, hasta llegar a una posición de equilibrio de fuerzas propias del sistema.

El sistema ATS fue desarrollado para las diferentes estaciones a lo largo del año, como se muestra en la composición fotográfica de la figura 6.

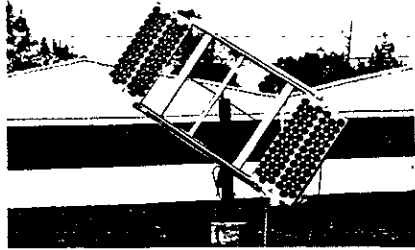
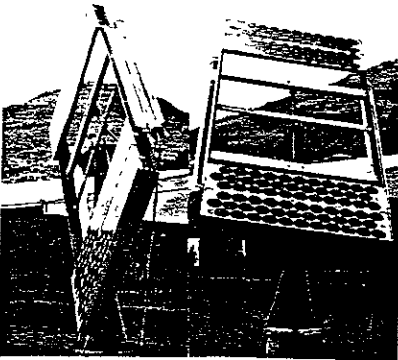


Figura 6. Composición del sistema ATS con inclinación para las diferentes estaciones del año.

RESULTADOS Y ANALISIS

Temperaturas.- Se instalaron dos termopares tipo J (hierro constantan y/o hierro- cobre, níquel) en cada uno de los tubos, se obtuvo una temperatura máxima de 77 grados centígrados en el exterior del tubo y 73 grados en el interior a una irradiancia de 1063.8 Watt/metro².

Como se puede observar, la diferencia de temperatura entre la superficie del tubo y su interior es de 4 grados centígrados debido a las pérdidas por convección de la superficie del tubo. En la figura 7 se muestran los termopares de cada tubo

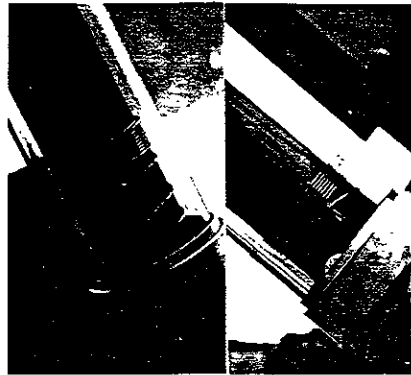


Figura 7. Vista de los dos termopares instalados en los tubos.

Aislamiento.- Cada tubo está aislado térmicamente por medio de dos tubos de acrílico de 7.5 cm de diámetro y tres milímetros de espesor, esto nos permite un diferencial de temperatura de 55 grados, evitando las pérdidas por circulación de aire (el tubo no está al vacío). La figura 8 muestra una perspectiva de ambos tubos.

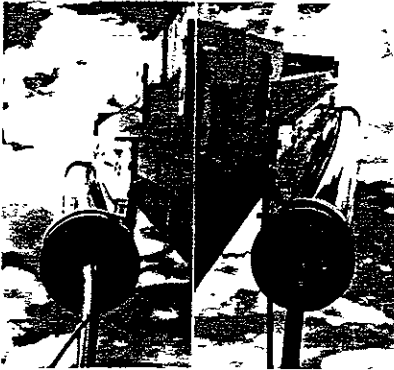


Figura 8.- Tubos de acrílico conteniendo a los tubos de cobre.

Esta por determinarse la eficiencia termodinámica, mecánica y eléctrica global del sistema, ya que las condiciones de estabilidad atmosférica no nos han permitido cuantificar apropiadamente estos parámetros.

Volumen - Masa .- Con mayor cantidad de gas se incrementa la fuerza en el sistema mecánico, el cual es útil para el desplazamiento del vástago.

Ángulo de operación.- Es conveniente reducir al ángulo de giro del bastidor, ya que en las condiciones extremas, de inclinación (amanecer y atardecer) se requiere de un par grande, actualmente de 270 grados respecto a la horizontal, lo que exige al sistema mecánico estar perfectamente diseñado (se sugiere reducirlo a 240 grados.)

Mediciones Eléctricas.- En las evaluaciones realizadas el día 30 Julio del 97 se obtuvieron los siguientes resultados

Potencia eléctrica del módulo horizontal a lo largo del día: 767.80 Watt - hora

Potencia eléctrica del modulo con seguimiento a lo largo del día: 1022.60 Watt - hora.

Las mediciones eléctricas fueron hechas con una resistencia en paralelo de 2.5 ohm con lo que operamos al modulo en la región de corriente constante y dependiente lineal de la irradiancia.

Trabajo mecánico.- La carrera del actuador es de 20.3 cm realizando de una a dos emboladas de carrera al día (una de desplazamiento y otra de retorno)

La posición del actuador, su punto del par cinemático, su ángulo de giro y su carrera son dependientes de la síntesis mecánica del sistema ATS.

Es conveniente cambiar el punto de apoyo del par cinemático (o barra fija del chasis) para disminuir la fuerza requerida para girar el bastidor de módulos

También es conveniente utilizar un actuador de mayor longitud del vástago.

Un desacople en las diferencias de presión, origina una orientación preferencial hacia el amanecer o atardecer

La diferencia en áreas del actuador, cumple fielmente las ecuaciones de presión fuerza y áreas.

Se sugiere cambiar los tubos de acrílico utilizados como aislante por tubos hechos de policarbonato , ya que estos resisten la radiación ultravioleta.

Se sugiere aplicar negro mate de los tubos al final, recomendando una técnica de humeado.

Se le disminuye fricción a los empaques de la cámara del pistón, ya que representaba muchas pérdidas en su desplazamiento inercial

El gas utilizado por razones ecológicas, termodinámicas, económicas y facilidad de carga , fue dióxido de carbono en estado sólido.

En las siguientes tres figuras, 9,10 y 11, se muestran las tres posiciones básicas del seguidor solar para la mañana, al medio día y la tarde

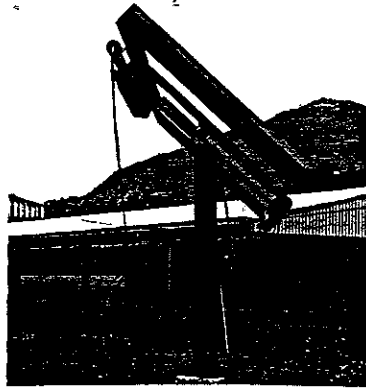


Figura 9: Sistema ATS durante la mañana

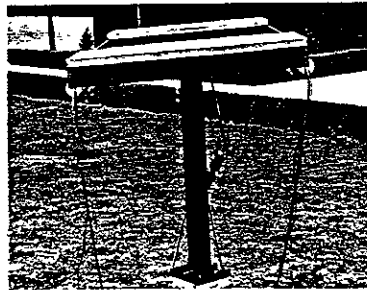


Figura 10. Vista del sistema ATS al medio día.

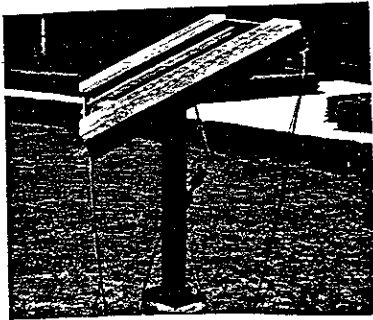


Figura 11. Vista del sistema ATS por la tarde.

Eficiencia. - Está por determinarse la eficiencia del sistema, ya que es un ciclo cerrado de trabajo en la expansión y compresión del dióxido de carbono a lo largo del día. Dado que se requiere hacer ciertos ajustes para poder evaluar la eficiencia global del sistema la cual incluiría la eficiencia del tubo, del actuador y del sistema en su conjunto así como condiciones estables de irradiancia, en los próximos meses, se tratará de evaluar dicho parámetro.

Almacenamiento de energía. - Dada la construcción física del sistema y su forma de operar, éste actúa como un almacenador de energía en forma de presión, la cual es cedida cuando ésta rebasa las condiciones de frenado inercial propio del sistema, justo antes de iniciar su carrera de seguimiento solar, es decir trabaja a base de pequeños movimientos inerciales durante el día.

CONCLUSIONES

De los resultados, se puede determinar que la ganancia de energía entre el módulo horizontal (fijo) y el de seguimiento es del orden del 33 %. Referente a los datos adquiridos para condiciones de irradiancia constante, se pudo determinar que el tiempo de respuesta es de 30 minutos para cambiar de 49 grados a 68 grados centígrados para una irradiancia de 209 watt/m² a 1063.8 watt/m² respectivamente. El ATS es de gran utilidad e importancia, ya que puede tener aplicaciones inmediatas en Helioarquitectura al abrir o cerrar persianas, domos, ventilas, ductos, compuertas, trampas de aire, ventanas etc., aplicables al campo Bioclimático en Arquitectura tradicional y Holística. Sin embargo, los resultados reportados son preliminares habiendo mucho trabajo por desarrollar sobre todo en su caracterización temporal a lo largo del año.

Agradecimientos - Queremos expresar nuestras más extensas gracias a los alumnos del verano de la investigación científica, Mariana Navarro Espinosa y José Israel Casimiro Rosas, que durante su corta estancia en el CINVESTAV-IPN, nos auxiliaron en la carga

de gas de los tubos, en la evaluación continua de las mediciones de irradiancia, temperatura, presión, ángulo de inclinación, en tiempo real así como en el armado mecánico del panel con módulos.

Referencias Bibliográficas

- Gay C F., Yerkes J W., and Wilson J H. 1982, "Performance advantage of two-axis tracking for large flat-plate photovoltaic energy systems" Sixteenth IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego California USA, p.p. 1368-1371.
- Imamura M. S., Helm P., and Patz W., "PV Array Configuration: Flat plate Module with stationary and moving structures", Photovoltaic Systems Technology Commission of the European Communities, A European Handbook p.p. 95-108.
- Pate Ron, December 1991, "Tracking arrays, maintenance and operation of stand-alone photovoltaic systems", p.p. 29-38 Sandia National Laboratories, Photovoltaic Design Assistance Center, p.p. 29-38.
- Howell Yvonne and Bereny Justin A., 1979, Stationary - Reflector / Tracking - absorber, solar collector Engineer's Guide to solar energy, Solar Energy Information Services, p.p. 111-117.
- Dossat Roy J., 1987, "Principios de refrigeración", CECSA, p. 55
- Soni A. H., 1985, Mechanics Synthesis and Analysis, Cap. 1.
- Vickers C., 1989, Manual de Hidráulica Industrial, Ole-Hidráulica, p.p. 5-25.

APENDICE 2

ARTICULO PUBLICADO EN LAS MEMORIAS DE LA ANES

OCTUBRE 1999

XXIII SEMANA NACIONAL DE ENERGÍA SOLAR

4 al 8 de Octubre de 1999

Morelia, Michoacán



A N E S

MEMORIA

Se agradece a la Comisión Federal de Electricidad a través de la Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos y a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo su apoyo para la impresión de esta memoria.

CARACTERIZACIÓN DE UN SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR DE TIPO TERMODINÁMICO

Fernando Pérez, Antonio Urbano*, Rene Asomoza*, Yasuhiro Matsumoto*

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM
Carretera Cuautitlán-Teoloyucan km 2.5 s/n
San Martín Xhala, Edo. de México, C.P. 054755

*Departamento de Ingeniería Eléctrica, CINVESTAV-IPN
Av. IPN 2508, Col. San Pedro Zacatenco México D.F. 07360
Tel:57-47-38-00 ext 3175, Fax 57-47-71-14

RESUMEN

El presente artículo muestra los resultados de un seguidor solar de tipo termodinámico, teniendo como base a las mediciones de las presiones, los volúmenes, las temperaturas y las irradiancias en ambos lados (este-oeste), (Pérez, 1997), de los captadores solares. Dicha caracterización presenta gráficas obtenidas de la medición realizada el día miércoles 10 de Marzo de 1999. El análisis de las gráficas muestra el comportamiento del gas en el sistema, es decir, la cantidad de calor que absorbe (a través de los captadores), el trabajo que realiza al expandirse o comprimirse con el aumento o disminución de temperatura.

Presión de carrera (P_c), de retorno (P_R), temperatura de carrera (T_c), de retorno (T_R) volumen e irradiancia. La presión del gas utilizado en este sistema depende de algunas variables, como son la temperatura, la radiación, la masa y el volumen.

INTRODUCCIÓN

En este sistema de seguimiento solar, el gas, como elemento motriz en el actuador, es parte fundamental para obtener una buena captación de energía solar y por lo tanto, una ganancia en la generación de energía eléctrica sobre los módulos fotovoltaicos, (Imamura).

La figura 1 muestra el sistema de seguimiento solar de tipo termodinámico.

Para obtener el seguimiento solar, dicho sistema cuenta con dos captadores solares que son de 76 watts-pico de capacidad c/u, un actuador hidráulico comercial de 0.2 m de carrera, con un cilindro de 0.051m de diámetro y con un vástago de 0.035 m de diámetro, además, cuenta con un panel de cuatro módulos fotovoltaicos de 35 watts-pico c/u. Como parte de la caracterización se han medido y graficado los siguientes parámetros:

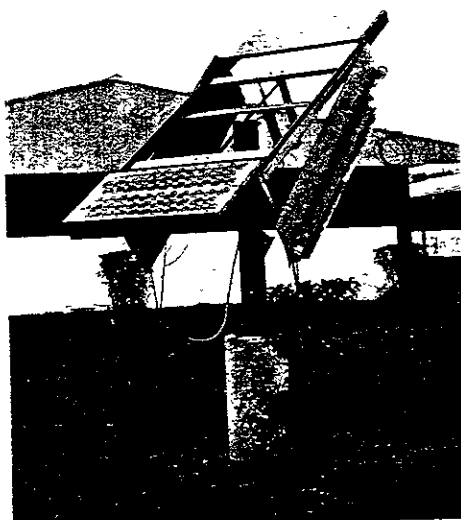


Figura 1 Vista en conjunto del sistema

temperatura del gas y de los captadores depende de los factores, como son la fuente de energía (alta o radiación), aislamiento de los captadores para evitar enfriamiento por convección de aire. (Howell, 1979)
 Al aumentar de volumen debido al incremento de temperatura, realiza un trabajo sobre el actuador, durante la expansión, por lo cual las presiones varían

DESARROLLO

En las siguientes gráficas podemos ver el comportamiento termodinámico de cada uno de los colectores y de los parámetros para un día normal de operación bajo condiciones de irradiación en la zona del Distrito Federal correspondiente a la zona de clima templado (día soleado y nublado) Así mismo podemos observar el tiempo de respuesta del sistema en conjunto.

La gráfica 1, muestra los datos obtenidos de la evaluación realizada el día 10 de Marzo de 1999, durante las horas, en intervalos de diez minutos. En esta gráfica se muestra la irradiación, el tiempo y el volumen en condiciones reales de operación, notese que a lo largo del día de la evaluación, el aumento de volumen se manifestó como un trabajo en el actuador (desplazamiento), esto representó un giro del seguidor solar fotovoltaico con lo que se obtuvo la ganancia de energía y energía reportada, (Pérez, 1997)

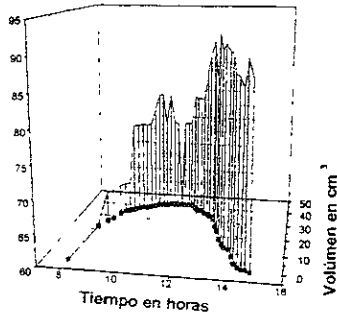


Figura 1 Irradiación, volumen y temperatura del sistema de colectores solares

Como se puede observar en la gráfica en el intervalo de tiempo de las 8:00 - 8:10 hrs, el tiempo de respuesta del gas a la irradiación es casi instantánea

La figura 2 muestra una vista en detalle de la parte posterior del seguidor solar ATS (Actuador termodinámico solar) con una corrección mecánica en la posición del actuador, donde se logran identificar los dos captadores de trabajo y el actuador posicionado de tal forma que permita dar el ajuste de estaciones a los módulos solares fotovoltaicos para aumentar su ganancia de generación a lo largo del año

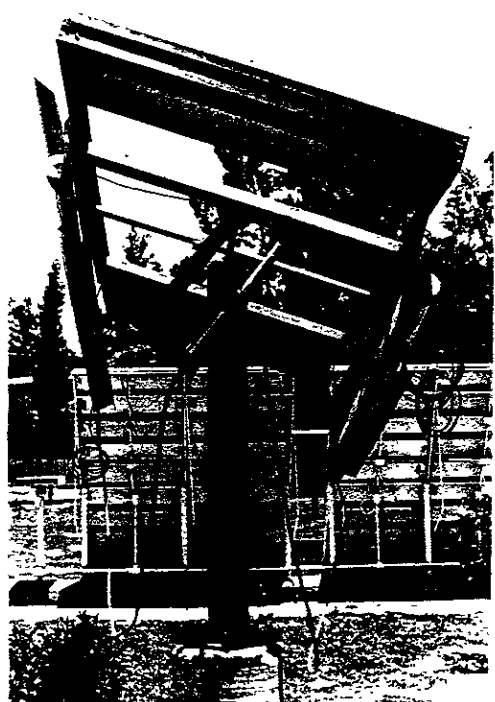


Figura 2 Vista posterior del sistema

Algo característico de este sistema de seguimiento solar del tipo termodinámico es que, es un sistema térmico cerrado, es decir, no hay transferencia de masa por lo cual hace más difícil el trabajo del gas, mientras que un captador trabaja (el de carrera) el otro se opone (el de retorno), esto es debido a la inercia térmica del gas, causada por radiación difusa. Cuando el segundo captador trabaja, el primero tiene el mismo comportamiento. Esto origina pérdidas e ineficiencias del sistema en su conjunto, sin embargo, ya que el movimiento del sol es lento (15° por hora) y dado que el $\cos 0^\circ$ es 1, el de 10° es 0.98 y el de 20° es 0.93,

permite permitir un ligero retardo en el seguimiento solar, aunado al tiempo de respuesta del propio sistema. En otras palabras la operación lenta del sistema en su conjunto con todas sus pérdidas inherentes, pueden ser despreciables debido al movimiento tan lento requerido.

La gráfica 2 muestra el aumento de presión, temperatura y volumen del lado Este, donde se pueden identificar tres puntos básicos de discusión, denominados por A, B y C.

El segmento que va del punto A al B representa el calentamiento del tubo de carrera (tubo orientado al este) como se puede observar en el segmento A al B el tubo de carrera se calienta aumentando su presión de 0.2 kg/cm^2 a 9.4 kg/cm^2 lo que permite que el volumen

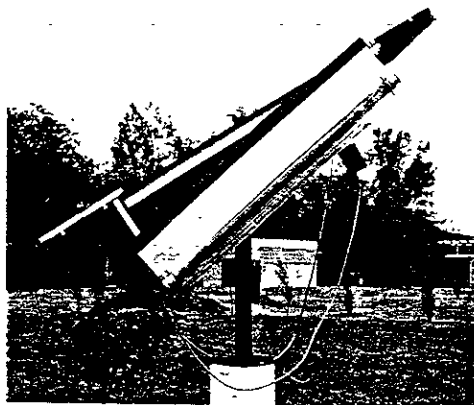


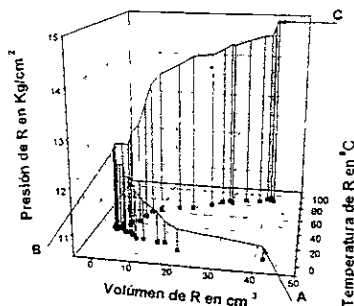
Figura 3 Vista lateral del colector solar térmico Oriente de 76 watt-pico de potencia para el seguidor solar termodinámico

La gráfica 3 muestra el comportamiento termodinámico del captador de retorno (o tubo del lado oeste), donde se tienen la presión, volumen y temperatura. Si observamos la gráfica, el segmento que va del punto A al punto B corresponde al captador de carrera, el cual obliga al actuador a reducir el volumen de retorno hasta 0 mientras, que el captador de retorno empieza a ganar temperatura por acción directa de los rayos del sol aumentando su temperatura hasta los 92°C con lo que el tubo de retorno vuelve a ganar volumen de 42 cm^3 , esto se lleva a cabo del punto B a punto C de dicha gráfica.

Gráfica 2 Resultados de las mediciones del colector solar de carrera en presión, volumen y temperatura

Al pasar del punto A al punto B, el gas se comienza a comprimir en el actuador de 0 a 42 cm^3 este incremento de volumen se traduce como un giro de todo el panel solar hacia la salida del sol, con lo que se comienza a ganar más radiación solar durante el día, haciendo que el gas del primer tubo comprimiéndose.

En el segmento B al C el gas se comienza a enfriar y a perder presión, temperatura y volumen debido a que el panel solar está en sombra por el desplazamiento del sol a lo largo del día. El decrecimiento de volumen se debe a la siguiente manera: A la pérdida de presión y temperatura y el trabajo que realiza el tubo de retorno a expensas de la compresión del primero (tubo de carrera) este calentamiento es obligado el panel de colectores solares fotovoltaicos regresar rápidamente a la posición inicial para llegar al punto A.



Gráfica 3 Resultados de las mediciones del colector solar de retorno en presión, volumen y temperatura

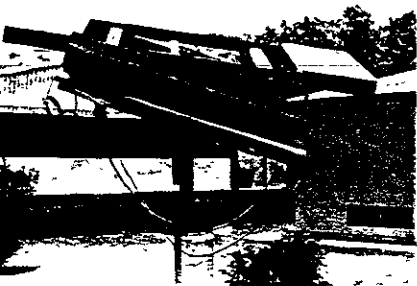


Figura 4 Vista lateral

RESULTADOS

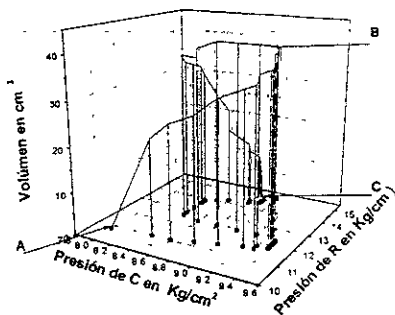
El resultado en conjunto para ambos colectores solares, el de carrera y el de retorno se muestra en la composición tridimensional de la gráfica 4 donde se muestran las dos presiones de carrera y de retorno en función del volumen desarrollado del actuador.

Nuevamente se ha fragmentado la gráfica para facilitar su análisis. Así se tiene que el segmento de la curva A-B corresponde al captador de carrera mientras que el segmento B-C corresponde al captador de retorno. Observese en el punto A-B como cuando aumenta la presión, el volumen crece rápidamente, y después el incremento es lento, hasta llegar a la estabilización térmica. Del punto B-C hay un decrecimiento en el volumen, esto indica que se está comprimiendo el volumen del actuador, es decir, se está expandiendo el volumen en el captador del colector de retorno (este), por lo que podemos decir que se está realizando el seguimiento.

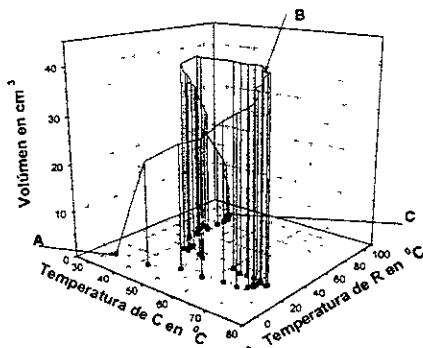
Así mismo se tiene el efecto conjunto de los dos colectores térmicos solares de 76 watts-pico de potencia c/u en la gráfica 5 donde se muestran las temperaturas en función del volumen (o desplazamiento).

Las mediciones de temperatura, se realizaron con termopares tipo J de Fierro-constantan. La presión se midió con dos manómetros comerciales tipo Bourdon. Como se puede observar en esta última gráfica, es muy parecida a la gráfica 4, ya que en esta última se grafican las temperaturas y estas tiene cierta proporcionalidad a las presiones.

Debe hacer notar que con esta caracterización térmica se podrá comprobar la modelización realizada sobre el sistema, que en el presente artículo se ha omitido. También es importante remarcar que se han podido superar los problemas de fugas de gas y se ajustó en sistema a una



Gráfica 4 Efectos combinados entre el colector de carrera y el colector de retorno



Gráfica 5 Composición tridimensional de las temperaturas de ambos colectores solares en función del volumen.

operación diaria de más de 10 meses, una vez estabilizado y operado cotidianamente, se buscó el día apropiado para hacer las mediciones aquí reportadas.

Se hicieron ajustes finales al colocar dos pantallas reflectoras ya que le hacía falta más energía al sistema para una mayor carga del actuador, se hicieron varias pruebas sobre la cantidad de gas

izado, para designar la cantidad de masa óptima de
eración
n análisis termodinámico se realizará posteriormente
a vez analizados los datos aquí reportados

CONCLUSIONES

demostramos concluir que en este proyecto no hay un
proceso termodinámico común, como puede ser el
isobárico o el adiabático. Ya que en las gráficas
muestradas la presión es variable y las tres propiedades
termodinámicas (presión, volumen y temperatura) también
varían, pero la energía calorífica que utiliza el gas es
externa, no es interna como supone la teoría. Por lo
tanto podemos decir, que tenemos una combinación de
procesos antes mencionados.

Por otra parte es recomendable instalar un actuador
de tipo neumático con resorte, para poder disminuir las
oscilaciones causadas por la inercia térmica en los
actuadores.

Referencias

- Architectural Energy Co, "Maintenance and operation
of Stand-Alone Photovoltaic Systems", p p 29-34
- Dossat Roy J, (1987) "Principios de Refrigeración",
McGraw-Hill, p p 55-62
- Howell Yvonne and Bereny Justin A, (1979),
Stationary Reflector/Tracking Absorber, Solar Collector
Devices, Engineer's Guide to Solar Energy, p.p 111-
117
- Hamamura M S Helm and Palz W, " PV Array
Configuration Flat Plate Module with Stationary and
Tracking Structures", Commission of the European
Communities, p.p. 95-108.
- Pérez L Fernando, Edit Alt (1997), "Diseño,
Prueba y Construcción de un Seguidor de Tipo
Termodinámico", ANES p p 2-6
- Soni A H (1985), "Mechanics Synthesis and
Analysis, Cap 1
- Vickers C (1988), "Manual de Hidráulica Industrial,
McGraw-Hill, p.p 5-25