

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE CONCENTRACION SOLAR DE CANAL PARABOLICO PARA SU USO EN DESALACION DE AGUA DE MAR CONTROLADO POR COMPUTADORA.

José A. Figueroa M, Felipe Barffuson D.
Universidad de Sonora, Departamento de Física.
Blv. Luis encinas y Rosales, Edificio 3-F
Apartado postal 83000, Código postal 1626.
Hermosillo Sonora México. Tel (62) 59-21-08, Fax (62)59-21-09.
e-mail jafiguer@fisica.uson.mx

RESUMEN. El presente trabajo tiene por objetivo presentar un prototipo didáctico de bajo costo y fácil implementación de un concentrador solar de canal cilíndrico parabólico, con sistema de posicionamiento autónomo por medio de una computadora capaz de simular algoritmos de posicionamiento por medio de cálculos de geometría solar y poder realizar estudios en aplicaciones de sistemas termosolares, para su uso en desalación de agua de mar por medio de energía solar. Un primer bosquejo del trabajo es el desarrollo de este sistema a nivel prototipo para poder visualizar las posibles dificultades en la construcción de un sistema a escala real.

Lo que se describe en este artículo es: una pequeña introducción a los sistemas típicos de desalación, el diseño y construcción del concentrador solar de canal parabólico. Diseño y construcción del sistema de posicionamiento solar autónomo por medio de la computadora. Evaluación del comportamiento del sistema de seguimiento con orientación norte-sur, utilizando los valores del ángulo horario obtenidos a partir de los algoritmos.

El algoritmo de posicionamiento funciona a partir de datos conocidos como, hora civil, altitud del lugar donde va a funcionar el sistema y la orientación del sistema respecto al norte geográfico, los datos que arroja el algoritmo son: altura solar, declinación solar, ángulo del acimut, ángulo horario, hora de salida del sol, hora de ocultamiento del sol.

1. INTRODUCCION.

1.1. Tecnologías de desalación.

La desalación es el proceso mediante el cual se remueven minerales disueltos del agua de mar (el proceso incluye la sal, pero no se encuentra limitada solamente a esta), agua salobre, agua pre-tratada etc., para esto es fue posible desarrollar

diversas tecnologías, que se pueden dividir principalmente por su aplicación y desarrollo en procesos de membranas y procesos de destilación, existen otros tipos de procesos que se encuentran en estudio o en fase experimental tales como electro-diálisis, congelación al vacío [1].

1.2. Osmosis inversa.

En este proceso, el agua alimentada al sistema es bombeada a alta presión contra una membrana permeable, separando las sales del agua, el agua alimentada tiene que ser pre-tratada inicialmente para evitar que se saturen las membranas, la calidad del agua depende de la presión, la concentración de sales del agua alimentada, y la retención constante de sales en las membranas. La calidad del agua producida puede ser mejorada agregando un segundo paso de membranas, de esta forma el agua producida en el primer paso es alimentada al segundo paso [2].

1.3. Destilación.

En el proceso de destilación, el agua alimentada es calentada y evaporada para separar y sacar los minerales disueltos. El método más común de destilación incluye el sistema evaporación instantánea (multistage flash MSF), el efecto de destilación múltiple (multiple effect distillation MED), y comprensión de vapor VC.

En los MSF, el agua alimentada es calentada y la presión es reducida, así el agua instantáneamente se convierte en vapor, este proceso constituye uno de varios estados, en el cual en cada uno la presión es reducida. En el MED, el agua alimentada pasa a través de diferentes evaporadores en serie. El vapor de una serie esta subsecuentemente evaporando agua en las próximas series[3], El proceso VC involucra la evaporación del agua de alimentación, comprimiendo el vapor, entonces usando el calor

comprimido como una fuente de calor para evaporar el agua alimentada adicionalmente, algunas plantas de desalación son híbridas en una o mas tecnologías, la salmuera producida en estos procesos es una solución con altas concentraciones de sales.

Las características principales de la destilación que se aprovechan para la destilación solar son:

- .-La destilación es la técnica de separación mas común
- .-Consume grandes cantidades de energía térmica.
- .-Esta energía contribuye a mas del 50% de los costos de operación de la planta.
- .-Las plantas de destilación producen una alta calidad de agua que se encuentra en los rangos de 1.0 a 50 partes por millón de sólidos disueltos (ppm de tds).

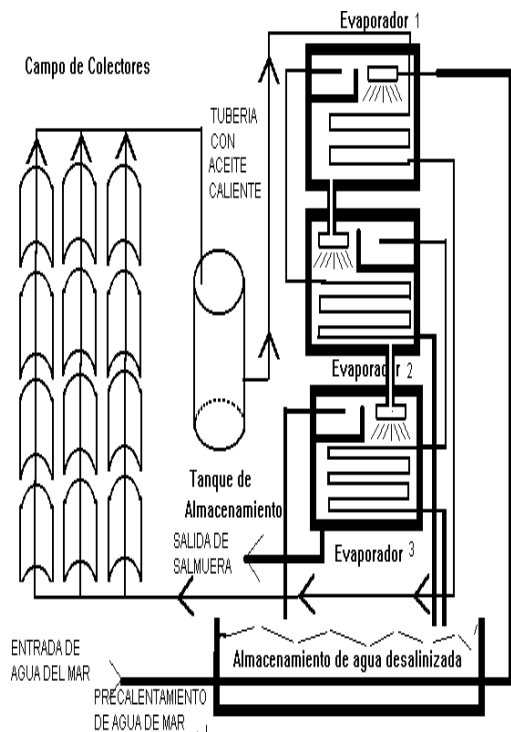


Figura 1. Sistema termosolar de potencia típico.

1.4. Uso de energía.

La energía utilizada en el proceso de desalación es principalmente electricidad y calor. La energía requerida

por las plantas de desalación depende de la salinidad y temperatura del agua de alimentación de la calidad del agua producida y de la tecnología de desalación utilizada, de esta forma los procesos MSF y MED aparte del uso de la

electricidad requieren el uso de energía térmica alterna para calentar el agua de alimentación (esto se debe a la ineficiencia de convertir energía térmica en electricidad, y esto es fuertemente sancionado si la electricidad es convertida de nuevo en energía térmica para calentar el agua de alimentación). al final este costo oscila entre los rangos de 0.799 \$/m³ a 3.2 \$/m³. Donde los costos por RO y MED son los mismos.

2. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Debido a la escasa disponibilidad de agua potable en los últimos años en el país y en especial en las regiones del noroeste, se hace necesario considerar como una alternativa viable la desalación de agua de mar, la solución al problema se plantea considerando las características de sustentabilidad, esto es utilizar los recursos naturales con que cuenta el estado y a partir de ahí obtener el recurso de agua potable. Sonora cuenta con amplios recursos naturales propios amplia extensión territorial, amplios litorales y radiación solar alta durante la mayor parte del año, por no decir en su totalidad.

Como se explicó anteriormente los costos para producción de agua potable a partir de mar, utilizando cualquiera de los procesos ya sea Osmosis inversa ó destilación son altas y parecidas, sin embargo los procesos de destilación tiene costos importantes en la generación de calor de trabajo útil, que en nuestro estado es gratis debido a la presencia del sol, incluso se paga un alto costo por sacar esta energía de nuestras viviendas, esto nos lleva que utilizar este importante recurso dos importancia el es posible reducir costos y al combinar el uso de los abundantes de recursos naturales presentes en el estado, es de vital importancia para obtener un sistema económico y eficiente.

2.1. Desarrollo tecnológico.

El desarrollar esta tecnología nos permitirá la generación de conocimiento y dominio de las técnicas asociadas al diseño y construcción de sistemas con colector de canal parabólico para su reproducción masiva con componentes locales. de tal forma que se tenga la capacidad de modificar los parámetros para extender su aplicación para obtener volúmenes de agua en el rango de los 10 metros cúbicos de agua por hora, de tal forma que se pueda interconectar en cascada entre sí para formar un sistema mayor y de mas potencia que logre la obtención de volúmenes de agua necesarios para resolver un problema específico.

2.2. Sistemas termosolares de potencia típicos.

Los sistemas de obtención de vapor útil con energía solar esta formado principalmente por cuatro etapas básicas [4]. que se presentan en la figura 1 y que se mencionan a continuación:

- Etapa de concentración de energía solar (Campo de Concentradores de Canal Parabólico)
- Etapa de almacenamiento de energía térmica.
- Etapa de Evaporación Instantánea.
- Etapa de Evaporación Múltiple.

La figura 1 muestra las etapas de un sistema de evaporación solar, se puede observar el colector de energía térmica se un concentrador del tipo de canal parabólico, el cual contiene en su línea focal un tubo de superficie selectiva, cuyo interior contiene un fluido térmico el cual esta en circulación con retroalimentación cerrada teniendo un camino a través de tres etapas del sistema (campo de colectores, almacenamiento térmico, evaporación instantánea y de nuevo al campo de colectores.) la temperatura esperada en el fluido térmico es alrededor de los 200 grados centígrados.

El fluido térmico una vez calentada a la temperatura deseada se hará circular por un sistema de evaporación múltiple, utilizando en esta etapa el agua salina, a partir de aquí el agua que se obtenga será agua con bajos contenidos de sales, alrededor de los 20 ppm de sólidos.

3. DESCRIPCION DEL SISTEMA.

El sistema que se presenta consta básicamente del concentrador solar de canal parabólico montado en una estructura metálica, con dos soportes a sus extremos, que permite movimiento de 180° y pueda fácilmente seguir el movimiento relativo del sol en orientación norte-sur y este-oeste, alrededor de su eje de giro. La estructura del concentrador se mueve por medio de un motor de A.C. a través de una transmisión mecánica, esta parte se encuentra ubicada en uno de estos extremos de la estructura. El motor es controlado por los algoritmos del sistema de posicionamiento obtenidos de una computadora personal. El sistema desarrollado se tomo del prototipo que se presenta en la figura 2.

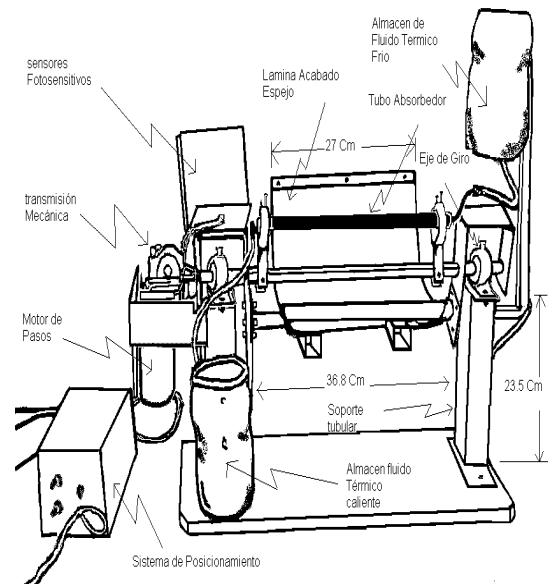


Figura 2. Sistema Concentrador Solar de Canal parabólico.

3.1. Diseño y construcción del concentrador de canal parabólico.

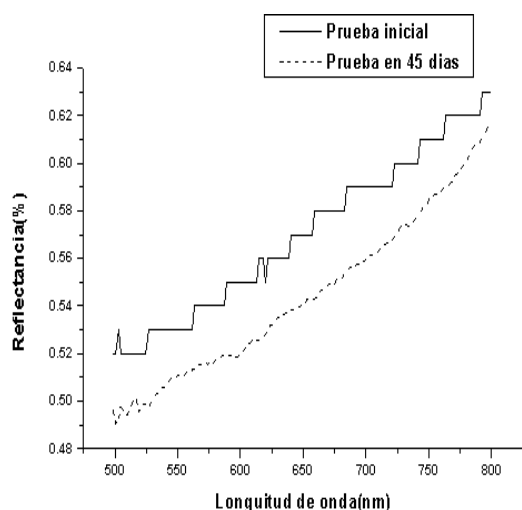
El diseño y construcción del concentrador de canal parabólico tiene las siguientes características: tiene un área de 9.0 m^2 con 252 cm de abertura y 360 cm de largo. La superficie reflectora esta formada con lámina de acero inoxidable

calibre 26 de acabado tipo espejo, colocada con remaches en un marco de fibra de vidrio siguiendo el procedimiento presentado por Almanza-Muñoz [5], en la parte posterior del espejo se encuentran los aditamentos necesarios para su instalación en la estructura del soporte del sistema, El colector tiene el foco en 64 cm, considerando que el área de apertura del colector es de 252 cm^2 y el diámetro mínimo del tubo receptor es de 5 cm (2 pulgadas), la concentración geométrica es de 16 soles, esto es para un ángulo de apertura de 90° , reflectividad del espejo aproximadamente 65 % como se puede ver en la gráfica 1.

Una vez armado el concentrador una parte de la lámina se tomó como muestra y se llevó a cabo una prueba de reflectancia en los laboratorios de Películas Delgadas de la Universidad de Sonora [6].

Inicialmente se realizó una prueba, a la lámina-espejo, para obtener su comportamiento al ser expuesta al medio ambiente. Para ello se tomó una muestra del material para tomar un análisis de reflectancia antes de exponerse al ambiente, los

valores que se obtuvieron aparecen como línea continua en la gráfica 1. El comportamiento que presento fue de un 52% cerca de los 500 nm de longitud de onda y sube al 63% alrededor de los 800 nm de longitud de onda. Después se sometió a las condiciones del medio ambiente, de modo que estuvo bajo radiación solar, polvo, aire, etc. Durante este periodo de 45 días, la energía total diaria promedio por radiación solar que se presento para la ciudad de Hermosillo Sonora en ese periodo fue de 28 Mj/cm² según reporte de trabajo de la estación solarimétrica de la Universidad de Sonora [7].



Gráfica 1. Resultados de Reflexión de la muestra de lámina de acero en acabado espejo.

Una vez concluido este periodo se procedió a limpiar la muestra con un trozo de franela y líquido limpiador brazo, se realizó de nuevo un análisis de reflectancia. Los resultados obtenidos se presentan como línea punteada en la gráfica 1., se puede observar en la gráfica 1, que la muestra después del tiempo de exposición al medio ambiente tuvo una degradación paulatina del 3% en todo el espectro de radiación. El comportamiento que presento fue de un 49.5% cerca de los 500 nm de longitud de onda y sube al 61.3% alrededor de los 800 nm de longitud de onda.

4. DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO SOLAR.

El diseño del sistema de control de motores y posicionamiento, para este prototipo, se lleva a cabo considerando el uso de la computadora, los

preceptos de diseño que se consideraron son: En este prototipo utilizar motores de A.C. Y por supuesto económico, bajo consumo y de ahorro de energía, principalmente cuando el sistema se encuentre parado posicionado correctamente y no exista corriente en los devanados del motor. Básicamente el sistema de instrumentación y control esta formado por una computadora personal, un programa en lenguaje C, una tarjeta que se conecta al puerto paralelo de una computadora y el sistema mecánico movido por un servomotor. Para esto se desarrollo una tarjeta prototipo la cual se encuentra ubicada en la dirección base 0800 H, la tarjeta es capaz de realizar posicionamiento y llevar a cabo hasta 8 mediciones por medio de un ADC0808 entre estas se encuentran las variables de la temperatura ambiente, la temperatura del tubo concentrador. Para el posicionamiento el sistema es capaz de mover adicionalmente 3 motores los cuales tiene una asignación de trabajo de posicionamiento para las variables tales como altura solar, acimut, ángulo horario ó declinación solar, esto es con el fin de poder utilizar la tarjeta y los algoritmos en otras modalidades de trabajo de posicionamiento. La medición del posicionamiento se lleva a cabo con sistema que esta formado por un convertidor de voltaje frecuencia LM331 y un contador programable 8254, controlado por programa.

El funcionamiento del sistema esta basado en un algoritmo que obtiene los diferentes valores mediante calculo matemático y procesamientos de datos, una vez obtenidos los diferentes cálculos de las coordenada de posición solar en general. La parte de control toma solamente los valores del acimut, y altura solar y por medio de una tarjeta del puerto paralelo en la dirección base 0800 reservada dentro de la computadora, maneja un montaje de seguimiento solar a través de un motor de AC que mueve un objeto (heliostato, espejo, celdas ó colectores solares, etc.) a una posición determinada.

El sistema es capaz de posicionarse automáticamente a partir de los datos conocidos como son: día, hora, numero de mes, latitud del lugar. Este posicionamiento se lleva a cabo sin necesidad de tener retroalimentación por medio de detectores luminosos, La operación consiste en colocar la normal del espejo en dirección del sol. Una vez realizada esta operación el programa toma los valores calculados del ángulo horario y mueve al espejo a esta posición, quedando la normal del espejo en dirección del sol, una vez en esta posición el programa va ajustando el

movimiento del espejo al espejo orientado frente al sol durante lo que queda del día, hasta que la normal del espejo queda en forma paralela al horizonte de la tarde, en ese momento el sistema queda fuera de operación al detectar el sistema que la hora queda dentro del intervalo de noche.

5. PARTE DE PROGRAMACIÓN (SOFTWARE).

El sistema es capaz de realizar diferentes funciones a partir algunos datos tales como: la fecha y hora actual (numero del mes, día, hora), orientación del sistema, latitud del lugar, estos datos se introducen por el teclado al correr por primera vez el programa. En la figura 3. se muestra el algoritmo, que se utiliza para realizar el calculo matemático de los parámetros de posicionamiento solar, y así como la parte que se dedica al control de posicionamiento del heliostato.

Los cálculos matemáticos que realiza el programa son: Hora de referencia civil y solar, ángulos de posición solar acimut y altura, ángulos de proyección horizontal y vertical, duración del día, salida y puesta del sol. todos esto cálculos están referidos a una localidad y los cálculos los realiza periódicamente. durante todo el día. Las expresiones matemáticas para determinar las coordenadas solares se obtuvieron según Duffie y Sayich [8],[9], y se muestran a continuación respetando la siguiente notación:

Para calcular el ángulo horario.

$$AH = 15 (HR - 12) \tag{1}$$

Donde AH es el ángulo horario, HR es la hora del día contada consecutivamente.

Para calcular el ángulo de altitud.

$$A = \arcsen(\cos AH \cos L \cos D + \sen L \sen D) \tag{2}$$

Donde A es la altitud, L es la latitud del lugar, D es la declinación solar.

para calcular el Acimut, AZ se utilizó la ecuación.

$$AZ = \arcsen \frac{\cos L * \sen D - \sen L * \cos AH}{\cos A} \tag{3}$$

Para calcular la puesta del sol HP.

$$HP = 24 - HS \tag{4}$$

Para calcular la hora de salida del sol HS.

$$HS = 12 - \frac{\arccos(\tg L * \tg D)}{15^\circ} \tag{5}$$

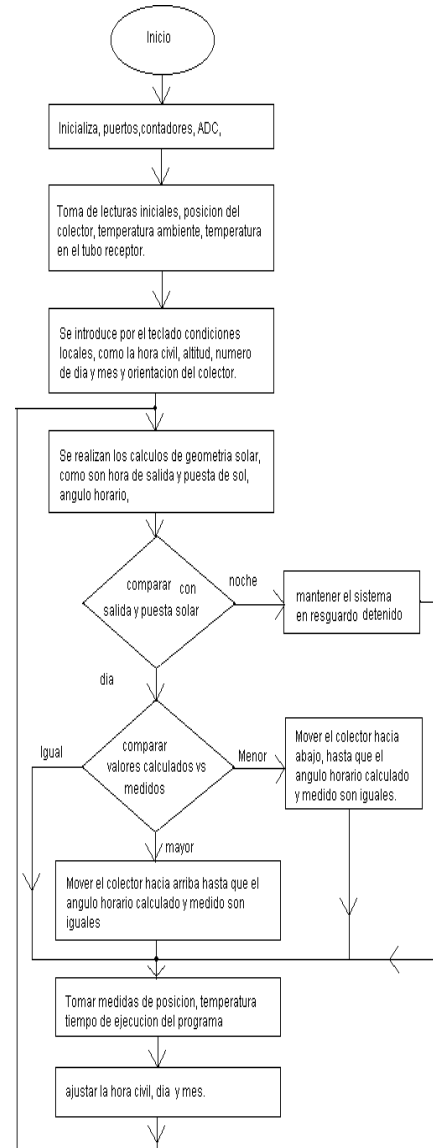
Para calcular la declinación en cualquier día del año D.

$$D = 23.45^\circ * \sen \left[\frac{360}{365} (N + 285) \right] \tag{6}$$

Donde N es le día juliano.

Fig. 3. Diagrama de flujo de algoritmo de calculo y posicionamiento de sistema.

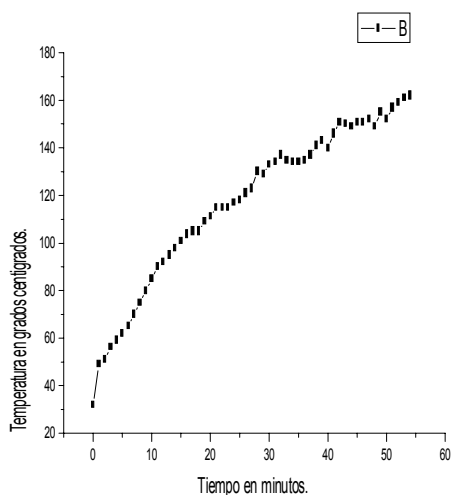
6. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.



En general se realizaron dos pruebas, una observando la respuesta del sistema de posicionamiento y otra para obtener el tiempo de respuesta de calentamiento del tubo del sistema, en ambas pruebas se utilizó la orientación norte-sur.

En el primer caso el sistema se colocó fuera de posición de forma que el sistema no se encuentre

operando correctamente. Se procede a introducir las variables locales de la región, se ejecuta el programa, y el sistema logra la posición correcta en el caso mas crítico que es cuando el sol se encuentra en el cenit y la normal del colector se encuentra en paralela al horizonte aproximadamente en 45 segundos, una vez posicionado se realizaba el seguimiento favorablemente, manteniendo la incidencia de luz concentrada en la línea focal, se ejecutó esta rutina en varias ocasiones obteniendo excelentes resultados, el sistema ajustaba la posición aproximadamente cada minuto, manteniendose dentro de foco el tubo receptor.



Grafica 2. Respuesta de calentamiento del tubo receptor contra el tiempo de exposición solar.

Para obtener el tiempo de respuesta de calentamiento del sistema se utilizó como receptor, un tubo galvanizado hidráulico de dos pulgadas, con la superficie exterior pintada de negro mate, este tubo se llenó de agua y se selló herméticamente. El comportamiento del incremento de temperatura respecto al tiempo se reporta en la gráfica 2. como se puede observar el tiempo necesario para que el agua que se encuentra en el interior del tubo de dos pulgadas logre la temperatura de ebullición de 96 grados centígrados es de alrededor de 13 minutos y se

presenta una temperatura de alrededor de los 110 grados centígrados en alrededor de 19 minutos. Si se considera que el volumen de agua en el interior

es de 8.6 litros, y que se puede evaporar totalmente cada 15 minutos, considerando un tiempo promedio de operación del sistema de 8 horas diarias, es posible producir en forma directa 272 litros de agua, si a esto le agregamos que el sistema de evaporación múltiple por cada kilo de vapor que se obtenga es capaz de evaporar 3.6 litros adicionalmente], se tiene que el sistema en su totalidad es capaz de producir 890 litros de agua diarios, finalmente se puede concluir que con desarrollo de este tipo de tecnología es posible reducir el costo internacional del agua desalada hasta 6 veces, aproximadamente dos pesos el metro cúbico de agua desalada.

BIBLIOGRAFIA.

- [1]. K.S. Spiegler, Salt Water Purification. Plenum Press, 1977.
- [2]. K.S. Spiegler, Desalination, Academic Press, New York London 1977.
- [3]. Donald Q, Kern., Procesos de Transferencia de Calor, CECSA, 1997.
- [4]. C.J. Winter, R.L. Sizmann, L.L. Vant-Hull, Solar power plants 7.-, Fundamental, Technology, Systems, Economics , Springer-Verlag Berlin, Heidelberg 1991.
- [5]. Rafael Almanza salgado, Felipe Muñoz Gutiérrez, (1994). Ingeniería de la Energía Solar, Editorial "El Colegio Nacional.
- [6]. Raúl García Llamas. (1999). Reporte de trabajo del Laboratorio de películas Delgadas , Universidad de Sonora DIFUS.
- [7]. Rafael Cabanillas (2000). Reporte de trabajo de la Estación Solarimétrica, Grupo de Energía de la Universidad de Sonora. Departamento de Química.
- [8]. John A Duffie, Williams a Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes. John a Wiley & Sons 1980.
- [9]. A.A.M. Sayich, Solar Energy Engineering, Academic Press Inc. 1977.