

DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBA PARA DETERMINAR LOS SERVICIOS GLOBALES OFRECIDOS POR COLECTORES SOLARES PLANOS PARA EL CALENTAMIENTO DE AGUA*



Por: Iván R. Tovar Ospino**

Fecha de recibido: 4 de julio de 2010 • Fecha de aceptación: 30 de septiembre de 2010

RESUMEN:

El uso indiscriminado de los combustibles fósiles ha desencadenado problemas de seguridad energética, medioambientales y económicos que obligan a generar cambios tecnológicos que conllevan a alcanzar el desarrollo sostenido en los procesos. Hay la necesidad urgente de cambio en los procesos de conversión energética tradicionales a tecnologías sostenibles y de comprobados rendimientos como son las llamadas fuentes renovables de energía. El diseño del banco comprende la determinación del estado actual de los colectores solares planos con el fin de obtener configuraciones y seleccionar materiales que permitan un óptimo desempeño. De igual forma se abordan metodologías de cálculo ajustadas a normas que permitan la valoración integral de la configuración y finalmente se plantea la ingeniería conceptual y de detalle para que en una fase posterior se pueda llegar a su implementación.

PALABRAS CLAVE:

Colectores planos, Radiación, Diseño, Agua caliente.



* Proyecto de investigación Diseño de un banco de prueba para determinar los servicios globales ofrecidos por colectores solares planos para el calentamiento de agua, del Grupo de Investigación en Optimización energética GIOPEN, en la línea de investigación Fuentes Renovables de Energía. Investigador Principal Iván R. Tovar Ospino.

** Ingeniero Mecánico, con maestría en Eficiencia Energética. Docente Catedrático del Programa Ingeniería Eléctrica. Corporación Universitaria de la Costa, CUC. Calle 58 No. 55-66. itovar@cuc.edu.co



DESIGN OF THE TESTING BENCH FOR THE DETERMINATION OF THE CURRENT STATE OF THE PLANE SOLAR COLLECTORS FOR THE HEATING WATER

By: Iván R. Tovar Ospino

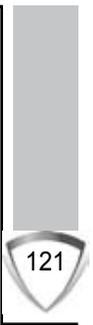
ABSTRACT:

The indiscriminate use of the fossil fuels has unchained energy, the environmental and economic problems of security that it force to generate technological changes that bear to reach the development sustained in the processes. The urgent necessity of change in the traditional processes of energy conversion to sustainable technologies and of proven yields like it is the calls renewable sources of energy. The design of the testing bench understands the de-

termination of the current state of the plane solar collectors in order to determine configurations and selection of materials for a good acting. Of equal it is formed it approach adjusted calculation methodologies to norms and that it allow the integral valuation of the configuration for it finish the conceptual engineering it is detailed and of detail so that in a later phase you can arrive to their implementation.

KEY WORDS:

Plane collectors, Radiation, Design, Hot water.



INTRODUCCIÓN

La obtención de agua cálida por vía solar sigue siendo escasa al balance térmico energético mundial a pesar de algunas iniciativas políticas que buscan incentivar este tipo de tecnologías renovables a expensas de lograr reducir el consumo de energía primaria y, por ende, frenar la dependencia energética para con los combustibles tradicionales.

El proceso de producción de energía de agua cálida a baja temperatura consiste en el aprovechamiento de la energía térmica radiante proveniente del Sol, a través de colectores planos los cuales son capaces de atrapar las ondas electromagnéticas para que esta pueda ser absorbida por el agente calotransportador convirtiéndose así en energía útil para múltiples procesos.

Para el aprovechamiento de la energía solar térmica de baja temperatura, existen diversas tecnologías, cuyo diseño se torna complejo de acuerdo al rendimiento deseado, el cual depende a su vez de muchos factores entre los cuales se pueden citar: condiciones meteorológicas en sitio, materiales demandados, procesos de fabricación de algunos componentes y grado de automatización y control, entre otros.

La correcta implementación de esta tecnología demanda un diseño ajustado a los comportamientos ofrecidas por el conjunto: Acumulador, red de distribución, depósito de almacenamiento, condiciones ambientales. La solución a este problema requiere de investigación, lo convierte de hecho en un problema científico de actualidad, que sigue la tendencia general a la diversificación de las condiciones energéticas en los procesos, recurriendo a modelos que sean autofinanciables, ágiles, dinámicos y sustentables, frente a las cambiantes características del entorno.

En la actualidad en la región no existen centros

de I+D+i que cuenten con la tecnología solar de baja temperatura que permita simular el comportamiento de diversos colectores planos operando ya sea en serie o paralelo, que puedan ser usados como apoyo a ciertos procesos térmicos.

El diseño de un banco de prueba destinado a la valoración de las prestaciones, proveerá información que permitirá la apropiación tecnológica y patrocinará el uso de recursos renovables como sustitutos de las fuentes no renovables. Este diseño es susceptible a ser implementado en futuras investigaciones para que de esta forma se obtengan datos reales de los potenciales solares en la región y curvas de comportamiento del esquema de colector.

DESARROLLO

El motivo del presente proyecto es el de diseñar un banco de prueba para determinar los servicios globales ofrecidos por colectores solares planos para el calentamiento de agua. En la actualidad el recurso solar es ilimitado y no está siendo aprovechado para ciertos procesos. El empleo de colectores solares no es nuevo en el país por lo que se cuenta con una norma que establece las especificaciones y características técnicas que se deben tener en cuenta en el proceso de selección y diseño de dispositivo, lo que permitió agilizar el proceso de selección de algunos materiales y diseño de componentes.

Consideraciones para el diseño y referentes normativos empleados en el proyecto¹

NTC 4368: 1997, establece la eficiencia energética. Sistemas de calentamiento de agua con energía solar y componentes (adjunto a los resultados del proyecto).

- Arreglo del banco de prueba para la valoración energética de colectores solares planos:

1. Valores horarios de la irradiación global horizontal (GHI). Disponibles en: <http://www.3tier.com/firstlook/>

para operar en arreglo serie o paralelo de acuerdo a las prestaciones o simulación que se desee alcanzar.

- Número de colectores a integrar en el banco: (2) de tamaño estándar nominal (1 m x 2 m).
- Número de tubos que integran cada colector: 10 tubos de cobre soldados a la placa de absorción. Su calibre no sobrepasa de $\frac{1}{2}$ " o 1,27cm.
- Capacidad del tanque 264,8 litros de acuerdo a lo estipulado en la norma. Por cada metro cuadrado de colector solar plano, el tanque debería proveer capacidad para no más de 17,5 gal o 66,2 litros.
- Transmitancia global de radiación solar (perpendicular a la cubierta) de 87%.
- Absortancia solar de la placa negra 0,90.
- Aislamiento del colector de 0,040W/moC en el rango de 20 a 120° C.

Potencial solar en sitio

El aprovechamiento al máximo de la energía solar es de vital importancia si no se quiere incurrir en sobre o subdimensionamiento de los

equipos de aprovechamiento de la radiación solar. Como es bien sabido existen diferentes procedimientos que permiten determinar el potencial en las zonas geográficas donde se desea instalar el dispositivo. Para la valoración del potencial se empleó el mapa de radiación solar de Colombia que ilustra los niveles de radiación promedios anuales diarios por mes², y como se puede apreciar en el anexo A. De igual forma se corroboraron los datos suministrados en el sitio web <http://www.3tier.com/firstlook/> el cual This time-series offers over a decade of hourly values for Global Horizontal Irradiance (GHI), Direct Normal Irradiance (DNI), and Diffuse Horizontal Irradiance (DHI) to deepen your understanding of a potential project's viability. ofrece más de una década de valores horarios de la irradiación global horizontal (GHI)³.

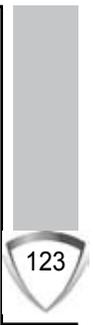
El potencial en sitio estimado es de $4,5 \frac{kW}{m^2 \text{ día}}$,

como se puede apreciar en la figura 1, la disponibilidad energética solar en la costa Atlántica, posee uno de los mayores potenciales del país.

Figura 1. Potencial de Irradiación Global en sitio



2. Mapas de Radiación Solar Global sobre una Superficie Plana www.upme.gov.co/Docs/...Radiacion_Solar/0-Primera_Parte.pdf
3. MOTT, Robert L. Mecánica de los fluidos. Sexta edición. Editorial Pearson. 2006.



Cálculo del consumo de agua cálida

Para el diseño de un banco de prueba para determinar los servicios globales ofrecidos por colectores solares planos para el calentamiento de agua, se parte de datos concretos de consumos asociados con el área de captación proyectada, para este caso particular se desea cubrir un requerimiento aproximado de 264,8 litros a una temperatura aproximada de 50°C (Los valores anteriores se han elegido siguiendo la recomendación de las Especificaciones Técnicas NTC 4368). Volumen suficiente para cubrir las necesidades térmicas de ocho personas aproximadamente. De igual forma se desea cubrir este requerimiento bajo dos arreglos de captación distintos como es el serie o paralelo, lo que hace suponer diferentes comportamientos del esquema para iguales prestaciones.

Cálculo del Rendimiento del Esquema Solar Térmico para la Superficie de Captadores Proyectada

Para la valoración energética (estimación de la eficiencia energética) del banco de prueba para determinar los servicios globales ofrecidos por colectores solares planos para el calentamiento de agua. Se puede considerar que su funcionamiento se desarrolla en estado estable⁴ y por tanto su funcionamiento se puede describir mediante las ecuaciones de balance de energía antes descritas⁵.

Las variables descritas a continuación, se estimaron de acuerdo al referente normativo (NTC 4368), el cual exige ciertos niveles mínimos de calidad en cuanto a la selección de materiales absortivos, transmisivos y conductivos como de condiciones en sitio se refiere.

$\alpha = 0,90$ Absortividad de la superficie absorbadora

$\tau = 0,87$ Transmisibilidad del cristal

$k = 0,04 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$ Conductividad térmica del aislante

$A_t = 4m^2$ Área de captación para dos colectores estándar.

$t_1 = 50^\circ C$ Temperatura máxima alcanzada por el agua.

$t_2 = 23^\circ C$ Temperatura del agua a la entrada.

Se halla el producto de la transmisibilidad del cristal y la absortancia de la placa colectora ($\alpha\tau$).

$$(\alpha\tau) = \frac{\alpha\tau}{1 - (1 - \alpha)\rho_d} = 0,79$$

Para la valoración energética de un colector solar plano se puede considerar que su funcionamiento se desarrolla en estado estable⁶ y por tanto su funcionamiento se puede describir mediante un balance de energía. Este se puede representar de manera mediante la siguiente ecuación⁷:

$$Q_{abs} = H_t A_c \alpha\tau = 4,5 \frac{kWh}{m^2 \times día} \times 3600 \frac{s}{h} \times 0,79$$

$$Q_{abs} = 12,798 \frac{MJ}{m^2 \times día} = 12,798 \frac{MJ}{m^2 \times día}$$

$$\times 365 día \times 4m^2 = 18.685,09 \frac{MJ}{años}$$

El calor útil que finalmente se transfiere al fluido de trabajo, se obtiene como se muestra a continuación:

4. FERNÁNDEZ DÍEZ, Pedro. Procesos Termosolares en Baja, Media y Alta Temperatura. Disponible: <http://libros.redsauce.net/Energias Alternativas/solar/PDFs/01solar.pdf>
 5. GREENE, Richard W. Válvulas. Selección, uso y mantenimiento. 1992.
 6. FERNÁNDEZ DÍEZ, Pedro. Procesos termosolares en baja, media y alta temperatura. Disponible: <http://libros.redsauce.net/Energias Alternativas/solar/PDFs/01solar.pdf>
 7. Norma Técnica Colombiana. NTC 4368, eficiencia energética. Sistemas de calentamiento de agua con energía solar y componentes.



$$Q_u = mC_p \frac{dT}{dx}$$

$$Q_u = 264,8 \frac{l}{día} \times 365 \text{ día} \times 4190 \frac{W}{kg \times ^\circ C} \\ \times (50^\circ C - 23^\circ C) = 10.934,24 \frac{MJ}{años}$$

El coeficiente de transferencia de calor por convección debido al aire soplado sobre la cubierta de vidrio h_w , se obtiene como se muestra a continuación:

$$h_w = 5,7 + 3,8 \times v = 5,7 + 3,8 \times 2 = 13,3 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K}$$

El coeficiente (f), se obtiene como se muestra a continuación:

$$f = (1 - 0,04 \times h_w + 0,0005 \times h_w^2) \times (1 + 0,058 \times N) = 0,58$$

El coeficiente total de transferencia de calor por conducción en la parte superior del colector (U_t), se obtiene de la ecuación:

$$U_t = \left(\frac{N}{\left(\frac{344}{T_p}\right) \times \left[\frac{(T_p - T_a)}{(N + f)}\right]^{0,31}} + \frac{1}{h_w} \right)^{-1} \\ + \left(\frac{\sigma \times (T_p + T_a) \times (T_p^2 + T_a^2)}{[E_p + 0,0425 \times N \times (1 - E_p)]^{-1} + \frac{(2 \times N + f - 1)}{E_c} - N} \right)^{-1}$$

$$U_t = \left(\frac{1}{\left(\frac{344}{331}\right) \times \left[\frac{(331 - 299)}{(1 + 13,3)}\right]^{0,31}} + \frac{1}{13,3} \right)^{-1}$$

$$+ \left(\frac{5,67^{-8} \times (331 + 299) \times (331^2 + 299^2)}{[0,9 + 0,0425 \times 1 \times (1 - 0,9)]^{-1} + \frac{(2 \times 1 + 13,3 - 1)}{0,89} - 1} \right)^{-1}$$

$$U_t = 11,73 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K}$$

El coeficiente total de transferencia de calor por conducción por el fondo (U_b), se obtiene de la ecuación:

$$U_b = \frac{k_a}{l}$$

$$U_b = 1,57 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K}$$

El coeficiente total de transferencia de calor por conducción por los lados (U_o), se obtiene de la ecuación:

$$U_o = \frac{k_a \times M \times P}{l \times A_c}$$

$$U_o = \frac{0,04 \times 0,06 \times 12}{0,0254 \times 4}$$

$$U_o = 0,28 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K}$$

Se han desarrollado algunas fórmulas empíricas que permiten el cálculo del coeficiente de transferencia total de calor (U_l); así, para el caso de colectores cuyas cubiertas (N) sean del mismo material y que suelen dar resultados bastante exactos, se utiliza la formulación de Hottel y Woertz:

$$U_l = U_t + U_b + U_o = 11,73 + 1,57 + 0,28 = 13,58 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K}$$

Las pérdidas de calor hacia los alrededores por radiación, convección y conducción, se obtienen como se muestra a continuación:

$$Q_l = U_l \times A_t \times (T_p - T_a)$$

$$Q_l = 13,58 \times 20 \times 365 \times (40 - 25)$$

$$Q_l = 1,48 \frac{MJ}{año}$$

Por otro lado, tenemos la forma de medir el fun-



cionamiento del colector teniendo en cuenta la eficiencia de colección (N_c). Esta se define como la relación entre el calor útil y la energía solar incidente sobre el colector en un mismo período de tiempo. Su representación analítica es:

$$n_c = \frac{(Q_u - Q_l)}{Q_{abs}}$$

$$n_c = \frac{(10.934 - 1,48)}{18.685,08}$$

$$n_c = 58\%$$

El balance energético muestra un rendimiento térmico global del 58%, el cual permite alcanzar las prestaciones deseadas, debido en gran parte al buen potencial solar térmico que ofrece la zona y la versatilidad del esquema planteado.

Selección del fluido caloportador

El banco de prueba para determinar los servicios globales ofrecidos por colectores solares planos para el calentamiento de agua, se pretende instalar en el laboratorio de fuentes renovables de la CUC. Siendo este de muy buen potencial solar por tratarse de una zona tropical de poca nubosidad, que no presenta variaciones climáticas extremas, por lo que no se hace necesario recurrir a un circuito primario de agua con anticongelante por tanto el fluido calotransportador sería solo agua potable para consumo directo.

Diseño del sistema de acumulación

Para la conjugación del esquema que compone banco, se tomará un sistema de acumulación con capacidad de 264,8 litros/día que estipula que por cada metro cuadrado de colector solar plano, el tanque debería proveer capacidad para no más de 66,2 litros (ver figura 2). Se comprobó, si se cumplen las siguientes condiciones reflejadas en las especificaciones técnicas:

1. El área total de captadores estará comprendida entre los siguientes valores:

$$60 \leq \frac{M}{A} \leq 100$$

Donde

A: Área de captadores en m²

M: Carga de consumo en litros/día

La carga de consumo M se refiere al valor medio diario anual cuando el consumo sea constante a lo largo del año o a los valores medios diarios de los meses estivales cuando sean variables a lo largo del año, como el caso que nos ocupa.

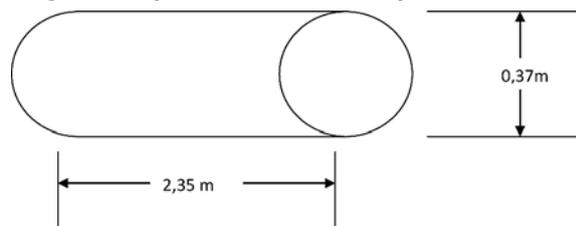
$$\frac{M}{A} = \frac{264,8}{4} = 66,2$$

(Cumple con las especificaciones exigidas)

2. El volumen de acumulación solar cumplirá la siguiente condición:

$$0,8 \leq \frac{V}{M} \leq 1,2$$

Figura 2. Especificaciones del tanque acumulador

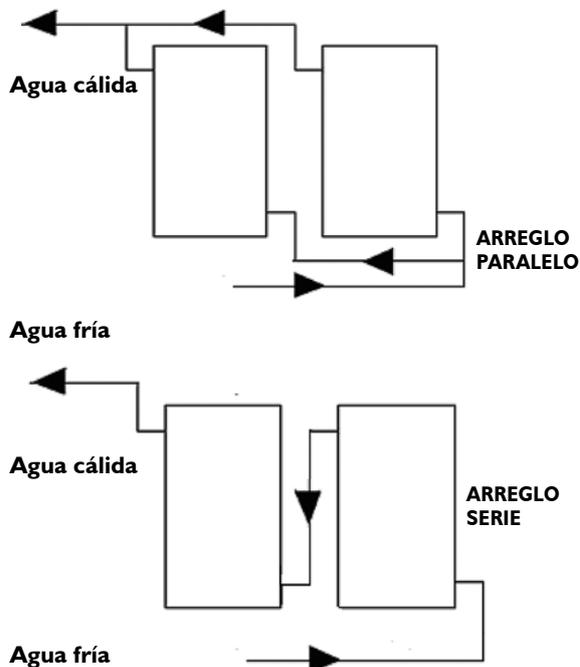


Selección de la configuración básica del circuito hidráulico

Con el objetivo de desarrollar un equipo didáctico versátil al operar, que pueda simular condiciones reales y de diversas prestaciones, se optó por configurar el circuito hidráulico para dos arreglos como se puede apreciar en la figura 3.



Figura 3. Configuración básica del circuito hidráulico serie o paralelo



El circuito hidráulico cumplirá las siguientes recomendaciones técnicas:

- Trazado de tuberías con retorno invertido para garantizar que el caudal se distribuya uniformemente entre los captadores.
- Bomba de circulación en línea, en la zona más fría del circuito y en tramo de tubería vertical.
- El circuito irá provisto de válvulas de seguridad a una presión que garantice que en cualquier punto del circuito no se superará la presión máxima de trabajo de los componentes.
- Se colocarán sistemas antirretorno para evitar la circulación inversa y en la entrada de agua fría del acumulador solar.
- El circuito incorporará un sistema de llenado manual que permitirá llenar y mantener presurizado el circuito.
- Se montarán válvulas de corte para facilitar la sustitución o reparación de componentes sin necesidad de realizar el vaciado completo de la instalación. Estas válvulas independizarán baterías de captadores, intercambiador de

calor, acumulador y bomba.

- Se instalarán válvulas de corte a la entrada de agua fría y salida de agua caliente del depósito de acumulación solar.
- Se instalarán válvulas que permitan el vaciado total o parcial de la instalación.
- En cada zona de captadores en la que se hayan situado válvulas de corte se instalarán válvulas de seguridad.
- En los puntos altos de la salida de captadores se colocarán sistemas de purga manual.
- Los trazados horizontales de tubería tendrán siempre una pendiente mínima del 1% en el sentido de la circulación.
- Las tuberías y accesorios se aislarán y protegerán con materiales que cumplan las normas especificadas.

Diseño del circuito hidráulico. Tubería

Las tuberías a emplear en el colector será cobre, seguida de PVC para conectar con el depósito de acumulación. Para el cálculo del diámetro se utilizará la siguiente expresión:

$$D = j \times C^{0,35}$$

Donde,

D = Diámetro en cm

C = Caudal en $\frac{m^3}{h}$

j = Constante de adecuación para tuberías.

Antes de entrar a calcular el diámetro se procedió a estimar el caudal que circula por la red, empleando las siguientes ecuaciones:

$$C = \frac{2,4}{C_e} = \frac{2,4}{0,91} = 0,31 \frac{m^3}{h}$$

$$D = 2,2 \times 0,3156^{0,35} = 1,46 \text{ cm}$$

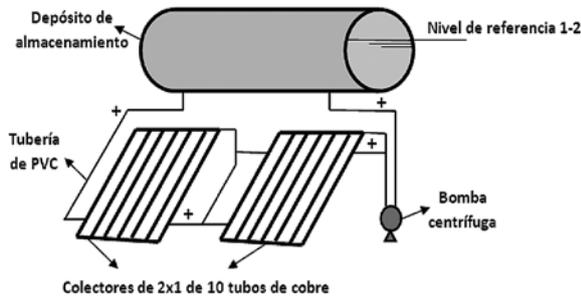
Este resultado coincide con los diámetros recomendados para este fin. Por tanto se pueden

emplear los diámetros normalizados de tuberías de 1½ cobre y PVC.

SELECCIÓN DE LA BOMBA PARA LA CIRCULACIÓN FORZADA DEL FLUIDO

Para la selección de una máquina de flujo que sea capaz de garantizar la circulación del fluido bajo régimen forzado, se partió del arreglo del esquema de circulación en serie (ver figura 4), capaz de ofrecer condiciones extremas de operación. Este diseño demanda la mayor carga que debe ser cubierta por la bomba.

Figura 4. Esquema hidráulico de circulación forzada



Para determinar los requerimientos hidráulicos del esquema planteado, se tiene en cuenta la configuración interna de los paneles, que de acuerdo a la norma debe contar con un número aproximado de 10 tubos de cobre para una longitud total de unos 45 metros. La integración de las placas se debe efectuar con tubería de PVC con un recorrido aproximado de 7 metros, con sus respectivos accesorios (válvulas, codos, acoples).

Para el ejemplo que se analiza se tienen en cuenta los siguientes datos:

$E = 0,0015$ mm (rugosidad del cobre).

$D = 13,39$ mm (diámetro normalizado para tubería de cobre tipo K).

$L = 45$ m (longitud de la tubería de cobre que compone la parte integral del colector solar plano).

$$A = 1,407 \times 10^{-4} m^2$$

$$Q = 0,00056 \frac{m^3}{s}$$

A continuación se procede al cálculo de la demanda de carga:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2 \times g} + Z_1 + H_b - H_t = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2 \times g} + Z_2 + \sum h_f$$

$$H_b = \sum h_f$$

Ecuación de Darcy, para el cálculo de pérdidas en tramos rectos de tuberías.

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2 \times g}$$

Ecuación para el cálculo de pérdidas menores, según el coeficiente de pérdidas (K).

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

Por lo general esta pérdida es la que contempla una mayor caída de presión, dependiendo de un factor de fricción que varía de acuerdo a la naturaleza de la tubería y del régimen hidrodinámico al cual se esté sometiendo el fluido como se puede observar a continuación:

$$f = f(Nre, \frac{E}{D})$$

El número de Reynolds, que se obtiene se muestra a continuación:

$$Nre = \frac{v \times D}{\nu} = 52.247,25$$

El factor de fricción se puede calcular de la siguiente manera para cualquier flujo:

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 \left(\frac{D}{E} \right)} + \frac{5,74}{Nre^{0,9}} \right) \right]^2} = 2,1 \times 10^{-2}$$



La velocidad se puede calcular con la ecuación a continuación:

$$v = \frac{Q}{A} = 3,98 \frac{m}{s}$$

Siendo: $\vartheta = 1,02 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$

Finalmente, se puede obtener la magnitud de las pérdidas en tramo recto de tuberías, o pérdidas mayores.

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2 \times g} = 2,10 \times 10^{-2}$$

$$\times \frac{45}{0,01339} \times \frac{3,98^2}{2 \times 9,81} = 56,97m$$

Es importante tener en cuenta los siguientes datos para el análisis de las pérdidas mayores, estos son:

$$E = 0,0003 \text{ mm (rugosidad del PVC)}$$

$$D = 13,39 \text{ mm (Normalizado para tubería de PVC)}$$

$L = 7 \text{ m}$ (longitud total de la red de distribución del agua cálida y fría en el banco del intercambiador).

$$A = 1,407 \times 10^{-4} m^2$$

$$Q = 0,00056 \frac{m^3}{s}$$

$$v = 3,98 \frac{m}{s}$$

$$N_{re} = 52.247,25$$

$$f = 2,06 \times 10^{-2}$$

Siendo la magnitud de las pérdidas en tramo recto de tubería.

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2 \times g} = 2,06 \times 10^{-2}$$

$$\times \frac{7}{0,01339} \times \frac{3,98^2}{2 \times 9,81} = 9,71m$$

Las pérdidas menores dependen de la cantidad de accesorios contemplados en la red de distribución que interconectan las dos placas planas. Dentro de los accesorios tenidos en cuenta cabe destacar los codos, T, válvulas, entre otros y que en algunos casos no solo permiten un cambio de dirección en el trazado sino también el control de paso del flujo.

El factor de fricción en turbulencia total y coeficientes de fricción se obtiene de acuerdo a las tablas utilizadas para encontrar estos datos^{8,9}.

$$f_i = 0,027$$

La demanda carga por parte del esquema planteado para satisfacer los requerimientos de flujo del equipo de intercambio de calor es de 76,16 m. por tanto la bomba seleccionada es una bomba centrífuga capaz de operar a 3.500 RPM y ofertar un flujo de aproximadamente 9 GPM, para los niveles de exigencia de carga requerido por el esquema planteado.

CONCLUSIONES

El empleo de diversas tecnologías solares de bajas temperaturas, es factible en la costa Atlántica debido a su alto potencial solar, pero en especial los colectores solares planos debido a su sencillez y grado tecnológico. En contraste con la tecnología de tubos de vacíos, los cuales presentan mejores rendimientos, pero son extremadamente costosos, difíciles de fabricar, mantener y

8. GREENE, Richard W. *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*. 1992.

9. GREENE, Richard W. *Válvulas. Selección, uso y mantenimiento*. 1992.

solo se recomiendan en zonas donde las temperaturas externas sean demasiado bajas.

El proceso de obtención de agua cálida puede ser descrito mediante la ecuación de balance cuando se considera el proceso como estacionario. En las cuales se pueden correlacionar las variables operacionales y los parámetros físico-químicos.

Las propiedades tales como: transmisibilidad del cristal, grado de absorción de la superficie negra afectan notablemente el desempeño de los equipo. Para el diseño del banco se partieron de datos críticos recomendados en la NTC 4368, en la que se trazan las directrices generales, tanto para la selección de materiales como de cálculo de la eficiencia del equipo. Para el esquema hidráulico,

captador, el rendimiento fue del 58% el cual es adecuado para las condiciones estimadas, por lo que se considera que es factible la construcción con tecnología propia.

Se puede proceder a la implementación del banco de prueba para la apropiación de la tecnología solar de baja temperatura a partir de colectores planos y una vez implementada la solución se puede desarrollar un sistema de automatización y control con toma de datos en tiempo real para la caracterización de diversos componentes del esquema. Es importante tener en cuenta que analizar el desempeño del dispositivo a diferentes regímenes de caudal, es muy útil para la valoración energética del esquema y mejoras al dispositivo.





BIBLIOGRAFÍA

Barómetro fotovoltaico de 2005 Observatoire des énergies renouvelables. Los barómetros de EurObserv'ER. Disponible en www.energies-renouvelables.org, www.eurec.be, www.eufores.org, www.erec-renouvelables.org, www.ibmer.waw.pl/ecbrec, www.europa.eu.int, www.rcp.ijs.si

Compendio de autores (2007). *Energía solar: Estado actual y perspectiva inmediata*. Asociación Nacional de ingenieros ICAI, Universidad Pontificia de Comillas Madrid.

El Mercado de la Energía Solar en América Latina (2009). Disponible en: <http://www.bionica.info/Biblioteca/MercadoEnergiaAmLat.pdf>

Energía Solar Térmica de Baja Temperatura General. Agencia Andaluza de Energía. Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa. Disponible en: http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/agenciadelaenergia/portal/com/bin/contenidos/proyectos/areas/energiasRenovables/solar/solar_termi/1200315662009_general_solar_termica_web_11_01_08.pdf

FERNÁNDEZ DÍEZ, Pedro. *Procesos Termosolares en Baja, Media y Alta Temperatura*. Disponible: <http://libros.redsauce.net/Energias Alternativas /solar/PDFs/01solar.pdf>

GREENE, Richard W. (1992). *Bombas, Selección uso y mantenimiento*.

GREENE, Richard W. (1992). *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*.

GREENE, Richard W. (1992). *Válvulas. Selección uso y mantenimiento*.

HERMOSILLO VILLALOBOS, Juan. J.; GUDIÑO AYALA, David (1995, febrero). *Notas de curso Energía Solar*. Departamento de procesos tecnológicos e industriales división de ingeniería. Tlaquepaque, Jalisco.

LÓPEZ COZAR, José M. (2006, octubre). *Energía Solar Térmica*. Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía. Madrid. Disponible en: http://portales.ciemat.es/adjuntos_documentos/Energia_Solar_Termica.pdf

Mapas de Radiación Solar Global sobre una Superficie Plana www.upme.gov.co/Docs/...Radiacion_Solar/0-Primera_Parte.pdf

MOTT, Robert L. (2006). *Mecánica de los fluidos*. Sexta edición. Editorial Pearson.

Norma Técnica Colombiana. NTC 4368, Eficiencia Energética. Sistemas de Calentamiento de Agua con Energía Solar y Componentes.

RODRÍGUEZ MURCIA, Humberto (2008, noviembre). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. *Revista de ingeniería*. Bogotá, Colombia: Universidad de los Andes.

Unidad de Planeación Minero Energética-UPME (2003, marzo). *Guía de Especificaciones de Sistemas de Calentamiento de Agua para Uso Doméstico con Energía Solar en Colombia*. Documento No. ANC-603-13 Bogotá, D. C.

Valores horarios de la irradiación global horizontal (GHI). Disponibles en: <http://www.3tier.com/firstlook/>