

Diseño de un calentador solar de agua para condiciones meteorológicas de la ciudad de Huacho

Design of solar heater for water for meteorology weather of Huacho city

Julio César Valencia Bardales¹, Carlos Roberto Pesantes Rojas¹, Aída Nerida Falcón Cerna¹,
Juan Carlos Broncano Torres¹

RESUMEN

Objetivo: Diseñar un calentador solar para agua, por las condiciones meteorológicas de Huacho, el cual supuestamente debe satisfacer una demanda de agua caliente de 800 litros/día, temperatura de 45°C y consumo a las 07 h del día siguiente. **Métodos:** Se utilizó información meteorológica solar y de temperatura ambiente para el lugar de la aplicación, propiedades físicas de los materiales considerados en el diseño, una computadora personal, software Excel e información sobre el tema de los autores Duffie y Espinoza. Primero se diseñó una unidad de colector básico, luego se determinó el número de estas unidades que suministren la energía necesaria que permita satisfacer los requerimientos de la demanda antes indicada. En este proceso, se utilizaron desarrollos matemáticos que involucran procesos térmicos de captación neta y pérdidas de calor, métodos matemáticos de interpolación simple, método de cálculos a intervalos finitos, de iteración y recálculo. **Resultados:** Colector básico con eficiencia de aleta 0,88; eficiencia de placa 0,89; rejilla de siete tubos y relación eficiencia de Placa/Costo de placa de 0,011; cinco colectores básicos, temperatura de 46,5°C alcanzada a las 15 h. Se verificó que la data meteorológica del lugar influye en el diseño de la aplicación propuesta, evaluada para un día de verano, enero del 2014. **Conclusiones:** El número de colectores básicos podría reducirse a cuatro unidades para una temperatura algo menor a los 45°C, lo que redundará en ahorro de materiales y costos.

Palabras clave: Calentador solar, colector básico, rejilla.

ABSTRACT

Objective: To design a solar water heater, for weather conditions Huacho, this is supposed to satisfy a demand hot water 800 liters/day temperature of 45 ° C and time of 07 h on the next day consumption. **Methods:** Solar weather information were used and ambient temperature for the site of application , physical properties of the materials considered in the design , personal computer , Excel software and information on the subject of the authors J. Duffie and R. Espinoza. First a basic unit collector was designed, then the number of these units that provide the necessary energy that will satisfy the requirements of the aforementioned demand was determined. In this process, mathematical developments involving net capture thermal processes and heat losses, simple mathematical interpolation methods, a finite calculation method of iteration intervals used and recalculation. **Results:** Basic Manifold with 0.88 fin efficiency, efficiency badge 0,89, seven tubes and grid efficiency ratio of plate / plate cost 0,011, five basic collectors, temperature reached 46.5 ° C at 15 h. Discussion: It was verified that the meteorological data of the location influences the design of the proposed application, evaluated for a summer day, January 2014. Regarding the results, the number of basic collectors could be reduced to four units to a temperature somewhat less than 45 ° C, which will result in savings in materials and costs.

Keywords: Solar heater, basic collector, grille.

¹ Facultad de Ciencias. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.

INTRODUCCIÓN

Trabajos de construcción y de diseño de estos aplicativos tecnológicos fueron realizados desde los años 60, no solo en el Perú sino en diferentes países latinoamericanos, cuyos artículos han sido publicados en las Memorias de los Simposios y Eventos Internacionales de Energía solar de Perú y Bolivia. Los trabajos sobre el tema, consideraron como fuentes referenciales para la realización del presente estudio, los desarrollos matemáticos sobre el cálculo de colectores solares planos para el calentamiento de agua expuestos por los autores (Garg, 1982), (Manrique, 1984) y (Duffie, 1974) en sus obras respectivas y también en los guiones de clase del Ingeniero Rafael Espinoza- Segunda especialización en Energía solar en la Facultad de Ciencias de la UNI – Lima (1995-1996).

La Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión (UNJFSC), institución promotora e interesada en el desarrollo de la investigación tecnológica en la línea de las Energías Renovables (ER), a través del proyecto de creación del Centro de Investigación Experimental y Tecnológica en Energías Renovables y Meteorología de la UNJFSC; el que tiene por finalidad contribuir con energía al desarrollo nacional, frente al déficit de energía que se manifiestan en el país y el mundo, en especial para lugares de bajos recursos económicos. Por ello al no contar con sistemas elaborados para el dimensionamiento de aplicativos tecnológicos de esta clase, motiva a acumular conocimiento en tecnologías ER.

La verificación de comunidades rurales pobres sin acceso a las necesidades públicas básicas y del servicio de energía eléctrica del valle del río Huaura, aunque beneficiadas con un gran potencial eólico – solar, representan un problema y a la vez oportunidad para convertirlas en modelos de comunidades emergentes, si se favoreciera a su desarrollo con el uso de sistemas tecnológicos ER.

El responsable del proyecto, egresado del Programa SEPES-UNI, titulado en la Segunda Especialización en Energía Solar y autor del Proyecto de “Creación del Centro de Investigación Experimental Tecnológica en Energías Renovables y Meteorología” - UNJFSC, conjuntamente con otros colegas

matemáticos de la Facultad de Ciencias; emprendimos la realización de este trabajo que redundará, en beneficio de la institución universitaria.

HIPÓTESIS: Es posible diseñar un calentador solar de agua, por las condiciones meteorológicas de la ciudad de Huacho, 2013.

El objetivo general del proyecto fue diseñar un calentador solar de agua, por las condiciones meteorológicas de la ciudad de Huacho, para una demanda de agua caliente de 800 litros/día, temperatura de 45°C, a las 07 h del día siguiente; destacando la influencia de las condiciones meteorológicas del lugar y de otros parámetros de construcción.

Los objetivos específicos del trabajo fueron:
 Demostrar que tanto temperatura ambiente como materiales seleccionados para el diseño, caracterizados por sus propiedades físicas, influyen en la determinación de los factores de eficiencia del elemento placa del calentador solar para agua.
 Demostrar que tanto, data meteorológica solar disponible para la ciudad de Huacho y materiales considerados para el sistema, influyen en el diseño de una unidad de colector básico y del calentador de agua integrado como sistema.

MATERIALES Y MÉTODOS

El diseño estimado tuvo como fecha de aplicación el día 8 de enero del 2014, supuestamente para satisfacer una supuesta demanda de agua caliente de 800 litros /día para un albergue niños especiales, donde 20 niños utilizarán el agua para bañarse en cuatro duchas a las 07 h del día siguiente, estando esta a la temperatura de 45°C.

Materiales

Se utilizaron como materiales: los básicos de escritorio, una computadora personal, hoja de cálculo Excel y modelos matemáticos asociados con los procesos térmicos que intervienen en el funcionamiento del aplicativo, hallado en la información bibliográfica.

Datos meteorológicos y otros

Respecto a la data solar para esta zona de Huacho, la información revisada nos

proporcionó dos datos del promedio anual de la irradiancia solar por metro cuadrado y por día, uno de 4,39 kWh/m² para el distrito de Huaura, Estación de Alcantarilla (Kadono, 2008) y el otro de 4,65 kWh/m² para el distrito de Humaya (Atlas Minería y Energía en el Perú, 2001); luego el valor adoptado para el estudio fue el primero, dado que este distrito es el más cercano a la ciudad de Huacho y ambas ciudades tienen idénticas condiciones meteorológicas solares debido a su vecindad; decisión que se aplica cuando el lugar elegido

carece de data solar histórica (Farrington, 1982). Otros datos de entrada fueron las coordenadas geográficas de Huacho, datos generales de órbita solar y la temperatura ambiente del lugar procesada para intervalos horarios usando el método de interpolación simple y el software Logger Pro, a partir de algunos pocos datos proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrografía del Perú (SENAMHI) para el día 08 de enero del 2014. Ver Tabla 1 y Tabla 2.

Tabla 1. Datos de las coordenadas geográficas de Huacho, coordenadas del sol y energía.

DATOS DE LA FECHA Y COORDENADAS DEL LUGAR DE APLICACIÓN	MAGNITUD	VALOR	UNIDAD
Fecha de Interés	DÍA	08 de Enero, 2014	DÍA
Número del día del diseño	n	8	DÍA
Número de días del año	N	365	DÍA
Numero para el cálculo de latitud en la educación de la latitud	No	284	DÍA
Número PI	π	3,1416	
Ángulo de la órbita solar	Φ	360	°
Latitud de Huacho	λ	-11,1	°
Ángulo de orientación del colector	ϕ	180	°
Ángulo de inclinación del colector	β	11,1	°
Declinación solar máxima del sol	δ_{max}	23,45	°
Promedio anual diario de la irradiancia solar, alcantarilla, Huaura (*)	E/A	4,39	kWh/m ²

(*)Fuente: Tablas de "Radiación Solar en el Perú", 2008. Soluciones Solares: Energías Renovables y Ecología para todos

Tabla 2. Datos de la temperatura ambiente (T_{amb}) para Huacho, fecha 08 de Enero 2014.

NÚMERO	N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
HORA	h	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
TEMPERATURA	°C	21,00	20,16	19,93	19,98	21,18	22,61	24,10	25,76	27,39	28,84	29,50	29,93	30,14	29,62	28,87	27,98	26,35	24,67	23,06	22,06	21,29	21,00

Procedimiento

Cabe señalar que en el trabajo no se han utilizado instrumentos físicos de medición, pero sí datos con las propiedades físicas de los materiales (madera, platinas y tubos de fierro galvanizado, vidrio semidoble transparente, poliestireno expandido, cartón, tanque de fibra de vidrio, lana de vidrio, pintura negro mate y otros que facilitan la integración del todo) considerados para el diseño. Las propiedades físicas (térmicas y ópticas) de los materiales utilizados, fueron tomadas de la información encontrada en los textos (Manrique, 1981),

(Karlekar, 1985), (Valera, 1993) y Tablas de empresas comerciales Milliarium (2014) y Buenas Tareas (2012).

Otros elementos que se incluyeron en el diseño del calentador solar son los valores a priori de las dimensiones que se asumieron para la placa, tubos de la rejilla y envoltura del colector, lo cual depende del corte en tres fragmentos completos de cada tubo comercial de 6,4 m de longitud; ello con fines de optimizar el uso de dichos materiales. Especificaciones de fábrica de algunos insumos y propiedades físicas de materiales. Ver tabla 3 y tabla 9.

Tabla 3. Dimensiones y datos de placa colectora asumidos para el diseño del colector.

Parámetros de placa	Magnitud	Valor	Unidades
Longitud de placa colectora	X_{placa}	2,1	m
Ancho de placa colectora	Y_{placa}	0,96	m
Espesor de placa colectora	Z_{placa}	0,00079	m
Conductividad térmica de placa	$k_{fierrog}$	73	W/(m K)
Temperatura de placa colectora	T_{placa}	333	K

Tabla 4. Dimensiones y propiedades físicas del tubo de rejilla.

Parámetros del tubo de rejilla	Magnitud	Valor	Unidades
Longitud del tubo	X_{trubej}	2,1	m
Diámetro exterior	$(D1)_{ext}$	0,0217	m
Diámetro interior	$(D1)_{int}$	0,0166	m
Densidad del fierro galvanizado	$\delta_{fierrog}$	7208	kg/m ³
Calor específico del fierro galvanizado	$C_{fierrog}$	452	J/(kg °C)
Conductividad del fierro galvanizado	$k_{fierrog}$	73	W/(m K)

Tabla 5. Dimensiones y propiedades físicas del aislante térmico, poliestireno expandido.

Parámetros del tecnopor	Magnitud	Valor	Unidades
Espesor	Z_{tecnop}	0,0381	m
Conductividad térmica	k_{tecnop}	0,0303	W/(m K)

Tabla 6. Dimensiones y posición del Colector.

Parámetros del colector	Magnitud	Valor	Unidades
Altura del colector	Z_{colect}	0,093	m
Inclinación del colector	β	11,108	°

Tabla 7. Otros parámetros del colector y constantes físicas.

Otros parámetros importantes	Magnitud	Valor	Unidades
Separación placa - vidrio	Z_{p-v}	0,04	m
Temperatura ambiente asumida	T_{amb}	287,7	K
Temperatura inicial del vidrio asumida	T_{0_v}	313	K
Constante de Estefan Boltzman	σ	0,0000000567	W/(m ² .K ⁴)
Velocidad de viento	v	1,00	m/s
Aceleración de la gravedad	g	9,8	m/s ⁻²

Tabla 8. Propiedades físicas del fluido a calentar.

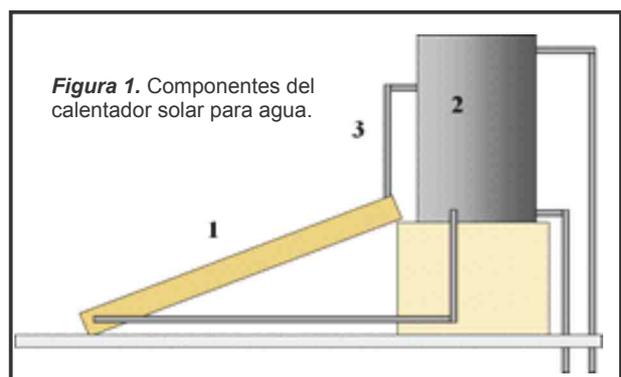
Parámetros de placa	Magnitud	Valor	Unidades
Densidad	δ_{agua}	988,9	kg/m ³
Viscosidad	μ_{agua}	0,000000542	m ² s ⁻¹
Conductividad térmica	k_{agua}	0,641	W/(m K)
Coefficiente de expansión volumétrica	B_{agua}	0,003	1/K
Número de Prantl	Pr_{agua}	3,545	1
Calor específico	C_{agua}	4186	J/(kgK)
Flujo de masa de agua	m/t	0,13	kg/s

Tabla 9. Valores de las propiedades ópticas de materiales utilizados.

Parámetros de placa	Magnitud	Valor	Unidades
Emitancia de Placa	ϵ_p	0,91	1
Emitancia del vidrio	ϵ_v	0,94	1
Emitancia del espacio exterior	ϵ_a	1,00	1
Índice de refracción del vidrio	n	1,25	1
Cuadrado del índice de refracción	n^2	1,563	1
Número de cubiertas de vidrio	N_v	1,00	1
Coefficiente de extinción del vidrio	KL	0,037	1
Factor de reflectancia difusa del vidrio (01 cubierta)	ρ_d	0,16	1
Absortancia de la pintura negro mate (placa)	α	0,92	1
Tramitancia por absorción del vidrio (cubierta)	τ_v	0,964	1
Factor 01 (**)	$1 - \alpha$	0,08	1
Factor 02(**)	$(1 - \alpha)\rho_d$	0,013	1
Factor 03 (**)	$1 - (1 - \alpha)\rho_d$	0,987	1
Factor 04 (**)	$1 - \tau_v$	0,036	1

Componentes del calentador de agua:

- 1) Unidad de colector o colector básico
- 2) Tanque
- 3) Conexiones externas



Forman parte del colector 1, la rejilla de tubos y la placa (ambos de hierro galvanizado), el aislamiento térmico (tecnopor y cartón), la envoltura (madera) y la cubierta de vidrio plano.

La rejilla lo constituyen N tubos largos paralelos soldados perpendicularmente a dos tubos cabeceros cortos dando forma a la rejilla. La rejilla está soldada a la placa a lo largo de los tubos largos. El conjunto pintado de color negro mate, está colocado en la envoltura, caja de madera con paredes y fondo aislados térmicamente. Los tubos cabeceros ocupan los extremos superior e inferior del colector inclinado (Figura 1). El colector básico se completa tapando la caja térmica con la cubierta de vidrio transparente. Cuando el subsistema rejilla placa se calienta por acción de la radiación solar incidente y la generación del efecto invernadero tiene lugar, el calor captado es transferido de la placa a los tubos y de éstos al agua. El agua fría ingresa al colector por el tubo cabecero inferior, se calienta mientras asciende por los tubos largos (principio del termosifón) y sale del colector como agua caliente por el tubo cabecero superior camino hacia el tanque (parte superior)

de almacenamiento vía la conexión externa de salida. El agua fría sale de la parte inferior del tanque hacia el colector vía la conexión externa de salida, repitiéndose el proceso una y otra vez durante el día.

Diseño de la unidad de colector

La unidad de colector básico es subsistema cerrado y del tipo plano. El esquema térmico básico de dicho dispositivo se representa en la Figura 2.

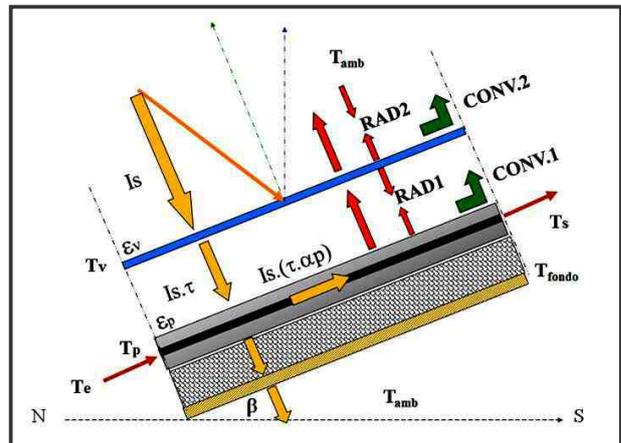


Figura 2. Esquema térmico básico del colector.

La ecuación del **BALANCE DE ENERGÍA DEL SISTEMA** es:

Calor absorbido por el colector = Calor útil en el colector + Pérdidas en el colector

$$A_{colector} I_s(\tau\alpha)_{ef} = [mc_p(T_{agua})_s - (T_{agua})_e] + U_L A_{colector}(T_p - T_{amb})$$

y la **EFICIENCIA DEL SISTEMA** es:

$$n = \frac{\text{Calor útil}}{\text{Radiación solar incidente}} = (\tau\alpha)_{ef} - U_L \left[\frac{T_p - T_{amb}}{I_s} \right]$$

Distribución de energía en el colector:

Dentro del colector se producen procesos de captación de calor, pero también pérdidas de calor hacia el exterior que se dan por las paredes laterales, por el fondo y a través de la cubierta de vidrio. Por las paredes laterales y fondo en forma de pérdidas por conducción, depreciando aquellas por convección y por la parte superior en forma de pérdidas por convección y radiación. Las pérdidas por radiación y convección por la parte superior se

dan entre tres superficies calientes paralelas que emiten radiación, ellas son la placa negra, la cubierta de vidrio y el ambiente externo (considerada como la tercera superficie plana paralela), todas caracterizadas por sus respectivos valores de emitancias especificadas en la Tabla 5. En las figuras 3 y 4 se observan con flechas las direcciones en que se producen las pérdidas y el circuito de resistencias térmicas elaboradas para el colector, respectivamente.

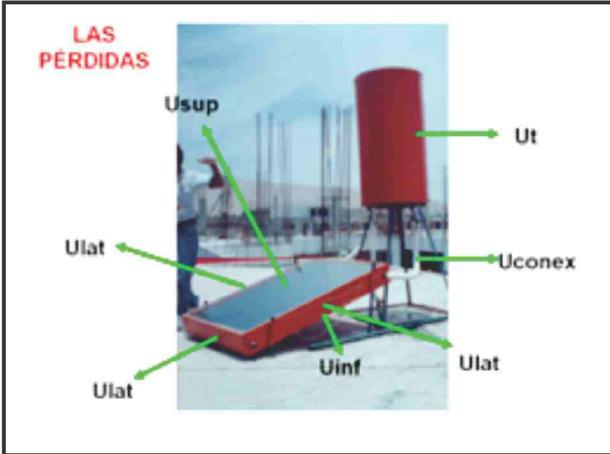


Figura 3. Diagrama de pérdidas en el colector, tanque y conexiones externas.

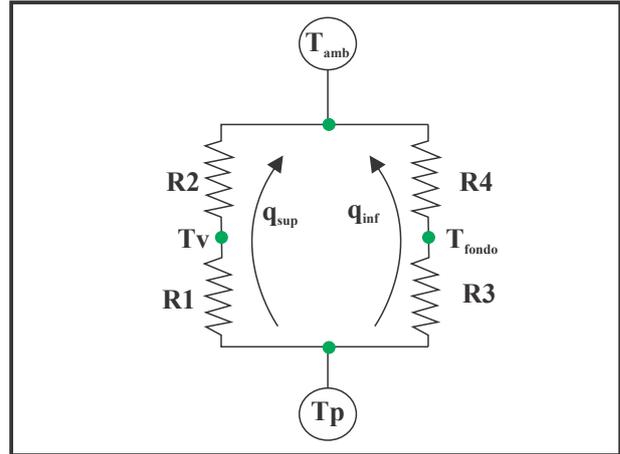


Figura 4. Circuito de resistencias térmicas del colector.

Asumiendo valores iniciales de temperatura de placa de $T_p = 60^\circ\text{C}$ (333 K), temperatura de vidrio de $T_v = 40^\circ\text{C}$ (313 K) y de ambiente externo de $T_{amb} = 14,7^\circ\text{C}$ (287,7 K), valores de dimensiones de placa y espesores de materiales aislantes y conductores especificados de fábrica (Tablas 3, 4 y 5), se resuelve fácilmente el problema de las pérdidas, utilizando las ecuaciones de la física

de transferencia de calor y empíricas de la hidrodinámica con calor, conocidas para el caso. La Figura 4, muestra los tipos de pérdidas de calor tanto por el fondo y la parte superior del colector; así como la ganancia de calor por el agua dentro de los tubos. (q''), calor transferido por unidad de tiempo y por unidad de área.

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{sup} &= h_{12} A(T_p - T_{amb}) & \dot{Q}_{inf} &= h_{34} A(T_p - T_{amb}) \\ \dot{Q}_{sup} &= \frac{(T_p - T_{amb})}{(R_1 + R_2)} & \dot{Q}_{inf} &= \frac{(T_p - T_{amb})}{(R_3 + R_4)} \\ q''_{sup} &= h_{12} (T_p - T_{amb}) & q''_{inf} &= h_{cond} (T_p - T_{amb}) \end{aligned}$$

Las pérdidas de por la parte superior del colector y por el fondo se evalúan con las ecuaciones siguientes:

$$\begin{aligned} U_{sup} &= \frac{1}{\frac{1}{h_{12}}} & U_{inf} &= \frac{1}{\frac{1}{h_{cond}}} \\ U_{sup} &= \frac{1}{\left[\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2} \right]} & U_{inf} &= \frac{1}{\left[\frac{1}{h_{cond}} \right]} \\ U_{sup} &= \frac{1}{\frac{1}{hr_{pv} + hc_{pv}} + \frac{1}{hr_{va} + hc_{va}}} & U_{inf} &= \frac{1}{\left[\frac{1}{h_{cond}} \right]} = h_{cond} = \frac{k_{ais}}{Z_{ais}} \end{aligned}$$

Los coeficientes de pérdidas por radiación (hr) y por convección (hc) se calculan con las ecuaciones siguientes, que corresponden a dospares de superficies radiantes paralelas: placa- vidrio (pv) y vidrio-ambiente externo (va).

$$\begin{aligned}
 hr_{pv} &= \frac{\sigma [(T_p)^2 + (T_v)^2][T_p - T_v]}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_v} - 1} & hr_{va} &= \frac{\sigma [(T_v)^2 + (T_{amb})^2][T_v - T_{amb}]}{\frac{1}{\epsilon_v} + \frac{1}{\epsilon_a} - 1} \\
 hc_{pv} &= \frac{(P_{colector})(T_p - T_v)^{(0,310)}}{(Z_{pv})^{(0,070)}(K)^{(0,310)}} \left[(1 - (0,0018)) \left[\frac{1}{2} (T_p + T_v)(1K)^{-1} - 273 - 10 \right] \right] \\
 hc_{va} &= \left[5,7 \frac{W}{m^2 K} \right] + \left[3,8 \frac{Ws}{m^3 K} \right] v_{viento} & U_{lat} &= \frac{k_{ais} Z_{colector} P_{colector}}{Z_{ais} A_{colector}}
 \end{aligned}$$

Finalmente, se suman los coeficientes parciales de pérdidas para obtener el coeficiente global de pérdidas (UL) en el colector.

$$(UL)_{colector} = U_{sup} + U_{inf} + U_{lat}$$

Tres procesos de recálculo o de iteración mejoran los valores asumidos inicialmente para la temperatura de la cubierta de vidrio, de los coeficientes convectivos placa-vidrio y vidrio-ambiente externo, los coeficientes de pérdidas laterales, por el fondo, por la parte superior y finalmente el global de pérdidas, cuyos resultados se muestran en la Tabla 11.

Método para la determinación de la eficiencia de aleta

La eficiencia de aleta se calcula usando el factor M y la ecuación de la Eficiencia de Aleta (F_{aleta}) dados a continuación con datos de 6 a 9 tubos y las distancias entre ellos ($W = 0,160; 0,137; 0,120$ y $0,107$ metros). Los resultados se resumen en la Tabla 13.

$$\begin{aligned}
 M &= \left[\frac{(UL)_{colector}}{Z_{placa} k_{fierrog}} \right]^{1/2} & F_{aleta} &= \frac{\tanh \left[M \left(\frac{W - (DI)_{tex}}{2} \right) \right]}{\left[M \left(\frac{W - (DI)_{tex}}{2} \right) \right]}
 \end{aligned}$$

Método para calcular el coeficiente pelicular de transferencia de calor en los tubos

Utilizando los resultados dados en la Tabla 10, y las ecuaciones dadas a continuación, permitirán determinar el valor coeficiente pelicular de transferencia de calor entre las superficies de los tubos y el agua circula por ellos.

Tabla 10. Datos para el cálculo del coeficiente convectivo entre la superficie interna de los tubos de la rejilla y el agua circulante.

Parámetros de placa	Magnitud	Valor	Unidades
Número de tubos	N_{tubos}	7	1
Espeso de la placa absorbedora	Z_{placa}	0,00079	m
Ancho de la placa colectora	Y_{placa}	0,96000	m
Conductividad térmica de placa	k_{fierrog}	73	W/(m K)
Diámetro exterior de tubo largo	$(D1)_{\text{tex}}$	0,0217	m
Diámetro interior de tubo largo	$(D2)_{\text{tin}}$	0,0166	m
Densidad del agua	δ_{agua}	988,9	kg/m ³
Viscosidad del agua	μ_{agua}	0,000000542	m ² /s
Conductividad del agua	k_{agua}	0,641	W/(m K)
Número de Prandtl	Pr_{agua}	3,545	1
Calor específico del agua	c_{agua}	4186	J/(kg °C)
Aceleración de la gravedad	g	9,8	m/s ²
Temperatura del agua en el centro del tubo	$(T_{\text{dem}})_{\text{agua}}$	45	°C
Temperatura del agua en el centro del tubo	$(T_{\text{dem}})_{\text{agua}}$	318	K
Temperatura de la superficie interna del tubo	$(T_{\text{si}})_{\text{tubo}}$	60	°C
Temperatura del agua en el centro del tubo	$(T_{\text{si}})_{\text{tubo}}$	333	K
Cálculo de Temperatura media del agua	$(T_{\text{m}})_{\text{agua}}$	325,5	K
Diferencia de temperaturas TUBO - AGUA	ΔT	15	K
Cálculo del Coefic de expansión volumétrica	B_{agua}	0,003072197	K ⁻¹

$$(h_{\text{conv}})_{\text{agua}} = \frac{N_u k_{\text{agua}}}{(D1)_{\text{in}}} \quad Nu = (0,47)(Ra)^{1/4} \quad Ra = (Gr)(Pr_{\text{agua}})$$

$$Gr = \frac{(g)(B_{\text{agua}})(D1)_{\text{tin}}}{(\mu_{\text{agua}})^2}$$

Método para determinar la eficiencia de placa

La Eficiencia de placa (F_{placa}) se calculó usando resultados anteriores evaluados, las ecuaciones de la Resistencia térmica de aleta, de la Resistencia pelicular tubo-agua y de Eficiencia de placa dadas a continuación, obteniéndose como resultado Eficiencias de Placa de: 0,857; 0,895; 0,921 y 0,939 para 6, 7, 8 y 9 tubos respectivamente.

$$R_{aleta} = \frac{W}{(UL)_{colector} \left[[W - (DI)_{ex}] F_{aleta} + (DI)_{ex} \right]}$$

$$F_{placa} = \frac{\left[\frac{I}{(UL)_{colector}} \right]}{R_{aleta} + R_{pelicular}}$$

$$R_{pelicular} = \frac{W}{\pi(DI)_{in} (h_{conv})_{agua}}$$

Método para calcularla relación, “eficiencia de placa/costo de placa”

Los valores de la Relación: Eficiencia de placa/costo de placa, relacionados con el número de tubos, factores de eficiencia y ancho de aleta, se muestran en la Tabla 13 de la sección resultados.

Preparación del recurso energético – Fecha: 08 de enero del 2014

Método para determinarla declinación solar

La Declinación Solar para la fecha indicada, con número de día del año $N = 8$, se determinó con la ecuación establecida por la mecánica celeste, cuyos resultados se dan en la Tabla 14 de la sección resultados.

$$\delta = (23,45^\circ) \text{sen} \left[\frac{(360^\circ)(284+N)\text{días}}{(365\text{días})} \right]$$

Método para distribuir la irradiancia solar efectiva en intervalos horarios

Para distribuir la irradiancia solar efectiva en intervalos horarios fueron utilizadas las ecuaciones para la irradiancia solar sobre un plano horizontal (I_z) y también sobre un plano inclinado (I_s), dadas por la mecánica celeste (Manrique, 1984) entre las 06 h y 18 h. La radiación efectiva que incide sobre el colector es la irradiancia sobre el plano inclinado del colector multiplicada por el coeficiente de transmitancia-absortancia efectiva $I_s (\tau\alpha)_{ef}$ que incluye todas las pérdidas ópticas de la radiación solar en el vidrio de la cubierta (reflexión, absorción) cuando ingresa al colector. Los resultados procesados se muestran en la Tabla 15 de la sección resultados.

Dato del cálculo de la demanda de agua caliente

Un cálculo sencillo considerando a los 20 usuarios de agua caliente con un consumo de 35 litros/(persona-día), nos arrojan un volumen de demanda de 700 litros/día. Considerando

una reserva de 100 litros/día, el volumen final de demanda es de 800 litros equivalente a 0,8 m³/día.

Cálculo de la energía requerida para calentar la demanda de agua

Utilizando las propiedades termodinámicas del agua de la Tabla 8, el volumen de demanda, el salto de temperatura y la ecuación del calor requerido para llegar a los 45°C (Eu) y la reserva para mantener dicha temperatura al cabo de 14 horas (Δeu), se muestra en la sección resultados.

Método para calcular las pérdidas en todas las partes del sistema

La clasificación de las diferentes pérdidas del sistema se muestra en las Tablas 16 y 17, de la sección resultados, con sus respectivos valores evaluados.

Para la evaluación de las pérdidas por conducción o por convección se utilizaron, las ecuaciones conocidas de la transferencia de calor y algunas empíricas válidas para esta aplicación por el tipo de flujo del fluido y para la

evaluación de las pérdidas por calentamiento de materiales de manera general, se ha recurrido al concepto de capacidad calorífica o masa térmica y se calcula para todos los materiales del calentador que se calientan, utilizando además las propiedades termodinámicas de los materiales.

Determinación del número de unidades de colector y predicción de la temperatura del agua para cada hora del día

Para la determinación del número de unidades de colector, se utilizaron los resultados del Factor de placa y los resultados de los coeficientes de pérdidas y pérdidas totales en el sistema, asumiendo a priori un área efectiva de

exposición de $A_x = 10,08 \text{ m}^2$. El método del recálculo permitirá luego ajustar cual es el número más conveniente de estas unidades para el diseño después de calcular las predicciones de la temperatura del agua alcanzada en cada hora del día. Ver Tablas 18 y 19.

RESULTADOS

Resultados de las pérdidas a través del colector básico

En la Tabla 11. Con los valores iniciales asumidos para la placa, obtuvimos una unidad de colector, y un coeficiente global de pérdidas $(U_L)_{\text{colector}} = 6,705 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.

Tabla 11. Valores de los coeficientes de pérdidas parciales y global en el colector.

Coeficientes Calculados	Magnitud	Valor	Unidades
Coeficiente convectivo placa - cubierta	$(h_{\text{conv}})_{pv}$	2,799	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Coeficiente convectivo cubierta - ambiente	$(h_{\text{conv}})_{va}$	9,5	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Temperatura de la cubierta de vidrio	T_v	304,82	K
Coeficiente de pérdidas - parte superior	U_{sup}	56,854	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Coeficiente de pérdidas parte inferior	U_{inf}	0,7953	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Coeficiente de pérdidas - parte lateral	U_{lat}	0,2245	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Coeficiente global de pérdidas	U_L	6,705	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Resultados del cálculo del coeficiente pelicular de transferencia de calor entre el agua y los tubos. También, se acompañan los valores de los números de Grasshof, Rayleigh y Nusselt con los cuales se calcula el coeficiente pelicular de transferencia de calor para la interface tubo y agua. Tabla 12.

Tabla 12. Valores de los números Gr , Ra , Nu y el coeficiente convectivo agua-tubo.

Parámetro o propiedad física	Magnitud	Valor	Unidades
Calculo del número de Grasshof	Gr	7032213,262	1
Cálculo del número de Rayleigh	Ra	24929196,01	1
Cálculo del número de Nusselt	(Nu)	33,21046267	1
Coeficiente convectivo	$(h_{\text{conv}})_{\text{agua}}$	1282,40	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Resultados de Eficiencia de aleta, Eficiencia de placa y de la relación “Eficiencia de placa/Costo de placa”

En primer lugar el valor calculado para el Factor M es de 10,783 m⁻¹. Con este valor, los de ancho de aleta W y las ecuaciones para el cálculo de F_{aleta} y F_{placa} dadas en la sección de materiales y métodos, se han calculado sus valores

correspondientes, incluyendo el de la relación “eficiencia de placa/costo de placa”, valores que se resumen en la Tabla 13. Las dimensiones asumidas permiten primero, optimizar materiales y segundo facilitar la manipulación y su mantenimiento por el usuario.

Tabla 13. Valores calculados de la Relación (eficiencia de placa/costo de placa).

Nº Tubos	F _{aleta}	F _{placa}	L.Tubo m	L. Total m	Nº Tubo Com.	Nº Tubos Com.	Cto. Tubos US\$	Cto. Placa US\$	Cto. Tubos Cab. US\$	Cto Pintura US\$	C. Total US\$	Cr 1/US\$
6	0,848	0,857	2,1	12,6	1,969	2	25,50	25,00	13,00	15,01	78,51	0,0109
7	0,888	0,895	2,1	14,7	2,297	2	25,50	25,00	13,00	15,01	78,51	0,0114
8	0,916	0,921	2,1	16,8	2,625	3	38,25	25,00	13,00	15,01	91,26	0,0101
9	0,935	0,939	2,1	18,9	2,953	3	38,25	25,00	13,00	15,01	91,26	0,0103

F _{aleta}	Eficiencia de aleta
F _{placa}	Eficiencia de placa
L Tubo	Longitud de tubo en la placa
L Total	Longitud total de tubería
Nº Tubo Com.	Longitud de tubos comerciales a adquirir (de 6,4 m de largo cada tubo)
Cto. Tubos	Costo total por tubos
Cto. Tubos Cab.	Costo total por tubos cabeceros
Cto. Pintura	Costo por pintura negra + soldadura
Cto. Total	Costo total de placa
F/C. Total = Cr	Relación eficiencia de placa - costo total de placa

Costo de tubo para rejilla de 6,4m	12,75 US\$
Tubo cabecero de 6,4m	13,00 US\$
Costo de plancha de fierro galvanizado	25,00 US\$
Costo por pintura + soldadura	15,01 US\$

Los valores más representativos que se han obtenido para una unidad de colector con eficiencias de aleta y de placa óptimos de 0,888 y 0,895, respectivamente, para siete tubos, determinado por la relación (Eficiencia de placa/Costo de placa) Cr = 0,0114.

Resultados de los Valores de la declinación solar, pico de la irradiancia solar y otros

En la Tabla 14 se muestran los valores calculados de la declinación solar para la fecha de diseño del sistema, pico de la irradiancia solar determinado a partir del valor del Promedio anual diario de energía por metro cuadrado del dato de Alcantarilla de (E/A) = 4,39 kWh/m² y de otros parámetros asociados con el recurso solar.

Tabla 14. Valores calculados de los parámetros solares.

Magnitud física	Simbología	Valor	Unidades
Declinación solar para la fecha de interés	δ	-22,303349	°
Número de horas con insolación	H _{insolacion}	12,615	h
Hora de salida del sol	H _{salida}	5,692	h (am)
Hora del ocaso solar	H _{ocaso}	18,308	h (pm)
Valor de pico de la intensidad de radiación incidente	I _p	574,65	W/m ²

Distribución de la irradiancia solar en intervalos horarios

Tabla 15. Valores calculados de las Irradiancias horarias sobre un plano horizontal, sobre el plano inclinado del colector y la efectiva para el colector inclinado.

Magnitud	Unidades	1	2	3	4	5	7	8	10	12	13
Hora	h	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	12:00	13:00	15:00	17:00	18:00
I_z	W/m ²	-41,986	93,045	218,873	326,925	409,836	479,733	461,956	326,925	93,045	-41,986
I_s	W/m ²	82,398	209,802	328,524	430,473	508,701	574,650	557,877	430,473	209,802	82,398
$(\tau\alpha)_{ef}$	1	0,4104	0,7534	0,8549	0,8796	0,8850	0,8860	0,8859	0,8796	0,7534	0,4104
$S=I_s(\tau\alpha)_{ef}$	W/m ²	33,8201	158,0627	280,8421	378,6474	450,2235	509,1288	494,2407	378,6474	158,0627	33,8201

Cálculo de la energía requerida para calentar el agua

El resultado del valor calculado de la energía necesaria para calentar el volumen de agua de la demanda a 45°C es de $E_u = 86\ 102\ 336,3\ \text{J}$; siendo la energía de reserva para contrarrestar las pérdidas durante 14 horas de $DE = 81\ 047\ 905,4\ \text{J}$.

Resultados de las pérdidas por transferencia de calor en todas las partes del sistema y por calentamiento de materiales.

Tabla 16. Resumen de coeficientes de pérdidas calculados en todas las partes del sistema.

Magnitud física	Magnitud	Valor	Unidades
Pérdidas totales a través del tanque despreciando P. por convección	$(UA)_{tan}$	4,360	W/K
Producto pérdidas - área por conducción a través de las Con. Externas	$(UA)_{cond}$	2,673	W/K
Coefficiente global de pérdidas en el tanque y conexiones externas	$(AU)_{exterior}$	7,033	W/K
Coefficiente global de pérdidas en el colector	$(U_L)_{colector}$	6,705	W/(m ² K)

Tabla 17. Resumen de las pérdidas por calentamiento de materiales en el sistema

Magnitud física	Magnitud	Valor	Unidades
Pérdidas por calentamiento de la masa del agua dentro del sistema	$(mc)_{water}$	3311628,32	J/K
Pérdidas por calentamiento en el material del tanque	$(mc)_{fibra}$	2972,100834	J/K
Pérdidas por calentamiento en el aislante de lana de vidrio	$(mc)_{lana}$	28463,51571	J/K
Pérdidas por calentamiento en el agua	$(mc)_{agua}$	32761,13622	J/K
Pérdidas por calentamiento de la placa absorbadora	$(mc)_{placa}$	5188,8466	J/K
Pérdidas por calentamiento de los tubos de rejilla	$(mc)_{tubrej}$	6700,15251	J/K
Pérdida por calentamiento de los tubos cabeceros	$(mc)_{tubcab}$	1654,02859	J/K
Pérdidas por calentamiento de material en las conexiones externas	$(mc)_{conex}$	8432,43313	J/K
Masa térmica o capacidad calorífica del sistema	$(MC)_{sistema}$	3397800,534	J/K

En esta etapa, se determinaron dos datos necesarios para la predicción de la temperatura del agua para intervalos horarios: la capacidad calorífica del sistema $(MC)_{sistema} = 3\ 397\ 800,53\ \text{J/K}$ y el Coeficiente global de pérdidas en las conexiones externas $(UA)_{exterior} = 7,03\ \text{W/K}$.

Resultados del número de unidades de colector y predicción de la temperatura horaria alcanzada por el agua

El software Excel a través de las Tablas 18 y 19, utilizando un área efectiva A_x de exposición al Sol abajo indicada, equivalente a 5 unidades de colector, permitió determinar la temperatura del agua alcanzada a los 45°C entre las 14 h y las 15 h del día. También se obtuvo el rendimiento del sistema, $n=0,6$.

Tabla 18. Datos para predicción de temperatura del agua cada hora del día, $A_x = 10,08 \text{ m}^2$

Magnitudes Físicas	Magnitudes	Valores	Unidades
Factor de eficiencia de placa con 07 tubos	F_{placa}	0,895	1
Coefficiente global de pérdidas en el colector	$(UL)_{\text{colector}}$	6,705	W/(m ² K)
Coefficiente global de pérdidas en el tanque y conexiones externas	$(UA)_{\text{exterior}}$	7,033	W/K
Masa térmica del sistema	$(MC)_{\text{sistema}}$	3397800,534	J/K
Área de placa de la unidad de colector diseñada	A_{placa}	2,016	m ²
Área efectiva y arbitraria de placa absorbidora (reajutable)	A_x	10,080	m ²
Factor de pérdidas 01	C1	376746,8746	J/(m ² K)
Factor de pérdidas 02	C2	7,4850	W/(m ² K)
Calor específico del agua	C_{agua}	4186	J/(kgK)
Incrementos en la temperatura del fluido	ΔT_{agua}	10	K
Factor C3	C3	0,00289	kg/s
Factor C4	C4	67,05155	W/m ²
Número de colectores	A_x/A_{placa}	5	1

Tabla 19. Predicción de la temperatura del agua para cada hora del día con $A_x = 10,08 \text{ m}^2$.

N°	Intervalo Horario	Irradiancia Media horaria	Temperatura Amb. Media	Δt	Temperatura Agua tanque	Incrementos Temp. Agua T.	Flujo de masa	Factor de remoción de calor	(τ)ef	n	Qu	Eu	
	Δh	W/m ²	°C	s	°C	°C	kg/s	FR			W	Wh	
1	05:00-06:00	S[05-06]	16,9101	20,58	3600	19,000	0,275	0,0000					
2	06:00-07:00	S[06-07]	95,9414	21,90	3600	19,275	1,104	0,0032	0,592	0,377	0,26	135,39	135,39
3	07:00-08:00	S[07-08]	219,4524	23,36	3600	20,379	2,310	0,0088	0,763	0,804	0,67	368,06	368,06
4	08:00-09:00	S[08-09]	329,7448	24,93	3600	22,689	3,311	0,0134	0,805	0,867	0,73	559,24	559,24
5	09:00-10:00	S[09-10]	414,4354	26,58	3600	26,000	4,001	0,0166	0,821	0,882	0,73	695,78	695,78
6	10:00-11:00	S[10-11]	472,2321	28,12	3600	30,001	4,378	0,0183	0,820	0,885	0,71	760,11	760,11
7	11:00-12:00	S[11-12]	501,6847	29,17	3600	34,379	4,421	0,0185	0,828	0,886	0,68	772,55	772,55
8	12:00-13:00	S[12-13]	501,6847	29,72	3600	38,800	4,144	0,0175	0,825	0,886	0,64	732,91	732,91
9	13:00-14:00	S[13-14]	472,2321	30,04	3600	42,944	3,589	0,0133	0,804	0,885	0,52	556,28	556,28
10	14:00-15:00	S[14-15]	414,4354	29,88	3600	46,533	2,769	0,0115	0,792	0,882	0,51	483,14	483,14
11	15:00-16:00	S[15-16]	329,7448	29,25	3600	49,302	1,716	0,0069	0,730	0,867	0,38	287,50	287,50
12	16:00-17:00	S[16-17]	219,4524	28,43	3600	51,018	0,481	0,0007	0,205	0,804	0,05	28,03	28,03
13	17:00-18:00	S[17-18]	95,9414	27,17	3600	51,018	-0,789	0,0000					
14	18:00-19:00	S[18-19]	16,9101	25,51	3600	51,018	1,663	0,0000					
											0,606	5063,45	5063,45

DISCUSIÓN

Durante el desarrollo del trabajo se verificó que en el proceso de diseño están presentes fenómenos de transferencia de calor, donde participan el Sol como fuente de calor y el ambiente como sumidero a baja temperatura; en estas circunstancias las condiciones meteorológicas determinadas por Sol en el interior del colector y el ambiente van a generar pérdidas desde el interior del sistema diseñado hacia el exterior. Mientras mayor sea la diferencia de temperaturas, mayores serán las pérdidas. No es válido proponer un calentador diseñado para un lugar X para otro Y si las condiciones meteorológicas son muy diferentes.

Por tanto, las condiciones meteorológicas de la ciudad de Huacho o de cualquier otro lugar, las propiedades físicas de los materiales, así como las dimensiones y costos de los insumos influyen en el diseño del aplicativo.

En cuanto al diseño de la unidad de colector, consideramos que es la mejor, a menos que las dimensiones de expendio de los tubos de fierro galvanizado hayan cambiado.

En cuanto a la toma de decisión, de considerar cuatro o cinco unidades de colector, se pudo observar que si se cambia el valor de $A_x = 10,08 \text{ m}^2$ (equivalente a cinco unidades de colector) por un valor $A_x = 8,06 \text{ m}^2$ (equivalente a cuatro

unidades de colector). Asimismo, hasta las 16 h es segura la incidencia solar y por tanto la captación de calor. Con cinco unidades de colector se asegura la temperatura deseada a las 15 h; pero con cuatro unidades de colector la temperatura $44,34^{\circ}\text{C}$ se alcanza justo a las 16 h; en todo caso si la exigencia de los 45°C no es tan rígida y se puede aceptar en $42,43^{\circ}\text{C}$ o 44°C , se podría decidir por cuatro unidades de colector, lo que repercute en ahorro de material y costos.

Para el caso particular de esta aplicación, la decisión más recomendable es optar por cuatro unidades de colector, lo cual da lugar a un ahorro de US\$ 78,51 (S/. 221 nuevos soles y 00/100 aproximadamente) solamente en placa, sin considerar la envoltura del colector.

El diseño de la presente aplicación, constituye solo una estimación del dimensionamiento del sistema y es válido solamente para Huacho, en época de verano y específicamente para la fecha 08 de enero; pues las condiciones meteorológicas en la ciudad de Huacho son muy variables en todo el año. Sin embargo, sería más representativo si el diseño se hubiese elaborado para lugares como Sayán y centros poblados en el valle del río Huaura, donde la irradiancia solar es más energética y de incidencia regular durante todo el año.

Es posible que el diseño del sistema elaborado requiera de reajustes, pero desde luego constituye una herramienta de trabajo referencial que nos ayuda a estimar el diseño de un calentador solar para agua, ajustable a condiciones meteorológicas de cualquier lugar.

La verificación o validez del diseño teórico elaborado con el software Excel, como cualquier desarrollo teórico, tiene su base en el método experimental; lo que es motivo de otro trabajo, la verificación experimental, construyendo el calentador de acuerdo a las especificaciones del diseño o haciendo reajustes en ambos lados y sometiéndolo a prueba bajo insolación.

El método de la iteración o recálculo y el uso de la computadora en un proceso de diseño son recursos muy valiosos, pues dan opción a asumir valores arbitrarios razonables y luego hacer los reajustes necesarios para consolidarlo.

Para la aplicación del diseño no se ha elaborado ni costos por desarrollo, ni costos de venta, por limitaciones de tiempo no se ha permitido visitar a modelos de calentadores, ni precios actuales de los diferentes insumos que intervienen en el diseño. Se han tomado como referencia algunos datos y costos del año 1996.

El diseño elaborado en Excel, requiere de un mejoramiento en la organización de las tablas resumidas en 2 o 3 páginas ejecutivas, con ingreso para datos y respuestas de salida.

Aunque los textos de Duffie (1974) y Manrique (1981), proporcionan las ecuaciones más importantes del diseño, no resuelven casos integrados y solamente orientan a cómo tratar el tema; pues el trabajo desarrollado sigue esa metodología y los sugeridos en los apuntes de Espinoza (1996). Las otras referencias o son métodos diferentes o no aportan con algo adicional a la investigación.

Agradecimientos

A los docentes de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Ingeniería: Ing. Rafael Espinoza, Aníbal Valera, Mamfred Horn y Germán Comina; cuyas enseñanzas influyeron mucho para que el responsable del proyecto se mantenga activo en el trabajo con las energías renovables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Buenas Tareas. (2012). Tabla: Coeficientes de Conductividad Térmica de Diversos Materiales. Buenas Tareas.com. Recuperado el 10,2012, desde <http://www.buenastareas.com/ensayos/Tabla-Coefficientes-De-Conductividad-T%9rmica/5652554.html>
- Duffie, J., Beckman, W. (1974). *Solar Energy Thermal Processes*. New York: Wiley –Interscience publication.
- Espinoza, R. (1996). Distribución de energía solar en un colector solar plano (Régimen estable). *Apuntes de clases del docentes de la Asignatura de Colectores Solares*. Segunda Especialización en Energía Solar (SEPES – UNI). Lima: Taller de Impresiones UNI.

- Farrington, D. (1982). *Uso Directo de la Energía Solar*. Madrid: H. Blume.
- Garg, H. (1982). *Treatise on Solar Energy: Fundamentals of Solar Energy*. New Delhi: Wiley – Interscience publication.
- Kadono, C. (2008). Tablas de Radiación Solar en el Perú. *Soluciones Solares, Energía Renovables y Ecología para todos*. Recuperado 01, 2014, desde <http://solucionessolares.blogspot.com/2008/11/tablas-de-radiacion-solar-en-el-peru.html>
- Karlekar, B., Desmond, R. (1985). *Transferencia de Calor*. México D.F.: Nueva Editorial Interamericana S.A.
- Manrique, J. (1984). *Energía Solar: Fundamentos y Aplicaciones Fototérmicas*. México D.F.: Harla S.A.
- Manrique, J. (1981). *Transferencia de Calor*. México D.F.: Harla S.A.
- Milliarium. (2014). Tabla: Propiedades térmicas de materiales de construcción y aislantes. Milliarium.com. Ingeniería Civil y Medio Ambiente. Recuperado el 01, 2014, desde <http://www.milliarium.com/prontuario/Tablas/Química/PropiedadesTérmicas.asp>
- Olechnowicz, E., Martínez, R. (1995). Análisis por Computadora de Sistemas Solares para el Calentamiento de Fluidos. *Memoria de la XIX Semana de Energía Solar*. (77 - 82). La Paz: Asociación Nacional de Energía Solar.
- Quinto, P., Flores, V. (1995). Comparación del comportamiento de un Sistema Solar de Calentamiento de Agua, usando Datos Teóricos y Experimentales. XIX Semana de Energía Solar. (85 - 91). La Paz: Asociación Nacional de Energía Solar. <http://solucionessolares.blogspot.com/2008/11/tablas-de-radiacion-solar-en-el-peru.html>
- Trebejo, I. (2003). Atlas de Energía Solar del Perú. Proyecto PER/98/G31 “Electrificación Rural a Base de Energía Fotovoltaica en el Perú. Ministerio de Energía y Minas. Recuperado el 01, 2014, desde http://www.senamhi.gob.pe/pdf/atlas_solar.pdf
- Valera, A. (1993). *Energía Solar, Teoría y Práctica*. Lima: Hozlo S.C.R.L.

Correo electrónico: juva-aerocujete@hotmail.com

Revisión de pares:

Recibido: 25-04-2014

Aceptado: 13-06-2014