

“ANÁLISIS DEL RECURSO SOLAR Y CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO ENTRE UN CALENTADOR SOLAR DE AGUA IMPORTADO MARCA HELIOLCOL Y UN NACIONAL DE 2 m² EN LA ESPE”

Miguel Alejandro Mena Coba
e-mail: menacma@hotmail.com

**DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
SANGOLQUI – ECUADOR**

RESUMEN

En el presente proyecto de estudio se muestra la caracterización de los parámetros termofísicos entre un colector solar nacional de tipo artesanal y un extranjero de marca heliolcol de fabricación israelí, considerando los mismos índices de radiación solar en el lugar de la investigación, al igual que el estudio del recurso solar existente en la zona de investigación.

El recurso solar existente en la zona de investigación y la comparación de los parámetros termofísicos generales de los colectores solares, se los realizó con la ayuda de instrumentos de

medición facilitados por el laboratorio de termodinámica de la ESPE, los cuales ayudaron a obtener datos de irradiancia, irradiación, albedo, temperaturas, humedad relativa, presiones y caudales, al igual se realizó cálculos matemáticos para la determinación de los parámetros termofísicos como son el factor de remoción de calor, la eficiencia, pérdidas térmicas, rendimiento óptico y la capacidad energética de los colectores solares.

Con los datos que se obtienen, se tendrá más claro los recursos existentes en la zona de investigación, para así poder aprovecharlo de mejor manera y obtener una referencia científica para

desarrollos futuros, al igual que la obtención de características semejantes o mejores que la de los colectores internacionales.

Técnicas de estimación de la radiación solar.

Entre las principales técnicas de estimación de la radiación solar tenemos las siguientes:

- Armstrong Page.
- Método ISF.
- Medición con instrumentos.

Método de Armstrong page

Este método relaciona ciertas variables para determinar el recurso solar, mediante el cual se determina el aporte solar en una determinada superficie terrestre y que va a ser variante de acuerdo al mes que nos encontremos.

Para la utilización de este método es necesario que conozcamos la latitud a la que se encuentra nuestra localidad de estudio, el ángulo de inclinación en el que se encuentra ubicado el colector solar, factor climático y factor albedo, estos factores oscilan entre 0 y 1 de

acuerdo a las características de la ubicación del colector.

Para nuestro estudio los datos de la localidad son los siguientes:

Lugar: Escuela Politécnica del Ejército

Ciudad: Sangolquí

Cantón: Rumiñahui

Provincia: Pichincha

Latitud: S 0° 18' 37"

Longitud: W 78° 26' 28,1"

El modelo de cálculo de la irradiación más aceptado es el de Armstrong modificado.

$$\frac{(H)_j}{(H_o)_j} = a + b \frac{(n)_j}{(N)_j}$$

Dónde:

H_j: promedio mensual durante el mes j de la irradiación solar diaria global sobre una superficie horizontal, **(H_o)_j**: promedio mensual durante el mes j de la irradiación solar extraterrestre diaria, **a**, **b**: representan constantes empíricas, **(N)_j**: máximo de horas diarias de sol de ese mismo periodo, **(n)_j**: promedio

de horas diarias de sol de ese mismo periodo.

La determinación de los valores a y b para el territorio ecuatoriano constan en la siguiente tabla.

Tabla 1 Valores de a y b

Región	a	b
Sierra	0.25	0.45
Costa	0.28	0.54

A la relación $\frac{H}{H_0}$ se la conoce también como índice de claridad (kt), el cual para ser determinado, requiere determinar la radiación durante un periodo de tres años. Esta relación puede tomar valores de:

Tabla 2 Valores de índice de claridad para diferentes climas

Clima	Valores
Abierto o nublado	0.3
soleado	0.8

Una vez colocado los respectivos datos en la hoja de cálculo de Armstrong page obtenemos los valores de la irradiación global directa el cual servirá para futuros cálculos.

Tabla 3 Datos para el cálculo de la irradiación

Datos de entrada para la ciudad de Sangloqui			
	Grados	Minutos	segundos
Latitud	0	18	37
Latitud	0,310277778		
INCLINACION	15		
Angstron page			
a	0,25	Factor climatico	
b	0,45		
factor de albedo	0.4		

Tabla 4 Irradiación global directa (fuente hoja de cálculo - Armstrong page)

MES	IRRADIACIÓN GLOBAL DIRECTA Ho	
	LANGLEY	Wh/m ² dia
Enero	371,3	4314,8
Febrero	383,9	4462,1
Marzo	388,6	4516,8
Abril	377,9	4392,5
Mayo	358,1	4161,6
Junio	345,3	4013,4
Julio	349,9	4066,7
Agosto	367,5	4270,8
Septiembre	382,3	4442,8
Octubre	382,8	4448,9
Noviembre	372,5	4329,3
Diciembre	365,5	4247,9
1LANGLEY=41800 (J/m²)		

A continuación se muestra la gráfica para identificar cual es el peor mes del año donde la irradiación es baja.

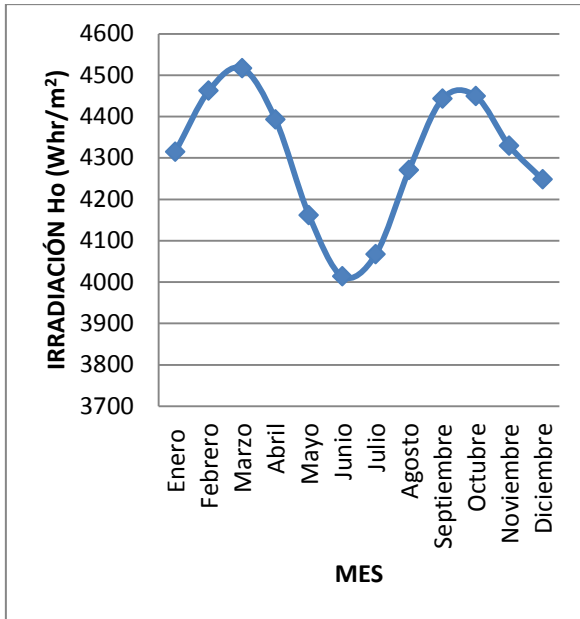


Figura 1 Variación de la irradiación directa respecto a cada mes

Método ISF

La mayor responsabilidad en un proyecto de energías renovables, tiene que ver con la estimación correcta del recurso solar, por lo cual, en esta investigación científica de alto nivel procede a cuantificar el recurso solar mediante el procedimiento facilitado por el ISF que se basa en la siguiente fórmula que sirve para el cálculo de irradiación sobre una superficie inclinada.

$$G_{dm}(\beta) = A * G_{dm}(0) + B * (G_{dm}(0))^2$$

Los coeficientes A y B se calculan de la siguiente forma:

Coeficiente A

A depende de la inclinación del panel β y del coeficiente de reflexión del suelo.

Tabla 5 Valores del Coeficiente de reflexión

SUELO	REFLECTIVIDAD
Seco	0.2
Hierba húmeda	0.3
Pavimento	0.4
Nieve	0.6

Coeficiente B

B depende de la latitud del emplazamiento Φ , la inclinación del panel β y el mes del año.

Método de medición con instrumentos

Heliógrafo Campbell Stokes



Figura 2 Heliógrafo Campbell Stokes

El heliógrafo Campbell Stokes utiliza una esfera de cuarzo que

concentra la radiación solar directa en un punto, que se desplaza a lo largo de un cartón, quemando su superficie, este instrumento permite determinar las horas de sol pico o la insolación diaria.

Estación meteorológica



Figura 3 Estación meteorológica

La estación meteorológica en la investigación se usó para la medición de la velocidad del viento, esta estación también puede proporcionar valores de irradiancia, humedad relativa, presión atmosférica, etc.

Termómetro análogo y digital



Figura 4 Termómetro digital y análogo

El termómetro digital para nuestro estudio se utilizó para obtener datos de humedad relativa del ambiente, temperatura ambiente, mientras que el termómetro análogo se usó para medir la temperatura del agua de uso del colector heliocol

Radiómetro



Figura 5 Radiómetro digital

Este medidor de energía solar contiene un sensor de silicio el cual

en nuestra investigación se usó para la medición de la irradiación.

Colector solar plano.

Un colector solar plano no es otra cosa más que un dispositivo para aprovechar la radiación solar transformándola en energía térmica de baja temperatura para usos domésticos o comerciales.

Los usos que se les puede dar a los colectores solares son principalmente estos:

- Para climatización de piscinas
- Para uso doméstico
- Para calefacción
- Para precalentamiento de agua de usos industriales

En la figura 6 se muestra un típico sistema de calentamiento de agua para uso hogareño complementando con los sistemas convencionales.

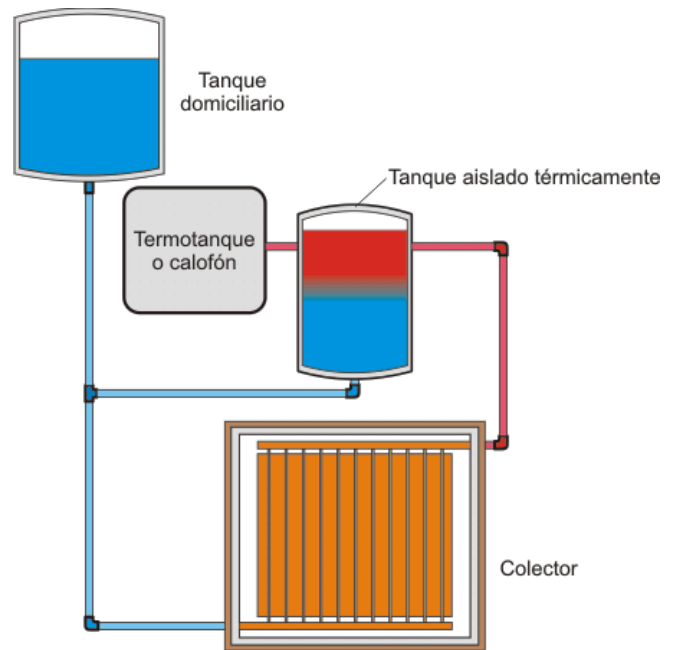


Figura 6 Sistema de calentamiento de agua

Composición de los colectores solares

Entre los principales componentes más comunes del colector solar plano tenemos los siguientes:

- Placa absorbente (negra)
- Conductos de fluido
- Cubierta(s)
- Aislante posterior y carcasa portante

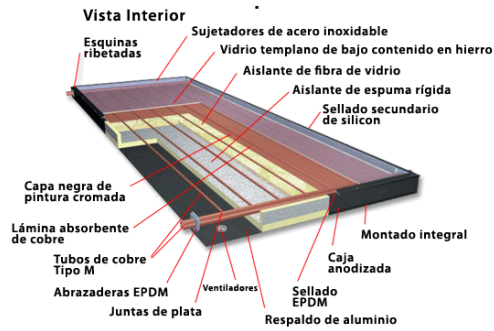


Figura 7 Colector solar plano

Cálculo del rendimiento Colector nacional

DATOS

$$a1 := 2.6 \frac{W}{m^2K}$$

$$a2 := 0.01 \frac{W}{m^2K}$$

$$F' := 0.945$$

$$\tau := 0.895$$

$$\alpha := 0.93$$

Dic

$$Eg := 581.3 \frac{W}{m^2}$$

$$Tm1 := 46 \text{ C} \quad \text{Nac}$$

$$Tm2 := 36 \text{ C} \quad \text{Hel}$$

$$Ta := 23.9 \text{ C}$$

Ene

$$Eg2 := 653.3 \frac{W}{m^2}$$

$$Tm3 := 48 \text{ C} \quad \text{Nac}$$

$$Tm4 := 41 \text{ C} \quad \text{Hel}$$

$$Ta2 := 63.1 \text{ C}$$

Calculo de Cálculo nto optico del captador

$$\eta_0 := \alpha \cdot \tau \cdot F'$$

$$\eta_0 = 0.787$$

Calculo de Cálculo nto mes diciembre colector nacional

$$\eta := \eta_0 - a1 \cdot \frac{(Tm1 - Ta)}{Eg} - a2 \cdot \frac{(Tm1 - Ta) \cdot (Tm1 - Ta)}{Eg}$$

$$\eta = 0.679$$

$$\eta \cdot 100 = 67.932 \%$$

Calculo de Cálculo nto mes enero colector nacional

$$\eta := \eta_0 - a1 \cdot \frac{(Tm3 - Ta2)}{Eg2} - a2 \cdot \frac{(Tm3 - Ta2) \cdot (Tm3 - Ta2)}{Eg2}$$

$$\eta = 0.844$$

$$\eta \cdot 100 = 84.353 \%$$

CALCULO DE LA EFICIENCIA Y PERDIDA TERMICA GLOBAL DICIEMBRE DIA 11

DATOS

$$a1 := 2.6 \frac{W}{m^2K}$$

$$a2 := 0.01 \frac{W}{m^2K}$$

$$F' := 0.945$$

$$\tau := 0.895$$

$$\alpha := 0.93$$

Dic dia 11

$$E_g := 697 \frac{W}{m^2}$$

$$T_{m1} := 48. C \quad \text{Nac}$$

$$T_{m2} := 38 C \quad \text{Hel}$$

$$T_a := 26.2 C$$

$$\Delta T1 := T_{m1} - T_a \quad \Delta T2 := T_{m2} - T_a$$

$$\Delta T1 = 22 \quad \Delta T2 = 11.8$$

Calculo del rendimiento optico del captador

$$\eta_0 := \alpha \cdot \tau \cdot F'$$

$$\eta_0 = 0.787$$

Calculo del rendimiento mes de diciembre colector nacional

$$\eta_1 := \eta_0 - a_1 \cdot \frac{(T_{m1} - T_a)}{E_g} - a_2 \cdot \frac{(T_{m1} - T_a) \cdot (T_{m1} - T_a)}{E_g}$$

$$\eta_1 = 0.698$$

$$\eta_1 \cdot 100 = 69.756 \quad \%$$

Calculo del rendimiento mes de diciembre colector heliocol

$$\eta_1 := \eta_0 - a_1 \cdot \frac{(T_{m2} - T_a)}{E_g} - a_2 \cdot \frac{(T_{m2} - T_a) \cdot (T_{m2} - T_a)}{E_g}$$

$$\eta_1 = 0.741$$

$$\eta_1 \cdot 100 = 74.056 \quad \%$$

Coefficiente global de perdidas termicas mes de diciembre colector nacional

$$a_g := a_1 - a_2 \cdot \Delta T1$$

$$a_g = 2.38$$

Coefficiente global de perdidas termicas mes de diciembre colector heliocol

$$a_g := a_1 - a_2 \cdot \Delta T2$$

$$a_g = 2.482$$

Análisis de los rendimientos para cada mes

Tabla 6 rendimientos para cada mes

		COLECTORES	
dic-11		NACIONAL	HELIOCOL
η	(%)	70	74
		COLECTORES	
ene-17		NACIONAL	HELIOCOL
η	(%)	69	72

Factor de eficiencia de los captadores.

El factor de eficiencia de los captadores basado en la norma EN 17975 tiene un valor de 0,945 y sus unidades son en porcentaje, este valor es utilizado para el cálculo del rendimiento óptico del captador. En caso que no se tuviera el valor de la eficiencia se debería aplicar la siguiente ecuación:

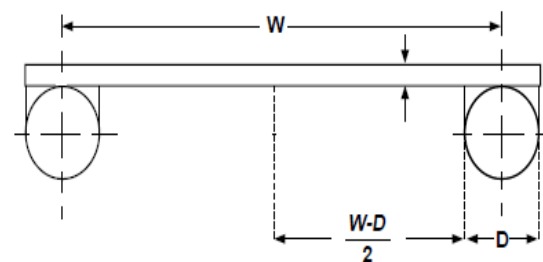


Figura 7 Grafico de la placa tubo

$$F = \frac{\tanh\left[m \cdot \frac{(W - D)}{2}\right]}{m \cdot \frac{(W - D)}{2}} \quad m = \sqrt{\frac{U_L}{k \cdot \delta}}$$

$$F' = \frac{\left(\frac{1}{U_L}\right)}{W \cdot \left[\frac{1}{h_{fi} \cdot \pi \cdot D_i} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{U_L [D + (W - D) \cdot F]}\right]}$$

El factor de eficiencia bajo la norma EN 12975 es 0.945 mientras que el factor de eficiencia calculado para los colectores es el siguiente:

Tabla 7 Factores de eficiencia calculados y normalizados

Colector	Fecha	Factor de Eficiencia Calculado	Factor de Eficiencia Bajo Norma EN 12975
Nacional	11-dic	0,918	0,945
	17-ene	0,919	
Heliocol	11-dic	0,983	
	17-ene	0,983	

Factor de remoción de calor de los captadores.

Se define el factor de calor removido, F_R como la razón entre el calor removido por el fluido en los tubos y la energía útil si todo el colector estuviera a la temperatura de entrada del fluido.

Factor de remoción de calor del colector

$$F_R = \frac{\text{calor util captado por el fluido}}{\text{calor util captado con placa a } T_{fi}}$$

$$= \frac{\dot{m}C_p(T_{fo} - T_{fi})}{A_c[S - U_L(T_{fi} - T_a)]}$$

$$F_R = \frac{\dot{m}C_p}{A_c U_L} \left[1 - \exp\left(-\frac{U_L A_c F'}{\dot{m}C_p}\right) \right]$$

Con la ayuda de los valores calculados en el tema anterior, se puede calcular el factor de remoción de los colectores Nacional y Heliocol

A continuación se muestran los valores generales de los factores de remoción en la siguiente tabla:

Tabla 8 Factores de remoción calculados y normalizados

Colector	Fecha	Factor de Remoción Calculado (FR)	Factor de Remoción Bajo Norma EN 12975
Nacional	11-dic	0.885	0.91
	17-ene	0.887	0.911
Heliocol	11-dic	0.951	0.915
	17-ene	0.951	0.915

Capacidad energética de los captadores.

La ganancia de energía instantánea por unidad de tiempo y unidad de área es:

$$Q := FR \cdot A \cdot [I \cdot k \cdot \alpha \cdot \tau - U_L (\Delta T)]$$

En donde k es el factor de sombra y suciedad, τ la transmitancia de la cubierta, α la absorptancia del absorbente y ΔT es la diferencia de temperaturas de entrada y salida del fluido, U_L es el coeficiente de pérdidas global, FR es el factor de remoción y I es la irradiancia.

A continuación se muestra los valores de la capacidad energética para los dos colectores solares con sus respectivas fechas.

Tabla 9 Capacidad energética

Colector	Fecha	Capacidad energética (W)
Nacional	11-dic	354.875
	17-ene	360.639
Heliocol	11-dic	581.991
	17-ene	567.373

Conclusiones.

- El análisis del recurso solar en la zona de investigación se cumplió debido a que se obtienen los siguientes datos promedios para cada mes, para el mes promedio de diciembre del 2012, se obtienen datos de velocidad del viento de 1,2 m/s, Irradiación de 3675 Wh/m² día, irradiancia de 581,3 W/m², albedo de 93,3 W/m², temperatura ambiente de 23,9 °C, humedad relativa de 42

%. Mientras que para el mes de enero del 2013 se obtienen datos de velocidad del viento de 1,5 m/s, irradiación de 4690,5 Wh/m² día, irradiancia de 653,3 W/m², albedo de 75,3 W/m², temperatura ambiente de 63,2 °C, humedad relativa de 41 %.

- Se obtuvo las curvas de rendimiento de los colectores solares en su respectivo mes, con lo cual se puede concluir que el colector con mejor rendimiento es el colector heliocol el cual nos da un valor para el mes de diciembre de 73 % y para el mes de enero el valor es de 86,7 %, mientras que para el colector nacional para el mes de diciembre es de 67,9 % y para el mes de enero es de 84,3 %.
- La caracterización energética entre el colector nacional y el heliocol, se cumplió con eficiencia debido a que se obtienen datos de temperatura en el uso del agua, con valores para el colector nacional y el heliocol en el mes de diciembre del 2012 de 46 °C y 35 °C respectivamente, mientras que para el mes de enero del 2013 se

obtuvo valores de 48 °C y 42 C respectivamente.

- El análisis de la comparación tecnológica entre el colector nacional y el colector heliocol, se llegó a la conclusión que la tecnología del colector heliocol es mucho más actual que la del colector nacional, pero para la construcción artesanal de colectores solares los materiales del colector nacional son mucho más fáciles de encontrar y su fabricación es más fácil y con estos materiales tenemos valores energía semejantes o mejores que el colector heliocol.
- Se determinó que el mes peor para nuestro análisis del recurso solar en la ESPE es el mes de diciembre.

BIBLIOGRAFIA

- Beckman, J. A. (1991). Solar Energy Thermal Processes. New York.
- Jutglar, L. (2004). Energia solar. Barcelona.

- Lopez, J. M. (2003). Modelado termico del captador solar plano. Andalucia.
- Mcbain, A. C. (s.f.). Propiedades termicas y mecanicas de los materiales.
- R. Corvalan, M. H. (1992). Ingenieria del Secado Solar. Quinto centenario.
- Rodriguez, M. O. (2000). Energias Renovables. Madrid: Paraninfo.
- Wilson, J. I. (1982). La Energia Solar. Madrid: Alhambra

BIOGRAFÍA



**Miguel Alejandro Mena
Coba**

Nació en Quito, Ecuador el 22 de febrero de 1986.

Sus estudios primarios los realizo en la “Escuela Municipal Sucre” y sus estudios secundarios en el Colegio “Dominicano San Fernando”, obteniendo el título de Bachiller Físico Matemático. Obtuvo su título en Ingeniero Mecánico en la Escuela Politécnica del Ejército.