

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CÁMARAS DE REACCIÓN PARA ENSAYOS TÉRMICOS CON Y SIN CAMBIO DE FASE CON UN CONCENTRADOR SOLAR TIPO LENTE DE FRESNEL DE 500 WATTS”

Carlos David Naranjo Q./Luis Andres Román H.

Universidad de las Fuerzas Armadas.

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica. Carrera de Ingeniería Mecánica

Campus Sangolquí. Av. General Rumiñahui s/n, Sangolquí-Ecuador

carlos_davidnaranjo@hotmail.com/

Resumen— En el presente proyecto se realizó la construcción de un prototipo para el aprovechamiento de la Energía solar Térmica, utilizando como captador un Lente Tipo Fresnel de 500 Watts; el haz de radiación producido por el lente cae sobre una cámara de reacción en la cual se encuentra aceite térmico, el aceite se calienta por medio de transferencia de calor, y sale de la cámara a través de mangueras adiabáticas que permiten mantener la temperatura, hacia un intercambiador de tubos para aprovechar la energía ganada, este intercambiador está compuesto por 12 tubos de cobre por donde circula el aceite proveniente de la cámara y un tanque en donde se encuentra agua procedente de la red pública, y mediante el proceso de transferencia de calor por convección entre los tubos de cobre y el agua se produce el incremento de temperatura en el agua

El tanque de agua dispuesto en el intercambiador tiene una capacidad de 12 litros, y la cámara de reacción posee un volumen para 1.7 litros de aceite térmico, el sistema posee una bomba de aceite y un motor eléctrico los mismos que facilitan la recirculación de aceite por todo el equipo y agilizan el proceso de calentamiento. También se empleó un mecanismo biaxial de movimiento en el equipo, el mismo que nos permite seguir la dirección del sol y de esta manera lograr que nuestro sistema sea más eficiente. El calentamiento del agua dependerá de factores climáticos como de la irradiación y la velocidad del viento, en este caso se realizó los cálculos acorde a las condiciones que nos brinda el laboratorio del DECEM.

El sistema se sometió a 15 días de pruebas en el mes de Enero del presente año, dándonos como resultado una eficiencia promedio de % y una temperatura de calentamiento promedio del agua de %

PALABRAS CLAVES: CONCENTRADOR, CAMARA, INTERCAMBIADOR, LENTE

I. Introducción.

Dentro del estado del arte, los lentes de Fresnel se comenzaron a usar en 1823, el físico e ingeniero francés Augustín-Jean

Fresnel atribuye al diseño y construcción del primer lente de Fresnel para el uso en faros, este primer lente se utilizó en el Cordouan faro en la desembocadura del estuario de la Gironda, su se podía ver desde más de 20 millas hacia fuera.

Proyectos similares son los que se realizaron a principio del siglo XXI, con respecto a la energía solar, los lentes de Fresnel comenzaron a ser utilizados en plantas de concentración para concentrar energía solar. Una aplicación fue precalentar el agua en la central eléctrica de Liddell Carbón en Hunter Valley Australia, otras aplicaciones son la fusión de metales, generar vapor solar y encender motores Stirling.

En nuestro país Ecuador se ha trabajado con proyectos que usan el mismo principio, por ejemplo la caracterización energética del sistema de hidroconversión de la luz solar para aplicaciones de media temperatura utilizando lentes de Fresnel, realizado por el ingeniero Jorge Leonardo Suntaxi C., como también se ha realizado estudios de factibilidad para el desarrollo de equipos de tratamiento térmico mediante energía solar concentrada en lentes de Fresnel, esto se realizó al mando del ingeniero Julio Tamayo.

Aproximadamente todas las formas de energía que se conocen se originan directa o indirectamente de la energía solar.

II. Diseño

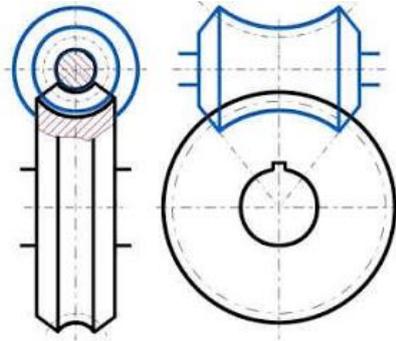
A. Estructura Soporte

Debido al espesor del lente y a la estructura previamente establecida, se decidió utilizar un perfil cuadrado de 40x40x2, para la estructura soporte de acero, de acuerdo a las siguientes características:

DESIGNACION	PESO	ESPELOR	AREA	INERCIA
TUBO CUADRADO	Kg/m	Mm	cm ²	cm ⁴
40x40x2	2,31	2,00	2,94	6,94

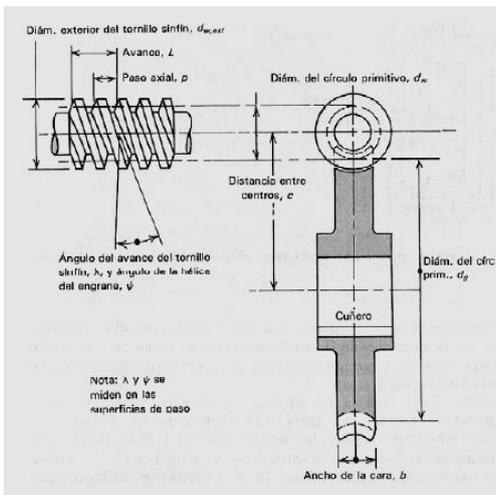
B. Mecanismo de Movimiento

Considerando que debemos construir un mecanismo que nos permita tener movimientos bidireccionales se decidió, diseñar un conjunto sinfín-corona, se eligió este sistema por la auto retención que posee el mismo, esto quiere decir que nos permite colocar nuestro equipo en una posición exacta con dirección al sol , sin que este se adelante o retroceda.



Gráfica 1: Sistema Sinfín-Corona

Geometría del Tornillo Sinfín y la Corona



Gráfica 2: Geometría Sinfín-Corona

C. Camara de Reaccion para fluidos

Comenzamos determinando la Eficiencia Óptica; con la siguiente expresión:

$$\eta_o = Pr * \tau * \alpha * \gamma_1 * F * ft$$

Dónde:

$$\begin{aligned} \eta_o &: \text{Eficiencia óptica (\%)} \\ Pr &= 0.75-0.85 \\ \gamma_1 &= 0.9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F &= 0.9 \\ \tau &= 0.9-0.95 \\ ft &= 0.95 \\ \alpha &= 0.9-0.95 \end{aligned}$$

$$\eta_o = 0.85 * 0.9 * 0.9 * 0.9 * 0.9 * 0.95 = 0.529 = 52.9\%$$

El área del lente de Fresnel se calcula mediante la siguiente expresión :

$$Aa = L * a$$

$$Aa = 111 * 78 = 8580 \text{ cm}^2 = 0.858 \text{ m}^2$$

El área del haz de radiación está dada por :

$$Ar = Lr * ar$$

$$Ar = 12 \text{ cm} * 8 \text{ cm} = 96 \text{ cm}^2 = 9.6 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

Determinamos la razón de concentración entre el área de apertura del concentrador y el área del absorbedor (cámaras de reacción), de la siguiente manera:

$$R_c = \frac{A_a}{A_r}$$

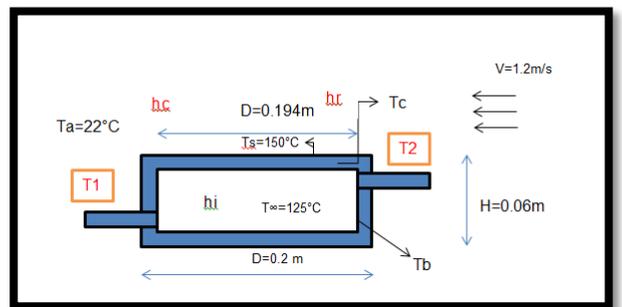
$$R_c = \frac{0.858 \text{ m}^2}{9.6 * 10^{-3} \text{ m}^2} = 89.375 \approx 89 \text{ soles}$$

Calculamos el calor absorbido, irradiancia el valor máximo que se alcanza en la superficie terrestre es de 834 (W/m²):

$$q_{abs} = \eta_o * Aa * I$$

$$q_{abs} = 0.529 * 0.858 \text{ m}^2 * 834 \frac{W}{m^2} = 378.54 \text{ W}$$

378.54 W es el calor absorbido por el Lente de Fresnel



Gráfica 3: Diseño de Cámara de Reacción para Líquidos

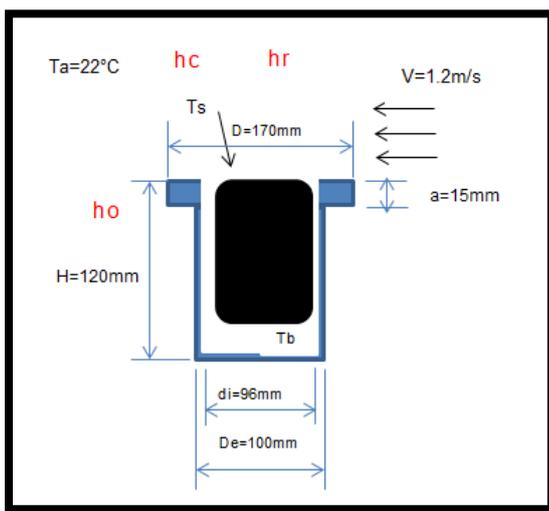
Determinamos horas de sol pico directo en radiación solar. Las horas de sol pico HSP, para el mes de diciembre del año 2014 es 3.98. Se toma el dato ya que las pruebas de diseño fueron realizadas en el mes ya mencionado.

$$HSP = 3.98 \text{ horas} = 238.8 \text{ minutos}$$

El tiempo que se toma de calentamiento es de 40 minutos, por lo tanto determinamos el número de etapas de calentamiento durante el día.

$$\# \text{ Etapas} = \frac{238.8 \text{ minutos}}{40 \text{ minutos}} = 5.98 \approx 6$$

D. Cámara de Reacción para Sólidos



Gráfica 4: Diseño de Cámara de Reacción para Sólidos

Dónde:

Ta: Temperatura ambiente (°C),
Ts: Temperatura superficial del sólido (°C),
Tb: Temperatura interna (°C),
v: velocidad del viento (m/s),
ho: coeficiente de convección forzada flujo externo (W/m²°C).

Determinamos la temperatura media

$$Tm = \frac{Ta + Ts}{2}$$

Calculamos el coeficiente de transferencia por radiación

$$4\epsilon_a \sigma Tm^3 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right]$$

h_R =

Dónde:

T_m : Temperatura media (°K),

$\sigma = 5.67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$, Constante de Stefan Boltzman.

ϵ_a : Emisividad del sólido absorbente

Calculamos el coeficiente de transferencia por convección

$$hc = 2.8 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] + 3 \left[\frac{N}{m^2 \cdot K} \right] V_{viento}$$

Determinamos el coeficiente de transferencia por convección flujo externo .

$$h_o = h_c + h_r$$

Calculamos el volumen del sólido que se va a utilizar.

$$V_{sólido} = \frac{\pi d_i^2}{4} H$$

$$V_{sólido} = \frac{\pi (19cm)^2}{4} \times 12cm = 3402.34cm^3$$

Determinamos la masa del sólido (véase Ecu. 2.26):

$$\delta_{sólido} = \frac{M_{sólido}}{V_{sólido}}$$

Cálculo de la potencia requerida

$$Qs = mCp(T_{tratamiento\ térmico} - T_{ambiente})$$

Dónde:

Q_s : Calor sensible en Kcal,

m : Masa del sólido,

C_p : Calor específico del sólido $\frac{Kcal}{Kg \cdot ^\circ C}$

T_c : Temperatura de calentamiento para el tratamiento térmico,

T_∞ : Temperatura inicial o temperatura ambiente

E. Intercambiador de Calor

Determinamos la diferencia de temperaturas, con las siguientes expresiones:

$$\Delta T_1 = T_{ce} - T_{fs}$$

$$\Delta T_2 = T_{cs} - T_{fe}$$

Dónde:

$$T_{ce} : 120^{\circ}\text{C}$$

$$T_{cs} : 100^{\circ}\text{C}$$

$$T_{fe} : 20^{\circ}\text{C}$$

$$T_{fs} : 30^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_1 = 120 - 30 = 90^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_2 = 100 - 20 = 80^{\circ}\text{C}$$

Calculamos la diferencia promedio efectiva de temperatura

$$\Delta T_{ml} = \frac{80 - 90}{\ln\left(\frac{80}{90}\right)} = 84.9^{\circ}\text{C}$$

Determinamos el factor de corrección F

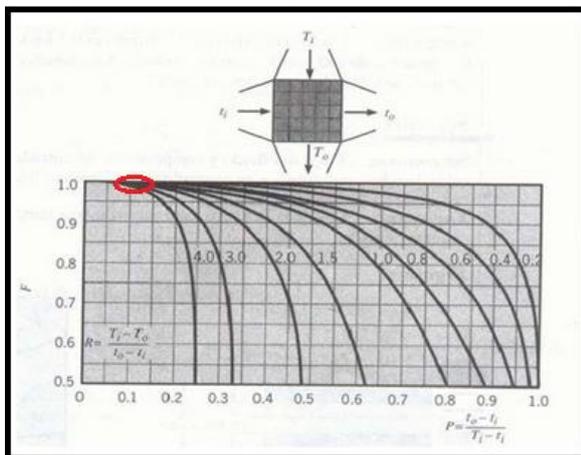
$$P = \frac{T_{fs} - T_{fe}}{T_{ce} - T_{fe}}$$

$$P = \frac{(30 - 20)^{\circ}\text{C}}{(120 - 20)^{\circ}\text{C}} = 0.1$$

$$R = \frac{T_{ce} - T_{cs}}{T_{fs} - T_{fe}}$$

$$R = \frac{(120 - 100)^{\circ}\text{C}}{(30 - 20)^{\circ}\text{C}} = 2$$

Con los datos obtenidos vamos a la figura siguiente y determinamos que el factor de corrección **F=0.98**



Gráfica 5: Factor de Corrección

Dónde:

$T_i = T_{ce}$, Temperatura de entrada del fluido caliente ($^{\circ}\text{K}$).

$t_i = T_{fe}$, Temperatura de entrada del fluido frío.

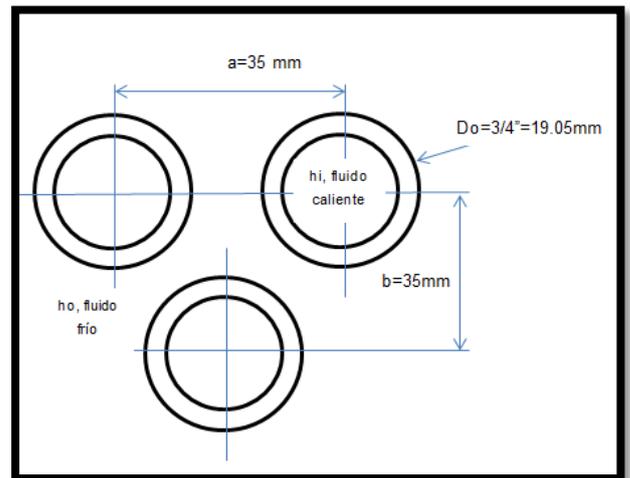
$t_o = T_{fs}$, Temperatura de salida del fluido frío.

$T_o = T_{cs}$, Temperatura de salida del fluido caliente.

Calculamos el coeficiente promedio de transferencia de calor para haces en la dirección del flujo

$$\frac{\bar{h}_o D_o}{K} = C1(Re_{m\acute{a}x})^n$$

Usamos haces escalonados:



Gráfica 6: Dimensiones de haces escalonados para el intercambiador de calor.

Para haces escalonados, el pasaje mínimo (min) es el menor valor entre:

$$\frac{a - D_o}{2} = \frac{35\text{mm} - 19\text{mm}}{2} = 8\text{mm}$$

$$\sqrt{\left(\frac{35\text{mm}}{2}\right)^2 + (35\text{mm})^2} - 19\text{mm} = 20.13\text{mm}$$

El pasaje mínimo es $Mn = 8\text{mm}$

Para determinar los valores de n y $C1$

$$\frac{a}{D} = \frac{35\text{mm}}{19\text{mm}} = 1.84 \approx 2$$

$$\frac{b}{D} = \frac{35\text{mm}}{19\text{mm}} = 1.84 \approx 2$$

$\frac{b}{D}$	alD							
	1.25		1.5		2		3	
	C_1	n	C_1	n	C_1	n	C_1	n
Tubos en línea:								
1.25	0.348	0.592	0.275	0.608	0.100	0.704	0.0633	0.752
1.5	0.367	0.586	0.250	0.620	0.101	0.702	0.0678	0.744
2	0.418	0.570	0.299	0.602	0.229	0.632	0.198	0.648
3	0.290	0.601	0.357	0.584	0.374	0.581	0.286	0.608
Tubos escalonados:								
0.6							0.213	0.636
0.9					0.446	0.571	0.401	0.581
1			0.497	0.558				
1.125					0.478	0.565	0.518	0.560
1.25	0.518	0.556	0.505	0.554	0.519	0.556	0.522	0.562
1.5	0.451	0.568	0.460	0.562	0.452	0.568	0.498	0.568
2	0.404	0.572	0.416	0.568	0.487	0.556	0.449	0.570
3	0.310	0.592	0.356	0.580	0.440	0.562	0.421	0.574

Gráfica 7: Tabla para determinar C1 y n

Por lo tanto los valores de $C1=0.482$ y $n=0.556$

Determinamos el número de tubos internos:

$$q_{\text{útil}} = UANF\Delta T_{ml}$$

Dónde:

$$q_{\text{útil}} : 369.28 \text{ W}$$

A : Área de un tubo interno.

L : 0.4 m.

$$U = 25.57 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°K}}$$

F : 0.98

ΔT_{ml} : 84.9°C=357.9°K

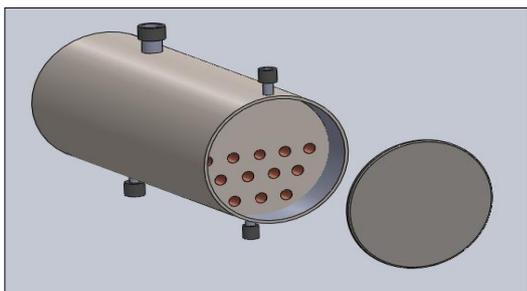
Por lo tanto:

$$A = \pi D_e L = \pi \times (0.019\text{m})(0.4) = 0.024\text{m}^2$$

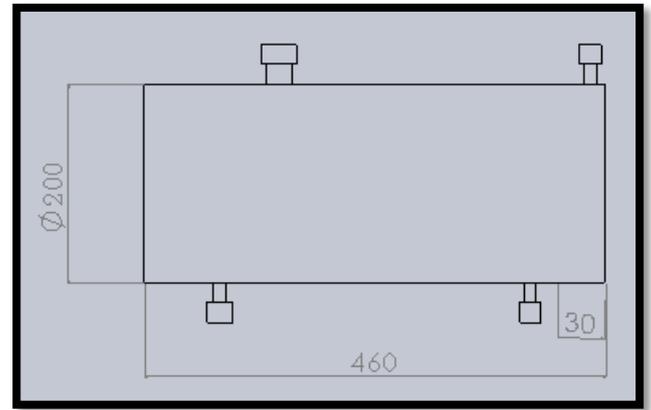
$$q_{\text{útil}} = UANF\Delta T_{ml}$$

$$369.28 \text{ W} = (25.57 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°K}})(0.024\text{m}^2)N(0.98)(84.9^\circ\text{K})$$

$N = 11.6 \approx 12$ El número de tubos internos serán 12.



Gráfica 8: Diseño del Intercambiador de Calor



Gráfica 9: Dimensiones del Intercambiador de Calor

III. Construcción y Análisis

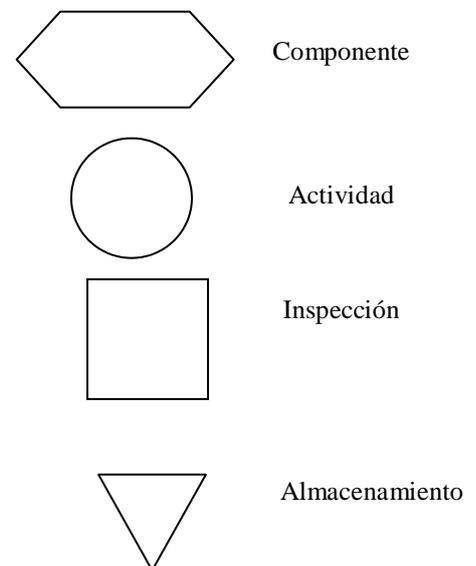
DIAGRAMA DE PROCESOS DE FABRICACIÓN

Este estudio describe el diagrama de operaciones y el diagrama de procesos de flujo.

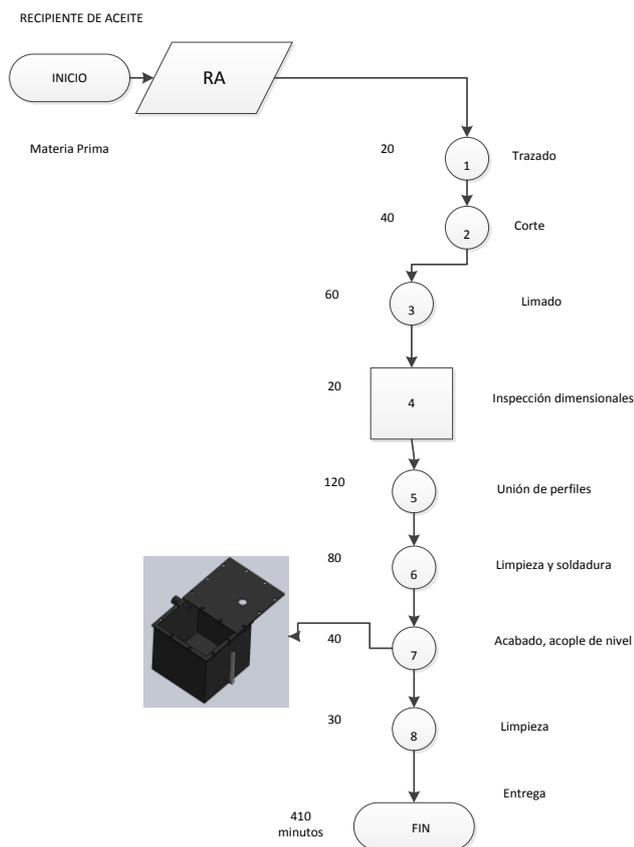
Los elementos a construir son:

- Cámaras de reacción
- Intercambiador de calor
- Estructura soporte
- Mecanismo de giro
- Recipiente de almacenamiento de aceite

Utilizamos la siguiente simbología para la elaboración de diagrama de operaciones y el diagrama de procesos de flujo.



Se realizaron diagramas de operaciones para cada actividad realizada para la construcción, así por ejemplo tenemos:



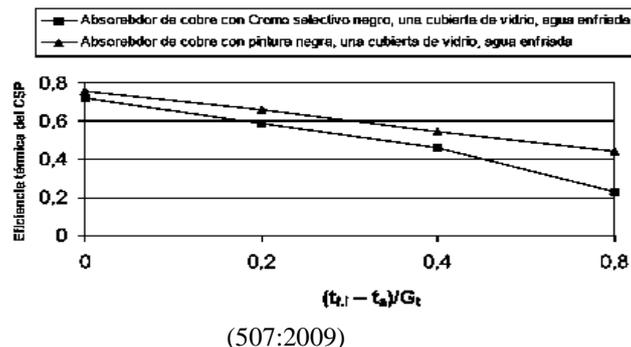
Gráfica 9: Ejemplo del Diagrama de Procesos

IV ANALISIS DE RESULTADOS

Para poder validar los resultados obtenidos, se realizó un análisis de la geometría, comparando las gráficas de la eficiencia para los colectores solares en este caso Lente de Fresnel, de acuerdo a lo descrito en la norma NTE INEN 2 507:2009 (RENDIMIENTO TERMICO DE COLECTORES SOLARES EN SISTEMAS DE CALENTAMIENTO), en el artículo 7.1.1.5 (Ensayos de rendimiento térmico) “Para determinar la eficiencia instantánea del colector solar y garantizar su comportamiento, se debe obtener una representación semejante a la curva de eficiencia, como se indica en la Curvas de eficiencia térmica. Para ello se

debe tomar valores de radiación incidente, temperatura ambiente, y de temperaturas del fluido a calentarse.

Gráfica 10: Curvas de eficiencia térmica del colector solar



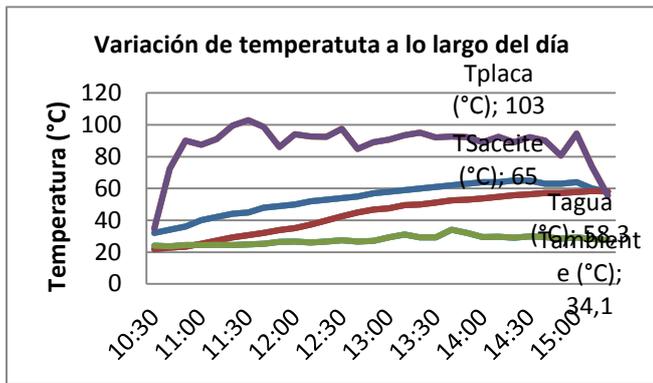
En el capítulo 3 que se refiere al diseño se obtuvo una eficiencia óptica del concentrador solar tipo lente de Fresnel de 52,9%, y una eficiencia del colector del 52,63%, con una radiación promedio de 843 (W/m²) para obtener un calor útil de 371,098 (W).

Después del análisis del sistema del colector solar con respecto a los días de prueba expuesto al ambiente, la eficiencia promedio que se obtuvo fue del 52,26 % con una radiación promedio de 676,9 (W/m²) para producir un calor útil de 311,52 (W).

Tabla 1: Valores teóricos y Experimentales

Valor	η (%)	Qu (W)	I(W/m ²)
Teórico	52,63	371,098	834
Experimental	52,26	311,52	676,9

De acuerdo a la figura variación de temperatura vs tiempo del día de ensayo número 10 que se realizó el 3 de Febrero del 2015. Observamos que el colector incrementa la temperatura de la placa absorbente hasta una temperatura máxima de 103°C, por lo cual la del aceite llega a un pico máximo de 65°C en un tiempo de 290 min, de igual manera la temperatura ambiente alcanzó un pico máximo de 34,1 °C con un promedio de 27,62°C. En el intercambiador de calor el agua alcanzó un pico máximo de 58,3 °C observando que la temperatura de entrada incrementa de 21,8 °C hasta 58,3 °C.



Gráfica 11 : Variación de la temperatura a lo largo del día

De acuerdo a la figura Variación de la Irradiancia durante el día de ensayo número 10, se observa que tiene un pico máximo de 1096 (W/m²), un mínimo de 250 (W/m²) y un promedio 884,3 (W/m²).

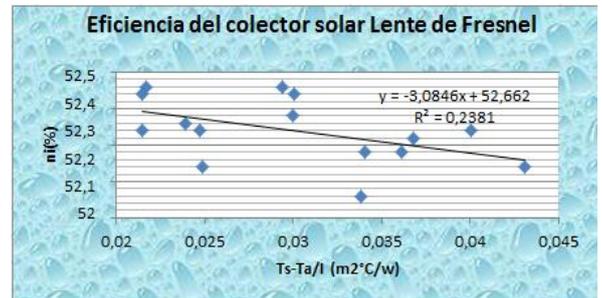


Gráfica 12 : Variación de la irradiación durante el día

Tabla 2: Eficiencia promedio del Colector Solar Tipo Fresnel durante los días de prueba

Día	Taceite °C	Tagua °C	Tamb. °C	I (W/m2)	Qu (W)	n %	Ts-Ta/l (m2°C/w)
1	45,21	36,9	25,85	841,76	379,285	52,36	0,024903868
2	43,16	42,9	25,97	746,53	336,662	52,28	0,024726738
3	39,11	36,6	27,63	580,42	261,839	52,13	0,02389063
4	48,74	48,6	25,67	773,26	348,45	52,3	0,043097668
5	39,77	40,3	26,34	674,41	304,187	52,21	0,02148847
6	44,05	45,5	25,25	707,8	319,195	52,26	0,036816798
7	39,32	36,3	27,93	603,58	272,516	52,11	0,021702858
8	38,42	36,2	28,12	616	278,438	52,28	0,021481058
9	47,65	48,4	25,86	762,5	343,734	52,3	0,036115442
10	54	58,3	27,62	884,3	398,215	52,48	0,033873702
11	44,58	44,5	27,12	699,24	315,526	52,27	0,029998714
12	39,89	45,6	26,46	556,45	251,282	52,16	0,029378935
13	44,29	45,1	26,21	690,786	311,583	52,23	0,040061349
14	30,22	24,2	19,85	483,56	218,791	52,22	0,030088106
15	44,85	47,4	25,31	738,619	332,976	52,31	0,034025545
Promedio	42,884	42,45333333	26,07933333	690,6143333	311,5119333	52,26	0,030109992

De acuerdo a la figura el Rendimiento del concentrador solar tipo Lente de Fresnel se observa que tiene una pendiente decreciente debido a la incidencia de temperatura en la cámara de reacción en este caso del fluido caliente que es el aceite liviano Spindura Oil 10, la dispersión de los puntos en la gráfica se debe a la variación de la irradiación (I), y la variación de las temperaturas ya que depende de estas.



Gráfica 13: Eficiencia del Colector solar Lente de Fresnel

La eficiencia del colector se la describe con la siguiente ecuación:

$$y = -3,0846x + 52,662$$

En la figura se observa la Variación de la temperatura en los días de prueba, se observa que el pico mayor fue en el día 10 donde la temperatura fue de 65°C para el aceite Spindura Oil 10, el pico más bajo fue en el día 14 con una temperatura de 32°C, esto se debió a las condiciones climáticas que no fueron favorables donde se presentaron lloviznas

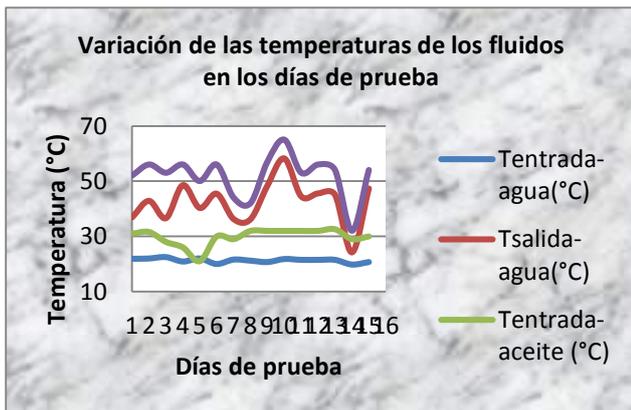


Gráfica 14: Tsalida promedio vs Días de Pruebas

Tabla 3: Eficiencia promedio del Intercambiador de calor durante los días de prueba.

Día	Tentrada-agua(°C)	Tsalida-agua(°C)	Tentrada-aceite (°C)	Tsalida-aceite (°C)	Qu	n%-Interc. C.
1	21,9	36,9	31	52	379,285	50%
2	22	42,9	31,6	56	336,662	61%
3	22,5	36,6	28	53	261,839	46%
4	20,9	48,6	26	56	348,45	79%
5	22	40,3	21	50	304,187	65%
6	20	45,5	30	56	319,195	71%
7	21,6	36,3	29	44	272,516	66%
8	21,2	36,2	32	42	278,438	72%
9	20,7	48,4	32	57	343,734	76%
10	21,8	58,3	32	65	398,215	84%
11	21,5	44,5	32	53	315,526	73%
12	21,5	45,6	32	56	251,282	70%
13	21,5	45,1	32,6	54	311,583	73%
14	19,8	24,2	29	32	218,791	36%
15	20,7	47,4	30	54	332,976	80%
Promedio	21,30666667	42,45333333	29,88	52	311,5119333	67%

De acuerdo a la figura, la Variación de las temperaturas de los fluidos en los días de prueba, se puede observar que las mayores temperaturas se obtuvieron en el día 10, temperatura máxima del fluido caliente el cual es el aceite Oil 10 es de 65°C con una temperatura promedio de 52°C, del agua que es el fluido frío obtiene una temperatura de 58,3°C con una temperatura promedio de 42,45°C y un calor útil promedio de 311,51 W para el intercambiador de calor.

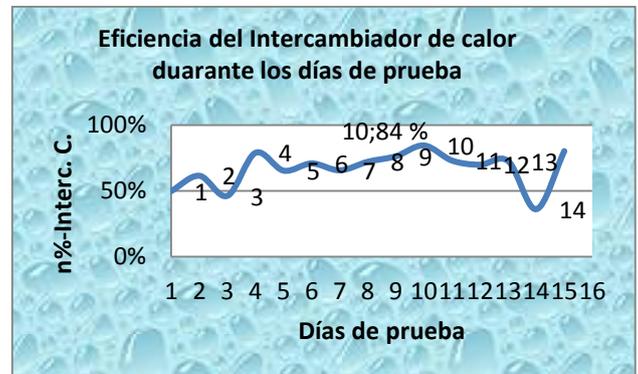


Gráfica 15: Variación de la Temperatura de los Fluidos en días de prueba

De acuerdo a la figura el Rendimiento del Intercambiador de calor durante los días de prueba, se puede observar el pico mayor es el día de prueba número 10 con una eficiencia del 84% con una temperatura máxima del agua de 58,3%, y el pico menor se refiere al día 14 con una eficiencia del 36% con una temperatura

máxima del agua de 32°C esto se debe a la dependencia de las temperaturas y factores climáticos que no fueron favorables.

De acuerdo a estos análisis el mejor día de pruebas fue el ensayo número 10 que sucedió el 3 de Febrero del 2015, esto se debe a buenas condiciones climáticas con una Irradiancia máxima de 1096 W/m², en un tiempo de luz solar directa de 290 min se llegó a obtener 65 °C para el fluido caliente aceite Oil 10 y 58,3°C para el agua con una eficiencia del Concentrador Solar tipo lente de Fresnel de 52,48% y del intercambiador de 84%.



Gráfica 16: Eficiencia del Intercambiador de calor durante los días de prueba

V. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

- El diseño propuesto para el colector solar tipo lente de Fresnel es óptimo ya que a través de la utilización del recurso solar se pudo realizar el calentamiento del aceite térmico y aprovechar la energía ganada mediante transferencia de calor el calentamiento de agua, con temperaturas promedio para el aceite Oil 10 de 54 °C y el agua de 43,53. °C.
- Al hacer girar el colector solar tipo lente de Fresnel mediante mecanismo biaxial de forma que los rayos solares incidan perpendicularmente a la placa absorbente al centro de las cámaras de reacción para usar de mejor manera la radiación solar.
- La estructura del Lente está diseñada de tal forma que nos pueda brindar facilidad para el movimiento y soporte las cargas previamente establecidas en el CAP. 3 de Diseño, tomando en cuenta factores ambientales

externos, como la carga de granizo que se presenta en ciertas épocas en el país

- El perfil seleccionado para conformar la estructura base se lo realizó en función a los cálculos previamente establecidos teniendo siempre en cuenta la sección transversal del perfil, las cargas a soportar, la disponibilidad en el mercado y la funcionalidad dentro del sistema.
- La Consideración de utilizar un sistema sinfín-corona en el mecanismo de movimiento, se lo realizó analizando varios factores, pero el principal es el auto trabado que nos brinda el sistema, es decir podemos colocar el lente en la dirección solar en un punto fijo, aprovechando de mejor manera el recurso solar
- El Lente de Fresnel, como captador solar es un elemento que nos brinda alta eficiencia dentro del campo de las Energías Renovables y puede ser considerado para aplicaciones a gran escala de generación o aprovechamiento de Energía, apegándose al plan del Buen vivir que busca el gobierno ecuatoriano.
- El diseño del mecanismo es óptimo, ya que el movimiento biaxial, nos permite realizar un seguimiento al sol, eficiente y por ende nos proporciona el recurso necesario para alcanzar con los objetivos previamente establecidos en el proyecto.
- Los ejes que son parte del mecanismo, fueron parte de un diseño complementario en el que intervienen las cargas provenientes por parte del sistema sinfín-corona y cargas externas que deben soportar cada flecha durante el funcionamiento del Equipo.
- Se utilizó un volumen de Aceite Térmico a calentar de 4.7 litros y a través del recurso Solar se logró el calentamiento de 11 litros de agua, lo que nos demuestra

que el sistema es muy eficiente y nos permite optimizar recursos y cumplir con los objetivos determinados.

- En los días que se realizó la toma de Datos, se pudo determinar, que los valores obtenidos varían acorde a la variación climática, es decir a la irradiación solar presente en ese momento, ya que este es factor fundamental para obtener medianas y altas temperaturas.
- En los días de prueba el colector solar alcanzó una eficiencia instantánea promedio del 52,26%, con un calor útil promedio de 312,52 W. Así observamos que el modelo matemático propuesto para la construcción cumple con lo determinado en el CAPÍTULO III “DISEÑO-CÁMARAS DE REACCIÓN”, donde se obtuvo una eficiencia instantánea de 52,63% y un calor útil de 371,09W.
- El sistema del colector solar tipo lente de Fresnel si cumple ya que la eficiencia óptica es del 52,9% es mayor a la eficiencia experimental instantánea de 52,26%, como se determinó en el CAPÍTULO III “DISEÑO-CÁMARAS DE REACCIÓN”.
- El intercambiador de calor llegó a tomar en los días de prueba una eficiencia promedio de 67% y máxima del 84%, así observamos que el diseño interpretado para la construcción en el CAPÍTULO III “DISEÑO-INTERCAMBIADOR DE CALOR”, cumple con lo esperado obteniendo como resultados máximos experimentales de 58,3°C para el fluido frío en este caso el agua y 65°C para el fluido caliente en este caso el aceite térmico OIL 10.
- En el sistema de la cámara de reacción el aceite con fluido estático llega a tomar una temperatura de 110°C y con fluido continuo 65°C como temperaturas máximas, en nuestro sistema del colector solar el flujo continuo es el más favorable para la transferencia de calor en fluidos cruzados no mezclados.

- La placa absorbente de la cámara de reacción al ser pintada de negro mate absorbe de mejor manera la radiación directa y conserva el calor ganado haciendo que las pérdidas sean mínimas.
- El espesor máximo de la placa absorbente en la cámara de reacción es de 3mm para obtener una buena transferencia de calor con respecto de la placa al fluido.
- La dispersión en las gráficas de eficiencia del colector solar tipo lente de Fresnel se debe a las condiciones que ese expone el sistema al estar en contacto con el ambiente, las variables influyentes en la producción de calor son la variación de la irradiación en el día y la nubosidad.
- El volumen de aceite térmico se de 4,52 litros para abastecer al sistema completamente.

VI. REFERENCIAS

- I. Cengel. (2007). Factor de Visión. En Y. Cengel, *Transferencia de calor* (pág.609). México DF: McGraw-Hill.
- II. *Cientificosaficionados*. (2014). Obtenidos de <http://www.cientificosaficionados.com> ,Desensa-Ecuador.
- III. Guasumba, I. J. (2010). Hidroconversion de la radiacion solar para aplicaciones termicas de alta temperatura sin emision de sustancias contaminantes. 2.
- IV. Guasumba, J. (2009). Calentamineto por convección natural. *Artículo científico*, 25-89.
- V. Jutglar, L. (2004). *Energía Solar*. Ediciones Ceac.
- VI. PITTS, D. R., & SISSOM, L. E. (1980). *Transferencia de Calor*. Bogotá, Colombia: ANDES.
- VII. Rodríguez, M. O. (2003). *Energías Renovables*. Madrid-ESPAÑA: 2000 Paraninfo
- VIII. WILSON. (1982). *WILSON, La Energía Solar*.
- IX. NASA 2015 (s.f.). Obtenido de <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/>
- X. Aislacon.(s.f.). Obtenido de www.aislacom.com.ar 507:2009, N. I.
- XI. Aislacom. (s.f.). Obtenido de <http://www.aislacom.com.ar>
- XII. *Campodocs*. (2014). Obtenido de <http://www.campodocs.com>
- XIII. Gutierrez, J. C. (2004). *Energía Solar*. Obtenido de Colectores Solares planos: <http://www2.uacj.mx/publicaciones/colectores1.pdf>
- XIV. Shigley, J., (2002), *Diseño de Ingeniería Mecánica*, McGraw Hill, Sexta Edición , México D.F.
- XV. Larburu, N.(1998), *Prontuario de Maquinas Herramientas*, Decima Edicion, Paraninfo, Madrid
- XVI. SKF(1987), *Catalogo General*, impreso en Alemania por Carl Gerber
- XVII. Bohman, I. (2014), *Aceros Especiales*, Guayaquil-Ecuador

LINK: <https://mega.co.nz/#!Iwg12b7I!wdFUgJMmUbW6mYgA9L2ME6mQI0JGVEAoyUI3I723qjU>