


**UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA
FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO**

Nº DE RADICACIÓN: _____

INFORMACIÓN EJECUTORES

Ejecutor 1

Nombre (s):	Esteban Alejandro	
Apellido (s):	Galvis Alfonso	
Código:	2052375001	
E-mail:	estebangalvis9204@hotmail.es	
Teléfono fijo:	6088697	
Celular:	3123163079	

Ejecutor 2

Nombre (s):	Jorge Andrés	
Apellido (s):	Cifuentes Rueda	
Código:	20152375007	
E-mail:	dkj42@hotmail.com	
Teléfono fijo:	7027924	
Celular:	3204118333	

INFORMACIÓN DEL PROYECTO

Título del Proyecto:	Diseño de un módulo de captación solar como componente de una chimenea solar inclinada	
Duración (estimada):	5 meses	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	<input checked="" type="checkbox"/>
	Prestación y Servicios Tecnológicos	<input type="checkbox"/>
	Otro	<input type="checkbox"/>
Modalidad del Trabajo de Grado:	Monografía	
Línea de Investigación de la Facultad*:	Desarrollo tecnológico local e institucional	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	Conversión de energía y mecánica de fluidos	
Grupo de Investigación:	Energías alternativas GIEAUD	
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	Transferencia de calor, Termodinámica	

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Director: (Vo. Bo.)	
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)	
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)	

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	1
0. INTRODUCCIÓN	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1 ESTADO DEL ARTE	3
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	5
2. OBJETIVOS	6
2.1 OBJETIVO GENERAL	6
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
3. MARCO TEÓRICO	6
4. METODOLÓGICO	17
5. CRONOGRAMA	17
6. PRESUPUESTO	18
7. BIBLIOGRAFÍA	19

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1: Recinto cerrado rectangular inclinado con superficies isotérmicas.	11
Fig. 2: Partes de un colector solar	14

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Ángulos críticos para recintos cerrados rectangulares inclinados	12
Tabla 2: Diagrama de Gantt.	17
Tabla 3: Tabla de presupuesto	18

RESUMEN

En este documento se presentan las pautas y los procedimientos para el estudio sobre un método de un sistema pasivo, basado en el principio de funcionamiento de una chimenea solar, determinando parámetros de diseño y variables que se presentan en un sistema de ventilación natural, sus características más viables y realizar un módulo de captación solar que permita realizar pruebas, verificar y comparar datos teóricos con los reales, para esto se tendrán en cuenta las piezas actuales de una casa y se compararan con los elementos tradicionales de un captador solar, para realizar un análisis de eficiencia energética en función de la irradiación solar y ángulo de incidencia.

0. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo identifica la necesidad de realizar un estudio teórico y práctico de un sistema termodinámico de un captador solar como componente de una chimenea solar con la función de mover aire generando ventilación natural; debido a que en la actualidad dentro del proceso constructivo de edificaciones se recomienda que estas terminen en cubierta (utilización de tejado), el proyecto plantea diseño un componente modular de este sistema termodinámico para que se pueda implementar no solo como cubierta para edificaciones sino también para ambientarla de forma pasiva.

En el documento se plantean establecer los parámetros de diseño para los componentes que intervienen en el captador solar; además evaluar modelos teóricos que describan la transferencia de calor del diseño con el propósito de generar un componente modular para toma de datos y posterior análisis, determinando el comportamiento energético mediante el cálculo de eficiencia energética en función de la irradiación solar y ángulo de incidencia con la finalidad de justificar el usos de esos sistemas termodinámicos en el proceso constructivo de edificaciones.

También se evidencia la metodología a usar como parte de procesos que se entrelazan entre ellos, que permiten justificar una secuencia lógica de sucesos que busca el desarrollo adecuado de actividades para cumplir con el objetivo planteado, así se expone en el Diagrama de Gantt, que indica la duración de cada actividad y las restricciones que existen entre ellas, para que se cumpla de manera correcta.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad en el proceso constructivo de edificaciones es de suma importancia aprovechar fuentes renovables de energía y minimizar el uso de combustibles fósiles y gastos en equipos de calefacción o refrigeración que dan soluciones de climatización utilizados para ventilar o controlar condiciones ambientales dentro de estos, de esta manera se pretende estudiar la posibilidad de implementar un captador solar como componente de una chimenea solar inclinada con la finalidad de desplazar aire dentro de un recinto generando una ventilación natural. La viabilidad de este sistema solar para uso en edificaciones depende de la eficiencia térmica y potencial esperados, material del colector, condiciones ambientales, pérdidas con el ambiente, área y fluido de trabajo entre otras.

Dado que para el proceso constructivo de edificaciones se recomienda que éstas terminen en la parte superior con tipo cubierta o con algún tipo de impermeabilizante, esto para garantizar que la edificación no se vea afectada por cuestiones ambientales como la lluvia que genera problemas de humedad o como cambios bruscos en la temperatura que pueden llegar a modificar las propiedades mecánicas y físicas de la parte superior de la edificación si esta termina en placa o plancha de concreto.

Por esta razón se pretende realizar un estudio teórico y práctico de un sistema termodinámico implementando captadores solares de placa plana utilizando materiales usados para la fabricación de tejas para implementar de forma modular que se puedan utilizar como cubierta en el proceso constructivo de edificaciones y que además le brinden la posibilidad de que se genere una ventilación de forma natural mediante el principio de funcionamiento de una chimenea solar determinando el comportamiento energético del módulo constructivo mediante el cálculo de eficiencia energética en función de la irradiación solar y ángulo de incidencia.

1.1. ESTADO DEL ARTE

Debido a que los últimos años ha crecido el interés de hacer uso de fuentes de energía renovables que buscan dar solución a necesidades del ser humano sin afectar el medio ambiente y de forma eficiente. A partir de esto se presentan investigaciones sobre sistemas pasivos y de ventilación natural mediante la implementación de la chimenea solar, podemos encontrar que estas se enfocan al cálculo matemático, diseños a escala y simulación o modelado en programas informáticos.

Hay diversas fuentes bibliográficas que se pueden tener en cuenta, como la información suministrada por autores como J. C. León Vázquez [1], que realiza una revisión de diversos autores para implementar teorías y prácticas experimentales que le ayudan a definir parámetros de diseño y realizar un modelo con características específicas y en función de la variable de velocidad del aire, analizando la eficiencia del dispositivo en relación a la combinación de diversos componentes de la chimenea solar, además sustentado mediante la simulación en software y comparación de datos teóricos y prácticos; en este trabajo toma autores como N. K. Bansal [2] et al, que enfoca el estudio a plantear modelos matemáticos para predecir variables como velocidad de flujos de aire, temperatura del captador a partir de una chimenea de dimensiones establecidas por el autor y llevando a cabo tres combinaciones diferentes de espacio de aire y tamaño de la abertura de entrada para la entrada de aire en la chimenea, realizando la respectiva comparación entre los valores calculados y los obtenidos desde lo experimental.

En cuanto a la parte de realización de prototipos y modelos a escala encontramos autores como J. Arce [3] et al, analizan el comportamiento térmico de la chimenea solar de manera experimental tomando en cuenta variables como temperatura interior y exterior, humedad, velocidad de viento y coeficiente de salida; por otro lado H. Espinoza [4] et al, se centran en la parte de modelado del comportamiento térmico y fluidodinámico a partir de un modelo físico existente ubicado en una zona tropical y análisis por elementos finitos tomando como datos de entrada, la temperatura ambiental e irradiación solar y otras medidas de manera práctica teniendo en cuenta condiciones ambientales.

Dado que este trabajo busca la implementación de un colector solar de placa plana con principio de funcionamiento de chimenea solar, es importante revisar trabajos donde se realicen modificaciones a la chimenea solar y también investigaciones relacionadas con colectores solares. M. Condorí [5] et al, implementa una modificación que busca facilitar la implementación según sea la aplicación de un extractor eólico de aire a la salida de la chimenea, realiza un estudio analítico y computacional para determinar velocidad y temperatura

considerando variación de la densidad del aire con la temperatura y humedad absoluta, determina distintos coeficientes de convección utilizando correlaciones con el número de Nusselt específico para la superficie exterior, la convección natural entre la cubierta y la placa, y finalmente la transferencia de calor entre el conducto y el aire que hace por el interior de la chimenea. Otra de las investigaciones donde se utiliza el principio de funcionamiento de chimenea solar lo presenta G. Duran [6] et al, en el trabajo, presenta el diseño y la construcción de una chimenea solar que por medio de convección natural utilizándolo como secador por medio de un captador parabólico con absorbedor tubular para elevar la temperatura de salida del aire asegurando un flujo continuo y realización de pruebas mediante el prototipo para analizar resultados.

En investigación de captadores solares, encontramos autores como A. Ávila [7] et al, A. Hernández [8] et al; que se enfocan a la evaluación energética de colectores solares, [7] establece la incidencia entre la longitud y ancho de un colector de área constante sobre la eficiencia térmica de un colector de doble cubierta transparente para el calentamiento de aire; la investigación la realiza en dos instancias, modelo matemático, realizando el balance de energía del colector y toma de datos de manera experimental como temperatura, radiación solar y flujo másico de aire en diversos tiempos y con estos determinar el rendimiento del colector, encontrando que el modelo teórico se ajusta de manera aceptable con los resultados experimentales. El autor [8] presenta el diseño y evaluación térmica de un colector solar que calienta aire mediante una placa colectora formada por una chapa con perforaciones a través de las cuales fluye el aire a medida que se calienta; esta investigación se realizó mediante toma de datos de manera experimental y partir de estos realiza el cálculo de la eficiencia del montaje. Por otra parte P. Bravo [9] et al, presentan metodologías de manera experimentales para la evaluación de colectores solares para uso principalmente para calentamiento de agua. Se centra en parámetros como eficiencia de conversión, coeficiente global de pérdidas térmicas, eficiencia óptica, la fracción solar, eficiencia técnica, grado de utilización y curvas de variación térmica.

Como podemos observar, hay diversas fuentes de ayuda que permiten ver de forma generosa como se está trabajando las investigaciones alrededor de la ventilación natural mediante el uso de chimenea solar, modificaciones de este principio de funcionamiento, algunos usos de colectores solares, evaluaciones y metodologías usadas; principios de determinación de eficiencia térmica y viabilidad de realizar este tipo de proyectos de investigación.

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La ventilación ha representado un elemento fundamental para el confort en cualquier edificación, determinando que es un factor relevante en el proceso de diseño y construcción; la chimenea solar es una de las técnicas que se deben estudiar debido que su uso puede ser versátil para la climatización natural de espacios; son sistemas pasivos que son amigables con el medio ambiente que buscan en gran manera una eficiencia que suplan las necesidades de climatización o ventilación y ahorro en el consumo energético; al igual que otros sistemas la eficiencia térmica depende en gran medida del entorno donde se implemente, materiales con que estén contruidos, áreas y fluidos de trabajo; de este modo es de gran importancia realizar tanto un estudio teórico del comportamiento de estos sistemas termodinámicos y el diseño de un módulo de captación solar como componente de una chimenea solar inclinada que justifique la implementación de estos sistemas en residencias o espacios específicos determinando el comportamiento energético mediante la eficiencia en función de la irradiación solar y ángulo de incidencia del sistema.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un módulo de captación solar como componente de una chimenea solar inclinada.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer los parámetros de diseño de los componentes principales que intervienen en el captador solar como componente de una chimenea solar inclinada.
- Determinar modelos teóricos que describan la transferencia de calor del componente modular a diseñar.
- Analizar y comparar datos obtenidos del módulo constructivo del captador solar inclinado con los teóricos.
- Determinar el comportamiento energético del módulo constructivo mediante el cálculo de eficiencia energética en función de la irradiación solar y ángulo de incidencia.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 CHIMENEA SOLAR

Es un sistema pasivo generador de movimiento de aire, siendo su motor principal la radiación solar; fundamentalmente es una torre vertical hueca con una columna de aire fluyendo hacia el exterior por su extremo superior; al estar adosada a una habitación por medio de un hueco inferior el aire interior de la habitación reemplaza al de la chimenea generando este movimiento de aire; y de manera sucesiva por medio de un hueco en el extremo opuesto de la habitación el aire exterior penetra dentro de la habitación, generando un flujo de aire a través de estos volúmenes. [1]

3.1.1 EFECTO CHIMENEA

El movimiento de aire producido por el efecto chimenea ocurre cuando las diferencias de temperatura causan diferencias de densidad en el aire y provocan diferencias de presión entre el interior y el exterior. [10]

Al modificar su densidad el aire más caliente tiende a elevarse y el más frío a reemplazar el vacío provocado por este desplazamiento. [1]

3.2 CONDUCCIÓN [11]

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. En los gases y líquidos la conducción se debe a las colisiones y a la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio. En los sólidos se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una red y al transporte de energía por parte de los electrones libres.

La rapidez o razón de la conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de éste, su espesor y el material de que está hecho, así como de la diferencia de temperatura a través de él.

3.2.1 LEY DE FOURIER DE LA CONDUCCIÓN DEL CALOR

La conducción térmica está determinada por la ley de Fourier, que establece que el flujo de transferencia de calor por conducción en un medio isótropo es proporcional y de sentido contrario al gradiente de temperatura en esa dirección.

La ecuación de conducción de calor está dada por:

$$\dot{Q}_{Cond} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad [W]$$

Donde:

\dot{Q}_{Cond} ; Transferencia de calor por conducción en [W]
 k ; Constante de conductividad termica del material en [W/mK]
 A ; Área de tranferencia de calor [m²]
 ΔT ; Diferencia de temperaturas de un lado a otro [K]
 Δx ; Espesor o longitud del material [m]

En el caso límite de $\Delta x \rightarrow 0$, la ecuación que acaba de darse se reduce a la forma diferencial:

$$\dot{Q}_{Cond} = -kA \frac{dT}{dx} \quad [W]$$

3.3 CONVECCIÓN [11]

La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacente que está en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. En ausencia de cualquier movimiento masivo de fluido, la transferencia de calor entre una superficie sólida y el fluido adyacente es por conducción pura. La presencia de movimiento masivo del fluido acrecienta la transferencia de calor entre la superficie sólida y el fluido, pero también complica la determinación de las razones de esa transferencia.

A pesar de la complejidad de la convección, se observa que la rapidez de la transferencia de calor por convección es proporcional a la diferencia de temperatura y se expresa en forma conveniente por la ley de Newton del enfriamiento como:

$$\dot{Q}_{Conv} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad [W]$$

Donde h es el coeficiente de transferencia de calor por convección, en W/m²K, A_s es el área superficial a través de la cual tiene lugar la transferencia de calor por convección, T_s es la temperatura de la superficie y T_∞ es la temperatura del fluido suficientemente alejado de esta superficie. Note que en la superficie la temperatura del fluido es igual a la del sólido. El coeficiente de transferencia de calor por convección h no es una propiedad del fluido. Es un parámetro que se determina en forma experimental y cuyo valor depende de todas las variables que

influyen sobre la convección, como la configuración geométrica de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido, las propiedades de éste y la velocidad masiva del mismo.

3.3.1 NÚMERO DE NUSSELT

En los estudios sobre convección, es práctica común quitar las dimensiones a las ecuaciones que rigen y combinar las variables, las cuales se agrupan en números adimensionales, con el fin de reducir el número de variables totales. También es práctica común quitar las dimensiones del coeficiente de transferencia de calor h con el número de Nusselt, que se define como el coeficiente adimensional de transferencia de calor por convección y esta dado por:

$$Nu = \frac{hL_c}{k}$$

Donde k es la conductividad térmica del fluido y L_c es la longitud característica. El número de Nusselt representa el mejoramiento de la transferencia de calor a través de una capa de fluido como resultado de la convección en relación con la conducción a través de la misma capa. Entre mayor sea el número de Nusselt, más eficaz es la convección. Un número de Nusselt de $Nu=1$ para una capa de fluido representa transferencia de calor a través de ésta por conducción pura.

3.3.2 CONVECCIÓN NATURAL SOBRE SUPERFICIES

La transferencia de calor por convección natural sobre una superficie depende de la configuración geométrica de ésta así como de su orientación. También depende de la variación de la temperatura sobre la superficie y de las propiedades termofísicas del fluido que interviene. Aun cuando comprendemos bien el mecanismo de la convección natural, las complejidades del movimiento del fluido hacen que sea muy difícil obtener relaciones analíticas sencillas para la transferencia de calor mediante la resolución de las ecuaciones que rigen el movimiento y la energía. Existen algunas soluciones analíticas para la convección natural, pero carecen de generalidad, ya que se obtienen para configuraciones geométricas simples con algunas hipótesis simplificadoras. Por lo tanto, con la excepción de algunos casos simples, las relaciones de transferencia de calor en la convección natural se basan en estudios experimentales. Del numeroso grupo de esas correlaciones, de complejidad variable y de proclamada exactitud de las que se dispone en la literatura para cualquier configuración geométrica dada, aquí presentamos las que se conocen mejor y que se usan con más amplitud. Las correlaciones empíricas sencillas para el número promedio de Nusselt Nu en la convección natural son de la forma:

$$Nu = \frac{hL_c}{k} = C(Gr_L Pr)^n = CRa_L^n$$

En donde Ra_L es el número de Rayleigh, el cual es el producto de los números de Grashof y de Prandtl; que es el producto del número de Grashof, que describe la relación entre flotabilidad y viscosidad dentro del fluido, y el número de Prandtl, que describe la relación entre la difusividad de la cantidad de movimiento y la difusividad térmica.

Las correlaciones de la transferencia de calor por convección natural suelen expresarse en términos del número de Rayleigh elevado a una constante n y multiplicado por otra constante C , las cuales se determinan en forma experimental.

3.3.3 CONVECCIÓN NATURAL DENTRO DE RECINTOS CERRADOS

Una parte considerable de la pérdida de calor de una residencia típica ocurre a través de las ventanas. Si pudiéramos, aislaríamos las ventanas para conservar energía. El problema es hallar un material aislante que sea transparente. Un examen de las conductividades térmicas de los materiales aislantes revela que el aire es un mejor aislador que la mayor parte de esos materiales. Además, es transparente. Por lo tanto, tiene sentido aislar las ventanas con una capa de aire. Por supuesto, necesitamos usar otra lámina de vidrio para atrapar el aire. El resultado es un recinto cerrado, el cual se conoce como ventana de hoja doble. Otros ejemplos de recintos cerrados incluyen las cavidades en las paredes, los colectores solares y las cámaras criogénicas que contienen cilindros o esferas concéntricos.

En la práctica los recintos cerrados se encuentran con frecuencia y la transferencia de calor a través de ellos tiene un interés práctico. La transferencia de calor en los espacios cerrados se complica por el hecho de que, en general, el fluido en el recinto cerrado no permanece inmóvil. En un recinto cerrado vertical el fluido adyacente a la superficie más caliente sube y el adyacente a la más fría baja, estableciendo un movimiento de rotación dentro del recinto que mejora la transferencia de calor a través de él.

El número de Rayleigh para un recinto cerrado se determina a partir de:

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_1 - T_2)L_c^3}{\nu^2} Pr$$

En donde la longitud característica L_c es la distancia entre las superficies caliente y fría, y T_1 y T_2 son sus temperaturas, respectivamente. Todas las propiedades del fluido deben evaluarse a la temperatura promedio del mismo.

3.3.4 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA EFECTIVA

Cuando se conoce el número de Nusselt la razón de la transferencia de calor a través del recinto cerrado se puede determinar por medio de:

$$\dot{Q} = hA_s(T_1 - T_2) = kNuA_s \frac{T_1 - T_2}{L_c}$$

El fluido en un recinto cerrado se comporta como un fluido cuya conductividad térmica es kNu como resultado de las corrientes de convección. Por lo tanto, la cantidad kNu se llama conductividad térmica efectiva del recinto; es decir:

$$k_{ef} = kNu$$

3.3.5 RECINTOS CERRADOS RECTANGULARES INCLINADOS

Los espacios de aire entre dos placas paralelas inclinadas se encuentran por lo común en los colectores solares de placa plana (entre la cubierta de vidrio y la placa de absorción) y en los tragaluces de hoja doble en los techos inclinados. La transferencia de calor a través de un espacio cerrado inclinado depende de la proporción dimensional, H/L , así como del ángulo de inclinación θ con respecto a la horizontal (figura 1).

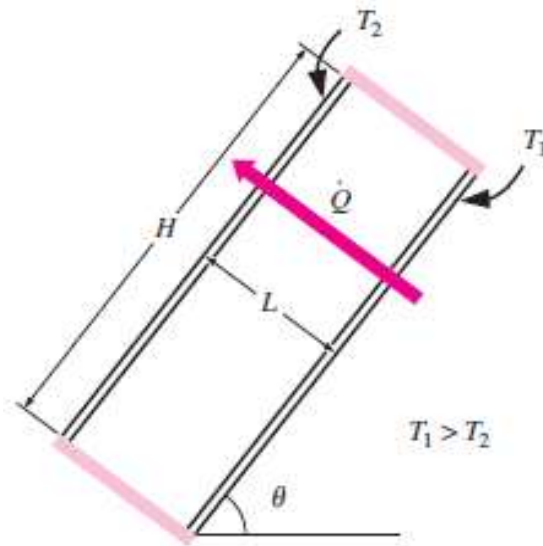


Fig. 1: Recinto cerrado rectangular inclinado con superficies isotérmicas.

Tomado de Transferencia de Calor y Masa 4ta Edicion Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar.

Para proporciones dimensionales grandes ($H/L < 12$), esta ecuación [Hollands et al., 1976] correlaciona extremadamente bien los datos experimentales para ángulos de inclinación hasta de 70° .

$$Nu = 1 + 1.44 \left[1 - \frac{1708}{Ra_L \cos \theta} \right]^+ \left(1 - \frac{1708 (\sin 1.8 \theta)^{1.6}}{Ra_L \cos \theta} \right) + \left[\frac{(Ra_L \cos \theta)^{1/3}}{18} - 1 \right]^+$$

Para $Ra_L < 10^5$, $0 < \theta < 70^\circ$ y $H/L \geq 12$. Una vez más, cualquier cantidad en $[\]^+$ debe de igualarse a cero si es negativa. Esto es para garantizar que $Nu=1$ para $Ra_L \cos \theta < 1708$. Para los recintos cerrados con proporciones dimensionales más pequeñas ($H/L < 12$), se puede usar la correlación siguiente siempre que el ángulo de inclinación sea menor que el valor crítico θ_{cr} cuya lista se da en la tabla 1 [Catton (1978)].

$$Nu = Nu_{\theta=0^\circ} \left(\frac{Nu_{\theta=90^\circ}}{Nu_{\theta=0^\circ}} \right)^{\theta/\theta_{cr}} (\sin \theta_{cr})^{\theta/(4\theta_{cr})} \quad 0^\circ < \theta < \theta_{cr}$$

Proporción dimensional H/L	Ángulo crítico θ_{cr}
1	25°
3	53°
6	60°
12	67°
>12	70°

Tabla 1: Ángulos críticos para recintos cerrados rectangulares inclinados
Tomado de Transferencia de Calor y Masa 4ta Edición Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar.

Se puede obtener el número de Nusselt para ángulos de inclinación mayores que el valor crítico ($\theta_{cr} < \theta < 90^\circ$) al multiplicar el número correspondiente a un recinto cerrado vertical por $(\sin \theta)^{1/4}$ [Ayyaswamy y Catton (1973)].

$$Nu = Nu_{\theta=90^\circ} (\sin \theta)^{1/4} \quad \theta_{cr} < \theta < 90^\circ, \text{ cualquier } H/L$$

3.3.6 CONVECCIÓN NATURAL Y RADIACIÓN COMBINADAS

Los gases son casi transparentes para la radiación y, como consecuencia, la transferencia a través de una capa de gas es por convección (o conducción, si el gas está inmóvil) y radiación simultáneas. Típicamente los coeficientes de transferencia de calor por convección natural son muy bajos en comparación con los correspondientes a la convección forzada. Por lo tanto, en los problemas de convección forzada suele descartarse la radiación, pero debe considerarse en los problemas de convección natural en donde interviene un gas. En especial, éste es el caso para las superficies con emisividades elevadas. Por ejemplo, cerca de la mitad de la transferencia de calor a través del espacio de aire de una ventana de hoja doble es por radiación. La razón total de la transferencia de calor se determina sumando las componentes por convección y por radiación.

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{rad}$$

La transferencia de calor por radiación desde una superficie a la temperatura T_s rodeada por superficies a una temperatura T_{alred} (ambas en la unidad K de temperatura absoluta) se determina a partir de:

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{alred}^4) \quad [W]$$

Donde ε es la emisividad de la superficie, A_s es el área superficial y $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$ es la constante de Stefan-Boltzmann.

Cuando los efectos en los extremos son despreciables, la transferencia de calor por radiación entre dos placas paralelas grandes que se encuentran a las temperaturas absolutas T_1 y T_2 se expresa como:

$$\dot{Q}_{rad} = \frac{\sigma A_s (T_s^4 - T_{alred}^4)}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1} = \varepsilon_{efectiva} \sigma A_s (T_s^4 - T_{alred}^4) \quad [W]$$

En donde ε_1 y ε_2 son las emisividades de las placas y $\varepsilon_{efectiva}$ es la efectiva definida como:

$$\varepsilon_{efectiva} = \frac{1}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1}$$

3.4. COLECTORES TÉRMICOS SOLARES

Dispositivo en el que tiene lugar la transferencia de la energía calorífica solar al fluido que circula por el colector [12]. Existen dos tipos de colectores son el colector plano y el colector de concentración según su uso y propósitos, por ejemplo: el autor hace énfasis en que el colector plano capta la suma de energía directa de la difusa tiene una sola orientación y la temperatura es menor a 90° , por su parte el colector de concentración solo absorbe la energía directa, se orienta directamente al sol y las temperaturas son mayor a 90° .

A continuación se expone los elementos que forman de un colector solar, así.

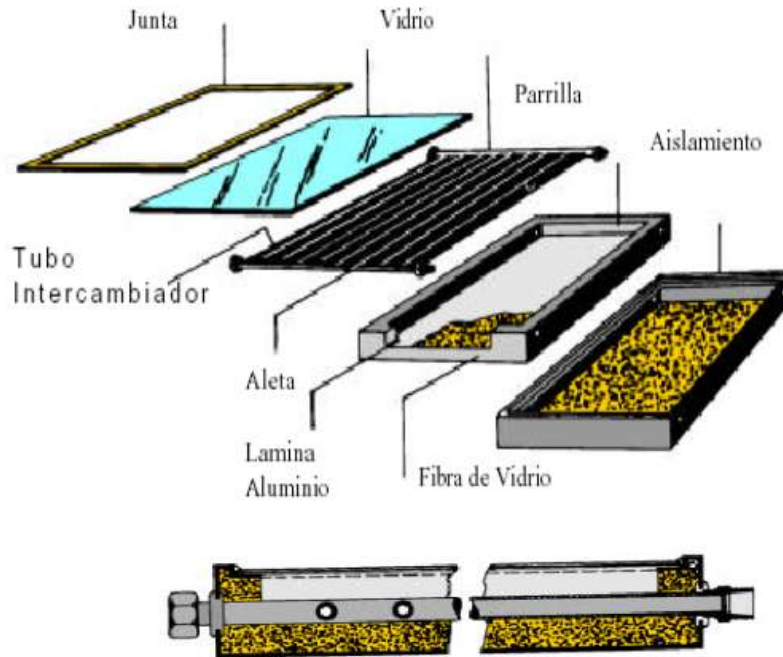


Fig. 2: Partes de un colector solar

Tomado de <https://www.uclm.es/profesorado/ajbarbero/FAA/Solar%20termica2.pdf>

En la figura 2, se pueden apreciar las partes principales de un colector solar que se utiliza para transferir energía en forma de calor, al agua para el aumento de su temperatura, por medio del vidrio como principal herramienta para lograr obtener la energía directa y difusa del sol.

3.4.1. MATERIAL VIDRIADO

Entre las ventajas que poseen este material en el uso de los colectores solares tenemos [13]:

- Maximizar la entrada de calor y disminuir la salida, creando un efecto invernadero que ayudará a aprovechar mejor la energía tomada del sol.
- Reflejar la menor cantidad de radiación posible y absorber la mínima posible en su interior.
- Vida útil prolongada y deber ser robusto para soportar condiciones climáticas: lluvia, granizo, etc.
- El vidrio debe dejar ingresar el 90% de la irradiación incidente y no dejar pasar la radiación de onda larga.

3.4.2. TRANSMITANCIA

La transmitancia térmica se define como [14] la cantidad de energía en forma de calor que atraviesa un cuerpo en cierta unidad de tiempo, en colectores solares planos es la diferencia térmica, esta diferencia constituye la transmitancia térmica del cuerpo, al igual la transmitancia térmica es la inversa de la resistencia térmica.

$$U = \frac{W}{s * K}$$

Dónde:

U; Transmitancia termica [W/m²K]
k; Potencia calorifica del sistema [W]
S; Área de transferencia de calor [m²]
K; Diferencia de temperaturas de un lado a otro [K]

3.4.3. ABSORBANCIA

Se define como la parte de luz que puede un cuerpo absorber, cuando un haz de lo atraviesa, a mayor cantidad de luz absorbida, mayor será la absorbancia del cuerpo, que se entiende por medio de la siguiente ecuación [14]:

$$A_{\lambda} = -\text{Log}_{10}(l/l_0)$$

Dónde:

A_λ; Absorbancia termica
l; Intensidad de luz que pasa por la muestra
l₀; Intensidad de luz incidente

También la Ley de Bourguer, propone que la absorción es proporcional a la distancia viajada por el rayo en el medio y se expresa como:

$$dI = Ikdx$$

Dónde:

k; es el coeficiente de extinción

3.4.4. PLACA COLECTORA O ABSORBEDORA

La placa colectora o absorbedora es la encargada de las siguientes funciones [13]:
:

- Encargada de transmitir el calor al fluido de trabajo
- Debe absorber bastante calor y emitir lo menos posible
- No conviene que sea demasiado fino (deformaciones térmicas altas y área de conducción baja), se suele usar láminas de cobre de 0,2mm

Los materiales que se suelen utilizar son [13]: cobre, aluminio, acero; que tienen alta absorptividad y baja emisividad, también el acero con un menor uso y susceptibles a la corrosión.

4. METODOLOGÍA

Para empezar se realizarán cálculos que permitirán establecer los parámetros de diseño para realizar el componente modular, determinando un modelo teórico que describa la transferencia de calor del diseño a realizar para posteriormente tomar datos.

En los cálculos se tendrán en cuenta todos los conceptos sobre transferencia de calor y captadores solares de placa plana, determinado también el absorbente adecuado para el componente modular, posteriormente obteniendo los parámetros de diseño, se realizará una simulación en software de elementos finitos, que permitirá simular el sistema termodinámico y verificar primeros datos teóricos con datos simulados, seguido, se realizará el diseño del componente modular de captación solar como componente de una chimenea solar inclinada, con un área mínima de 1m², para realizar pruebas con ayuda de instrumentos de medición verificando el potencial y eficiencia para compararlo con los datos teóricos, para concluir con un análisis de los datos recopilados.

5. CRONOGRAMA

	Semanas																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Actividad A	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
Actividad B										■	■	■	■	■							
Actividad C															■	■					
Actividad D																	■	■	■		
Actividad E																				■	■

Tabla 2: Diagrama de Gantt. Fuente. Autores

El diagrama de Gantt se realiza con respecto a las siguientes actividades:

- Actividad A: Cálculos para determinar factores de diseño y absorber.
- Actividad B: Simulación en software de elementos finitos.
- Actividad C: Diseño y construcción de componente modular.
- Actividad D: Pruebas para recolección de datos reales.
- Actividad E: Análisis y conclusiones.

6. PRESUPUESTO

El presupuesto será destinado en un 100% al desarrollo del módulo de captación solar ya que los demás elementos serán utilizados como préstamo por parte de la universidad refiriéndonos principalmente a los instrumentos de medición, la tabla de costos se expone, a continuación:

ITEM	DESCRIPCION	CANT	UNIDAD MEDIDA	VALOR
1	Angulo de 2X2X1/4". Material: Inox.	15	m	\$ 60.000,00
2	Teja Eternit. Color gris	1	m2	\$ 50.000,00
3	Drywall. Material: Fibra de vidrio	1	m2	\$ 90.990,00
4	Ductos, Tubo de $\Phi 4$ ". Material: Inox. Calibre: 1/8"	0,6	m	\$ 70.000,00
5	Mano de obra. Soldadura			\$ 350.000,00
	Total			\$ 620.990,00

Tabla 3: Tabla de presupuesto. Fuente. Autores

En el presupuesto, no se tiene en cuenta el absorsor ya que este se define a través del cálculo, al igual que las características de la teja, podrían hacer cambiar los valores descritos en la tabla,

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. C. León Vázquez, “*Parámetros de diseño de la Chimenea Solar*” *Tesina Final de Máster*, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona 2013.
- [2] N. K. Bansal, J. Mathur, S. Mathur, and M. Jain, “*Modeling of window-sized solar chimneys for ventilation*,” *Building and Environment*, vol. 40, no. 10, pp. 1302–1308, Oct. 2005.
- [3] J. Arce, M. J. Jiménez, J. D. Guzmán, M. R. Heras, G. Alvarez, and J. Xamán, “*Experimental study for natural ventilation on a solar chimney*,” *Renewable Energy*, vol. 34, no. 12, pp. 2928–2934, Dic. 2009.
- [4] J. Arce, M. J. Jiménez, J. D. Guzmán, M. R. Heras, G. Alvarez, and J. Xamán, “*Experimental study for natural ventilation on a solar chimney*,” *Renewable Energy*, vol. 34, no. 12, pp. 2928–2934, Dic. 2009.
- [5] M. Condorí, L. Mealla, L. Saravia, “*Estudio y modelización de un nuevo diseño de chimenea solar*” *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 5*, Argentina 2005. ISSN 0329-5184.
- [6] G. Duran, M. Condorí, “*Sistema chimenea-concentrador solar para producir convección natural de aire en un secador doméstico*” *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 8, Nº 1*, Argentina 2004. ISSN 0329-5184.
- [7] A. Ávila, J. Mendoza, J. Beltrán, “*Evaluación energética de un colector solar de placa plana de doble cubierta*” *Artículo científico*, Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Montería (Colombia), Número 27 Enero-junio, 2010. ISSN: 0122-3461.
- [8] A. Hernández, N. Salvo, C. Fernández, H. Suligoy, “*Diseño y evaluación térmica de un colector solar calentador de aire de placa perforada para calefacción de edificios*” *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 12*, Argentina 2008. ISSN 0329-5184.
- [9] P. Bravo, A. Carlos; M. Torres, A. Hugo, “*Métodos experimentales para la evaluación de colectores y termas solares*” *Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna, Tacna – Perú*.
- [10] E. Yarke, “*Ventilación natural de edificios*”, 2005th ed. Buenos Aires, 2005, p. 140.
- [11] Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, “*Transferencia de Calor y Masa*” 4ta Edición, McGRAW-HILL/interamericana editores, 2007. ISBN: 978-607-15-0540-8

[12] Anonimo, “Colector solar” <https://www.uclm.es/profesorado/ajbarbero/FAA/Solar%20termica2.pdf>. Citado el 29 de Octubre de 2016.

[13] Arias, Camilo Andrés. “Colectores térmicos solares planos”. Disponible en <https://sites.google.com/site/stermicos>. Citado el 29 de Octubre de 2016.

[14] González Mónica. “Transmitancia y Absorbancia”. Disponible en <<http://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/transmitancia-y-absorbancia>>. Publicado el 08 de Noviembre de 2010