

Agradecimientos

Agradezco de todo corazón a todas las personas que han contribuido en esta investigación y en este lapso de tiempo ya que muchos me apoyaron en este proceso de educación. Iniciando por Dr. Vicente Flores Lara quien me brindó la oportunidad de realizar mis residencias profesionales, así como aportar un amplio conocimiento para desempeñarme en la vida laboral. Agradezco a mi familia que sin ellos no estaría donde estoy, a mi madre Paula Cocoltzi Conde que me brindó la oportunidad de seguir estudiando, a mi pareja Laura Nayeli Vívias Díaz y a mis hijos que son quienes han estado a lo largo de esta formación y esta investigación. Agradezco a mi familia en general por brindarme su apoyo, tiempo y paciencia.

Agradezco a mis amistades y compañeros de escuela, en especial a mi amiga Areli Ibarra con quien desde inicio de carrera hemos compartido clases y momentos, y porque fue compañera de residencias dentro de la institución.

Agradezco a mi buen amigo y taquero Armando Linares quien me apoyo moralmente y económicamente para continuar con estos últimos meses de carrera.

Agradezco a todos los patrones que he tenido por el futbol, ya que gracias a este deporte y a ellos pude continuar estudiando.

Agradezco a Dios por brindarme el poder conocer a estas personas, ya que el día a día convivio con ellas y alimentan mi ser y el poder seguir adelante con mis metas.

Índice

Resumen	3
Introducción.....	4
Hipótesis	5
Planteamiento del Problema.....	6
Justificación.....	6
Estado de la Técnica	7
Marco Teórico	12
Conductos de Aire	12
Presión	12
Ganancias o pérdidas de calor	13
Metodología.....	13
Resultados y Análisis	16
Observaciones	31
Conclusión.....	32
Referencias	33

Resumen

El presente trabajo trata sobre el análisis y comparación de dos modelos de calentadores solares de aire, con objetivo de poder llevarlos a su aplicación en procesos térmicos de calefacción. Mediante métodos experimentales, así como recolección de datos y estadística se determinó la eficiencia de cada calentador solar de aire. El experimento fue aplicado en el Tecnológico Nacional de México “campus Apizaco” municipio Tzompantepec perteneciente al estado de Tlaxcala.

La experimentación se llevó a cabo en un espacio abierto, al aire libre con el fin de obtener datos reales expuestos al clima o en este caso a la radiación solar.

Para la experimentación se le aplicó una ventilación forzada por medio de ventiladores que tenían dos velocidades; una de 3.3m/s y la otra de 3.9m/s la cual se hace pasar por los conductos los cuales es la diferenciación entre un calentador solar de aire y otro debido a que uno cuenta con conductos de geometría circular, mientras que el otro cuenta con conductos de geometría cuadrada.

Las mediciones que se realizaron durante esta investigación cuantitativa se muestra por medio de graficas las cuales se graficó principalmente la temperatura de entrada a la que el viento se forzaba y después se presentan las gráficas de temperatura de viento a la salida de los calentadores.

Con base a las temperaturas de entrada y salida se tiene una diferencia de temperatura, así como tomando en cuenta densidad de aire, caudal y flujo másico se tiene el calor útil que genera cada calentado y este está dado en J/s.

Con esto podemos determinar cuál es más eficiente.

Se llegó a la conclusión que el calentador solar de aire de geometría cuadrada alcanza una mayor temperatura que el de geometría circular.

Objetivo General.

Evaluar el desempeño de sistemas solares de calentamiento de aire para su posible aplicación en procesos térmicos de calefacción mediante métodos experimentales.

Objetivos Específicos.

- Adaptar los sistemas solares de calentamiento de aire mediante su modificación estructural del equipo para operarlos de forma experimental.
- Instrumentar el sistema experimental para el registro de datos que determinen el desempeño del equipo
- Realizar pruebas experimentales bajo diferentes condiciones de operación y climáticas para su caracterización
- Analizar los calentadores solares de aire para evaluar el desempeño y comparar individual y comparativo entre dos conductos de diferente forma geométrica.

Introducción

El proceso térmico es el calentamiento de alimentos por medio de vapor de agua saturado o agua caliente a sobrepresión, en forma continua o discontinua, con el fin de destruir los microorganismos a través del calor.

El calentador solar de aire es un dispositivo con el cual, por medio de una inducción forzada de viento a temperatura ambiente, se obtiene a la salida una temperatura de viento superior a la del medio ambiente y con ello se realiza el proceso de calefacción en habitaciones, departamentos, bodegas o espacios que se necesite de un flujo constante de aire con temperatura superior a la del medio ambiente.

Existe una amplia aplicación tales como:

Sector alimenticio. Por medio de la calefacción se puede guardar diferentes granos de la región como lo son el maíz, haba frijol entre otros. También es utilizado para bodegas o almacenes de frutos secos, así como chiles secos, harina, todo producto que necesite estar en lugares secos para su perduración.

En el sector de materiales de construcción podemos encontrar yeso, cal y cemento los cuales al entrar contacto con algo de humedad reaccionan los químicos y con ello pierde sus propiedades para su uso.

Otro sector es en el de guardado de alimentos para ganado o mascotas, en este caso sales, minerales, mezclas de alimentos y todos los alimentos que se encuentran en una veterinaria o distribuidora de alimentos.

El presente trabajo trata de las técnicas de medición y análisis para poder calcular la eficiencia de los calentadores solares, así como una comparativa una geometría de conducto con otra, pero para ello debemos conocer a detalle todo lo que tiene que ver con flujo de aire, transferencia de calor y temperaturas.

La importancia del trabajo radica en realizar la experimentación por medio de mediciones poniéndolo en función ante el clima que se presente día a día.

La figura 1 se refiere a la convección es la transferencia de calor mediante una corriente; sucede en un líquido o en un gas. El aire cercano a la Tierra es calentado por el calor que irradia la superficie terrestre. El aire caliente es menos denso y, por lo tanto, asciende. A medida que sube, se va enfriando. El aire frío es denso, por lo que baja a la superficie. Esto crea una corriente de convección. La convección es la manera más importante en que el calor viaja por la atmósfera.



Figura (1) Proceso de Convección.

La importancia de la experimentación

radica en el aire y en las temperaturas que lograra alcanzar debido a la transferencia de calor de los conductos de aire.

Este documento se divide en 5 capítulos.

Capítulo 1. Se delimita el proyecto a trabajar, la hipótesis es el comienzo de nuestra investigación debido a lo que busca predecir los resultados de la experimentación y a su vez de plantea el problema o la oportunidad de realizar el proyecto de calentadores solares de aire.

Capítulo 2. Estado de la técnica. Son los antecedentes de los calentadores solares de aire, es información la cual es base para determinar cálculos, así como parámetros para realizar la experimentación.

Capítulo 3. Marco Teórico. Información la cual sirve para entender y determinar cómo funcionan los calentadores y como se van a realizar los cálculos, así como la recopilación y uso de datos para determinar un resultado final.

Capítulo 4. Resultados y Análisis. Es el producto de todo el proyecto, investigación y experimentación de campo, así como uso de datos y análisis de ellos para determinar cuál calentador es mejor.

Capítulo 5. Cierre o conclusión del proyecto.

Hipótesis

Determinar cuál de las dos geometrías tiene mayor eficiencia y cuál es su eficiencia en el proceso térmico que conlleva a realizarse la calefacción o el calentamiento del aire por inducción forzada.

Por intuición se plantea que el de geometría circular tiende a generar mejor transferencia de calor debido a que del total de la superficie del tubo, se calcula que al menos un 40 % por tubular está expuesto a la radiación solar, mientras que el tubular rectangular se cree q piensa que por igual ir pegado uno con otro, el total de superficie de cada tubular es de 25% únicamente que está en contacto con la radiación solar

Por ello es que se llega a la conclusión de que, por tener mayor superficie de contacto con la radiación solar, el calentador solar de aire con tubulares circulares tendrá a ganar más calor que el tubular cuadrado y por ello se producirá un aire más caliente y a una mayor temperatura.

También se cree que la eficiencia de los calentadores solares es de un 60% o el aprovechamiento de los rayos solares en la superficie del calentador solar es de un 60% debido a la transferencia de calor del exterior al interior del tubular al interior y también al tener el factor de fricción del viento y un flujo de viento constante del exterior a temperatura ambiente dependeremos mucho de la transferencia y absorción de los tubulares por ello se llega a esa idea de un 60% de eficiencia.

Planteamiento del Problema

Existe una amplia variedad de calentadores solares de aire, pero la mayoría de ellos no se describe su funcionamiento, así como plantean la transferencia de calor del exterior con el interior de conducto.

Se vio la oportunidad de realizar la experimentación debido a que no hay registro de documentos en los que realice una comparación de calentadores solares de aire y más que la comparación de calentadores es por la geometría de conductos de aire en este caso circular y cuadrada.

Otra característica importante es que en cada tubular cuenta con placas internas que se encargan de transferir el calor del exterior al flujo de aire forzado. El flujo de aire es aplicado por un ventilador con el cual se cuenta con dos velocidades, una 3.3m/s y la segunda 3.9m/s. Con estas velocidades se busca poder determinar con cual cantidad de inducción de aire se produce una mayor temperatura y en correlación a la eficiencia de cada calentador.

Lo que se busca demostrar con esta experimentación, es determinar por medio de la comparación cuál de las dos geometrías de conductos de viento se obtiene una mayor temperatura y eficiencia.

Justificación.

Los calentadores solares de aire están hechos para usarlos como calefactores de espacios, habitaciones o bodegas para contar un clima superior al del medio ambiente y que exista un constante flujo de aire.

Su aplicación de estos calentadores debido a que cuentan con un gran rendimiento térmico, eléctrico, hidráulico nos permite ponerlos o instalarlos en diferentes sectores y que su principal característica de estos es que son amigables con el medio ambiente ya que su combustible o su energía para su funcionamiento es a base de energías renovables, en este caso por medio del sol.

Los calentadores de aire son implementados en países o áreas consideradas tropicales y subtropicales, es decir lugares donde la insolación es considerablemente alta, en este caso Tlaxcala cuenta con gran variedad de climas, pero la zona de Apizaco y Tzompantepec en donde está ubicado el Tecnológico Nacional de México Campus Apizaco cuenta con el clima adecuado para su aplicación y estudio.

Existe una amplia área de aplicación dentro del estado y la región que cuenta con el clima adecuado para estos calentadores.

- Sector alimenticio. En el sector alimenticio encontramos semillas como maíz, haba, frijol, harina, así como en tiendas o bodegas de abarrotes ya que ahí debe de haber corrientes de aire seco y a temperatura alta para conservar productos como chiles, cereales y productos secos.

- Sector de construcción debido a que ahí se encuentran materiales como yeso, cal y cemento los cuales al entrar contacto con algo de humedad reaccionan los químicos y con ello deja de funcionar ese material.
- Sector ganadero donde se guardan alimentos para ganado o mascotas, en este caso sales, minerales, mezclas de alimentos y todos los alimentos que se encuentran en una veterinaria o distribuidora de alimentos.

Esta investigación y estas pruebas les interesan a ingenieros y a público con el fin de saber el comportamiento de un flujo por medio de la transferencia de calor.

Estado de la Técnica

La presente invención está relacionada con los principios y técnicas utilizadas para el diseño y aplicación de procesos que emplean fuentes de energía renovable permitiendo un desarrollo sustentable y particularmente con la geometría de ductos de ventilación de calentadores solares.

De la referencia 2 [Dr. Octavio García Valladares. 14 de abril de 2017. Calentador solar de aire. IER-UNAM.] se obtuvo la siguiente información para tener conocimiento de lo que llevan los calentadores solares de aire hasta el día de hoy.

OBJETO DE LA INVENCION

Teniendo en cuenta los defectos de los colectores solares de aire, es un objeto de la presente invención proveer un calentador solar de aire de construcción práctica, sencilla y eficiente para captar la radiación solar y calentar el aire utilizado en procesos en los que se requiere aire a una temperatura superior a la temperatura ambiente. un objeto más de la presente invención es proveer el calentador solar de aire, cuyo diseño y construcción le permite un carácter modular acoplando uno o más módulos en serie, adecuándose de esta manera a las necesidades requeridas de aire, otorgándole al usuario un ahorro de combustible equivalente a la energía que pueda obtener de este sistema para su uso diario de calentamiento de aire.

Sigue siendo un objeto más de la presente invención proveer el calentador solar de aire tipo modular que permite el ahorro de energía y una reducción en el consumo de combustibles fósiles ligados a los procesos de calentamiento de aire para su uso en diversas aplicaciones; además de que ayuda a disminuir las emisiones de CO₂ al medio ambiente, y como consecuencia, reduciendo el calentamiento global de la atmósfera.

De la figura 2 tenemos el calentador solar de aire, en el podemos ver cómo está hecho físicamente y es el que se usó para proyecto y para patente.



Figura (2) Calentador solar de aire.

Se realizaron las pruebas experimentales del captador para obtener la curva de rendimiento del mismo. Las pruebas se realizan de acuerdo al protocolo de las normas ISO 9806- 2013 “Solar energy — Solar thermal collectors — Test methods”.

Producto de los resultados anteriores se tiene el siguiente trámite de patente: “Calentador Solar de Aire de Tipo Modular”, folio MX/E/2015/073254. Ingreso 7 de octubre de 2015

A partir de este desarrollo se montó en el IER un campo de 48 calentadores solares de aire instalados en una planta deshidratadora solar de Zacatecas que ocupan un área de 120 m² como se muestra en la figura 3.



Figura (3) 48 Calentadores solares de aire instalados.

De la referencia 3 [Quiñonez Choquecota, José. (2019). Investigación experimental de un calentador solar de aire de doble flujo de convección natural de alta eficiencia. Revista de Investigaciones Altoandinas] se tiene información de diseño, así como materiales de construcción de los calentadores solares de aire.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño y construcción

El diseño del CSCA se realizó en base a los diseños de los investigadores Cuzminschi et al. (2018), Hernández y Quiñonez (2013), Hernández y Quiñonez (2018), Sevik y Abuska (2019), Karim et al. (2014), El-Sebaili, Aboul-Enein, Ramadan, Shalaby, y Moharram (2011) y Hatami y Bahadorinejad (2008), combinando convenientemente los aspectos comunes entre ellos sobre, la forma, las dimensiones, la construcción y los componentes que mejoran la eficiencia. La investigación se realizó en el Centro de Investigación en Energías Renovables CINER - Puno, en la región Puno, Perú, (latitud: - 15,823°, longitud: -70,012° y 3832 m.s.n.m).

El diseño del colector de la figura 4 consta de dos canales de flujo por donde el aire que entra se divide por estos dos canales, recorre los canales en la misma dirección hasta llegar al final del colector donde a través de la estructura en forma de campana vuelve combinarse de nuevo. El CSCA posee una placa de absorción de la radiación corrugada en forma de V con ápice de corrugado de 90° (Hernández y Quiñonez, 2018; Karim et al., 2014), al corrugar la placa, se hace mayor el área de contacto de la placa absorbente con el aire que circula, que cuando se tiene una placa de absorción plano (Saha y Sharma, 2018), y el efecto de la subcapa laminar existente es mínima en comparación a la placa plana.

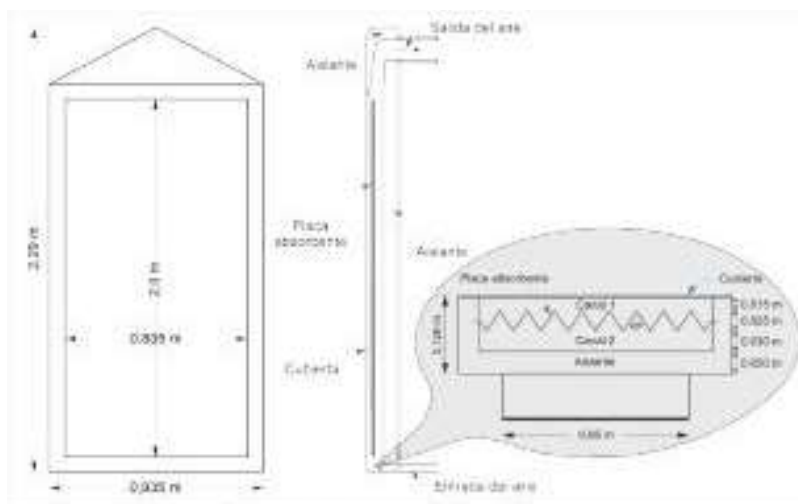


Figura (4). Vista frontal y lateral del CSCA

La construcción del CSCA se realizó con los materiales de menor costo disponibles en la región. La estructura del soporte fue construida de madera Pino (figura 5), la parte interior del colector (Canal 2) fue recubierto con una lámina reflectante de lámina de aluminio de 0,2 mm, la placa absorbente de acero inoxidable galvanizado de 0,8 mm de espesor y pintado por ambos lados con pintura negro mate resistente a altas temperaturas con una absorbancia igual a 0,90.

La cubierta protectora y trasparente del CSCA es de policarbonato alveolar transparente de 6 mm espesor, el aislante de 5 cm de poli estireno. En la entrada del colector, existe una abertura en forma de boquilla de polietileno que tiene un área transversal de 2 cm x 65 cm. En la salida del colector se ha acoplado un tubo de PVC de 80 mm de diámetro

recubierto con aluminio de 0,02 mm. La carcasa fue de plancha galvanizada de 0,3 mm.



Figura (5). CSCA instalado verticalmente

Procedimiento experimental

El CSCA fue instalado en una pared vertical con orientación hacia el norte geográfico en una pequeña habitación tipo caseta hecha de madera, triplay y cartón prensado (figura 5). La evaluación del CSCA se realizó en condiciones reales para cielo despejado, durante los días 30 de mayo, 31 de mayo, 01 de junio, 02 de junio y 12 de junio de 2018, desde las 8:00 horas hasta las 16:00 horas. Los parámetros medidos fueron: la temperatura ambiental, temperatura de entrada del aire, temperatura de salida del aire, temperatura de la placa absorbente, la velocidad de aire de salida, la radiación solar incidente sobre el colector. Los instrumentos utilizados fueron: dos termómetros digitales de doble entrada Fluke modelo 54 IIB con termocupla tipo K, un anemómetro digital Lutron modelo AM-4247SD, un piranómetro Apogee Instruments modelo MP-200. La instalación de los instrumentos se realizó cumpliendo en parte la norma ASHRAE (ASHRAE-Standard, 93-2003). Las termo cúpulas tipo K se instalaron en: la mitad de la placa absorbente, en la entrada y salida del aire y adyacente al colector para la temperatura del medio ambiente. La toma de los datos se realizó con una frecuencia de 10 minutos.

Análisis teórico

El modelo matemático desarrollado por Duffie y Beckman (2013) y Ong (1995), aplicadas y detalladas por Hernández y Quiñonez (2013) permite calcular la eficiencia del CSCA. El modelo se deduce a partir del balance de energía en estado estacionario, con las siguientes principales consideraciones:

- 1) El CSCA opera en condiciones estacionarias para el aire que fluye en el interior del colector solar,
- 2) Los gradientes de temperaturas se consideran solamente en dirección del flujo.

La eficiencia instantánea del CSCA, se calcula por cualquiera de las dos expresiones siguientes:

$$\eta_s = \frac{q_u}{G_p} = \frac{Q_u}{A_c G_p} = \frac{\dot{m} c_p (T_o - T_i)}{A_c G_p} = F_R \frac{S}{G_p} - F_R U_L \frac{(T_o - T_i)}{G_p} \quad (1)$$

Donde: S es la radiación incidente sobre la placa absorbente, Ta es la temperatura del ambiente exterior, Ti y To son las temperaturas de entrada del aire y salida del aire respectivamente, Gp es la irradiancia solar total en el plano inclinado del colector, Qu es la ganancia de energía útil, FR es el factor de extracción del calor, UL es el coeficiente global de pérdidas de calor, m es el flujo másico total (producto de la densidad del aire y el caudal), cp es el calor específico del aire y Ac es el área de apertura del colector. La determinación de la curva de la eficiencia instantánea es muy importante para la estimación de la energía útil que el colector puede producir de acuerdo a las condiciones climáticas que prevalecen en un lugar donde se va a instalar el CSCA.

Parámetros de Rendimiento

De las tendencias horarias de los parámetros medidos se muestra en la figura 6, se observa que, a medida que transcurre el día la intensidad solar varía de modo que alcanza su valor máximo al mediodía, asimismo la variación de la irradiancia incidente afecta directamente en la variación de los demás parámetros. Se observa que la temperatura de la placa absorbente tiende a ser aproximadamente igual que la temperatura de la salida al inicio y al final del periodo de medición, pero al mediodía la diferencia de ambas temperaturas aumenta hasta 7,6 °C. La temperatura ambiente y la temperatura de entrada del aire en las tardes presenta una brecha entre ambas, debido principalmente por la presencia del viento que circula a una velocidad promedio de 3 m/s por las tardes.

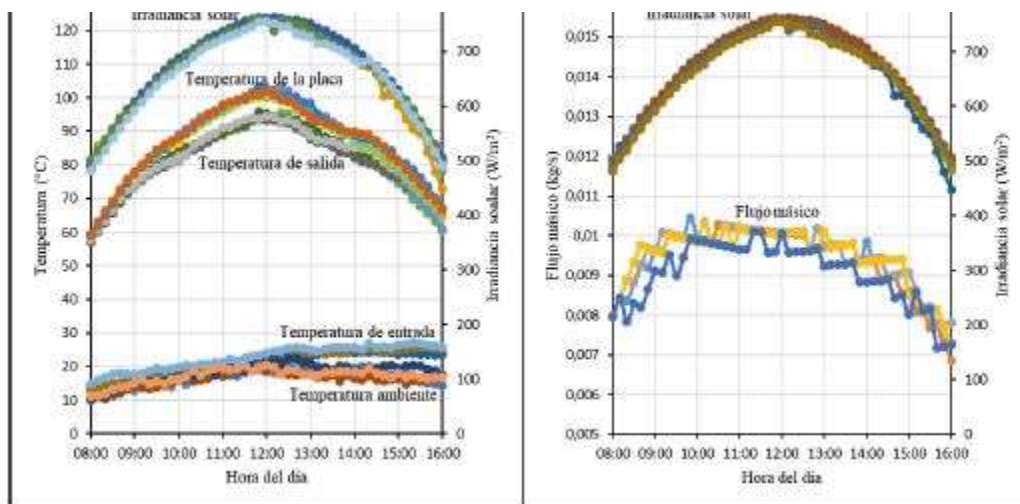


Figura (6). Tendencias de los parámetros de rendimiento del CSCA

El flujo másico depende principalmente de la velocidad y la densidad del aire, así que, el comportamiento es similar a la irradiancia solar pues a mayor irradiación solar mayor flujo de masa, los valores máximos se presentaron al mediodía y su valor promedio es 0,0094 kg/s en los cinco días, que corresponde a una velocidad del aire máximo de 2,1 m/s al mediodía. Además, se observa que la disminución del flujo másico pasado el mediodía es a causa de la disminución de la velocidad del aire y la temperatura ambiente por la presencia de vientos ocasionando mayor pérdida de calor por convección (figura 6).

Los valores máximos y mínimos alcanzados de los parámetros medidos están en la tabla 1, muestran el comportamiento funcional del CSCA, en la cual cabe destacar las altas temperaturas alcanzadas por la placa y el aire de salida.

Tabla 1

Valores máximos y mínimos de los parámetros de rendimiento.

Parámetros	Valor mín.	Valor máx.	Promedio
Irradiancia (W/m ²)	479	758	664
T. Ambiente (°C)	10,0	22,6	17,1
T. Entrada (°C)	13,2	27,2	21,4
T. Salida (°C)	57,2	95,7	81,4
T. Placa (°C)	59,0	103,3	86,0
Velocidad aire (m/s)	1,3	2,1	1,9

Marco Teórico

Para ser utilizado en sistemas de tuberías a presión, cada material debe demostrar empíricamente su capacidad de soportar la presión. Esto asegura que las plantas y las instalaciones estén integrando tuberías que puedan resistir las demandas de resistencia a largo plazo de sus aplicaciones.

El ASTM, ISO y el tablero de estrés hidrostático del Instituto de tuberías plásticas han desarrollado varios métodos de prueba para verificar la resistencia hidrostática a largo plazo (LTHS) de compuestos termoplásticos (por ejemplo, cloruro de polivinilo clorado (CPVC)). Estos métodos incorporan factores de diseño que aseguran que la fuerza adecuada del material se reserva para factores además del soporte de presión, tales como los esfuerzos relacionados con la instalación, la variabilidad de lote a lote y la exposición química

Conductos de Aire

Presión

Los sistemas de distribución de aire se dividen en tres categorías en cuanto a la presión

del aire del conducto: Baja, media y alta presión. Esta clasificación corresponde a la misma que utilizan los ventiladores que clasificamos en;

Baja presión o clase 1- hasta 90 mm c. a.

Media presión o clase 2- desde 90 mm hasta 180 mm c.a.

Alta presión o clase 3- desde 180mm hasta 300 mm c.a.

Las presiones indicadas son presiones totales incluyendo pérdidas de carga dentro del equipo acondicionador, conductos y bocas de impulsión.

Ganancias o pérdidas de calor

Se tiene la sección "x" de un conducto es mayor que la sección de "y" el de mayor sección tiende a tener una mejor ganancia de calor, aunque al de menor sección "y" se le aplique la misma cantidad de aire que a "x" la respuesta es la misma. La figura 7 es una gráfica de cómo se comporta la ganancia de calor con respecto a la cantidad de aire.

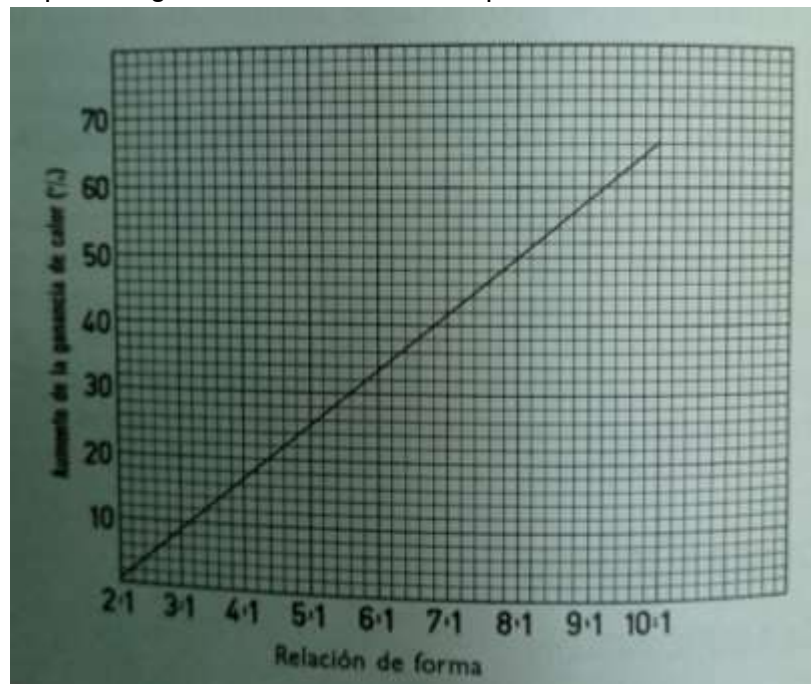


Figura (7). Comportamiento de ganancia de calor.

Los conductos que transportan pequeñas cantidades de aire a baja velocidad tienen mayores ganancias de calor debido a que tiene mayor tiempo de que el aire se calienta.

Metodología

La experimentación de los calentadores solares se llevó mediante pruebas de campo con la finalidad de recabar mediciones de temperatura de aire de entrada, temperatura de aire

de salida, así como temperatura del medio ambiente. También se midieron velocidades de viento de entrada y velocidades de viento de salida.

Otra estadística se obtendrá mediante la comparación de datos de salida uno con respecto al otro para únicamente determinar cuál es más caliente que el otro.

Para poder determinar la presión de salida se necesita ocupar la ecuación de Bernoulli

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2 * g} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2 * g}$$

Despejando P_2 ya que necesitamos sacar la presión de salida.

$$P_2 = + \frac{V_1^2 * \rho}{2 * g} - \frac{V_2^2 * \rho}{2 * g} + \rho * P_1$$

Métodos de medición

Las variables físicas que mediremos nos sirven para poder determinar cuál de los dos calentadores es más eficiente para su uso de calefacción.

Las variables a medir son:

- Presión
- Temperatura de viento
- Temperatura superficial

Estas variables se obtendrán por medio de los siguientes dispositivos

Tubo de pitot es un dispositivo con el cual nos permite medir temperatura, velocidad y presión.

El anemómetro o Thermo-Anemometer es un ventilador de mano con el cual nos sirve para medir temperatura de aire y velocidad de aire, es muy sensible y sus valores son millas por hora mph y en grados Celsius °C.

La cámara térmica es un dispositivo que sirve para medir la temperatura de las superficies. Esto nos sirve para tener la temperatura exterior, en este caso de los tubulares y con ello poder determinar la transferencia de calor.

La entrada será constante, lo que varía en este caso es la temperatura ya que esta va de acuerdo al clima o al medio ambiente.

Se manejan tres velocidades del ventilador con las cuales haremos la experimentación para poder determinar cuál de los dos calentadores es más eficiente.

También se hará diferentes combinaciones para así poder determinar cuál de los dos calentadores tiene una mayor temperatura de salida.

La velocidad 1 es de: 3.3 m/s

La velocidad 2 es de: 3.9 m/s

Modelación de los Calentadores Solares de Aire

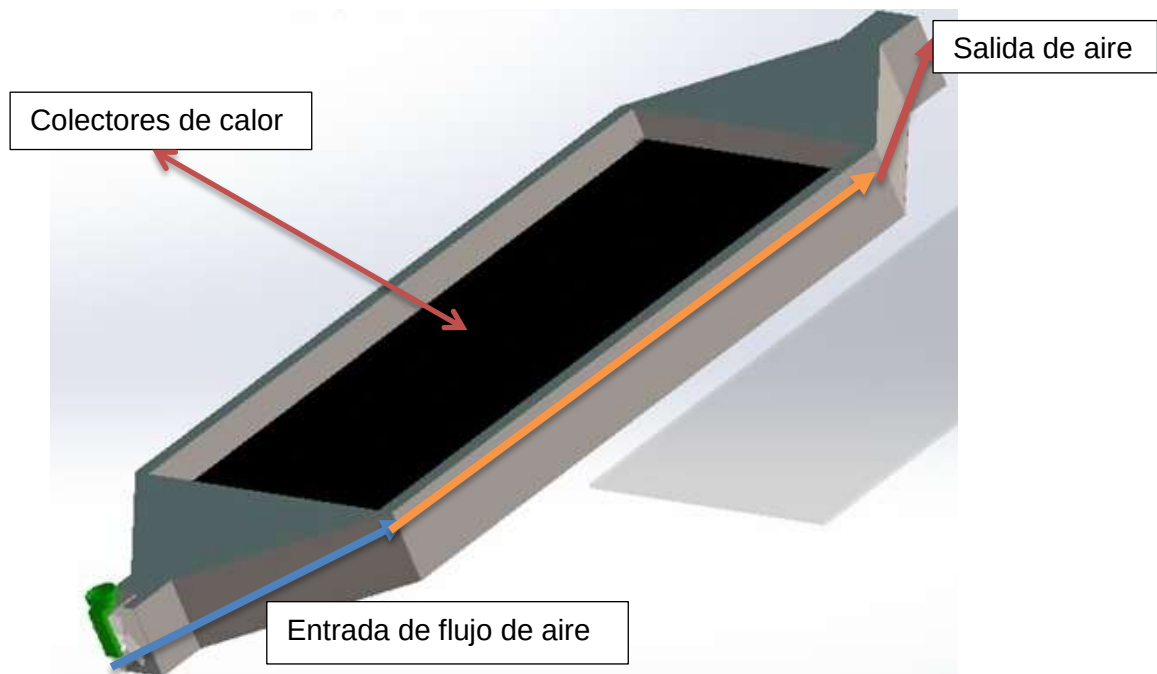


Figura (8). Calentador solar de aire.

El viento entra por medio de un ventilador el cual funciona por medio de pilas y este tiene dos velocidades las cuales son 3.3 m/s y 3.9m/s. La entrada y salida del calentador es un cuadrado de 12.5cm de largo por donde se realizan las mediciones de entrada y salida de aire como se muestra en la figura 8.

Los tubulares son de geometría circular con un diámetro de 8cm y cuadrado de 8cm de largo. Cada uno lleva por dentro placas de 1.5cm x 1cm las cuales reducen la velocidad del viento y transfiriendo el calor de la superficie exterior, permitiendo calentar el viento. La figura 9 muestra como se ve por dentro cada tubular, esto es en los tubulares de geometría circular y es lo mismo para los cuadrados.

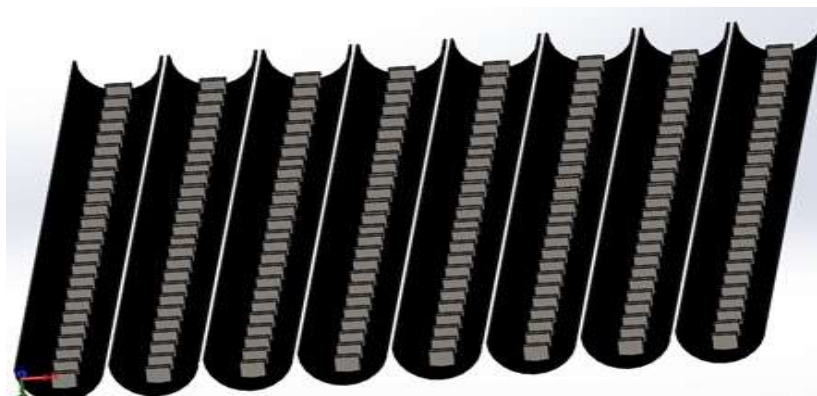


Figura (9). Vista de sección transversal de los tubulares.

Para evaluar los calentadores solares de aire se toma la siguiente formula en la que

se obtendrá el calor útil.

$$Q_u = m_a \cdot c_p (T_s - T_e)$$

Dónde:

$$Q_u = \text{calor util}$$

$$m_a = \text{flujo masico } kg/s$$

$$c_p = \text{Calor especifico del fluido (aire)} = 1004 J/g \cdot ^\circ C$$

$$T_s = \text{Temperatura de salida } K$$

$$T_e = \text{Temperatura de entrada } K$$

$$m_a = Q_l \cdot \rho$$

Dónde:

$$Q_l = \text{Caudal } m^3/s \quad \rho = \text{Densidad de aire } kg/m^3$$

Resultados y Análisis

Los resultados son de 6 días en donde se utilizaron dos velocidades de inducción de aire. La primera velocidad con la que se realizaron las pruebas es de 3.9 m/s. Del día 1 al día 3 se realizaron pruebas tomando como constante los datos de la tabla 2.

Para determinar el calor útil se midió temperatura de aire de entrada y al mismo tiempo la temperatura de la salida para poder evaluar los calentadores se realiza el proceso para determinar el calor útil, estas fórmulas se aplican cada 20 minutos para poder determinar cuál es el valor en ese momento.

Tabla 2. Datos de entrada de aire para los días 1,2 y 3.

Calendar de tubular cuadrado		Calentador de tubular circular	
ANEMOMETRO			
Velocidad de viento	3.9m/s	Velocidad de viento	3.9m/s
Temperatura	Variable independiente	Temperatura	Variable independiente
TUBO DE PITOT			
Presión	5Pa	Presión	5Pa
Velocidad	3.8m/s	Velocidad	3.8m/s

Pruebas Experimentales Día 1.

Día 17 de mayo de 2023.

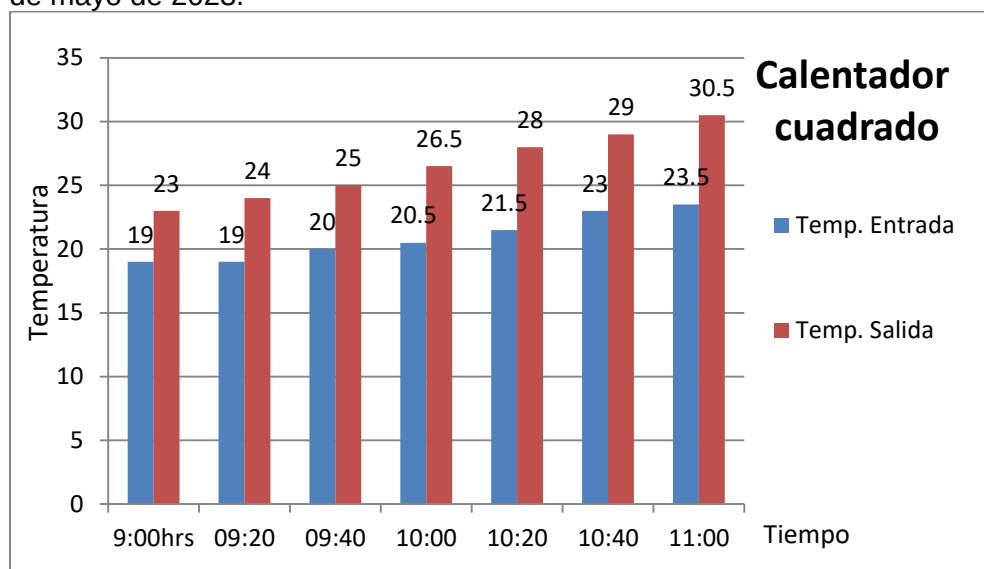


Figura 10. Temperatura de entrada y salida del calentador cuadrado DIA 1.

En la Figura 10 la temperatura de entrada va de acuerdo al clima, mientras que la salida se aprecia una clara diferencia de temperatura por la transferencia de calor.

La mayor diferencia de temperatura es de las 10:40 a 11:00 horas. debido a una diferencia de 7°C respecto a la entrada con la salida. Esto únicamente el día 17 de mayo, se debe tomar en cuenta que el clima de ese día, estaba despejado conto con una temperatura mínima de 10°C y máxima de 25°C.

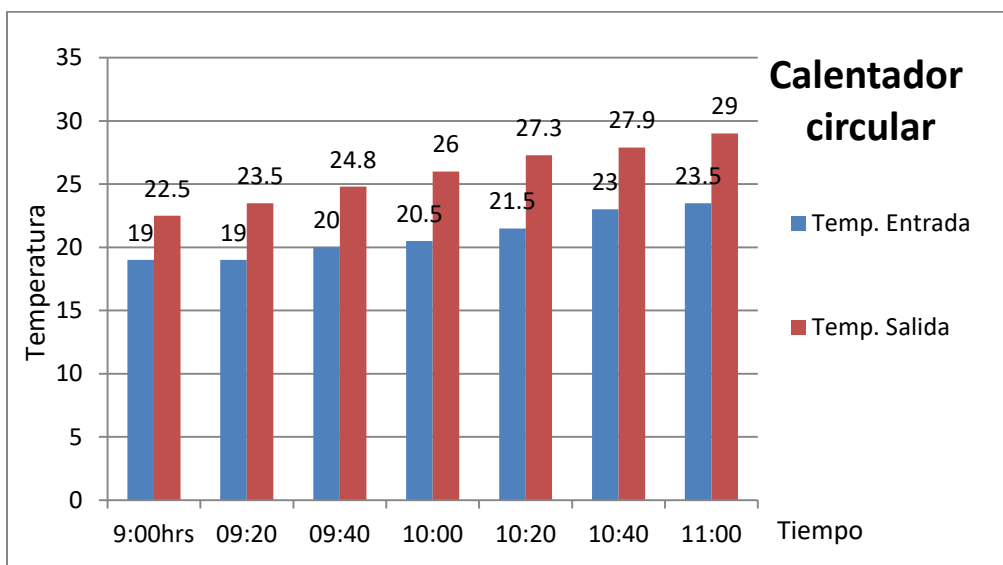


Figura 11. Temperatura de entrada y salida del calentador circular DIA 1.

La figura 11 contiene los datos de temperatura de aire entrada y de salida durante el día. El calentador circular tiene una mayor diferencia de temperatura a partir de las 10:20 horas hasta las 11:00 horas.

La tabla 2 contiene la cantidad de energía en joule que se tienen desde la primera medición y consecutivamente cada 20 minutos.

Tabla 2. Ganancias “de calor útil” de calor día 1.

Calentador Cuadrado		Calentador Circular	
Hora	Calor útil “Qu”	Hora	Calor útil “Qu”
60s:	295.3 J/s	0min	60s:
1200s	369.2 J/s	20 min	1200s
2400s	368 J/s	40 min	2400s
3600s	440.4 J/s	60 min	3600s
4800s	578.19 J/s	80 min	4800s
6000s	401.09 J/s	100 min	6000s
7200s	507.02 J/s	120 min	7200s

La tabla 2 contiene los valores de calor útil de cada calentador. Desde que se encienden los ventiladores se tiene un valor inicial de 295.3 y 258.32 J/s respectivamente a cada calentador. Su valor incrementa con forme pasa el tiempo y su máximo valor se encuentra a los 240 segundos que están encendidos los ventiladores o a las 10:20 horas en ambos calentadores, pero es evidente que el calentador cuadrado tiene un mayor calor útil en cada medición uno con respecto del otro.

Pruebas Experimentales Día 2

El día 19 de mayo de 2023 se realizó se realizaron mediciones durante 4 horas.

El clima de ese día estuvo de 11°C como mínima y como máxima a 26°C

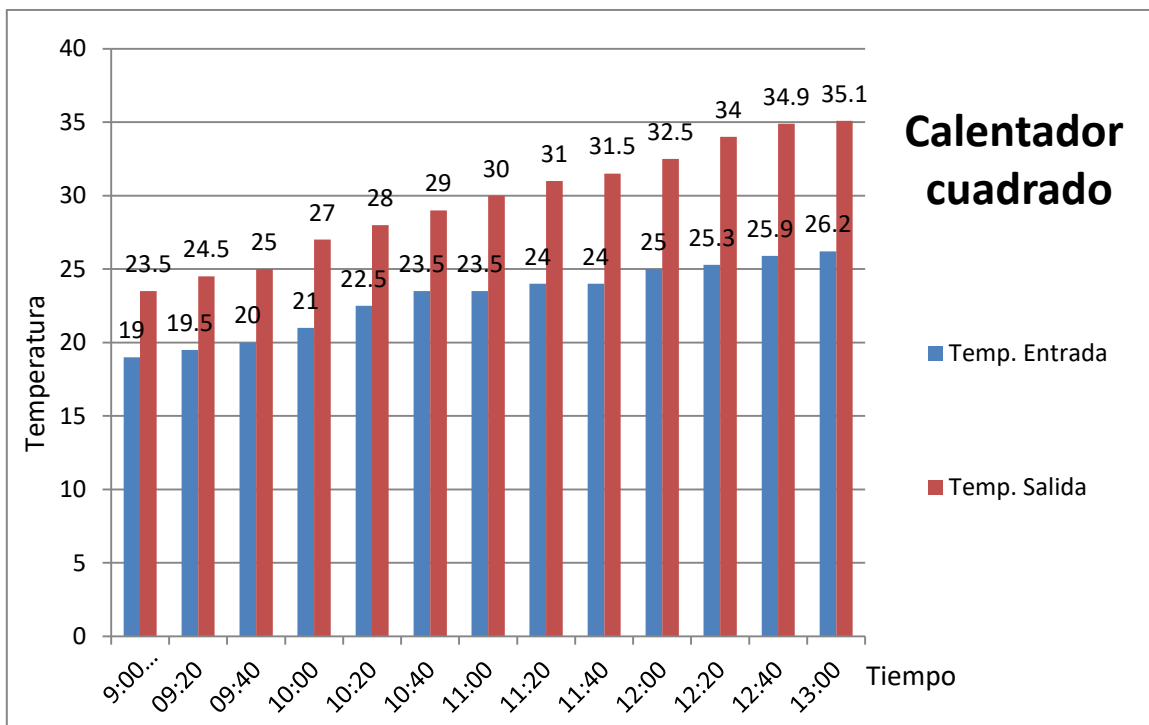


Figura 12. Temperatura de entrada y salida del calentador cuadrado DIA 2. Se tienen 13 mediciones con las cuales se plasmaron en la figura 12. La temperatura de entrada con la de salida va en aumento conforme pasan las horas. La mayor diferencia de temperatura se tiene a partir de las 11:00 y va en aumento hasta las 13:00 horas debido a que los colectores de calor ya llevan más horas expuestos a los rayos solares y de 11:30 a 14 horas es cuando los rayos solares tienen mayor alcance y mayor valor a esas horas.

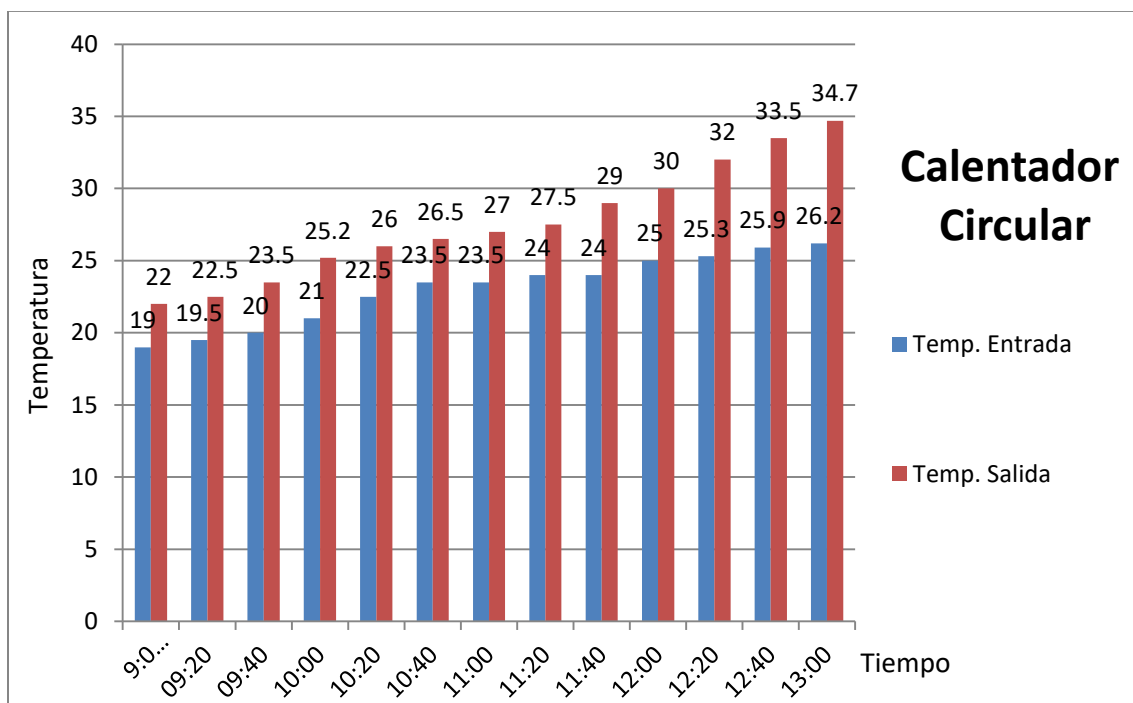


Figura 13. de temperatura de entrada y salida del calentador circular DIA 2.
 La figura 13 tiene datos de temperatura del día 2. En comparación con la otra grafica se tiene una menor temperatura de salida en el calentador circular en comparación con el cuadrado. La diferencia de temperaturas es entre 1 y 2 grados Celsius. Pero la mayor diferencia de temperaturas entre la entrada y la salida es a las 13 horas

Tabla 3. Ganancias “Qu” de calor día 2.

Calentador Cuadrado		Calentador Circular	
Tiempo de ganancia Qu	Calor útil “Qu”	Tiempo de ganancia Qu	Calor útil “Qu”
60s:	332.64 J/s	60s:	221.73 J/s
1200s	368.98 J/s	1200s	221.06 J/s
2400s	368.019 J/s	2400s	257.86 J/s
3600s	440.57 J/s	3600s	308.14 J/s
4800s	401.84 J/s	4800s	254.55 J/s
6000s	400.5 J/s	6000s	218.42 J/s
7200s	473.31 J/s	7200s	254.85 J/s
8400s	508.86 J/s	8400s	254.43 J/s
9600s	545.12 J/s	9600s	363.41 J/s
10800s	543.02 J/s	10800s	362.15 J/s
12000s	629.2 J/s	12000s	484.4 J/s
13200s	650.41 J/s	13200s	548.47 J/s
14400s	641.83 J/s	14400s	513.24 J/s

La tabla 3 contiene los datos de ganancias de calor de ambos calentadores. Desde el minuto 1 se tiene una ganancia inicial conforme va pasando el tiempo, va aumentando la ganancia de calor útil en cada calentador, en todo momento el calentador cuadrado tiene un mayor valor que el circular. La mayor ganancia que se registró es a los 220 minutos o a las 12:40 que es cuando los rayos solares tuvieron mayor valor en la superficie de los calentadores.

Pruebas Experimentales Día 3

El día 20 de mayo de 2023 se realizó se realizaron mediciones durante 5 horas.

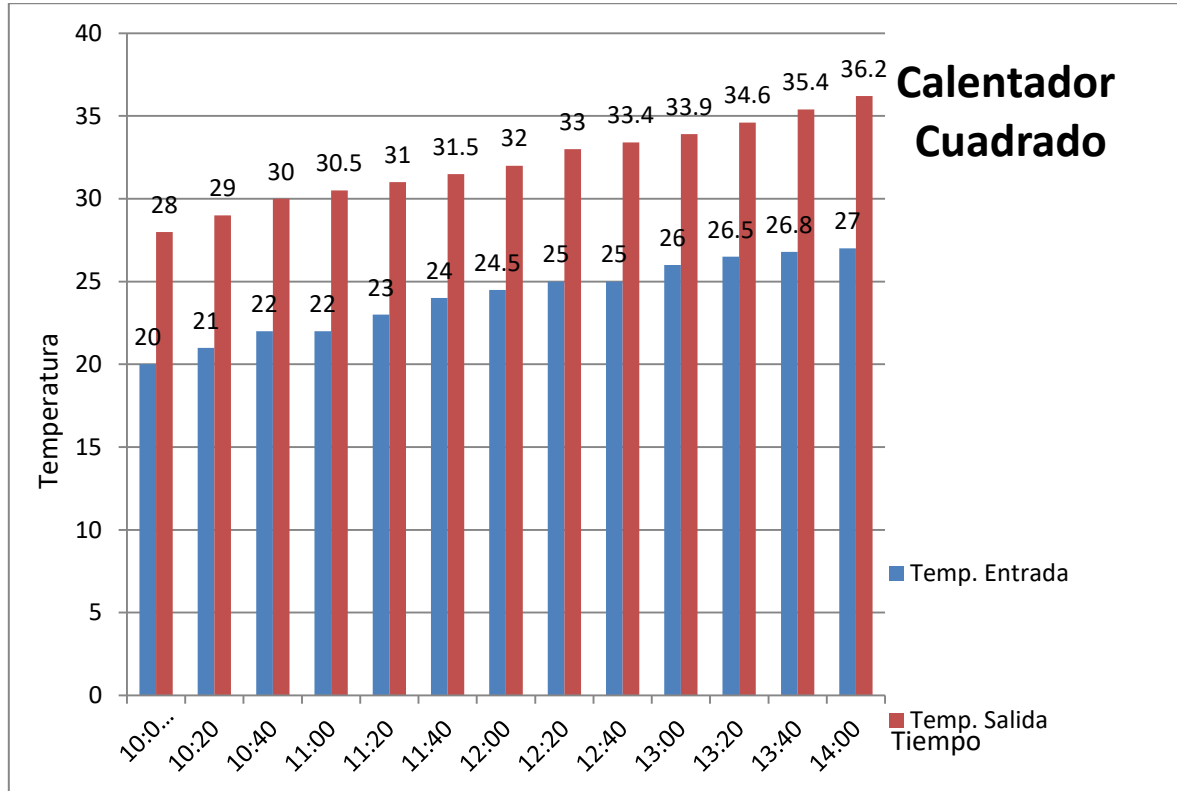


Figura 14. temperatura de entrada y salida del calentador cuadrado DIA 3.

El clima de ese día estuvo de 11°C como mínima y como máxima a 28°C.

La figura 14 muestra una gráfica donde se encuentra a que temperatura de entrada y salida y nos muestra la diferencia que hay una con respecto de otra.

La mayor diferencia de temperatura es de las 12:20 hasta las 14:00 horas.

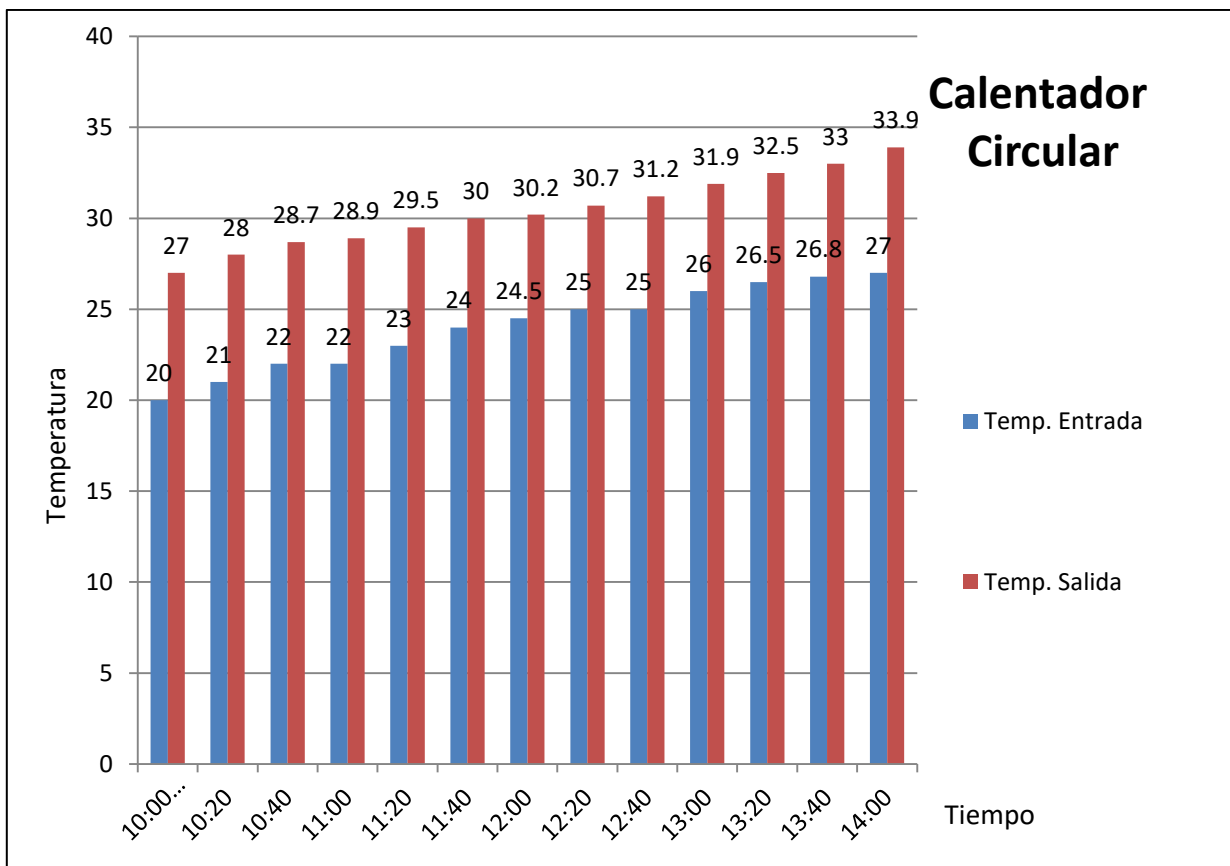


Figura 15. temperatura de entrada y salida del calentador circular DIA 3.
 La figura 15 muestras una gráfica que contiene datos del calentador circular, de las temperaturas de entrada y salida lo largo del día. Alcanza una mayor temperatura entre las 12:40 horas y las 14:00 horas.

Tabla 4. Ganancias calor útil “Qu” del día 3.

Calentador Cuadrado		Calentador Circular	
Tiempo de ganancia Qu	Calor útil “Qu”	Tiempo de ganancia Qu	Calor útil “Qu”
60s:	589.08 J/s	60s:	515.39 J/s
1200s	587.40 J/s	1200s	513.72 J/s
2400s	585.31 J/s	2400s	490.27 J/s
3600s	621.73 J/s	3600s	504.92 J/s
4800s	583.22 J/s	4800s	473.94 J/s
6000s	545.12 J/s	6000s	435.42 J/s
7200s	544.28 J/s	7200s	417.84 J/s
8400s	579.45 J/s	8400s	412.81 J/s

9600s	608.34 J/s	9600s	412.81 J/s
10800s	570.24 J/s	10800s	425.79 J/s
12000s	583.63 J/s	12000s	432.91 J/s
13200s	619.22 J/s	13200s	453.43 J/s
14400s	661.93 J/s	14400s	498.64 J/s

La tabla 4 contiene los datos de ganancias de calor de ambos calentadores. Cada 20 minutos los generadores iban ganando mayor calor útil, y con estos datos recabados sabemos que el generador cuadrado siempre genera un mayor calor útil que el circular. En 14400 segundos el generador cuadrado su mayor ganancia fue de 661.93 J/s mientras que el de generador circular su mayor valor fue a los 3600 segundos y a los 14400 segundos con 498.64 J/s.

Pruebas Experimentales Día 4

El día 23 de mayo de 2023 se realizó se realizaron mediciones durante 5 horas.

El clima de ese día estuvo de 10°C como mínima y como máxima a 25°C.

Para continuar con la experimentación se utilizó la velocidad mínima del ventilador para tener una diferente variable de entrada a parte de la temperatura del medio ambiente.

Calendar de tubular cuadrado		Calentador de tubular circular	
THERMO-ANEMOMETER			
Velocidad de viento	3.3m/s	Velocidad de viento	3.3m/s
TUBO DE PITOT			
Presión	3Pa	Presión	3Pa
Velocidad	3.2m/s	Velocidad	3.2m/s

El cambio en estos días de experimentación es la velocidad a la que se fuerza la entrada de aire, entonces por ello se genera otra cantidad de caudal y por ello se tienen otros valores muy distintos a los anteriores.

$$Q_l = \text{Caudal} \quad \rho = \text{Densidad de aire } \frac{kg}{m^3}$$

$$Q_l = V * A = 3.3 \frac{m}{s} * .0156m^2 = .0514 \frac{m^3}{s}$$

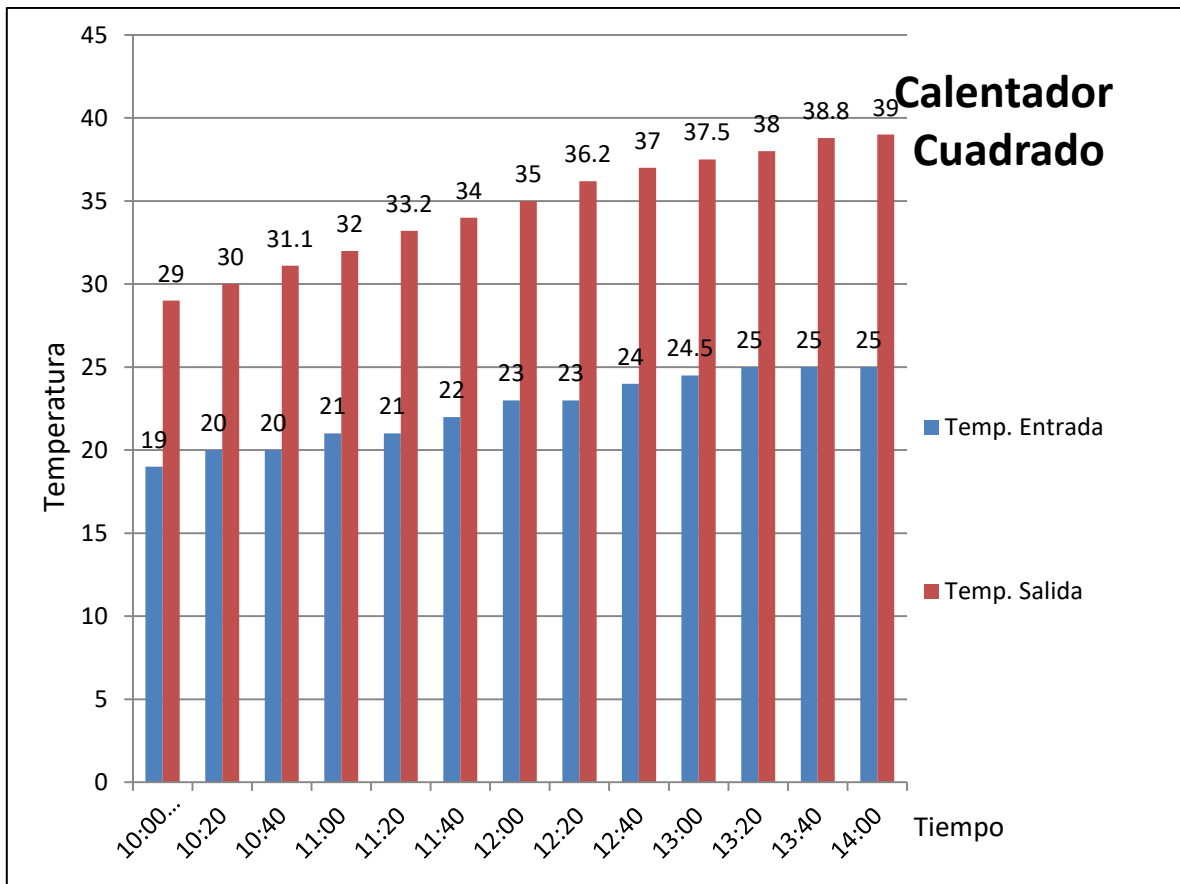


Figura 16. Grafica de temperatura de entrada y salida del calentador cuadrado DIA 4.

La figura 16 contiene las temperaturas de entra y salida del día 4 del calentador de geometría cuadrada. El calentador con la inducción del aire a velocidad de 3.3 m/s, se tiene una mayor temperatura de salida con respecto a la velocidad de 3.9 m/s. La mayor temperatura de salida en a partir de las 13:00 horas con una diferencia de entrada y salida de 13 grados hasta los 14 grados llegando a las 14:00 horas del día.

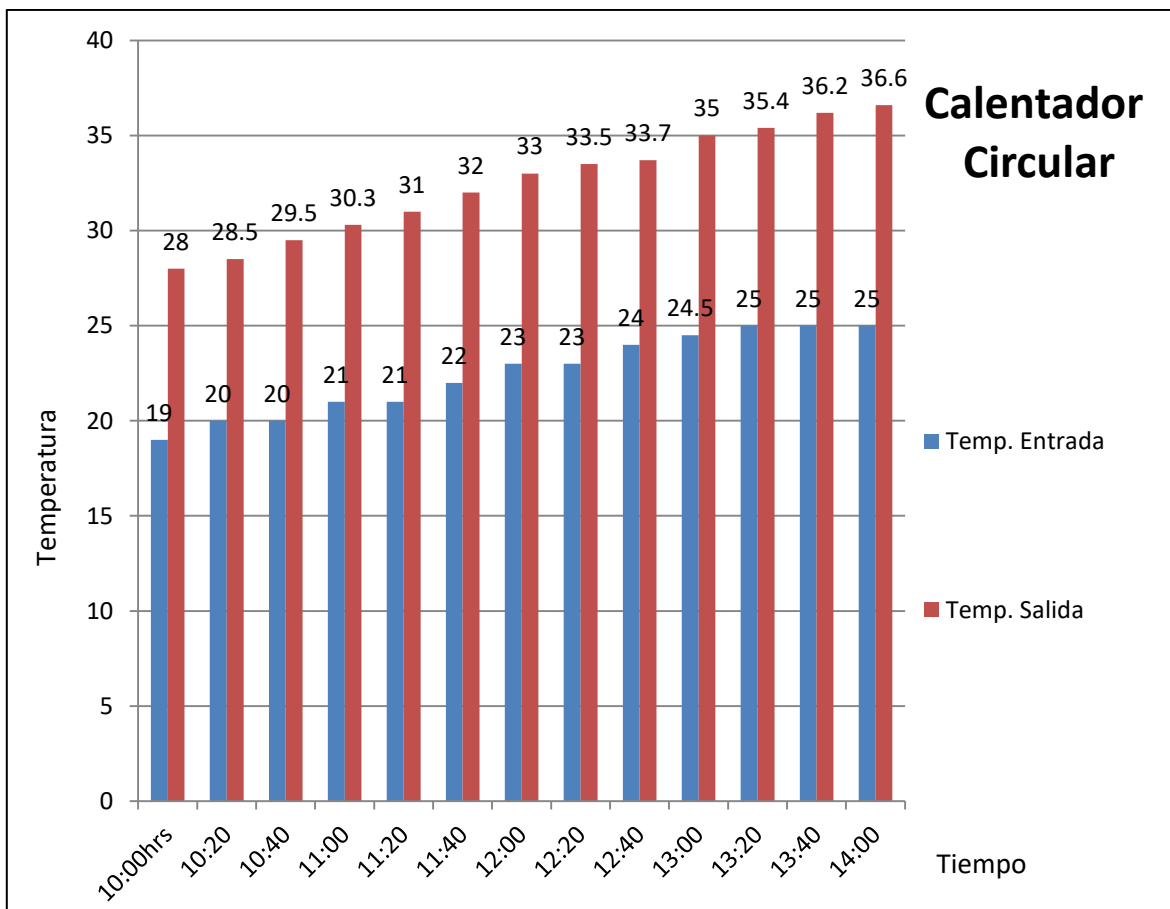


Figura 17. Grafica de temperatura de entrada y salida del calentador circular DIA 4.

Figura 17 contiene las temperaturas a lo largo del día 4. El calentador circular con la inducción del aire a velocidad de 3.3m/s, se tiene una mayor temperatura de salida con respecto a la velocidad de 3.9m/s. La mayor temperatura de salida en a partir de las 13:00 horas.

Tabla 5. Ganancias “Qu” de calor día 4.

Calentador Cuadrado		Calentador Circular	
Tiempo de ganancia Qu	Calor útil “Qu”	Tiempo de ganancia Qu	Calor útil “Qu”
60s:	623.87 J/s	60s:	561.44 J/s
1200s	621.82 J/s	1200s	528.79 J/s
2400s	690.23 J/s	2400s	590.33 J/s
3600s	743.57 J/s	3600s	576.11 J/s
4800s	755.71 J/s	4800s	619.77 J/s
6000s	741.06 J/s	6000s	617.55 J/s

7200s	738.55 J/s	7200s	615.45 J/s
8400s	812.23 J/s	8400s	646.02 J/s
9600s	797.58 J/s	9600s	594.94 J/s
10800s	796.28 J/s	10800s	643.09 J/s
12000s	794.65 J/s	12000s	635.97 J/s
13200s	843.64 J/s	13200s	684.54 J/s
14400s	856.11 J/s	14400s	709.36 J/s

La tabla 5 contiene los datos de ganancias de calor de ambos calentadores. Como se ve la diferencia entre un calentador y otro, hay poca diferencia, pero la existe. Y en todo momento el que genera mayor calor útil es el de geometría cuadrada. La mayor generación se encuentra a partir de los 8400 segundos, desciende y vuelve a ascender hasta los 14400 segundos, mientras que el circular sus mayores valores son a los 120 minutos, desciende y vuelve a ascender hasta los 240 minutos.

Pruebas Experimentales Día 5

El día 25 de mayo de 2023 se realizó se realizaron mediciones durante 5 horas.

El clima de ese día estuvo de 10°C como mínima y como máxima a 25°C.

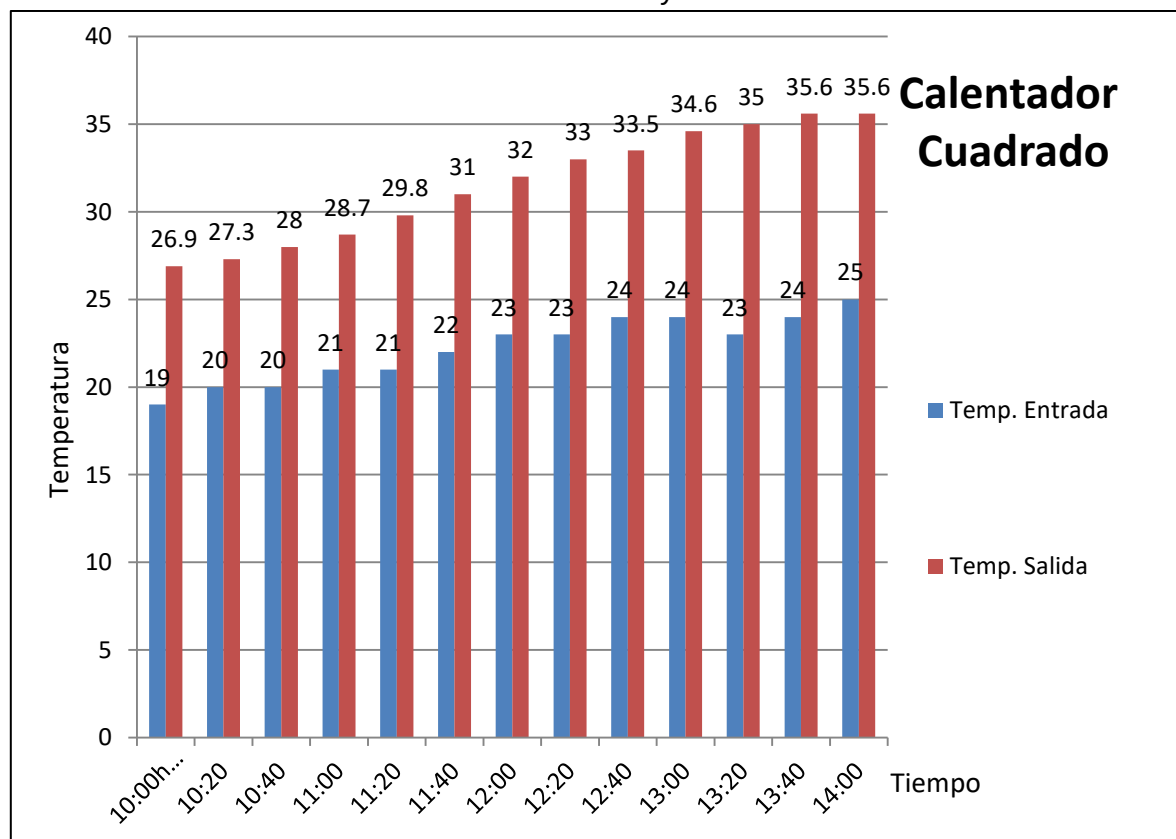


Figura 18. Grafica de temperatura de entrada y salida del calentador cuadrado
DIA 5.

La figura 18 contiene la gráfica del calentador cuadrado día 5, contiene las temperaturas de entrada y de salida. Se tiene una mayor diferencia de temperatura a partir de las 12:20 hasta las 14:00 horas en donde el mayor valor es de 35.6 grados Celsius donde son 10.6 grados de diferencia entre entrada y salida del calentador.

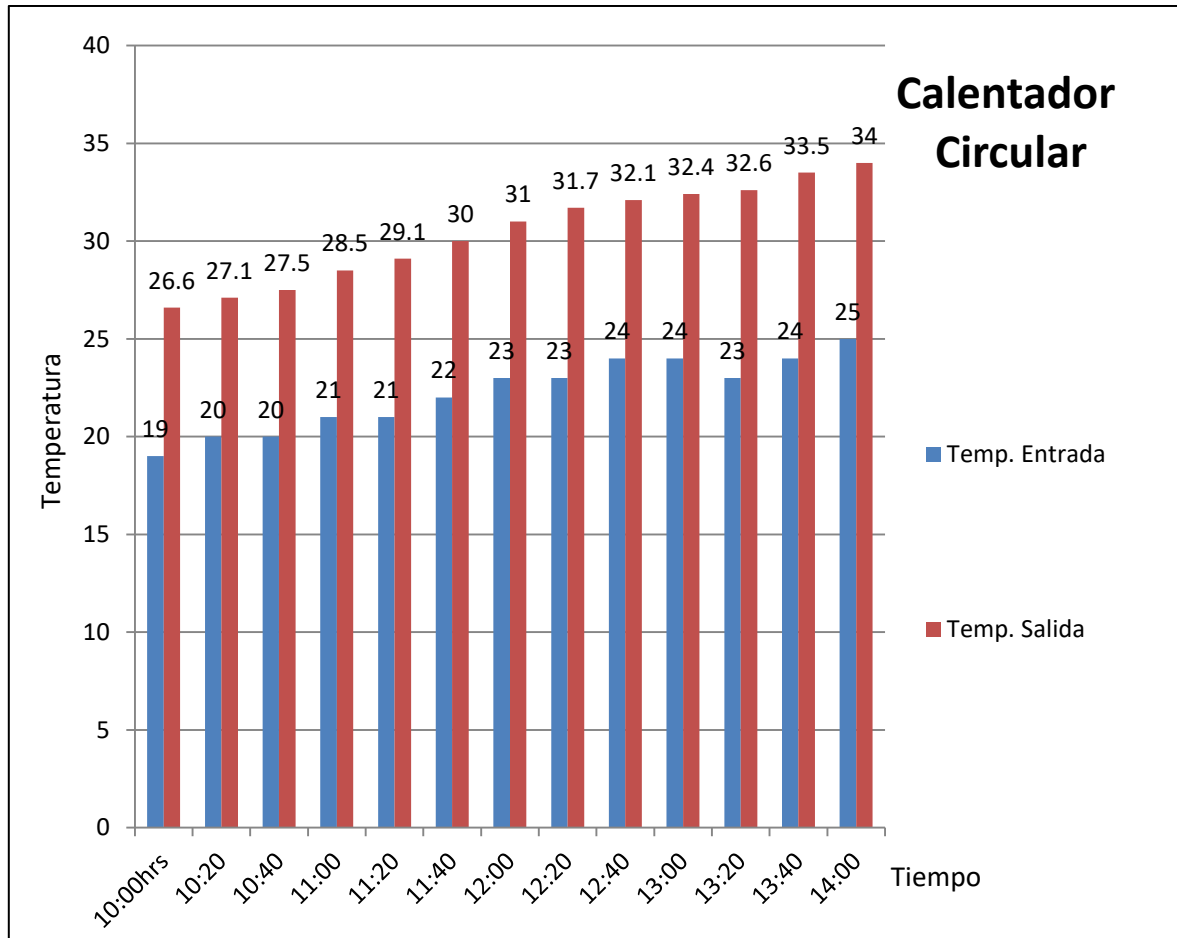


Figura 19. Grafica de temperatura de entrada y salida del calentador circular DIA 5.

El calentador solar circular tiene una diferencia de temperatura a partir de 11:40 hasta las 14:00 horas, la mayor diferencia que se tiene de temperatura entre entrada y salida de aire es de 9 grados Celsius, 1.6 grados Celsius menos que el calentador cuadrado.

Tabla 6. Ganancias “Qu” de calor día 5.

Calentador Cuadrado		Calentador Circular	
Tiempo de ganancia Qu	Calor útil “Qu”	Tiempo de ganancia Qu	Calor útil “Qu”
60s:	492.78 J/s	60s:	474.15J/s

1200s	453.84J/s	1200s	441.49J/s
2400s	497.47J/s	2400s	466.36J/s
3600s	476.87J/s	3600s	464.81J/s
4800s	545.12J/s	4800s	501.99J/s
6000s	555.58J/s	6000s	494.16J/s
7200s	554.08J/s	7200s	492.49J/s
8400s	615.54J/s	8400s	615.62J/s
9600s	582.84J/s	9600s	497.015J/s
10800s	650.21J/s	10800s	515.39J/s
12000s	738.76J/s	12000s	591.05J/s
13200s	711.71J/s	13200s	582.92J/s
14400s	648.11J/s	14400s	550.35J/s

La tabla 6 contiene los datos de ganancias de calor de ambos calentadores. El calentador de geometría cuadrada tiene una ganancia de calor útil máxima a los 200 minutos de estar en función, mientras que el circular su mayor valor es a los 140 minutos. Los valores alcanzados respectivamente son de 738.76 J/s y 615.6J/s y en todo momento comparando los datos de calor útil que genera uno con respecto del otro, el calentador cuadrado genera más que el circular.

Pruebas Experimentales Día 6

El día 1 de junio de 2023 se realizó se realizaron mediciones durante 5 horas.

El clima de ese día estuvo de 14°C como mínima y como máxima a 28°C.

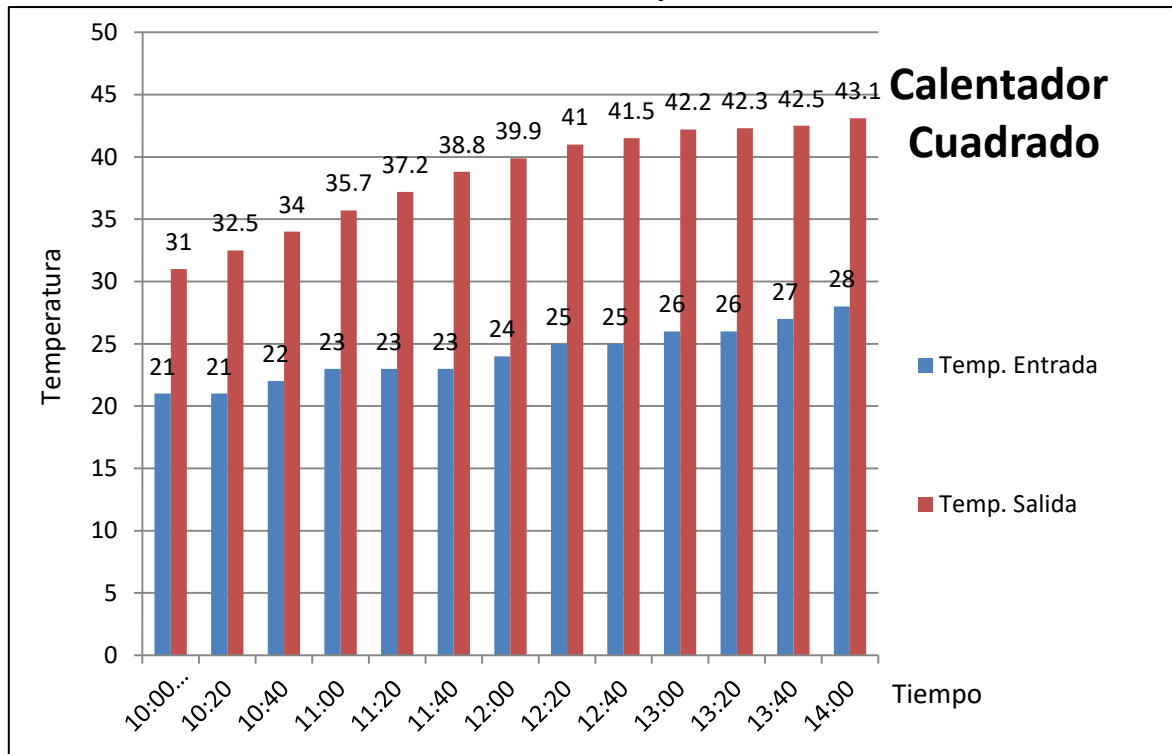


Figura 20. Grafica de temperatura de entrada y salida del calentador cuadrado DIA 6.

La figura 20 muestra a que temperatura de entrada y salida que se encuentra cada 20 minutos y este nos sirve para determinar la diferencia de viento de entrada con la de salida. Este día la mayor diferencia de temperatura se tiene a partir de las 13:00 horas hasta las 14 horas donde la mayor diferencia es de 17.1 grados Celsius.

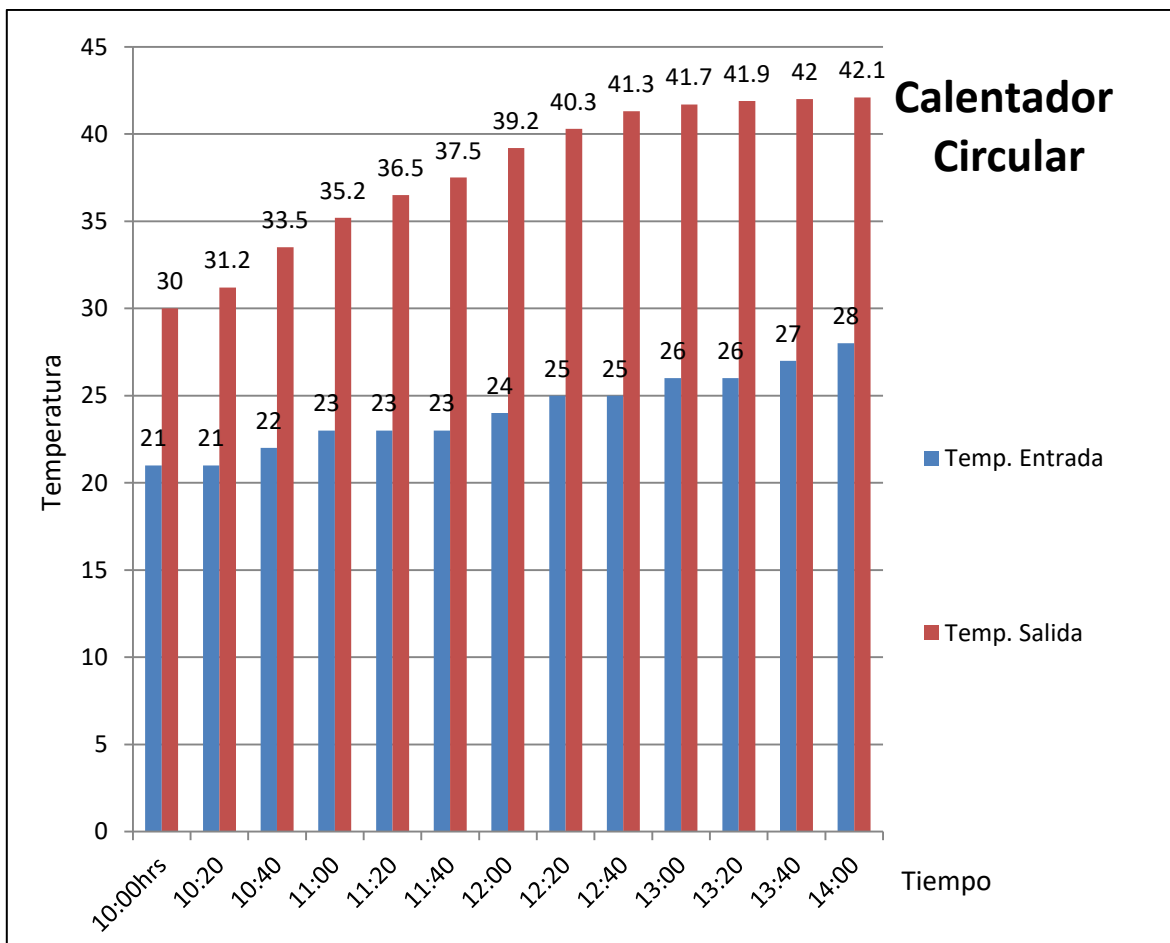


Figura 21. Grafica de temperatura de entrada y salida del calentador circular DIA 6.

La figura 21 tiene una gráfica que muestra a que temperatura se encuentra cada 20 minutos y este nos sirve para determinar la diferencia de viento de entrada con la de salida. En este calentador la mayor diferencia de temperatura de entrada con respecto a la de salida es de 16.1 grados Celsius, un grado menos que el cuadrado.

Tabla 7. Ganancias “Qu” de calor día 6.

Calentador Cuadrado		Calentador Circular	
Tiempo de ganancia Qu	Calor útil “Qu”	Tiempo de ganancia Qu	Calor útil “Qu”
60s:	619.77J/s	60s:	557.76J/s
1200s	712.71J/s	1200s	632.16J/s
2400s	741.23J/s	2400s	710.33J/s
3600s	734.61J/s	3600s	812.65J/s
4800s	874.22J/s	4800s	831.12J/s

6000s	972.71J/s	6000s	892.68J/s
7200s	975.56J/s	7200s	932.56J/s
8400s	978.41J/s	8400s	935.58J/s
9600s	1008.97J/s	9600s	996.79J/s
10800s	987.24J/s	10800s	956.85J/s
12000s	993.15J/s	12000s	968.99J/s
13200s	923.18J/s	13200s	911.07J/s
14400s	914.02J/s	14400s	853.50J/s

La tabla 7 contiene las ganancias de calor útil de ambos calentadores. La mayor ganancia de calor útil en el calentado cuadrado se tiene a los 9600 segundos, mientras que el calentador circular igual lo tiene a 9600 segundos y su valor respectivo es de 1008.97 J/s y 996.79J/s. El calentador cuadrado tiene mayor ganancia en todo momento que el calentador circular.

Observaciones

En las gráficas se tienen las temperaturas a la que entra y sale el aire, estas nos sirven para determinar y comparar un calentador con respecto al otro. Su aire de entrada es el mismo en ambos calentadores, mientras que la salida es diferente debido a la geometría. Las temperaturas son referentes pero el calor útil el cual se tiene en las tablas es lo que nos sirve para determinar su trabajo de cada calentador, debido a que con esto podemos decir que para una habitación de 3x3 metros se ocupan 500 J/s para mantenerla a una temperatura de 28 grados Celsius, sabemos si el calentador cumplirá esta demanda. A partir de las 12:00 horas es cuando los calentadores tienen mayor calor útil debido a que las placas colectoras de calor ya tienen horas expuestas al sol y es cuando la radiación solar promedio es de 620 w/m^2 hasta las 14 horas que se alcanzan valores de 740 w/m^2 . Se produce mayor calor útil con una velocidad de 3.3 m/s que a 3.9m/s debido a que, a menor velocidad, menor flujo de aire y este tiende a calentarse más. En todo momento el calentador cuadrado tiene mayor temperatura de salida de aire que el circular y esto se refleja en el calor útil que produce uno con respecto del otro.

Conclusión

La hipótesis planteada al inicio del proyecto fue refutada debido a que se creía que el calentador de geometría circular tendría una mayor temperatura de salida, pero no fue así, el calentador de geometría cuadrado tuvo mejores resultados tanto en temperatura como el calor útil que generaba.

La velocidad de aire influye bastante debido a que a mayor velocidad menor temperatura y a menor velocidad mayor temperatura de salida.

La investigación inicial encontramos que los tubulares cuadrados por simple naturaleza tienden a ganar más calor que los circulares y por medio de la experimentación se llegó a los mismos resultados.

En las investigaciones que fueron referencia para este proyecto usaban velocidades menores a los 2 m/s y por ello alcanzaban mayores temperaturas de salida, debido a que, a menor velocidad de aire, mayor temperatura de salida.

Por ello se obtuvieron mejores resultados cuando la velocidad del aire estaba a 3.3 m/s.

Referencias

1. <https://energiatoday.com/procesos-termicos/>
2. http://www.fordecyt.ier.unam.mx/html/calentadorSolarDeAire_1.html
Dr. Octavio García Valladares. 14 de abril de 2017. Calentador solar de aire. IER-UNAM.
3. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2313-29572019000400005
Quiñonez Choquecota, José. (2019). Investigación experimental de un calentador solar de aire de doble flujo de convección natural de alta eficiencia. Revista de Investigaciones Altoandinas
4. <https://www.corzan.com/es-mx/como-calculan-las-clasificaciones-de-presion-tuberia-cpvc>
5. Libro "MANUAL DE AIRE ACONDICIONADO" Carrier INTERNATIONAL LIMITED. Colaboración en versión castellana Dr. José Alarcón Creus, Dr. José M. Boixareu Vilaplana, Dr. Carlos Capellan, Ing. José Costa Ardiaca.
6. Grafica de Libro manual de AIRE ACONCIONADO pág. 222
7. <https://openstax.org/books/f%C3%ADsica-universitaria-volumen-2/pages/1-6-mecanismos-de-transferencia-de-calor>
8. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10176/Trasferencia%20de%20calor.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=H%20%3D%20eA%CF%83T4%2C,ideal%20a%20la%20misma%20temperatura>
9. [Modelación de un colector solar para calentamiento de aire \(sld.cu\)](#)
10. [cal/g*°C a J/kg*°C \(unitsconverters.com\)](#)