



SIMULATION AND VALIDATION OF THE PROTOTYPE OF A SOLAR THERMAL COLLECTOR MADE WITH RECYCLED TIRES.

SIMULACIÓN Y VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO DE UN COLECTOR TÉRMICO SOLAR HECHO CON NEUMÁTICOS RECICLADOS.

MSc. Elkin A. Mora E. *, MSc. Edison Martínez O. *
Jorge A. Velasco *

* **Universidad de Pamplona**, Facultad de Ingenierías y Arquitectura,
GIMUP.

Km 1 vía Pamplona Bucaramanga, Pamplona, Norte de Santander,
Colombia.

(0975) 685303.

E-mail: elkmes@gmail.com.

edisonmartinez@unipamplona.edu.co.

eflorez_75@hotmail.com.

antonio.velasco@unipamplona.edu.co.

Abstract: This research determined the technical feasibility of a solar thermal collector, built through the used and discarded tires. This work was motivated by the mitigation of the environmental impact generated by the large quantity of these discarded elements. For this purpose, a medium-sized tire commonly used in light trucks was studied. The capacity of storage of approximately 37 liters and supports without problems the variations of pressure and temperature, which is exposed to be used as solar thermal collector and storage tank.

The characterization of the dynamic and thermal behavior of the collector was carried out in a computational way, using the ANSYS® simulation academic software. The solar radiation conditions used in the model are taken from the IDEAM database for the city of Pamplona. The collector simulation was validated experimentally by measuring the interior and exterior temperatures of the collector. The results obtained show that the used tires can be used as solar collectors and that the use of energy or the transformation of solar energy to thermal energy has an efficiency of 43%.

Keywords: Solar thermal collector, tires, simulation.





Resumen: Esta investigación determino la viabilidad técnica de un colector térmico solar, construido mediante la reutilización de llantas y neumáticos usados y desechados, Este trabajo fue motivado buscando la mitigación del impacto ambiental que genera la gran cantidad de estos elementos desechados. Para ello se tomó como muestra en el estudio un neumático mediano de uso común en camiones ligeros, con capacidad de almacenamiento de aproximadamente 37 litros.

Las caracterización del comportamiento dinámico y térmico del colector se realizó en forma computacional, utilizando el software académico de simulación ANSYS®. Las condiciones de radiación solar utilizadas en el modelo son tomadas de la base de datos del IDEAM, para la ciudad de Pamplona. La simulación del colector fue validada experimentalmente mediante la medición de las temperaturas interior y exterior del colector. Los resultados obtenidos muestran que los neumáticos usados pueden ser utilizados como colectores solares y que el aprovechamiento energético o la transformación de energía solar a térmica cuenta con una eficiencia de 43%.

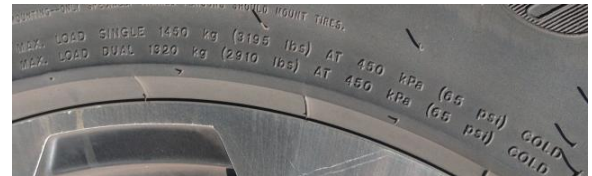
Palabras clave: Colector térmico solar, llantas, simulación.

1. INTRODUCCIÓN

En el 2003 la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) desarrollo y publico la "GUÍA DE ESPECIFICACIONES DE SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA PARA USO DOMESTICO CON ENERGIA SOLAR EN COLOMBIA" en conjunto con el ICONTEC (UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA, ICONTEC, 2003), establecen las especificaciones que debe cumplir cualquier sistema de este tipo que se quiera implementar, bien sea a nivel comercial o doméstico.

El neumático seleccionado para la investigación cumple con todos los requisitos exigidos, entre estos los valores de presión. Además los fabricantes garantizan estas características y se incluyen en la información grabada en el producto, como se ve en la Imagen 1.

Imagen 1. Especificaciones técnicas del neumático.



Fuente. (TIRE RACK, 2017)

Otra característica ventajosa de los neumáticos es que no presentan corrosión con lo que se disminuye el costo asociado a la protección del material y esta condición no se pierden al ser usados, ya que solo se presenta desgaste en su banda de rodadura más no en el perfil ni la estructura general del neumático.

En base a esto surge la propuesta de diseñar un sistema alternativo de colector térmico solar usando neumáticos desechados y así aprovechar estos residuos que han generado una gran problemática ambiental a nivel mundial.





2. DISEÑO DEL PROTOTIPO.

Para el diseño del colector térmico solar se buscaron neumáticos descartados y se procedió a determinar la capacidad de almacenamiento del prototipo, mediante el volumen de un toroide (ingenieriaycalculos.com, 2010-2017), el cual dio una capacidad aproximada de 36.7 litros en un neumático medida 6.50r15 cuyas dimensiones son las presentes en la Tabla 1.

Tabla 1. Características físicas del neumático usado como colector solar.

Diámetro exterior	Diámetro interior	Ancho de sección.
71.12 cm.	38.1 cm.	16.51cm.

Fuente. (Espinosa, 2018 Vol. 39 (Nº 13))

Este neumático es de uso común en camperos, camionetas y camiones ligeros, según los valores obtenidos un solo neumático podría brindar la demanda diaria para una persona de agua caliente sanitaria

3. ANALISIS DINAMICO.

Para evaluar la operación del colector solar que se propone se realizó un balance energético, tomando como modelo un colector de placa plana debido a las similitudes de construcción que se tienen, este balance se basa en el desarrollado en Cuba en el 2015 por Rodríguez m. Jeovany. et al (Rodríguez, 2015). Mediante las ecuaciones.

$$E_u = E_a - E_p$$

Ec. 1: Energía Útil del Sistema.

Donde E_u es la energía útil del sistema, E_a y E_p son la energía absorbida y la energía pérdida por el sistema, respectivamente.

$$q_u = A_c \cdot F_R \cdot G_T \eta - A_c \cdot F_R \cdot U_L \cdot (T_i - T_{am})$$

Ec. 2: Calor Útil.

Donde $G_T \eta$ corresponde a la radiación solar absorbida por efecto de la eficiencia de los materiales que lo conforman, A_c es el área de colección, F_R queda definido como el factor de remoción de calor, U_L se define como el coeficiente global de pérdidas, T_i es la temperatura de entrada del fluido y T_{am} es la temperatura ambiente. Entonces el calor útil se define como q_u .

El método para evaluar el rendimiento térmico del colector expuesto a la radiación solar incidente de cualquier localidad en cuestión, depende de T_i y T_o que son las temperaturas de entrada y salida del fluido, respectivamente, al igual que m definido como el flujo másico y C_p como la capacidad calorífica del agua.

Por lo tanto el calor útil del sistema puede definirse por la ecuación (3) como:

$$q_u = m_m \cdot C_p (T_o - T_i)$$

Ec. 3: Calor Útil del sistema.

Simplificando la ecuación 2, se logra obtener la ecuación (4).

$$q_u = A_c \cdot F_R \cdot [G_T \eta - U_L \cdot (T_i - T_{am})] \quad \text{Ec. 4}$$

Definiendo G_T como la radiación incidente en el plano inclinado del colector, η se determina como la eficiencia del sistema. A partir de esto se logra determinar la eficiencia térmica del colector η_i como se escribe en la ecuación (5) (Rodríguez, 2015).

$$\eta_i = \frac{q_u}{A_c \cdot G_T} = F_R \eta - \frac{F_R \cdot U_L \cdot (T_i - T_{am})}{G_T}$$

Ec. 5: Eficiencia térmica del colector.



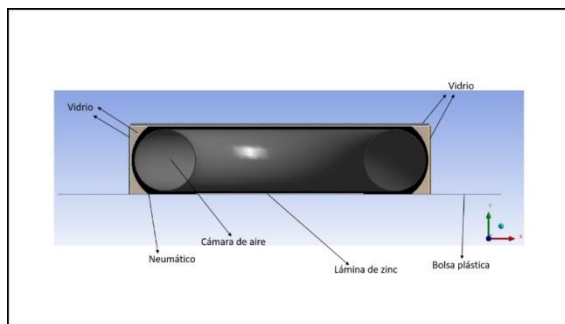


Con el fin de obtener la eficiencia térmica y para simplificar el cálculo y simular la operación del colector, se desarrolló un algoritmo en Matlab cuyo resultados fue un valor de eficiencia del sistema de 43.72% para las condiciones.

3.1 Simulación del Colector Térmico Solar.

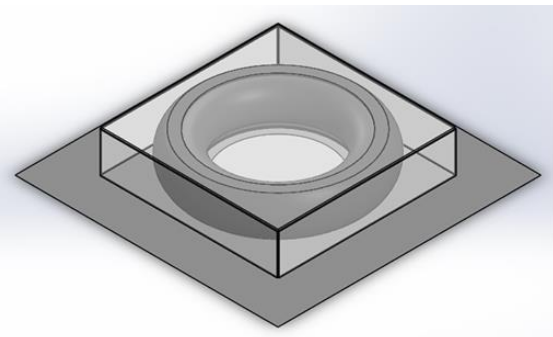
La geometría del colector, se realizó mediante el software SOLIDWORKS obteniendo como resultado las imágenes 2 y 3.

Imagen 2. Vista en corte del colector térmico solar hecho con neumáticos.



Fuente. Autor

Imagen 3. Vista panorámica del diseño del colector térmico solar hecho con neumáticos desechados.

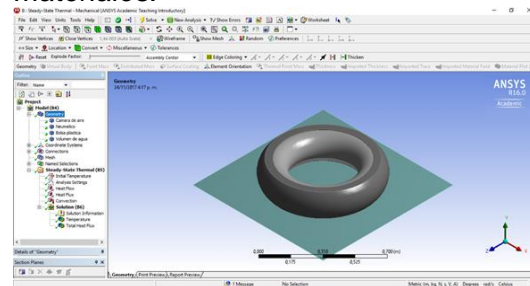


Fuente. Autor

La simulación del comportamiento del colector térmico solar hecho con neumáticos desechados se realizó mediante la implementación de las condiciones ambientales existentes en Pamplona, para las variables de entrada en el software de elementos finitos ANSYS y luego de identificar las características de los materiales que componen el objeto de estudio mediante el software CES Edupack. De esta forma se identificó el posible comportamiento que tendría el colector para después confrontar con los datos experimentales.

La simulación se realizó teniendo en cuenta el colector como un sistema solar térmico en estado transitorio y se realizaron múltiples pruebas de enmallado hasta obtener una convergencia adecuada, sin aumentar el tiempo de simulación de forma importante.

Imagen 4. Asignación de propiedades a los materiales.



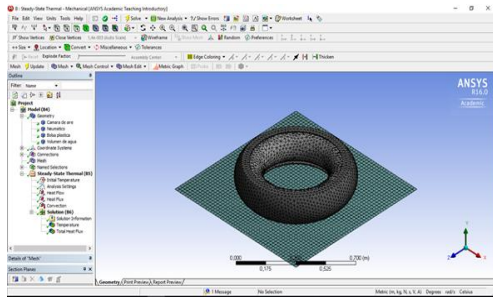
Fuente. Autor

Una vez asignadas las propiedades de los dos materiales se procede a realizar el enmallado de la pieza, asegurándose que el tamaño y distribución de la malla garantice la determinación óptima del comportamiento del colector. Luego de enmallar se procede a asignar los valores de radiación según los promedios que se presentaron durante el tiempo en el que se realizaron las pruebas al prototipo (Espinosa, 2018 Vol. 39 (Nº 13)).



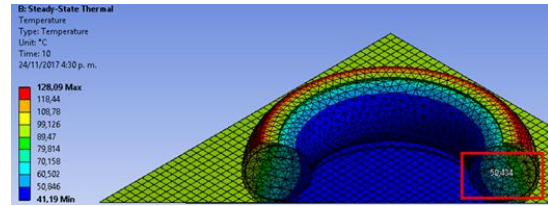


Imagen 5. Enmallado del modelo del colector.



Fuente. Autor

Imagen 8. Vista en corte del colector.



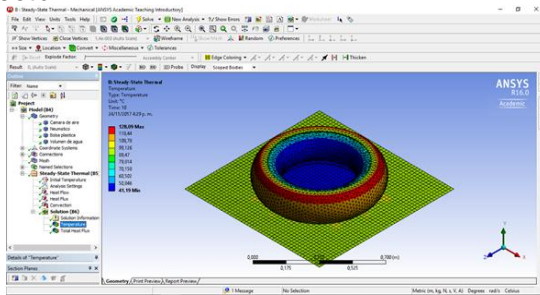
Fuente. Autor

La simulación también permite ver el comportamiento de la radiación solar en el colector, como se muestra en las Figuras 9 y 10.

3.2 Resultados de la simulación

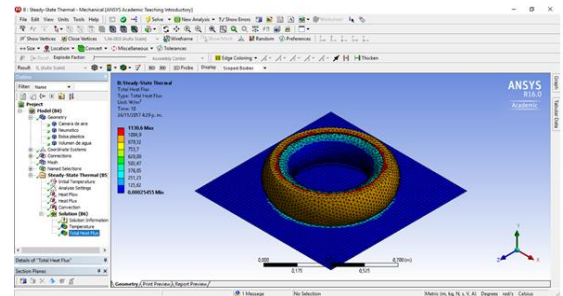
Los resultados de la simulación que se muestran en la Imagen 6. Toman como variable la temperatura del agua dentro de la cámara, que se pueden apreciar en el corte Imágenes 7 y 8.

Imagen 6. Valores de temperatura en el colector.



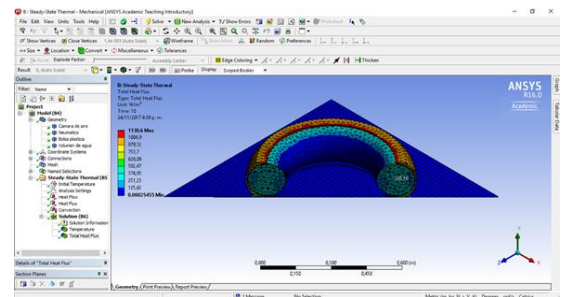
Fuente. Autor

Imagen 9. Comportamiento de la radiación en el colector.



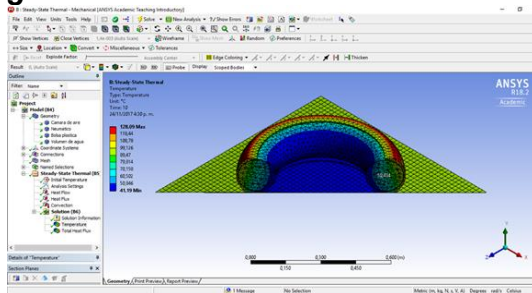
Fuente. Autor

Imagen 10. Comportamiento de la radiación, vista en corte del colector.



Fuente. Autor

Imagen 7. Vista en corte del colector.



Fuente. Autor





4. RESULTADOS EXPERIMENTALES.

Las pruebas se realizaron durante un periodo de 30 días, este periodo se determinó para poder observar el comportamiento del colector en diferentes condiciones climáticas en los cuales se presentaron temperaturas ambiente que oscilan desde los 6 a los 19 ° C, así como días despejados nublados.

La toma de datos en el prototipo tuvo intervalos de una hora en los sensores de temperatura ubicados en la línea de alimentación de agua del grifo, en la salida de agua caliente del colector y la temperatura ambiente (Espinosa, 2018 Vol. 39 (Nº 13)).

En un piso térmico como el de la Ciudad de Pamplona (Colombia), se pudo apreciar que la temperatura del agua al interior del colector nunca descendió por debajo de los 25 ° C así la temperatura ambiente llegara a tener valores de un dígito.

$$G.T = T_{sc} - T_{ag}$$

Ec. 6. Cálculo del gradiente de temperaturas. (Espinosa, 2018 Vol. 39 (Nº 13))

Donde:

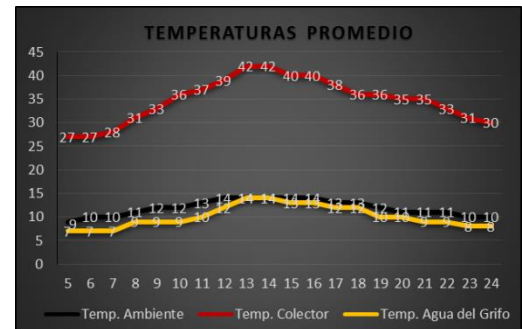
G.T = Gradiente de temperatura.

T_{sc} = Temperatura del agua a la salida de colector.

T_{ag} = Temperatura del agua del grifo.

Los datos promediados se pueden apreciar en la Figura 1 que muestra la temperatura del agua del colector vs la hora del día.

Figura 1. Temperaturas promedio en el colector.

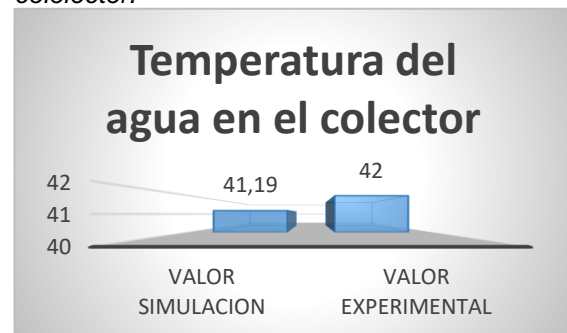


Fuente. (Espinosa, 2018 Vol. 39 (Nº 13))

5. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS.

Observando la simulación se puede ver que el valor mínimo de temperatura del agua dentro del colector es de 41.19 ° C y se encuentra en la parte central de la cámara justo donde está ubicada la válvula de salida de agua caliente, siendo prácticamente el mismo valor de 42 ° C de temperatura promedio a la salida del agua caliente que se determinó de forma experimental.

Figura 2. Temperatura de agua a la salida del colector.



Fuente. (Espinosa, 2018 Vol. 39 (Nº 13))





Como se puede apreciar en la Figura 2 la diferencia de temperatura entre la simulación y el dato experimental es de 0.81°C. Validando los datos que se recolectaron de manera experimental y también la viabilidad del diseño del colector térmico solar hechos con neumáticos desechados como una alternativa a los sistemas convencionales de calentamiento de agua sanitaria para aplicaciones domésticas.

6. CONCLUSIONES

Se demostró que la configuración del software de elementos finitos es correcta para el tipo de problema que se presenta.

Los resultados obtenidos en la simulación fueron validados mediante el proceso experimental obteniendo una variación de temperatura de 0.81°C entre ambos métodos.

Se determinó que los neumáticos usados en el estudio cumplen las condiciones mínimas y en algunos casos sobrepasan las especificaciones necesarias para ser usados como colectores solares térmicos y recipientes de almacenamiento de agua caliente sanitaria.

El sistema de captura de datos permite realizar seguimiento permanente al prototipo, lo que facilita un estudio a largo plazo.

La eficiencia térmica del colector tuvo un valor de de 43.72% para las condiciones específicas del prototipo que se construyó y análisis.

Al observar el comportamiento del colector térmico solar hecho con neumáticos usados y comparándolo con otros sistemas de

colectores solares que usan materiales reciclados se puede apreciar un comportamiento muy similar en los valores de temperaturas y eficiencia térmica obtenidos.

La prueba se realizó usando un neumático que brinda una capacidad de 36.72 litros, al ser necesario el incremento del volumen de agua es posible conectar cualquier cantidad de neumáticos para brindar la capacidad requerida.

7. REFERENCIAS

- ENERGIA-UPME, M. D. (2016). *Atlas de Radiación Solar de Colombia*. Bogota D.C.
- Rodriguez, L. A. (2015). Diseño de un colector solar de placa plana. *Ingeniería Energética*, 15-24.
- Espinosa, E. A. (2018 Vol. 39 (Nº 13)). Diseño de un colector térmico solar a partir de neumáticos usados para el calentamiento de agua sanitaria en aplicaciones domésticas.). *ESPACIOS*, 22-28.
- UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA, ICONTEC. (2003). *GUÍA DE ESPECIFICACIONES DE SISTEMAS ANC-0603-13-01*. Bogota D.C.

8. SITIOS WEB

- ingenieriaycalculos.com. (2010-2017). *ingenieriaycalculos.com*. Recuperado el 5 de 8 de 2017, de <https://www.ingenieriaycalculos.com/matematicas/geometria/figuras3d/calculadora/tori> de
- TIRE RACK. (20 de 11 de 2017). *TIRERACK.COM*. Obtenido de <https://blog.tirerack.com/blog/hunters-ramblings/what-tire-pressure-should-i-be-using>

