

Diseño de un Tanque de Almacenamiento de Agua Caliente Sanitaria, Utilizando Materiales de Bajo Costo.

Design of a storage tank of heating water, using inexpensive materials

J. A. Mantilla¹, M.A. Casallas²

Recibido: 7 de agosto de 2015

Aceptado: 17 de septiembre de 2015

Resumen

En este artículo se presenta el proceso de diseño y construcción de un tanque de almacenamiento de agua caliente sanitaria (ACS) para consumo doméstico. Además, se describe el análisis matemático, la selección de materiales tanto para el aislamiento como para el cuerpo del tanque, la simulación del comportamiento hidrostático, el proceso de construcción con base en la norma ASME sección VIII y las pruebas de funcionamiento del mismo.

Posteriormente se le realizaron pruebas para evaluar la eficiencia en la conservación de la temperatura y actualmente se continúa con pruebas adicionales que permitan observar mejor el desempeño del tanque.

Palabras clave: Tanque de almacenamiento, Aislamiento térmico, Norma ASME, Transferencia de calor, Recipiente a presión.

Abstract

This article describes the process of design and construction of a storage tank hot water (DHW) for domestic consumption is presented. In addition, mathematical analysis is described, the

¹ jamantillal@correo.udistrital.edu.co. Facultad Tecnológica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

² maacasallasr@correo.udistrital.edu.co. Facultad Tecnológica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

selection of materials for both insulation and the body of the tank, hydrostatic simulation behavior, the construction process based on ASME Section VIII and testing operation.

Tests were performed to evaluate the efficiency in maintenance of the temperature and currently continues with additional tests to better observe the performance of the tank.

Keywords: *Thermal insulation, ASME, Heat transfer, Pressure vessel.*

1. Introducción

El calentamiento de agua para el consumo doméstico o la producción de agua caliente sanitaria (ACS) por medio de la energía solar, es una alternativa muy importante para sustituir los calentadores tradicionales (a gas, eléctricos, etc.), debido al ahorro energético que éste representa, al permitir el reemplazo de los combustibles fósiles o la electricidad para lograr este propósito. El uso de calentadores solares para la producción de ACS en lugar de utilizar energía convencional implica una reducción en las emisiones de gases contaminantes atmosféricos, cuantificado por varios estudios ^{[1][2]}.

Un calentador solar de ACS, construido con materiales reutilizables, presenta ciertas ventajas comparadas con los calentadores solares de placa plana o de tubos al vacío como su bajo costo y fácil instalación, pero también implica una baja eficiencia por las pérdidas de calor que se presentan en el tanque de almacenamiento del ACS, principalmente en las horas nocturnas, entre otros aspectos. Para minimizar estas pérdidas de eficiencia se requiere de la construcción de un tanque que cumpla con normas internacionales, como se regula en ASME ^[3], con materiales óptimos.

El presente trabajo hace parte de un proyecto de investigación general, que se ha venido desarrollando al interior del semillero de investigación en energías alternativas de la Universidad Distrital (SEA), el cual consiste en el diseño y construcción de un calentador solar usando material reciclable o de bajo costo. Para esto se ha trabajado en dos frentes: uno consistente en diseñar y construir el colector solar que produzca ACS a mínimo 40 °C con la radiación solar promedio de la ciudad de Bogotá, y el otro dedicado al diseño y construcción del tanque de almacenamiento.

Este estudio se ha desarrollado con el objetivo de búsqueda de materiales y diseño óptimo minimizando pérdidas de calor y energéticas, con materiales de bajo costo.

2. Diseño

En esta sección se detalla el procedimiento llevado a cabo para el diseño y construcción del tanque, además del análisis y selección del aislante térmico y la evaluación del rendimiento del mismo.

2.1. Determinación de las dimensiones del tanque y simulación

Para el desarrollo de este ítem de diseño, se ha tomado como referencia las ‘Reglas para la construcción de recipientes a presión’ de la Norma ASME^[4], de donde se brindan los parámetros necesarios para determinar las dimensiones del tanque, como la longitud, el diámetro, la presión de diseño, el espesor y tipo de material, entre otros.

Las especificaciones para este tanque son:

- Capacidad de almacenamiento: 120 L, que va a ser utilizada para uso doméstico y cubrirá la necesidad de una familia promedio de 4 personas.
- Temperatura de trabajo: 60°C (140°F). Aunque la temperatura de trabajo mínima es de 40°C, se adopta un valor de temperatura mayor, contemplando un factor de seguridad, que en este caso es de 1,5.
- Presión de operación: 0,1 Mpa (60 psi).
- Presión de diseño: 0,2 Mpa (30 psi).

El material que se trabajó fue Acero 1020, este es aceptado por la norma en mención, con algunas modificaciones sugeridas por la misma [4], cuyas propiedades mecánicas se citan a continuación:

- Resistencia a la fluencia $S_y = 200$ Mpa (29 Ksi).
- Esfuerzo último a la tensión $S_{ut} = 414$ Mpa (60 Ksi).
- Módulo de elasticidad $E = 200$ Gpa
(29×10^6 psi)
- coeficiente de conductividad térmica teórica
 $k = 41$ W/m*K

Para el análisis de las soldaduras, se siguen los lineamientos UW^[5] en la que la eficiencia de la soldadura está en función de la inspección de la misma (tintas penetrantes o rayos X) donde el valor máximo es 1. Para este caso, el

valor de la eficiencia es 0,7 porque no se cuenta con inspecciones certificadas tanto en las tapas como en el cuerpo ^[6].

2.2. Presión de diseño

El valor que se usa en las ecuaciones para el cálculo de las partes del tanque es el siguiente.

- Para $P_o > 300$ psi (2,07MPa), entonces $P = 1,1 P_o$
- Para $P_o < 300$ psi (2,07MPa), entonces $P = P_o + 30$ psi;

donde P es la presión de diseño y P_o la presión de operación. Entonces, para este caso, la presión de diseño $P_o=30$ psi (0,21MPa) y la presión de operación $P= 60$ psi (0,41MPa)

2.3. Diseño óptimo del tanque

Para el diseño del tanque, se establece la relación del diámetro con la longitud del mismo. La ecuación que se emplea es la siguiente.

$$F = \frac{P}{(CSE)} \quad (1)$$

donde

- P= presión de diseño (psi)
- C= corrosión máxima permitida (in). La corrosión máxima permitida no puede exceder 1/6 del espesor del material. ^[7]
- S = valor del esfuerzo del material (psi/in)
- E = eficiencia de la soldadura (adimensional).
- F = relación entre el diámetro y longitud del recipiente (adimensional).

Aplicando la ecuación 1, se obtienen los siguientes resultados de F.

$$F = \frac{60 \text{ psi}}{\left(\frac{1}{24}\right) * 50 * 10^3 \text{ psi} * 0,7}$$

$$F = 0,4114$$

Ahora, con el valor del factor $F= 0,4114$ y el volumen del recipiente $V=4,23$ ft³ (0,12m³), se busca el diámetro del tanque en a la siguiente figura:

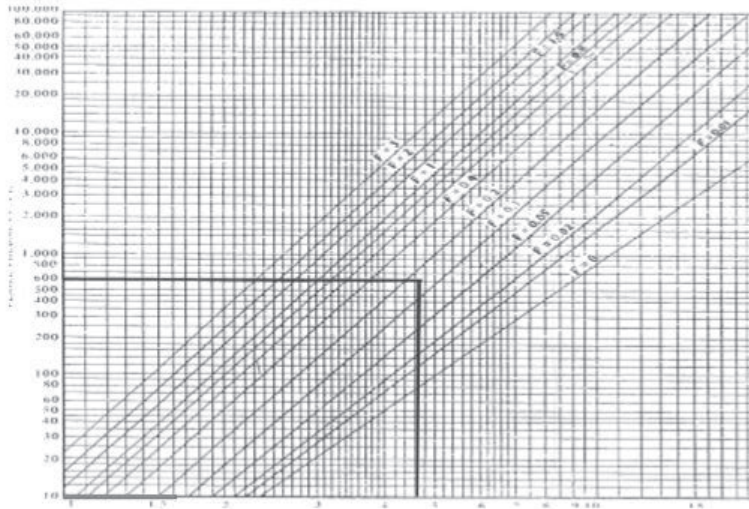


FIGURA 1. DETERMINACIÓN GRÁFICA DIÁMETRO EXTERIOR DEL TANQUE [5]

Según la figura 1, el diámetro exterior óptimo del tanque es de 1,3 ft o 400 mm y, con este valor, se calcula la longitud óptima de acuerdo con la ecuación 2.

$$L = \frac{4V}{\pi D^2} \quad (2)$$

Donde :

- L= longitud óptima del recipiente (mm)
- V= volumen de trabajo (ft³ o L)
- D= diámetro exterior óptimo (mm).

Entonces:

$$L = \frac{4(4,2372 \text{ ft}^3)}{\pi(1,3)^2}$$

$$L= 3.1 \text{ ft (944 mm)}$$

Una vez obtenidos los resultados de diámetro y longitud, se determinó, el espesor de la lámina del tanque de 1/8 in, y el tipo de tapas laterales a utilizar (tapas elípticas) tal como se muestra en el las dimensiones finales para la construcción del mismo, basados bajo [8],[9].

2.4. Análisis hidrostático

El propósito de este análisis es saber si el tanque diseñado va a soportar el peso del agua, además de la presión a la que va a estar sometido. También se busca establecer si el material escogido es el apropiado para que éste no vaya a sufrir algún deterioro o no cumpla con los requerimientos de diseño. El análisis se realiza mediante uso del *software* Ansys en el que se pretende encontrar los rangos de esfuerzos y deformaciones que presenta el tanque, así como determinar si cumple o no con las especificaciones de diseño.

En la figuras 2 y 3 se aprecian los esfuerzos y deformaciones a los cuales está sometido el tanque bajo las condiciones de diseño.

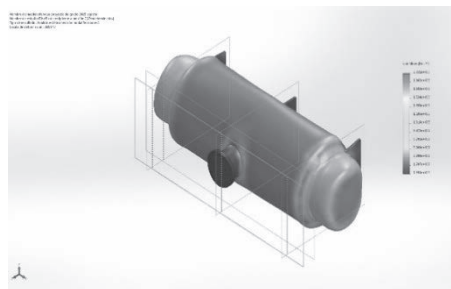


FIGURA 2. COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL DEL TANQUE POR ESFUERZOS

Con una presión de 30 psi (0,21 MPa) y una temperatura de operación de 60 °C, la simulación hecha por el *software* Ansys muestra que la deformación máxima es de 0,2 mm y que el esfuerzo máximo está en el orden de 3,6 psi (24,8 KPa), lo cual garantiza que el recipiente no va a fallar porque no excede la presión de diseño (30 psi) (figura 3). Por lo tanto, el espesor de la lámina del tanque es apropiado para realizar y llevar a cabo su función. En efecto, el espesor 3 mm es apropiado para su construcción.

El *software* Ansys muestra, de manera exagerada, dónde es posible que falle el elemento. Una vez realizadas estas simulaciones, se procede a determinar cuál es el mejor tipo de aislante para el cuerpo del tanque, el cual conservará la temperatura mínima del ACS para su consumo.

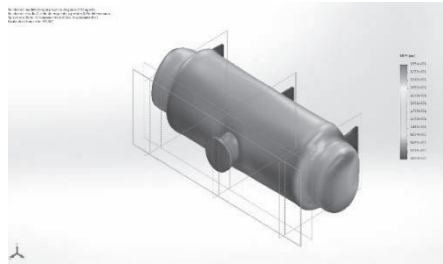


FIGURA 3. COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL DEL TANQUE POR DEFORMACIÓN.

2.5. Determinación del tipo de aislante

Los materiales preseleccionados para determinar el de mejor comportamiento son el papel corrugado, el cartón, el poliestireno expandido y la lana de vidrio. La selección se debe a que son de fácil obtención, es decir, se pueden encontrar en sitios habituales como viviendas, empresas, centro de reutilización de materiales o universidades, y su valor de adquisición es relativamente bajo en condiciones iniciales del diseño. A continuación se muestra proceso seguido para la selección del tipo de aislante.

2.5.1. Condiciones iniciales

Al desarrollo del cálculo para determinar cuál de los materiales preseleccionados ofrece las mejores condiciones de aislamiento térmico, se siguen las recomendaciones de Cengel ^{[10], [11]} que recomienda evaluar el radio crítico de aislamiento, la razón de pérdida de calor, el espesor del aislante y, finalmente, la transferencia de calor con el aislante ^[10]. El radio crítico es la medida del radio de un aislante en el que la transferencia de calor es máxima o la resistencia del flujo de calor es muy baja, por lo que al colocar un material aislante se debe verificar que el radio externo de este sea mayor al radio crítico o que el radio crítico sea menor al radio del exterior cilindro. (para que trabaje como un aislante) ^[12].

En la figura 4 se muestran las dimensiones básicas con las cuales se realizan los diferentes cálculos ^[13].

L: Longitud 0,944 m

D: Diámetro: 0.200 m

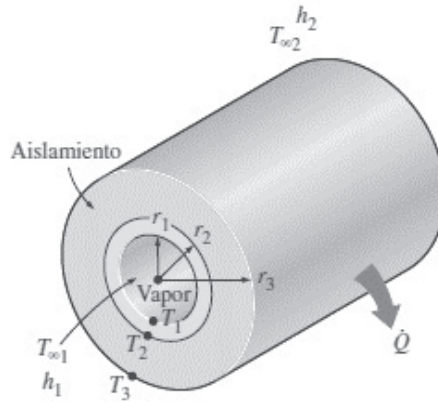


FIGURA 4. MODELO PARA CÁLCULO DE AISLANTE TÉRMICO.

En la Tabla 1 se muestran los valores de coeficiente de conductividad térmica y calor específico de los materiales aislantes preseleccionados.

TABLA 1. COEFICIENTES DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA Y CALOR ESPECÍFICO MATERIALES.^[10]

| MATERIAL | K (W/(m·K)) | Cp(KJ/(kg·K)) |
|------------------------|-------------|---------------|
| Papel corrugado | 0,039 | 1,9 |
| Cartón | 0,03 | 1,75 |
| Poliestireno expandido | 0,040 | 1,2 |
| Lana de vidrio | 0,044 | 0,96 |

2.5.2. Procedimiento para calcular el radio crítico de aislamiento

El radio crítico de aislamiento para un cuerpo cilíndrico esta denotado por:

$$r_{c,cilindro} = \frac{k}{h} \quad (3)$$

Dónde:

r_c = radio crítico (m)

k = coeficiente de conductividad térmica (W/m °C)

h = coeficiente de convección térmica (W/m² °C)

2.5.3. Procedimiento para obtener la razón de pérdida de calor sin aislante

En la ecuación 4 se expresa la pérdida de calor:

$$\dot{Q} = h_0 A_0 (T_{\infty 1} - T_{\infty 2}) \quad (4)$$

$$A_0 = \pi DL \quad (5)$$

Dónde:

h_0 : Coeficiente combinado de transferencia de calor en el tubo

A_0 : área exterior cuerpo del tanque

T_s : temperatura superficie Exterior del tanque sin aislante

T_{air} : temperatura aire

Por medio de este modelo se determina la cantidad de energía que se pierde en el tanque.

2.5.4. Procedimiento para calcular el espesor del aislante

Las ecuaciones 6, 7 y 8, respectivamente, muestran la pérdida de calor en términos generales, en el tanque sin aislamiento y el cálculo del espesor, teniendo una pérdida de 565,5 W sin aislante y fijando como parámetro una pérdida máxima de 200 W equivalente al 66 %.

$$\dot{Q} = \frac{T_s - T_{air}}{R_s - R_{ais}} \quad (6)$$

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{\frac{1}{h_0 A_0} - \frac{(Ln \ r_3 / r_2)}{2\pi KL}} \quad (7)$$

$$r_3 - r_2 = X \quad (8)$$

2.5.5. Procedimiento para determinar la pérdida de calor con el aislante respectivo

A continuación se describen las ecuaciones para determinar cuál es la transferencia de calor correspondiente del tanque al medio, teniendo en cuenta el espesor de cada tipo de material aislante.

Los valores de R, en la ecuación 6, corresponden a las resistencias térmicas que tiene cada material para transferir calor.

Los valores de las resistencias térmicas se calculan mediante las ecuaciones 9,10,11,12.

$$R_{conv,1} = \frac{1}{h_1 A} \quad (^\circ\text{C}/\text{w}) \quad (9)$$

$$R_{tubo} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_1 L} \quad (^\circ\text{C}/\text{w}) \quad (10)$$

$$R_{aislamiento} = \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi k_2 L} \quad (^\circ\text{C}/\text{w}) \quad (11)$$

$$R_{conv,2} = \frac{1}{h_2 A_3} \quad (^\circ\text{C}/\text{w}) \quad (12)$$

$$R_{total} = R_{conv,1} + R_{tubo} + R_{ais} + R_{conv,2} \quad (13)$$

Donde :

$T_{\infty 1}$: Temperatura del ACS (40 °C)

$T_{\infty 2}$: Temperatura ambiente (10 °C)

h_1, h_2 : Coeficiente de convección del tanque y amb.

A_1, A_3 : Área de superficie del tanque y aislante.

k_1, k_2 : Coef. Transferencia de calor tanque y aislante.

La tabla 2 muestra los resultados obtenidos a partir de la ecuación 3 hasta la ecuación 13 y, con estos valores, se determina el aislante térmico con el cual se va a recubrir el tanque.

TABLA 2 .RESULTADOS DE LOS MATERIALES AISLANTES ESTUDIADOS.

| MATERIAL | rc(cm) | (w) Sin Ais | (cm) | Q (w) aislante |
|------------------------|--------|-------------|-------|----------------|
| Papel corrugado | 0,195 | 565,5 | 11,21 | 200 |
| Cartón | 0,15 | 565,5 | 9,75 | 200 |
| Poliestireno expandido | 0,2 | 565,5 | 7,13 | 200 |
| Lana de vidrio | 0,22 | 565,5 | 5,5 | 200 |

El radio crítico arroja valores mucho menores comparados con el radio 1 del tanque. Por eso, este valor no tiene relevancia en el proceso de escoger el espesor de los aislantes ya que el radio 3 siempre será mayor al radio crítico de diseño.

Los datos obtenidos arrojan que el mejor material aislante para recubrir el tanque es la lana de vidrio, con un espesor de pared mínimo de 5,5 cm de acuerdo con el parámetro de pérdida de calor fijado (200 W).

En la figura 5 se aprecia el aspecto físico de cómo queda finalmente el tanque después de seleccionar el aislante apropiado y su recubrimiento metálico. Las dimensiones finales son:

- Diámetro con aislante = 510 mm
- Longitud con aislante = 951 mm



FIGURA 5. TANQUE CON CORAZA Y AISLANTE

2.6. Construcción y montaje del tanque al colector solar

Una vez se tienen todos los criterios de fabricación (tipo de aislante, dimensiones del cuerpo y posición), se ha procedido a construir y posteriormente ensamblar el tanque al captador solar escogido, (calentador en envases PET traslucido, con tubería galvanizada en paralelo) en la terraza del gimnasio de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Desde la figura 7 hasta la 10, se muestra un registro fotográfico del proceso de fabricación, pasando por la construcción del tanque, la unión del recubrimiento térmico, el sellamiento del tanque con su aislamiento y el montaje para sus respectivas pruebas.

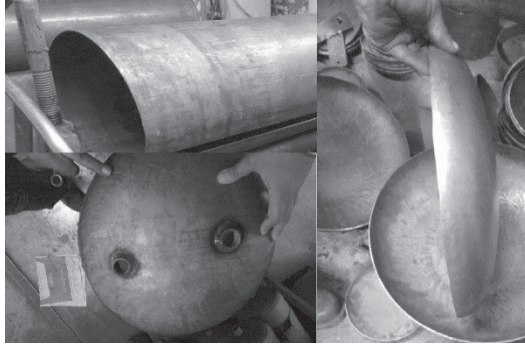


FIGURA 6. FABRICACIÓN TANQUE.

En la figura 6 se muestra el proceso de rolado y abombado de tapas. Se debe tener en cuenta las uniones soldadas para que así mismo no haya fugas y el funcionamiento del tanque sea el adecuado.

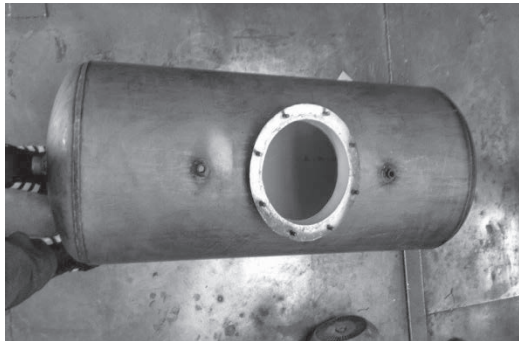


FIGURA 7. CUERPO TANQUE.

En la figura 7, el cuerpo del tanque presenta un acceso de limpieza o *hand-hole* para realizar mantenimiento general y realizar futuras inspecciones de desgaste del material por corrosión. Según norma que se sigue ^[12].

Las figura 8 y la figura 9 muestra el recubrimiento de la lana de vidrio y su coraza protectora en lámina de acero calibre 14. Con esto, se garantiza que no queden espacios sin cubrir y queden en contacto directo con la intemperie.



FIGURA 8. MONTAJE AISLANTE (LANA DE VIDRIO)

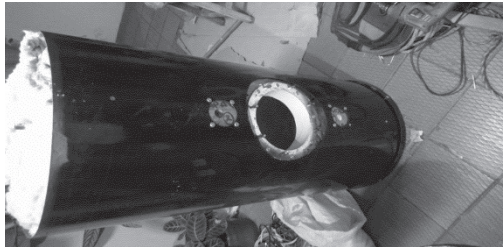


FIGURA 9. UBICACIÓN CARCASA Y TAPAS LATERALES.



FIGURA 10. ENSAMBLE, TANQUE, CAPTADOR SOLAR, INSTRUMENTOS Y ACCESORIOS PARA SU CORRECTO FUNCIONAMIENTO.

En la figura 10 se muestran tanto el tanque como el captador fijos en la estructura que previamente se ha dispuesto para este fin. Esta estructura está construida a partir de un ángulo estructural en L ASTM A36 de 2" x 3/8". El ca-

lentador se instala con la instrumentación necesaria para realizar las pruebas de funcionamiento: 3 termómetros de escala (-10 a 110 °C) o (20 a 220 °F), que cumplen con la norma de EN-13190 [13], [14], ubicados a la entrada del tanque, salida del colector y salida del tanque agua caliente; un manómetro y válvula de alivio para garantizar la seguridad del dispositivo al ser operado.

2.7. Prueba de fugas tanque captador solar

Una vez realizado el respectivo ensamble, se deja el tanque con agua un tiempo de 3 días esto con el fin de verificar que no posea algún tipo de fugas que podría repercutir en el buen funcionamiento del calentador solar, además de verificar que el captador solar este en buen estado y este no presente ninguna daño o deterioro entre sus componentes.

2.8. Rendimiento térmico del tanque

Una vez realizado el ensamblaje del tanque con el captador solar y elaborado la verificación de cero fugas, se procedió a tomar datos de temperatura y presión durante una semana (contemplada desde el 25 de marzo del 2015 al 1 de abril del 2015), teniendo tres horas establecidas: en la mañana a las 7:30 a. m., mediodía 12 m., y tarde 5:30 p. m. con el fin de corroborar y realizar un consolidado de los datos para verificar si la construcción del tanque y el procedimiento que se llevó a cabo corresponden con el fin último, esto es, mantener la temperatura del agua más elevada para consumo doméstico.

3.2. Resultados

Los datos observados en los días en los que se realizó el ensayo estableciendo la temperatura ambiente del día y la presión manométrica registrada por el instrumento instalado, se pueden observar en la tabla 3.

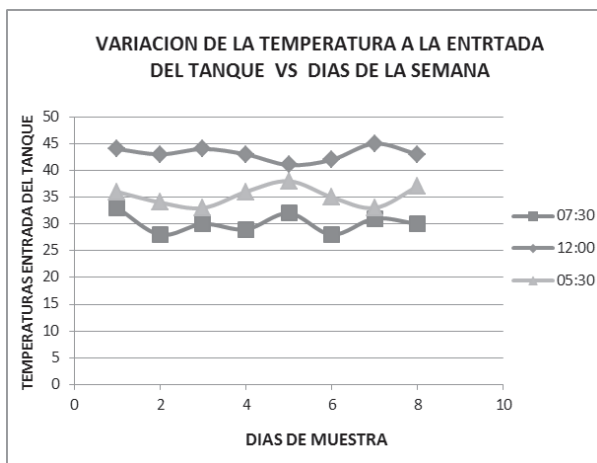
TABLA 3. DATOS OBTENIDOS EXPERIMENTALMENTE.

| DIA | TEMPERATURA | | | | | | Ta | Pm |
|-------|-------------|-----|------------|-----|-----------|-----|----|-----|
| | 7:30 a.m. | | 12:00 p.m. | | 5:30 p.m. | | | |
| | In | Out | In | Out | In | Out | | |
| día 1 | 33 | 30 | 44 | 41 | 36 | 33 | 16 | 3,8 |
| día 2 | 28 | 25 | 43 | 40 | 34 | 31 | 14 | 3,8 |

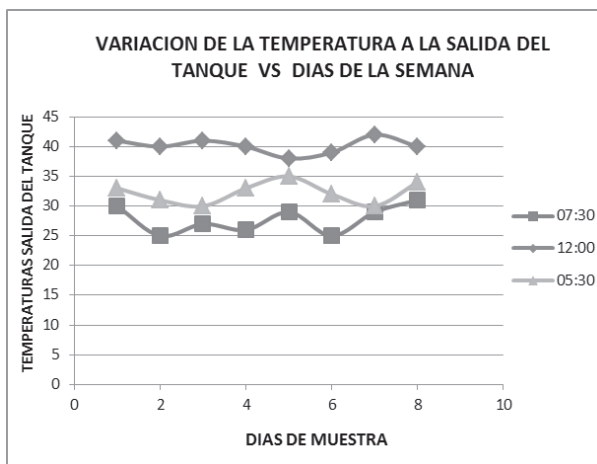
| DIA | TEMPERATURA | | | | | | Ta | Pm |
|-------|-------------|-----|------------|-----|-----------|-----|------|-----|
| | 7:30 a.m. | | 12:00 p.m. | | 5:30 p.m. | | | |
| | In | Out | In | Out | In | Out | | |
| día 3 | 30 | 27 | 44 | 41 | 33 | 30 | 13,6 | 3,8 |
| día 4 | 29 | 26 | 43 | 40 | 36 | 33 | 17 | 3,8 |
| día 5 | 32 | 29 | 41 | 38 | 38 | 35 | 15 | 3,8 |
| día 6 | 28 | 25 | 42 | 39 | 35 | 32 | 13,5 | 3,8 |
| día 7 | 31 | 29 | 45 | 42 | 33 | 30 | 14 | 3,8 |
| día 8 | 30 | 31 | 43 | 40 | 37 | 34 | 16 | 3,8 |

3.1. Análisis de resultados

En las gráficas 1 y 2, se evidencia la variación de temperatura durante los días evaluados, teniendo en cuenta la franja horaria en la que fueron tomados los datos (7:30 a. m., 12 m., 5:30 p. m.). Se observó que la temperatura más alta obtenida es a las 12 m., y que este efecto se produce a la entrada y salida del tanque. Por el contrario, las temperaturas más bajas se registran a las 7:30 a. m. debido a las condiciones ambientales que a esa hora de la mañana se tienen.



GRÁFICA 1. COMPARACIÓN DE TEMPERATURA A LA ENTRADA TANQUE DE LAS TRES HORAS ESTABLECIDAS.



GRÁFICA 2. COMPARACIÓN DE TEMPERATURA A LA SALIDA DEL TANQUE DE LAS TRES HORAS ESTABLECIDAS.

La franja horaria de 5:30 p. m. muestra un comportamiento promedio respecto a las otras temperaturas y franjas horarias evaluadas, y es la más estable en el proceso de recolección de datos.

Por lo anterior, el tanque presenta variaciones de temperatura menores a 5 °C a la entrada y salida del dispositivo, y las temperaturas del dispositivo entre las horas de la noche y la mañana están por encima de los 28 °C, por lo que el tanque presenta un rendimiento del 72 %.

4. Costos

En la tabla 3, se mencionan los costos de ejecución del proyecto en términos generales en pesos colombianos.

TABLA 4. COSTOS EJECUCIÓN PROYECTO (UNIDADES: PESOS COLOMBIANOS).

| COSTOS TANQUE | | | |
|---|-----|--------------|-------------|
| Elemento | und | costo unidad | costo total |
| fabricación (comprende rolado de lámina,, abombado de tapas, soldadura, entradas de tubería, handhole y pintura epóxica) | 1 | \$ 150.000 | \$ 150.000 |

| COSTOS TANQUE | | | |
|---|-----|--------------|-------------|
| Elemento | und | costo unidad | costo total |
| Rolado tapa exterior, aislamiento térmico, tapas laterales con agujeros salida tubería | 1 | \$ 100.000 | \$ 100.000 |
| accesorios (comprende lo que es acoples tubería, tubería, platinas de sujeción tanque, tornillos, soldadura, limpiador, teflón, silicona, brocas, válvulas de salida, todo manejado en tubería de 1/2") | 1 | \$ 120.000 | \$ 120.000 |
| Instrumentación (comprende lo que son termómetro, válvula alivio de presión, manómetro) | 1 | \$ 160.000 | \$ 160.000 |
| pintura (acabado final) latas de 850ml | 2 | \$ 8.000 | \$ 16.000 |
| transporte y otros | 1 | \$ 25.000 | \$ 25.000 |
| | | total | \$ 571.000 |

De lo anterior, el costo neto de la construcción del tanque es de \$ 370.000 por lo que económicamente es factible para su posible comercialización. Los otros costos se deben a que el tanque debe tener pruebas de funcionamiento, pero dicha instrumentación no es vital para que el tanque pueda estar operando. El costo total es de \$ 571.000 y resulta más económico al compararlo con uno comercial está en promedio de \$ 900.000 pesos colombianos.

5. Conclusiones

- El captador seleccionado funcionó de manera adecuada debido a que la temperatura del agua entregada a la entrada del tanque tuvo un promedio de 41 °C; sin embargo, este valor sigue siendo bajo para las expectativas de operación.
- El tanque presentó un comportamiento óptimo debido a que no hubo disminución en la temperatura por encima de los 5 °C, importante sobre todo en la franja de la tarde a la mañana del siguiente día. El rendimiento del tanque es de 72 %, por lo cual se recomienda tomar más datos para poder obtener un mejor rendimiento del mismo.

- El tanque, a pesar de no tener inspecciones que afectan el factor de seguridad, cumplió con las pruebas hidrostáticas, porque las presiones al interior del recipiente estuvieron siempre dentro de los valores de diseño; adicionalmente el tanque no presento ningún tipo de fugas.
- Se evidencia que la lana de vidrio presenta una pérdida de calor mucho menor con respecto a los otros materiales aislantes escogidos; papel corrugado, cartón y poliestireno expandido, teniendo como espesor de material 5,5 cm con una pérdida máxima de calor de 200w, que 66 % de la pérdida de calor total sin aislante.
- Se debe tener considerar que este tanque funciona con un reservorio que en este caso es el sol y no cumple con las condiciones de fidelidad, es decir, cuando hay días opacos, lluviosos u otros el sistema no va a recibir las mismas cantidades de energía que cuando hay un día soleado.
- El valor del tanque construido es relativamente bajo con respecto a los que se encuentran en el mercado, obteniendo una disminución en costo del 37,5 %, además ningún tanque comercial cuenta con acceso o *hand-hole* para mantenimiento o limpieza del mismo; con lo cual da un valor agregado en su fabricación.
- Con la experiencia ganada en la construcción y elaboración del tanque y ensamble de captadores solares se concluye que es una buena opción seguir en la investigación de métodos más elaborados que permitan mejorar el funcionamiento de éstos y se dé utilización a nuevos materiales para la fabricación de los colectores y así seguir con el buen aprovechamiento de la energía solar.

6. Agradecimientos

A la Universidad distrital Francisco José de Caldas. Al semillero de energías alternativas (SEA) por su gran esfuerzo en el trabajo investigativo realizado hasta el momento sobre calentadores solares y aprovechamiento de energía solar.

A German López Martínez, indispensable para llevar a cabo y culminar la etapa de investigación y desarrollo de dicho proyecto.

7. Referencias

- [1] J. A. Duffie and W. A. Beckman. *Solar Engineering of Thermal Processes*. 3ª Ed, 2006
- [2] F. Kreith, J. F. Kreider, J. F. *Principles of solar engineering*, 1978.
- [3] ASME, *Sección VIII Div. 1*, 2011.
- [4] ASME, *Sección II Div. 1*, 2011.
- [5] L. Jeffus. *Soldadura: principios y aplicaciones*. Vol. 3. Editorial Paraninfo, 2009.
- [6] ASME, *Sección VIII Div 1 UW*, 2011.
- [7] ASME, *Sección VIII Div. 1 UG*, 2011.
- [8] A. G. Mejía y C. A. Reyes, *Memoria, cálculo, selección y análisis numérico de un repiente a presión de 600 ft³ de capacidad*, Mexico D.F., 2008.
- [9] ASME, *Sección VIII Div. 2*, 2011.
- [10] Y. A. Çengel, *Transferencia de Calor y Masa*, Mexico : Mc graw Hill, 2007. 4
- [11] Y.A. Çengel, J. H. Pérez, A. Hernández Fernández. *Transferencia de calor*. Mcgraw-hill, 2004.
- [12] J. P. Holman. *Transferencia del calor*. MCGRAW HILL. ISBN:84-481-2040-X. España, 1998.
- [13] N. Diaz. *Transferencia de calor*, 2012.
- [14] M. Schleicher. *Temperature Measurement*. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 2010.