

DISEÑO DE UN TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA CALIENTE SANITARIA UTILIZANDO MATERIALES DE BAJO COSTO

Juan Alberto Mantilla-López¹, Mario Alexander Casallas-Rodríguez²

¹Ingeniero mecánico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Ingeniero electrónico, LGD Láser Industrial S.A.S. Bogotá, D.C., Colombia. Correo electrónico: jamantilal@correo.udistrital.edu.co

²Ingeniero mecánico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Investigador independiente, Bogotá, D.C. Colombia

Recibido: 14 de mayo del 2015 Aprobado: 10 de septiembre del 2015

Cómo citar este artículo: J. A. Mantilla-López, M. A. Casallas-Rodríguez, "Diseño de un tanque de almacenamiento de agua caliente sanitaria utilizando materiales de bajo costo", *Ingeniería Solidaria*, vol. 12, n.º 19, pp. 7-18, abril 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.16925/in.v12i19.1190>.

Resumen. *Introducción:* este artículo es producto de la investigación "Diseño y construcción de calentadores solares a partir de materiales reutilizables". Fue desarrollado por el semillero de investigación SEA, el cual pertenece al grupo de investigación en energías alternativas GIEAUD de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, desde el 3 de noviembre del 2014 hasta el 10 de abril del 2015. *Metodología:* en él se describen 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, las pruebas de funcionamiento y su evaluación térmica. *Resultados:* el colector solar —construido por los estudiantes del semillero SEA—, así como el tanque fabricado por los autores, se encuentran instalados en la terraza del gimnasio ubicado en la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Allí el tanque fue motivo de evaluación, a fin de evidenciar la eficiencia en la conservación de la temperatura y su funcionalidad como calentador solar. *Conclusiones:* con la experiencia adquirida en la construcción, la elaboración del tanque y el 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 estos, así como la utilización de nuevos materiales en el diseño, la fabricación y la evaluación de nuevos calentadores solares.

Palabras clave: aislamiento térmico, norma ASME, recipiente a presión, transferencia de calor.



DOMESTIC HOT WATER STORAGE TANK DESIGN USING LOW-COST MATERIALS

Abstract. *Introduction:* this article is the result of the research “Design and construction of solar heaters with reusable material”. The research was conducted by the research seedbed SEA, part of the research group of alternative power GIEAUD of the District University Francisco José de Caldas, from November 3, 2014 to April 10, 2015. *Methodology:* the study describes mathematical analysis, selection of materials (both for the insulator and the tank body), simulation of hydrostatic behavior, construction processes based on the norm ASME, section VIII, test runs, and thermal assessment. *Results:* the solar collector (built by the students of the SEA seedbed) and the tank built by the authors of this report were installed on the gymnasium’s terrace of the Technical Faculty of the District University Francisco José de Caldas. The tank was assessed to demonstrate its efficiency in conserving temperature levels and functioning as a solar heater. *Conclusion:* the experience acquired in creating and developing the tank and the assemblage of solar collectors confirms the convenience to pursue research on more elaborate methods that will allow the improvement of operations and usage of new materials in the design, manufacture and evaluation of solar heaters.

Keywords: thermal insulation, ASME norm, pressure container, heat transfer.

DESENHO DE UM TANQUE DE ARMAZENAGEM DE ÁGUA QUENTE SANITÁRIA UTILIZANDO MATERIAIS DE BAIXO CUSTO

Resumo. *Introdução:* este artigo é produto da investigação “Desenho e construção de aquecedores solares a partir de materiais reutilizáveis”. Foi desenvolvido pelo centro de investigação SEA, que pertence ao grupo de investigação em energias alternativas GIEAUD da Universidade Distrital Francisco José de Caldas, desde 3 de novembro de 2014 até 10 de abril de 2015. *Metodologia:* neste artigo são descritas a análise matemática, a seleção de materiais —tanto para o isolamento quanto para o corpo do tanque—, a simulação do comportamento hidrostático, o processo de construção baseado na norma ASME, seção VIII, os testes de funcionamento e sua avaliação térmica. *Resultados:* o coletor solar —construído pelos estudantes do centro SEA—, bem como o tanque fabricado pelos autores, estão instalados no terraço da academia situada na Faculdade Tecnológica da Universidade Distrital Francisco José de Caldas. Ali o tanque foi avaliado, a fim de evidenciar a eficiência na conservação da temperatura e sua funcionalidade como aquecedor solar. *Conclusões:* com a experiência adquirida na construção, a elaboração do tanque e o ensablado de captadores solares, conclui-se que é uma boa opção seguir na investigação de métodos mais elaborados que permitam melhorar o seu funcionamento, bem como o uso de novos materiais no desenho, a fabricação e a avaliação de novos aquecedores solares.

Palavras-chave: isolamento térmico, norma ASME, recipiente sob pressão, transferência de calor.

1. Introducción

El calentamiento de agua para el consumo doméstico o producción de agua caliente sanitaria (ACS), por medio de energía solar, es una alternativa muy importante que permite sustituir los calentadores tradicionales (a gas, eléctricos, etc.) y mejorar el ahorro energético, al permitir el reemplazo de los combustibles fósiles o la electricidad.

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 —por ejemplo, su bajo costo—, pero también implica inconvenientes, sobre todo la baja eficiencia generada por las pérdidas de calor que se presentan en el tanque de almacenamiento de ACS, principalmente en las horas nocturnas, entre otros aspectos. Por esta razón y por seguridad, se requiere de la construcción de un tanque que cumpla con normas internacionales, en conformidad con la norma ASME [1].

Hoy en día, los tanques de almacenamiento empleados en calentadores de uso doméstico varían dependiendo de su posición. Así, por ejemplo, los tanques cilíndricos de tipo vertical y horizontal están diseñados principalmente para la conservación de agua caliente producida por el panel solar o colector. Este tipo de tanque de forma cilíndrica se fabrica en hierro y se pinta y acaba con pintura epóxica, la cual se encarga de evitar el agente corrosivo dentro del recipiente. De esta manera, el tanque se llena con agua fría por la parte inferior y, en la parte superior, dada la diferencia de densidades, se ubica el agua caliente en razón a un fenómeno denominado “efecto termosifón”. El colector, al capturar la radiación del sol y transformarla en energía calórica, provoca que el agua —la cual se encuentra en el colector— gane energía y suba hacia el tanque solar, convirtiéndose en una recirculación cíclica, siempre y cuando exista una diferencia de temperatura entre la parte baja del tanque y el colector solar [2].

Estos tanques están libres de mantenimiento y no tienen acceso para realizar la correcta operación de limpieza, a diferencia del fabricado que trae consigo un *handhole* o dispositivo de inspección en conformidad con la norma ASME [1], el cual permite realizar un mantenimiento adecuado al tanque de ACS y evidenciar su interior. Los tanques para calentadores solares y calentadores convencionales (gas,

eléctricos) que se comercializan actualmente para uso doméstico no cuentan con acceso de mantenimiento y limpieza. Por esta razón, la idea que se presenta en este artículo es innovadora en lo que corresponde a fabricación de tanques de almacenamiento de ACS.

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

2. Proceso de diseño y construcción

En esta sección se detalla el procedimiento llevado a cabo en el diseño y la construcción del tanque, además del análisis matemático, la selección del aislante térmico y la evaluación térmica en la conservación de su temperatura.

2.1 Determinación de las dimensiones del tanque

En el desarrollo de este ítem de diseño se han tomado como referencia las *Reglas para la construcción de recipientes a presión* de la Norma ASME [1], en la cual se brindan los parámetros necesarios que permiten determinar las dimensiones del tanque, tales 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 (4,2372 ft³), la cual será utilizada para uso doméstico y cubrirá la necesidad de una familia promedio (cuatro personas).
- Temperatura de trabajo: 60 °C (140 °F). Si bien la temperatura de trabajo mínima es de 40 °C, se adopta un valor de temperatura mayor, contemplando un factor de seguridad (en este caso es de 1,5).
- Presión de operación: 0,1 MPa (14,5 psi).
- Presión de diseño: 0,2 MPa (29 psi).

El material que se trabajará es acero 1020. Este es aceptado por la norma en mención, con algunas modificaciones sugeridas por esta [1], cuyas propiedades mecánicas se citan a continuación:

- Resistencia a la fluencia $S_y = 200 \text{ MPa}$ (29 ksi).
- Esfuerzo último a la tensión $S_{ut} = 414 \text{ MPa}$ (60 ksi).
- Módulo de elasticidad $E = 200 \text{ GPa}$ ($29 \times 10^6 \text{ psi}$).
- Coeficiente de conductividad térmica $k = 41 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$.

Para el análisis de las soldaduras, se siguen los lineamientos de la sección UW, en la que la eficiencia de la soldadura está en función de su inspección (tintas penetrantes o rayos x), en los que 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 [1].

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 $P_o > 300 \text{ psi}$ (2,07 MPa), entonces $P = 1,1 P_o$.
- Para $P_o < 300 \text{ psi}$ (2,07 MPa), entonces $P = P_o + 30 \text{ psi}$, donde P es la presión de diseño y P_o la presión de operación. Entonces, en este caso, la presión de diseño $P_o = 30 \text{ psi}$ (0,21MPa) y la presión de operación $P = 60 \text{ psi}$ (0,41MPa).

2.3 Diseño óptimo del tanque

Para el diseño del tanque se establece la relación del diámetro con la longitud de este, dada en la ecuación 1.

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

Donde:

P = presión de diseño (psi).

C = corrosión máxima permitida (in). La corrosión máxima permitida no puede exceder 1/6 del espesor del material [1].

S = valor del esfuerzo del material (psi).

E = eficiencia de la soldadura (adimensional).

F = relación entre el diámetro y longitud del recipiente (adimensional).

Entonces:

$$F = \frac{60 \text{ psi}}{\frac{1}{24} * 50 * 10^2 \text{ psi} * 0,7}$$

$$F = 0,4114$$

Ahora, con el valor del factor $F = 0,4114$, y el volumen del recipiente $V = 4,23 \text{ ft}^3$ (0,12 m^3), se busca el diámetro del tanque de la figura 1.

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 o in).

V = volumen de trabajo (ft^3 o L).

D = diámetro exterior óptimo (mm o in).

Entonces:

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

$$L = 3,1 \text{ ft} (944 \text{ mm})$$

Una vez obtenidos los resultados de diámetro y longitud, se determina el espesor de la lámina del tanque de 1/8 in y el tipo de tapas laterales que se va a utilizar (tapas elípticas), tal como se desarrolla en el marco teórico de la norma ASME [1].

2.4 Análisis hidrostático

El propósito de este análisis es determinar 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 no vaya a sufrir algún deterioro, o no cumpla con los requerimientos de diseño. El análisis se realiza mediante el 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.

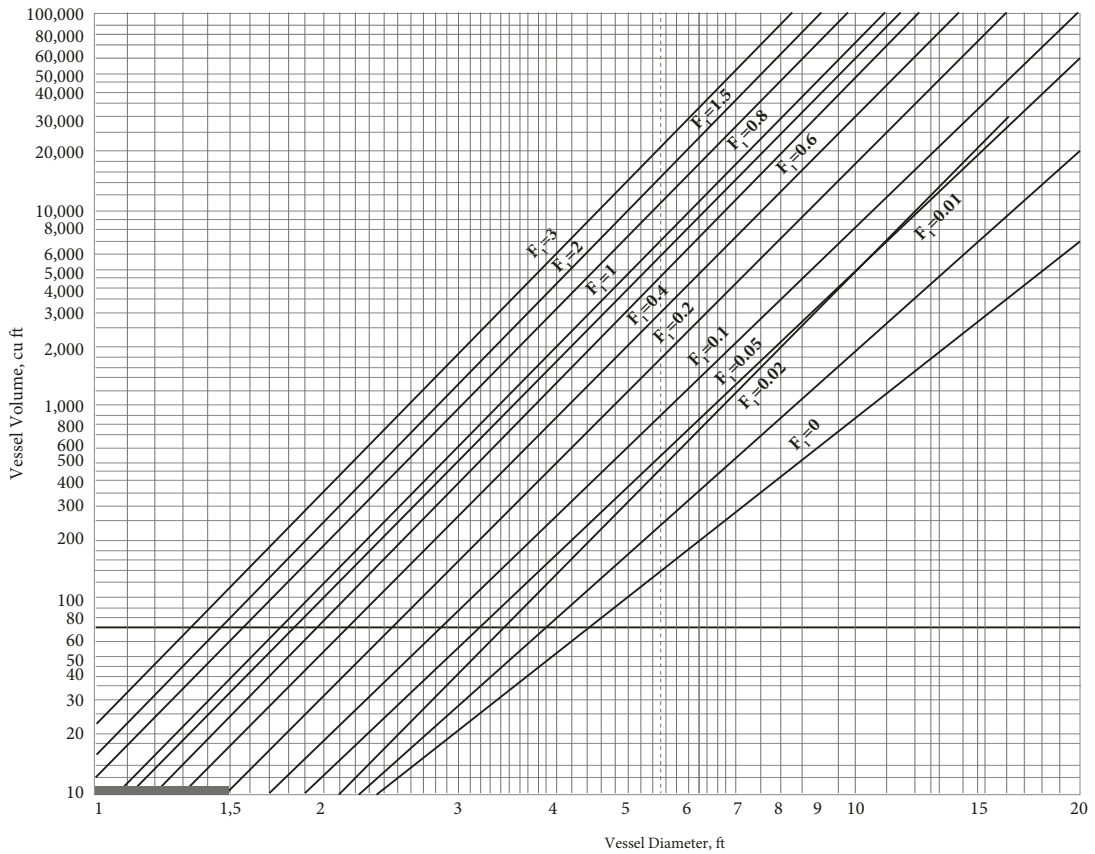


Figura 1. Determinación gráfica del diámetro exterior del tanque

Fuente: [3]

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

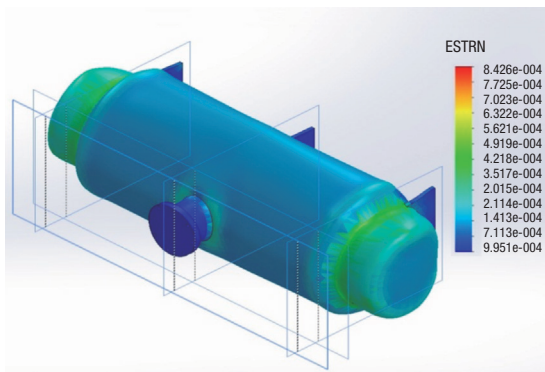


Figura 2. Comportamiento del material del tanque por esfuerzos

Fuente: elaboración propia con ANSYS-Workbench V 14.0 ©

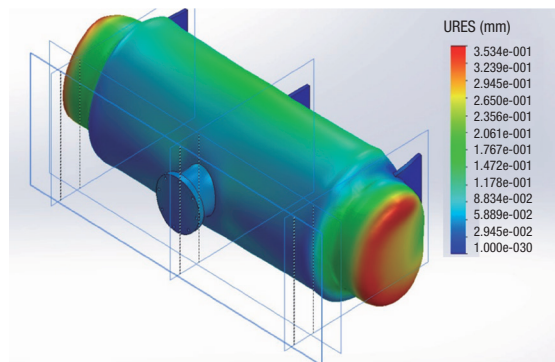


Figura 3. Comportamiento del material del tanque por deformación

Fuente: elaboración propia con ANSYS-Workbench V 14.0 ©

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 8,4 e-3 pulgadas (0,2 mm), y 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). Por lo tanto, el espesor de la lámina del tanque es apropiado para realizar y llevar a cabo su función. En efecto, el espesor de 3 mm es apropiado para su construcción.

El software ANSYS muestra a grandes rasgos 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.

2.5 Determinación del tipo de aislante

Los materiales preseleccionados con el fin de 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 tales como viviendas, empresas, centros de reutilización de materiales o universidades, y su valor de adquisición es relativamente baja en condiciones iniciales de diseño. A continuación se expone el proceso de selección del tipo de aislante adecuado para el tanque.

2.5.1 Condiciones iniciales

En el desarrollo del cálculo para determinar cuál de los materiales preseleccionados ofrece las mejores condiciones de aislamiento térmico, se siguen las recomendaciones del ingeniero Cengel, que señala cómo se debe 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 [4].

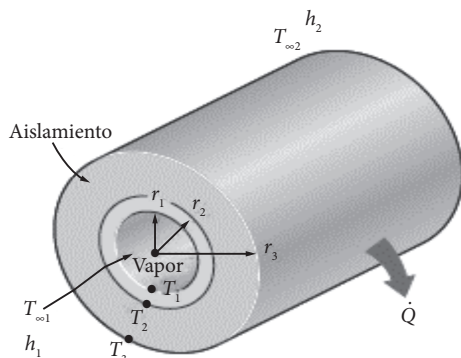


Figura 4. Modelo cálculo de aislante térmico

Fuente: [8]

En la figura 4, se muestran las dimensiones básicas con las cuales se realizan los diferentes cálculos.

L : Longitud 0,944 m

r_1 : Diámetro: 0,200 m

r_1 : radio interior del tanque

r_2 : radio interior del tanque

r_3 : radio interior del tanque

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

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

Fuente: [4]

2.5.6 Procedimiento para calcular el radio crítico de aislamiento

El radio crítico de aislamiento para un cuerpo cilíndrico está denotado por la ecuación 3.

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

Donde:

r_c = radio crítico (m)

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

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

2.5.7 Procedimiento para obtener la razón de pérdida de calor sin aislante

En las ecuaciones 4 y 5, se muestra la pérdida de calor:

$$Q = h_0 A_0 (T_{m1} - T_{m2}) \quad (4)$$

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

Donde:

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

$$R_{tubo} = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi k L} \text{ (}^\circ\text{C/w)} \tag{10}$$

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

$$R_{aislamiento} = \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{2\pi k L} \text{ (}^\circ\text{C/w)} \tag{11}$$

2.5.8 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%.

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

$$R_{total} = R_{conv,1} + R_{tubo} + R_{ais} + R_{conv,2} \tag{13}$$

$$Q = \frac{T_s - T_{air}}{R_s - R_{ais}} \tag{6}$$

Donde:

$$Q = \frac{T_{001} - T_{002}}{\frac{1}{h_0 A_0} - \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{2\pi KL}} \tag{7}$$

$T_{=1}$: Temperatura del ACS (40°C)

$T_{=2}$: Temperatura ambiente (10°C)

h_1, h_2 : Área superficie de convección del tanque y amb.

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

$$r_2 - r_1 = X \tag{8}$$

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

2.5.9 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 como se aprecia en las ecuaciones 9-13.

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

Tabla 2. Resultados mejor aislante

Material	rc(cm)	Q(w) Sin Ais	r ₃ (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

Fuente: elaboración propia

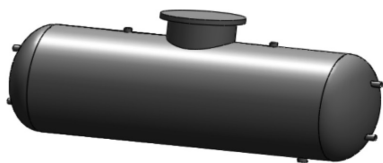
El radio crítico arroja valores mucho menores comparados con el radio 1 del tanque. Por eso, este valor no tiene relevancia en el proceso de escoger el espesor de los aislantes, ya que el radio 3 siempre será mayor al radio crítico de diseño.

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

(a)



(b)

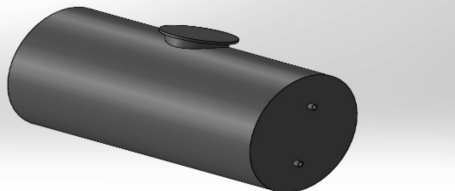


Figura 5. Tanque (a) con coraza y (b) sin coraza
Fuente: elaboración propia con SolidWorks 2015 ©

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 procede 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 6 hasta la 10 se muestra un registro fotográfico del proceso de fabricación, pasando por la construcción del tanque, la unión del recubrimiento



Figura 6. Fabricación del tanque
Fuente: elaboración propia



Figura 7. Cuerpo tanque
Fuente: elaboración propia



Figura 8. Montaje aislante (lana de vidrio)
Fuente: elaboración propia

térmico, el sellamiento del tanque con su aislamiento y el montaje para sus respectivas pruebas.

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

En la figura 7, el cuerpo del tanque presenta un acceso de limpieza o *handhole* para realizar mantenimiento general, así como futuras inspecciones de desgaste del material por corrosión. Según norma que se sigue [1].

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

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 calentador se instala con la instrumentación necesaria para realizar las pruebas de funcionamiento: tres termómetros de escala (-10 a 110 °C) o (20 a 220 °F), ubicados a la entrada del tanque, salida del colector y salida del tanque agua caliente; así como un manómetro y válvula de alivio a fin de garantizar la seguridad del dispositivo al ser operado.

2.7 Prueba de fugas en el tanque captador solar

Una vez realizado el respectivo ensamble, se deja el tanque con agua un periodo de tres días, con el fin de verificar que no posea tipo alguno de fugas,

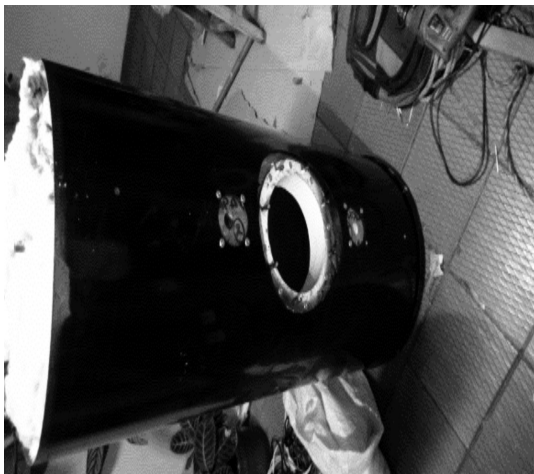


Figura 9. Ubicación carcasa y tapas laterales
Fuente: elaboración propia



Figura 10. Ensamble del tanque, el captador solar, los instrumentos y accesorios para su correcto funcionamiento
Fuente: elaboración propia

las cuales podrían repercutir en el buen funcionamiento del calentador solar, además de verificar que el captador solar esté en buen estado y no presente ningún daño o deterioro entre sus componentes.

2.8 Ensayo del rendimiento del tanque en la conservación de la temperatura

A continuación se señala el procedimiento que permite verificar qué tan eficiente es el tanque, a partir de la obtención de datos y posteriormente su interpretación.

Una vez realizado el ensamblaje del tanque con el captador solar y llevada a cabo 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). Esto con tres horas establecidas: en la mañana a las 7:30 a. m., a las 12 m., y en la tarde a las 5:30 p. m., con el fin de corroborar y realizar un consolidado de los datos y así 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.

Tabla 2. Datos obtenidos experimentalmente

Día	Temperatura °C						Ta °C	Pm Mpa
	7:30 a. m.		12:00 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
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

Fuente: elaboración propia

2.8.1 Datos obtenidos

Los datos observados son los días en los que se realizó el ensayo que comprende el periodo desde el 25 de marzo, al 1° de abril del 2015, en el cual se establece la temperatura ambiente del día y la presión manométrica registrada por el instrumento instalado.

3. Resultados

En las figuras 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. y 5:30 p. m.). Se observó que la temperatura más alta obtenida se da a las 12 m., y cómo 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., en razón a las condiciones ambientales que a esa hora de la mañana se tienen.

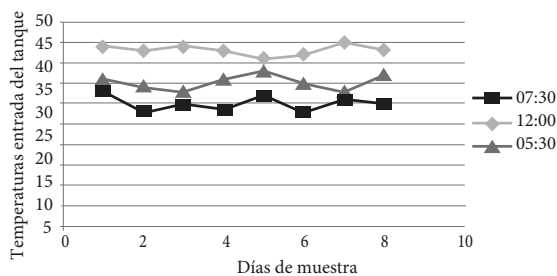


Figura 1. Comparación de temperatura a la entrada del tanque de las tres horas establecidas

Fuente: elaboración propia

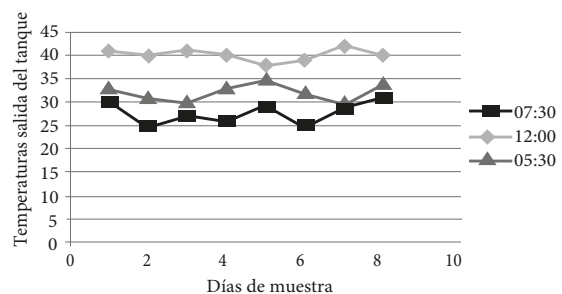


Figura 2. Comparación de temperatura a la salida del tanque de las tres horas establecidas

Fuente: elaboración propia

La franja horaria de 5:30 p. m. muestra un comportamiento promedio con 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, de manera que el tanque presenta un rendimiento del 72%.

4. 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 en razón a que no hubo disminución en la

temperatura por encima de los 5 °C, lo cual es 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 a fin de obtener un mejor rendimiento de este.

- El tanque —a pesar de no tener inspecciones que afectan el factor de seguridad— cumplió con las pruebas hidrostáticas, ya que las presiones al interior del recipiente estuvieron siempre dentro de los valores de diseño; adicionalmente, el tanque no presentó 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), al presentar como espesor de material 5,5 cm, con una pérdida máxima de calor de 200w, que es el 66% de la pérdida de calor total sin aislante.
- Se debe tener en cuenta que este tanque funciona con un reservorio. 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 *handhole* para mantenimiento o limpieza de este, lo cual le otorga un valor agregado en su fabricación.

Con la experiencia adquirida 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, los cuales permitan mejorar el funcionamiento de estos y se dé utilización a nuevos materiales para el diseño, fabricación y evaluación de nuevos calentadores solares.

5. Discusión y trabajo futuro

Se debe realizar una evaluación del rendimiento del tanque por un tiempo mayor al evaluado, de manera que sea posible realizar una optimización del material, el espesor del aislante térmico y garantizar que se obtenga una temperatura igual o superior a 40 °C en cualquier instante del día. Por otra parte,

implementar el sistema completo (tanque de almacenamiento y colector solar) en una vivienda unifamiliar, con el fin de realizar pruebas piloto y, una vez se tengan los resultados, evaluar la viabilidad de este sistema de calentamiento de agua caliente sanitaria ACS para su futura comercialización.

Como el tanque hace parte del calentador solar, se debe tener en cuenta un nuevo cálculo que es la determinación de la radiación solar promedio que recibe el dispositivo, según el sitio en el cual se desee instalar. Este procedimiento es básico para que el calentador solar funcione de manera óptima.

Si bien el aislante empleado es de material reutilizable y de fácil obtención, se propone de igual manera realizar un análisis de un nuevo material a partir un nuevo parámetro de transferencia de calor disminuyendo de 200W a 100W, así como evaluar de nuevo los ítems establecidos en este artículo.

Como proyecto paralelo, es indispensable realizar una comparación térmica variando el tipo de tanque (esférico o vertical), en el cual se determine con el construido cuál ofrece mejor resistencia a la pérdida de temperatura y se evidencie cuál funcionaría mejor en una vivienda unifamiliar, de acuerdo con los parámetros de diseño iniciales y factores tales como dimensiones y forma.

6. Agradecimientos

A la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, por su valiosa colaboración en la adecuación de espacios y la ejecución de los procesos educativos.

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

Al tutor y director Germán Arturo López Martínez, que fue una persona indispensable para llevar a cabo y culminar la etapa de investigación y desarrollo de dicho proyecto.

Referencias

- [1] The American Society of Mechanical Engineers (ASME), *Código ASME*, 2010, New York NY sec. VIII, div. 1 Diseño, Construcción e Inspección de Tanques y Recipientes de Presión. Disponible en: <https://www.dropbox.com/sh/io9up5lpvce4r8z/AADsc5T4497RYXRO2obLEwZPa?dl=0>

- [2] A. G. Mejía y C. A. Reyes, “Memoria cálculo selección y análisis numérico de un repiente a presión de 600 ft³ de capacidad”, Tesis de pregrado, Dpto. Ingeniería Mecánica, Instituto Politécnico Nacional, Mexico D. F., 2008. Disponible en: <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/2271/TESIS%20FINAL.pdf?sequence=1>
- [3] D. Moss, *Pressure Vessel Desing Manual*, Burlington. MA, USA: GPP, 2004. Disponible en: <http://es.slideshare.net/ejagiello/livro-pressure-vessel-dennis-moss>
- [4] Y. A. Celgel, *Transferencia de calor y masa*, México: McGraw-Hill, 2007.