

# AI

## ALMACENAMIENTO

**D. Galatro y E. Verruschi**

Dpto. de Ingeniería  
Química

Centro  
de Investigaciones  
de Procesos (CENIPRO)

Universidad Nacional  
Experimental Politécnica  
Antonio José de Sucre  
(Venezuela)



## Estimación de la pérdida de calor en tanques

*La estimación de la pérdida de calor en tanques con aislamiento se realiza por medio de un método riguroso, que involucra el uso de ecuaciones conocidas de transferencia de calor; así como a través de datos suministrados por los proveedores de sistemas de calentamiento de tanques. En el presente trabajo se incluye una prueba con datos del ejemplo reseñado por Kumana y Kothari (1982), quienes desarrollaron un procedimiento riguroso, y se compara con valores de pérdidas de calor obtenidos con datos tabulados de dos diferentes proveedores de sistemas de calentamiento de tanques.*

**LOS TANQUES AISLADOS TÉRMICAMENTE** han sido utilizados por más de un siglo, en aplicaciones industriales y domésticas, tal y como lo reseña Suter (1997). El cálculo de la tasa de calor perdido se basa usualmente en la geometría y conductividad térmica del aislamiento del tanque. De acuerdo a las investigaciones desarrolladas por el Swiss Federal Institute for Reactor, dicho cálculo tiende a ser sobreestimado por un factor de 3 a 5 (*ídem*), siendo los métodos simplificados aquellos que eventualmente pueden reflejar mayores desviaciones o sobreestimaciones. De otra parte, Kumana and Kothari (1982) desarrollaron un procedimiento riguroso para el cálculo de pérdidas de calor en tanques verticales cilíndricos, en aquellos casos donde los métodos *shortcut* o simplificados se consideran inadecuados. Este procedimiento incluye el uso de conocidas ecuaciones de transferencia de calor para la estimación de coeficientes globales, coeficientes de película, etc. Estos autores compararon con otra metodología disponible, la cual sobreestimó el valor de esta variable en un 30%. La rigurosidad de esta metodología permite la obtención precisa de la tasa de calor perdido, sin embargo, dicha rigurosidad reduce la practicidad del método, en términos del tiempo invertido para la estimación de la variable requerida. Por

tal motivo, en el presente trabajo se presenta una comparación entre el cálculo riguroso y las correlaciones e información tabulada de suplidores de equipos de calentamiento de tanques, a fin de evaluar las diferencias entre ambos métodos: riguroso y simplificado. Se incluye además, un nuevo conjunto de correlaciones desarrolladas a partir de la metodología rigurosa, con mayor precisión que los métodos simplificados tomados como referencia, que permite la estimación de la tasa de calor perdido en tanques metálicos cilíndricos verticales con aislamiento.

## 1

### TRANSFERENCIA DE CALOR EN TANQUES

La tasa de calor a través del cuerpo del tanque es calculada por medio de la siguiente ecuación (*ídem*):

1

$$Q_v = A_v Q_t F \Delta T$$

donde:

$Q_v$ : Calor a través del cuerpo del tanque, W

$A_v$ : Superficie total del cuerpo del tanque, pies<sup>2</sup>

$Q_t$ : Tasa de calor perdido, W/ pies<sup>2</sup>

$\Delta T$ : Temperatura a mantener dentro del tanque - Mínima temperatura ambiental, °F

F: Factor de corrección debido al aislamiento

Los proveedores de sistemas de calentamiento de tanques generalmente ofrecen información sobre la tasa de calor perdido ( $Q_t$ ), la cual usualmente se encuentra tabulada o graficada. Con los datos tomados de dos proveedores "A" y "B", se obtuvieron las siguientes correlaciones empíricas, empleando para ello la herramienta de gráficos y la opción "línea de tendencia" de una hoja de cálculo (*open office*):

2

$$Q_t = 0.0807 \text{ INS}^{-1.0089} \quad \text{Proveedor "A"}$$

3

$$Q_t = 0.0755 \text{ INS}^{-0.9806} \quad \text{Proveedor "B"}$$

El coeficiente de correlación es 0.9999 para ambas expresiones, próximos a la unidad.

Los datos de los proveedores y, en consecuencia, las correlaciones derivadas de los mismos se aplican para tanques verticales, metálicos, completamente aislados, para diámetros mayores a 4 pies y para fluidos de baja y media viscosidad (agua - aceites y/o crudos ligeros), de acuerdo a la aplicabilidad descrita por los dichos proveedores.

El factor "F" depende del tipo de aislamiento empleado en el tanque. Así, por ejemplo, la fibra de vidrio tiene un factor de ajuste o corrección por aislamiento de "1", de acuerdo a lo indicado en el estándar ASTM 547: "Standard Specification for Mineral Fiber Pipe Insulation". Los factores de ajuste para diferentes aislamientos se muestran en la Tabla 1.

TABLA 1

### FACTOR DE AJUSTE DE AISLAMIENTOS COMERCIALES

Ensayo	Factor de ajuste
Fibra de vidrio (ASTM C547)	1
Silicato de calcio (ASTM C533)	1.48
Vidrio celular (ASTM C552)	1.48
Uretano celular rígido (ASTM C591)	0.64
Espuma de elastómero (ASTM C534)	1.16
Fibra mineral (ASTM C553)	1.16
Perlita expandida (ASTM C610)	1.9

Nota: Datos tomados de la referencia 5

## 2

### COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS SIMPLIFICADOS CON EL MÉTODO RIGUROSO

Se efectuó una prueba con los datos del ejemplo mostrado en el artículo de Kumana and Kothari (1982), denominado MR (metodología rigurosa), utilizando las correlaciones (2) y (3). Los datos de entrada se presentan en la Tabla 2, mientras que los resultados de la prueba se indican en la Tabla 3.

En la Tabla 3 se observa que los datos proporcionados por el proveedor "A" se aproximan más a los estimados por medio de la metodología rigurosa de cálculo, con un error relativo de 1.62%, para los datos de entrada considerados.

TABLA 2

### DATOS DE ENTRADA DE LA PRUEBA

Diámetro, pies	20
Altura, pies	48
$A_v$ , pies <sup>2</sup>	3015.1
Temperatura a mantener, °F	50
Temperatura ambiental mínima, °F	35
$\Delta T$ , °F	15
Espesor de aislamiento, pulg	1.5
Tipo de aislamiento	Fibra de vidrio
Factor de ajuste del aislamiento	1
Velocidad del viento, mph	20

TABLA 3

### COMPARACIÓN ENTRE MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE TASA DE PÉRDIDA DE CALOR EN TANQUES

	Pérdida de calor		
	A	B	MR
$Q_t$ , W/pie <sup>2</sup> /°F	0.0536	0.0507	
$Q_v$ , W	2424.4	2294.4	2385.66
% Error	1.62	3.83	

### 3

#### FACTOR DE AJUSTE POR VIENTO

Kumana y Kothari (1982) incluyen en su metodología de cálculo un segundo factor de ajuste debido al efecto de la velocidad del viento, el cual es igual a la unidad para una velocidad de 20 mph. Dicho factor de ajuste se estima a través del uso de un conjunto de funciones contenidas en la figura 2 del artículo de los autores citados, en cuyo eje de abscisas se halla la velocidad del viento; en el eje de las ordenadas se encuentra el factor de ajuste y las funciones graficadas dependen de la diferencia de temperatura  $\Delta T$  (Figura 1). La ecuación que correlaciona este conjunto de funciones se expresa del modo siguiente:

4

$$F_v = 0.036 W_v + 0.28$$

donde:

$F_v$ : Factor de corrección por viento

$W_v$ : Velocidad del viento, mph

Esta correlación fue obtenida de modo similar a las precedentes y tiene un coeficiente “r” igual a 0.9982, próximo a la unidad.

### 4

#### NUEVA CORRELACIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DE PÉRDIDA DE CALOR EN TANQUES

Con los datos de entrada citados en la Tabla 2 y siguiendo el procedimiento riguroso de cálculo, se efectuó un análisis de sensibilidad en una hoja de cálculo (variando la diferencia de temperatura y el espesor de aislamiento), la cual permitió obtener los siguientes datos de la tasa de calor perdido por pie<sup>2</sup> para la obtención de la nueva correlación (Tabla 4).

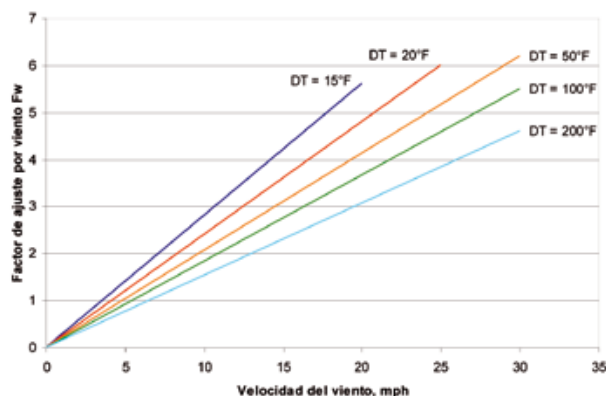
La ecuación que correlaciona los datos anteriores se indica a continuación:

5

$$Q_t = 0.0974 \text{ INS}^{-1.0088} A_v \Gamma \Delta T$$

Figura 1

Factor de ajuste por viento (figura tomada de la referencia 2)



El factor de correlación de (5) es 0.9998.

Incluyendo el factor de ajuste por viento en la ecuación (1) y  $Q_t$  de la ecuación (5), la nueva correlación final para la estimación de la pérdida de calor a través del cuerpo aislado de un tanque es:

6

$$Q_v = 0.0974 \text{ INS}^{-1.0088} A_v \Gamma \Delta T (0.036 W_v + 0.28)$$

El coeficiente de correlación “r” de la ecuación (6) es igual a la unidad.

Con los datos de entrada de la Tabla 2, el valor de la tasa de calor perdido en el tanque es igual al del ejemplo citado en el artículo de Kumana y Kothari.

**SE ESTIMÓ UNA NUEVA CORRELACIÓN VÁLIDA PARA TANQUES CILÍNDRICOS VERTICALES, COMPLETAMENTE AISLADOS Y PARA FLUIDOS DE BAJA Y MEDIA VISCOSIDAD**

TABLA 4

#### TASA DE CALOR PERDIDO POR PIE<sup>2</sup> (NUEVA CORRELACIÓN)

$\Delta T, ^\circ F$	Espesor del aislamiento, in							
	0.5	1	1.5	2	3	4	5	6
50	8.0	4.0	2.6	2.0	1.3	1.0	0.8	0.7
100	16.0	7.9	5.3	3.9	2.6	2.0	1.6	1.3
150	24.0	11.9	7.9	5.9	3.9	2.9	2.3	2.0
200	32.0	15.9	10.5	7.9	5.2	3.9	3.1	2.6
250	39.9	19.9	13.2	9.9	6.6	4.9	3.9	3.3
300	47.9	23.8	15.8	11.8	7.9	5.9	4.7	3.9

La aplicabilidad de esta correlación está limitada a tanques metálicos, cilíndricos verticales, completamente aislados y para fluidos de baja y media viscosidad (agua - aceites y/o crudos ligeros).

## 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En conclusión, la estimación de la tasa de calor perdido en un tanque aislado (cuerpo) se puede estimar tanto de forma rigurosa, basada en las ecuaciones tradicionales de transferencia de calor; así como de manera simplificada, a través de datos tabulados por los proveedores de sistemas de calentamiento de tanques.

Se obtuvieron sencillas y precisas correlaciones para la estimación de la tasa de pérdida de calor en tanques, a partir de los datos suministrados por los proveedores A y B; las correlaciones obtenidas son válidas para tanques cilíndricos verticales con diámetros mayores a 4 pies, completamente aislados y para fluidos de baja y media viscosidad (agua - aceites y/o crudos ligeros). Se compararon los resultados obtenidos con el uso de datos de  $Q_c$  de dos diferentes proveedores con un ejemplo del uso del método riguroso, reseñado en la literatura (referencias 1 y 2). El porcentaje de error relativo del proveedor "A" (1.62%) fue menor que el del proveedor "B" (-3.83%), en términos absolutos, reflejándose las diferencias entre los métodos de estimación que llevan

eventualmente a la sobre o subestimación de este valor.

Se obtuvieron datos de  $Q_c$  a partir de los datos de prueba del ejemplo citado, empleando el método riguroso y una hoja de cálculo desarrollada para tal fin. Con dichos datos se estimó una nueva y sencilla correlación que además incluye el factor de corrección por viento. Esta correlación es válida para tanques cilíndricos verticales, completamente aislados y para fluidos de baja y media viscosidad (agua - aceites y/o crudos ligeros).

Se recomienda evaluar y/o estimar otros factores de corrección de viento, a fin de aumentar la precisión y exactitud de la correlación obtenida, así como evaluar el efecto del uso de otros líquidos contenidos en el tanque. Además, se recomienda la extensión del estudio hacia el cálculo de la tasa de calor perdido en soportes, bocas de visita, techo y otras partes del tanque y accesorios principales, así como el estudio dinámico del fenómeno de transferencia de calor que ocurre en el tanque.

#### Referencias

- [1] Cao, E. (2009). Heat Transfer in Process Engineering. McGraw Hill. Páginas 71 - 75.
- [2] Kumana, J. y Kothari, S. (1982). Predict storage-tank heat transfer precisely. Chemical Engineering. Páginas 127 - 132.
- [3] Suter, J (1997). Heat losses from storage tanks: Up to 5 times higher than calculated. Suter Consulting, P.O. Box 130. Ch-3000. Berna, Suiza.
- [4] Tank Heaters from Armstrong. Disponible en: <http://www.armstronginternational.com/tank-heaters-all-models>.
- [5] Tank Heating System, Raychem Design Guides. Disponible en: [http://www.tycothermal.com/assets/NorthAmerica/English/Documents/Product\\_Design\\_and\\_Selection\\_Guides/Products/150/H55208.pdf](http://www.tycothermal.com/assets/NorthAmerica/English/Documents/Product_Design_and_Selection_Guides/Products/150/H55208.pdf)
- [6] Chrolamox, electrical heating systems. Disponible en: [www.chromalox.com](http://www.chromalox.com)