

# Análisis de las características de termoplásticos para el desarrollo de intercambiadores de calor de tubo y coraza

## *Analysis of thermoplastic characteristics to develop shell and tube heat exchangers*

Aguilar Osorio Rita\*,

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Zacatenco,  
Instituto Politécnico Nacional, México

[raquilaro@ipn.mx](mailto:raquilaro@ipn.mx)

Vázquez Flores José Félix,

ESIME Ticomán,  
Instituto Politécnico Nacional, México

Vite Torres Jaime,

Instituto de Investigaciones Nucleares.

Recibido 01, abril, 2016

Aceptado 30, mayo, 2017

### Resumen

En los últimos años se ha incrementado el uso de materiales termoplásticos en el desarrollo de intercambiadores de calor. Lo cual es un reto debido a su baja conductividad térmica, siendo esta menor que la de los metales, por lo cual es necesario desarrollar diseños particulares. Los intercambiadores construidos con materiales termoplásticos se pueden utilizar para enfriar o calentar fluidos hasta 150 °C y -50 °C con presiones de hasta 5 bar. Las ventajas al usar materiales plásticos, en lugar de aleaciones metálicas en procesos a bajas presiones y temperaturas en la fabricación de estos equipos son numerosas, entre las principales se pueden mencionar alta resistencia a la corrosión, bajo ensuciamiento, poco peso y bajo costo. La investigación de este trabajo se enfocó al fluoruro de polivinilideno, polipropileno, polietileno de alta densidad y cloruro de polivinilo.

Palabras clave: Intercambiadores de calor, materiales termoplásticos, materiales para construir intercambiadores de calor

### Abstract

*In the last years the use of the thermoplastic materials to develop heat exchangers have been increased, which is a challenge due to the low thermal conductivity, it is lower than the metals, in view of the characteristics of the thermoplastics material a particular design must allow for the fact that thermoplastics have different properties than metals. The heat exchangers built with thermoplastic materials can be only used for heating or cooling fluids up to 150°C and -50°C with pressures up to 5 bar. The numerous advantages of using thermoplastic in heat exchangers construction for processes at low temperature and pressure, instead of metal alloys where the working fluids are corrosive can be attributed to higher corrosion resistance, lighter weight, slight chance of a deposit, and lower cost. This investigation includes polyvinylidene fluoride, polypropylene, high density polyethylene, and polyvinyl chloride.*

Keywords: Heat exchangers, thermoplastic materials, materials to build heat exchangers

### INTRODUCCIÓN

En la operación de los intercambiadores de calor, ciertos fluidos de trabajo son altamente corrosivos, por lo cual se tienen que seleccionar los materiales cuidadosamente para evitar problemas de corrosión. Una alternativa para la solución a estos problemas es utilizar materiales termoplásticos. La mayoría de los intercambiadores de calor se fabrican con materiales metálicos. La característica más

significativa de los metales es la alta conductividad térmica. Sin embargo, el principal problema de éstos es la corrosión, debido a que generalmente reaccionan con el fluido en contacto. Recientemente se ha incrementado el uso de termoplásticos para fabricar intercambiadores de calor, los cuales se utilizan en procesos de moderada temperatura y baja presión que incluyen fluidos muy corrosivos y con un alto grado de ensuciamiento.

Se han fabricado una gran variedad de intercambiadores de calor, principalmente compactos, utilizando materiales termoplásticos los cuales están siendo utilizados en la industria, en procesos a bajas temperaturas y presiones, incluyendo farmacéutica, alimenticia, en la desalinización del agua de mar, en la eliminación de la lluvia ácida en estaciones eléctricas y en general en procesos a bajas presiones y temperaturas donde se utilizan fluidos altamente corrosivos. Los termoplásticos más utilizados en estos procesos son fluoruro de polivinilideno (PVDF), polipropileno (PP), Polietileno de alta densidad (HDPE), cloruro de polivinilo (PVC), polímeros, entre otros (Final Report, Robdorf, Yaroslavlslil, Van Lier, Goodfellow, Wyman & Aguilar Osorio).

Las ventajas al usar termoplásticos en la construcción de intercambiadores de calor son numerosas, en procesos a bajas temperaturas y presiones, en los cuales se utilizan fluidos de trabajo altamente corrosivos, en lugar de aleaciones metálicas. Estas ventajas incluyen bajo costo, alta resistencia a la corrosión, a la degradación, su peso es ligero, tienen buena capacidad de procesamiento, y por tanto sus superficies son muy lisas, debido a esto en las superficies no permiten formaciones de depósitos. Los plásticos son más fáciles de conformar, reduciendo el costo de fabricación (Final Report, Yaroslavlslil & Technical Manual Pressure Pipelines).

Las desventajas al usar termoplásticos son la baja conductividad térmica, debido a esto es necesario fabricar tubos con espesores muy finos con la finalidad de obtener una razonable transferencia de calor, por lo cual solo se pueden utilizar a presiones bajas. Las temperaturas de enfriamiento y calentamiento se limitan a aproximadamente 150°C y -50°C. La expansión térmica es de entre 5-10 veces mayor que la de los metales (Wyman, Aguilar Osorio & Technical Manual Pressure Pipelines).

## **OBJETIVOS**

Analizar las características más relevantes de los principales termoplásticos para el desarrollo de los intercambiadores de calor de tubo y coraza. Además, se presenta un caso de estudio de la aplicación del polietileno de alta densidad y el propileno en la fabricación de un intercambiador de calor de tubo y coraza con arreglos de tubos en U, del que se observó que los materiales termoplásticos son una excelente alternativa para fabricar intercambiadores de calor de tubo y coraza en procesos a bajas temperaturas y presiones.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Los materiales plásticos están siendo utilizados ampliamente en equipos de transferencia de calor en torres de enfriamientos (Yaroslavlslil) en la desalinización del agua de mar (Van Lier) en la eliminación de la lluvia ácida en las estaciones eléctricas, principalmente en Alemania, Inglaterra y Holanda (Goodfellow & Wyman), en la industria alimenticia y en la dilución de ácido sulfúrico (Robdorf, Aguilar Osorio R. and Cliffe K.), entre otros.

La Tabla 1 muestra la comparación de las principales características entre los materiales metálicos y los plásticos. De esta se hacen las siguientes observaciones:

Con los materiales plásticos se obtienen superficies muy lisas, como consecuencia el factor de fricción y la caída de presión son menores que la de las superficies metálicas, debido a esto permiten menos adherencia de depósito y minerales sobre la superficie y por lo cual permiten menos incrustaciones que las superficies metálicas, siendo más fáciles de limpiar. En condiciones de abrasión, los materiales

termoplásticos o elastómeros tienen más resistencia que los metales. Yaroslavlslil (1996) y Van Lier (1983) utilizaron tubos de polietileno y propileno para el condensador de una estación de generación de energía eléctrica, estos tubos fueron limpiados hasta casi un año de servicio, sin presentar incrustaciones o corrosión. Sin embargo, también fueron observados los tubos construidos de bronce en el mismo tiempo de servicio, estos presentaron corrosión y depósitos de sales de hasta 2mm de espesor.

Tabla I. Comparación entre materiales termoplásticos y algunos materiales metálicos utilizados en la construcción de intercambiadores de calor.

Material	Acero inoxidable	Acero al carbono	HDPE	PP	PVC	PVDF
Conductividad térmica [W/mK]	16.3	11	0.45-0.52	0.22	0.12-0.25	0.13-0.19
Expansión térmica, [K <sup>-1</sup> ]	0.16- 0.18x10 <sup>-4</sup>	0.11x10 <sup>-4</sup>	1.7-2x10 <sup>-4</sup>	1.6-1.8x10 <sup>-4</sup>	0.75-1x10 <sup>-4</sup>	1.2-1.5x10 <sup>-4</sup>
Densidad, [kg/m <sup>3</sup> ]	7970	7850	950	910	1040	1780
Temperatura de trabajo, [°C]	870-925 (max)	350 (max)	-40 to 80	-20 - 120	-30-75	-50-150
Resistencia [MPa].	460-860	240	15-40	-20 - 100	25-70	25-60
Ensuciamiento	Permite	Permite	No permite	No permite	No permite	No permite
Corrosión	Permite	Permite	No permite	No permite	No permite	No permite
Costo [libras/m]	9.11	3.95	0.57	0.96	2.08	7.00

La mayoría de los termoplásticos tienen excelente resistencia ante la presencia de fluidos corrosivos incluyendo minerales o ácidos orgánicos, agentes oxidantes y muchos solventes. Los materiales plásticos no son afectados por corrosión intergranular y galvánica.

Van Lier y Charlier (1983) realizaron pruebas en problemas de agua de mar caliente contaminadas con desechos industriales utilizando polietileno, polipropileno y PVC, en lugar de titanio, con buenos resultados y menor costo. También observaron que el fluoruro de polivinilideno (PVDF) es resistente a los ácidos inorgánicos y orgánicos, halógenos y solventes halogenados. Este presenta desventajas en soluciones cáusticas con las cuales el material se torna quebradizo y se degrada con ácidos altamente concentrados y por aminas básicas.

La densidad de los materiales termoplásticos, mostrados en la Tabla 1, varía entre 910 a 1780 kg/m<sup>3</sup>, es decir, de 4 a 8 veces menor que los metales. Para un mismo volumen los intercambiadores fabricados de plásticos, son más ligeros que los fabricados con materiales metálicos, por ende, más fáciles de transportar.

La Tabla 1 muestra que la resistencia del acero inoxidable y el acero al carbono es aproximadamente entre 14 y 30 más alta que los materiales plásticos. A temperatura ambiente, la resistencia de los termoplásticos es aproximadamente 10 veces menor que la de los metales. Para termoplásticos puros el intervalo de resistencia a la tensión es de 10 a 100 MPa y para termoplásticos con revestimiento de 100 a 200 MPa. La resistencia a la erosión es mucho más alta que la de los metales.

La expansión térmica de los materiales termoplásticos es entre 5 a 11 veces mayor que la de los metales. Esta aumenta al aumentar la temperatura.

Las propiedades de los termoplásticos son grandemente afectadas por la temperatura. La vida útil de un intercambiador fabricado con materiales termoplásticos dependerá de las temperaturas máximas y las cargas de operación. El polietileno de alta densidad y el propileno utilizados para la fabricación del intercambiador de calor tienen una temperatura máxima de operación de 100°C y 80°C respectivamente. Un signo de degradación aparece más o menos rápido, dependiendo de la temperatura. Esto tiene que ser considerado cuando se selecciona el material para fabricar un intercambiador de calor.

La conductividad térmica de los termoplásticos es menor que la de los metales. La conductividad térmica del HDPE es de 0.45 a 0.52 W/mK. Esto es, aproximadamente 31 a 36 veces menor que la del acero inoxidable. Debido a esto es necesario fabricar el espesor del área de transferencia de calor muy delgada, con la finalidad de reducir el efecto adverso de la transferencia de calor.

Se observó que el HDPE y el PP son 9 y 15 veces más económicos que el acero inoxidable, 7 veces más barato que el acero al carbono, el PVC es 4 veces más barato que el SS316, 2 veces más barato que el acero al carbón. El PVDF es el más costoso de estos plásticos, el cual es 23 % más barato que el SS316, y 1.7 más costoso que el acero al carbón. El costo se consideró por metro de tubo con un diámetro de interno de 15 mm.

## RESULTADOS Y HALLAZGOS

En la compañía Chem-Resist Europe, Corrosion Process Plant in Plastic, en Inglaterra, se tenían problemas de corrosión en el proceso de dilución del ácido sulfúrico, por cual era necesario diseñar un nuevo equipo con materiales que solucionaran este problema. La alternativa para solucionar el problema de corrosión fue proponer materiales alternativos, entre ellos el grafito, el vidrio y los termoplásticos (polietileno de alta densidad, polipropileno y fluoruro de polivinilideno).

El grafito es altamente resistente a la corrosión, es buen conductor del calor y tiene un bajo coeficiente de expansión térmica, tiene buena procesabilidad, pero no puede ser soldado, además tiene baja resistencia a la tensión, es poroso, por lo tanto, es necesario mejorar las superficies, lo cual restringe la temperatura máxima de operación y se incrementa el costo (Madner). El vidrio es también altamente resistente a la corrosión, sin embargo, este es muy frágil, siendo está la principal desventaja.

Con base en la Tabla I y el análisis anterior, los materiales seleccionados para fabricar el intercambiador de calor los materiales fueron: el polietileno de alta densidad para la fabricación de los tubos y para la coraza, las mamparas, los cabezales y los espejos se utilizó el polipropileno. Debido a que estos fueron los más apropiados de acuerdo a las condiciones de operación, siendo el fluido de trabajo ácido sulfúrico, las temperaturas de entrada y salida en los tubos fueron de 55°C a 45°C, respectivamente y la temperatura a la entrada de la coraza fue de 10°C aproximadamente, la caída de presión requerida fue de 0.15 bar y los flujos del fluido analizados fueron de 5,000 l/h hasta 12,000 l/h.

El arreglo de los tubos consistió de 110 tubos en U, para hacer la curvatura de los tubos no hubo problemas de fragilidad, con un diámetro externo de 10 mm. Con la finalidad de reducir el efecto adverso de la transferencia de calor del HDPE se estimó un espesor de los tubos de 0.4 mm. La longitud de los tubos fue de 2.6 m, y la presión máxima en los tubos fue de 1.7 bar. Para esta investigación se utilizó un intervalo de flujo de fluido de 2000 a 12000 l/h, la temperatura máxima de operación fue de 55°C. La aplicación fue para la dilución de ácido sulfúrico, en este proceso se tenía problemas de corrosión. En la Figura 1 se muestra el diagrama esquemático del intercambiador de calor fabricado con materiales termoplásticos.

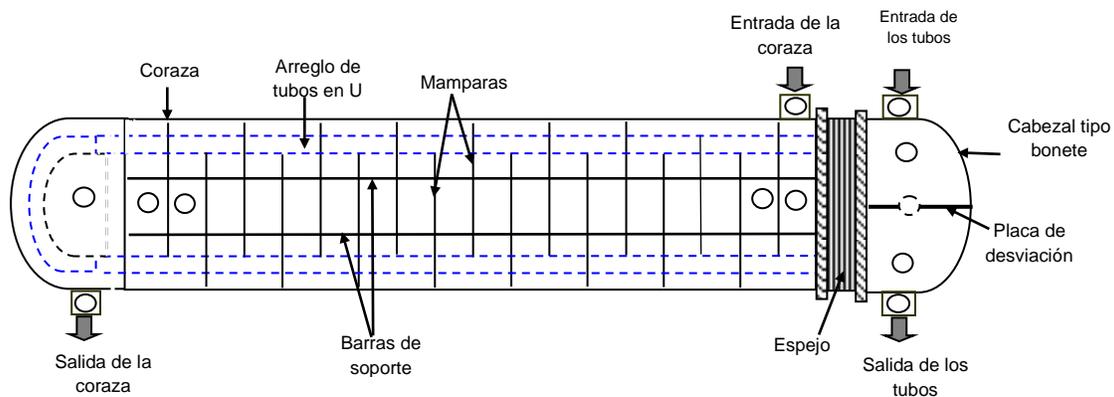


Figura 1. Diagrama esquemático del intercambiador de calor de tubo y coraza fabricado con polietileno de alta densidad y polipropileno

En este caso de estudio se observaron las ventajas que ofrecen el polietileno de alta densidad y el polipropileno en la construcción y operación del intercambiador de calor. Este estudio se realizó en el proceso de la dilución del ácido sulfúrico, durante 8 meses, del cual se observó lo siguiente.

- Tienen un menor costo que los metales
- Mostraron buena procesabilidad, fueron fáciles de conformar, por lo cual se pudieron utilizar para fabricar los tubos en U sin que se fracturaran al hacer la curvatura de estos tubos.
- Presentaron buena resistencia a la corrosión y al ensuciamiento. Los resultados obtenidos mostraron buena resistencia a la corrosión y al ensuciamiento durante los 8 meses de operación, no hubo problemas de corrosión y casi no se presentó ensuciamiento, por lo cual fue fácil limpiar el equipo con agua.
- Los resultados de este trabajo también mostraron la resistencia a la erosión de la superficie de los tubos construidos con HDPE.
- Debido a sus propiedades mecánicas es posible construir intercambiadores de calor, tanto de tubo y coraza como compactos, que operen a moderadas temperaturas y presiones, utilizando materiales termoplásticos.

## CONCLUSIONES

Las características del HDPE y el PP analizadas mostraron que estos materiales ofrecen grandes ventajas, con respecto a los metálicos, en problemas de corrosión, para fabricar intercambiadores de calor que operen a bajas presiones y temperaturas. Aunque los resultados del comportamiento térmico no fueron tan buenos como los de los equipos construidos con materiales metálicos, las ventajas que ofrecen son sus excelentes resistencias a la corrosión, al ensuciamiento, a la erosión, bajo peso y el costo es menor, los hace atractivos para la fabricación de los intercambiadores de calor que operen a bajas presiones y temperaturas. Los resultados obtenidos del caso de estudios confirman que no hubo problemas de corrosión durante 8 meses y casi no se presentó ensuciamiento, por lo cual fue fácil limpiar el equipo con agua.

## RECONOCIMIENTO

La autora agradece el apoyo recibido del Instituto Politécnico Nacional y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología para la realización de esta investigación.

## REFERENCIAS

- Aguilar Osorio R. (2000). Research Reporte. Plastic Heat Exchangers Resist Corrosion. Sheffield, UK.
- Aguilar Osorio, R, Cliffe, K. (2001) Reporte. Design of Plastic Heat Exchanger. Sheffield University-Chem Resist Europe Corrosion Process Plant in Plastic. Sheffield, U.K.
- Butterworth Heinemann. UK. (1994). Engineering Reference Book.
- Goodfellow. (2001). Metal alloys, Ceramic, Polimer and Composite. England. Catalogue. U.K.
- Madner, P. J. (1984). Graphite Heat Exchangers in the Process Industries. First National Conference on Heat Transfer. U.K. Vol. 2. Pergamon Press. pp. 1263-1271.
- Robdorf, H.G. Plastic in the Construcción of Heat Exchangers. (1994). An Answer to Many Problems. Kunststoffoplast Europe. pp. 23-25. Germany.
- Van Lier, J., and Charlier, S. (1983). Heat Exchangers Made or Fluorinated Thermoplastics. Seminar Preprints. Plastic Seminar. No. 23. USA. pp. 27.1-27.15. Holland.

Wyman, V. (1989). Plastic Heat Exchanger in Power Station Clean-up. The Engineer. Vol.2. p. 32.

Yaroslavslui, N. E. Berman G.M. (1996). Investigation in a Power Plant Heat Exchangers with Tube Systems of Polymer Material. pp. 42-52.

ASTM Speciality Handbook Stainless Steel. ASTM International. The Material Information Society. USA. (1994).

Final Report. EPRI. ROD Co. Non-metallic Heat Exchangers. (1983). A Survey of Current and Potential Designs for Dry Cooling. Cambridge, Mass.

Technical Manual Pressure Pipelines. AKATHERM-KMF. Holland. (1999).

Standard of Tubular Exchangers Manufacturers Association, TEMA, (1998). New York. USA.

**Este artículo puede citarse de la siguiente forma:**

**Citación estilo APA sexta edición**

Aguilar-Osorio, R., Vázquez-Flores J.F., & Vite-Torres J. (mayo-agosto de 2017). Análisis de las características de termoplásticos para el desarrollo de intercambiadores de calor de tubo y coraza. *Revista Multidisciplinaria de Avances de Investigación*, 3(2), 25-30.

**Citación estilo Chicago decimoquinta edición**

Aguilar-Osorio, Rita, José Félix Vázquez-Flores, Jaime Vite-Torres. Análisis de las características de termoplásticos para el desarrollo de intercambiadores de calor de tubo y coraza. *Revista Multidisciplinaria de Avances de Investigación*, 3 No. 2 (mayo-agosto 2017): 25-30.

**Citación estilo Harvard Anglia**

Aguilar-Osorio, R., Vázquez-Flores J.F., & Vite-Torres J., 2017. Análisis de las características de termoplásticos para el desarrollo de intercambiadores de calor de tubo y coraza. *Revista Multidisciplinaria de Avances de Investigación*, mayo-agosto, 3(2), pp. 25-30.

**Citación estilo IEEE**

[1] R. Aguilar-Osorio, J.F. Vázquez-Flores, y J. Vite-Torres. Análisis de las características de termoplásticos para el desarrollo de intercambiadores de calor de tubo y coraza, *Revista Multidisciplinaria de Avances de Investigación*, vol. 3, No. 2, pp. 25-30, mayo-agosto 2017.