



## Mejora del sistema de refrigeración de la planta de polietileno de baja densidad

### *Improvement of the cooling system of the low density polyethylene plant*

### *Melhoria do sistema de resfriamento da planta de polietileno de baixa densidade*

<sup>I</sup>Franklin M. Reina-Quiñonez  
[ingfranklinreynaq@hotmail.com](mailto:ingfranklinreynaq@hotmail.com)

<sup>II</sup>Roddy A. Quiñonez-Ramos  
[ingfranklinreynaq@hotmail.com](mailto:ingfranklinreynaq@hotmail.com)

<sup>III</sup>María C. Santos-Falcónez  
[santoscelina97@yahoo.es](mailto:santoscelina97@yahoo.es)

**Recibido:** 16 de febrero de 2017 \* **Corregido:** 30 de abril de 2017 \* **Aceptado:** 27 de junio de 2017

<sup>I</sup>Master en Ciencias Especialidad Docencia Universitaria, Ingeniero Industrial, Docente de la Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Esmeraldas, Ecuador.

<sup>II</sup>Magister en Gestión Ambiental, Ingeniero Químico, Docente de la Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Esmeraldas, Ecuador.

<sup>III</sup>Ingeniera Químico, Docente de la Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Esmeraldas, Ecuador.

## Resumen

El sistema de refrigeración de agua por compresión de amoníaco de la planta de polietileno de baja densidad de Polinter, C.A, tiene una capacidad de 13.167.318 KJ/h (1040 TR) para satisfacer la carga térmica requerida por el proceso. Dicho sistema actualmente se encuentra fuera de servicio; de tal manera que los equipos usuarios de agua refrigerada se encuentran deficientes, generándose pérdidas de producción y altos consumos de materias primas. Esta investigación tiene como objetivo proponer una mejora del sistema de refrigeración de la Planta de PEBD. Para ello se desarrolló un modelo de simulación en estado estacionario. Se plantearon escenarios de operación, realizando modificaciones en el flujo de entrada de agua al sistema. Se realizó una evaluación técnica y económica, encontrando que la propuesta con mayor relación beneficio/costo es aquella donde se establece un control de flujo de agua de entrada al sistema con las dos unidades en paralelo. Se recomienda diseñar una lógica para el control de flujo de agua de entrada al sistema de refrigeración, en función de la temperatura de entrada.

**Palabras clave:** refrigeración; simulación; beneficio/costo.

## Abstract

The ammonia compression water cooling system of the Polinter low density polyethylene plant, C.A, has a capacity of 13,167,318 KJ / h (1040 TR) to satisfy the thermal load required by the process. This system is currently out of service; in such a way that the refrigerated water user equipment is deficient, generating losses of production and high consumption of raw materials. This research aims to propose an improvement of the cooling system of the PEBD Plant. For this, a simulation model was developed in steady state. Operating scenarios were proposed, modifying the flow of water into the system. A technical and economic evaluation was carried out, finding that the proposal with the highest benefit / cost ratio is the one where a flow control of water entering the system is established with the two units in parallel. It is recommended to design a logic for the flow control of water entering the cooling system, depending on the inlet temperature.

**Keywords:** Refrigeration; simulation; benefit / cost.

## Mejora del sistema de refrigeración de la planta de polietileno de baja densidad

---

### Resumo

O sistema de refrigeração por água de compressão de amônia da planta de polietileno de baixa densidade de Polinter, C.A, tem uma capacidade de 13.167.318 KJ / h (1040 TR) para satisfazer a carga térmica requerida pelo processo. Este sistema está atualmente fora de serviço; de forma que o equipamento de usuários de água refrigerada seja deficiente, gerando perdas de produção e alto consumo de matérias-primas. O objetivo desta pesquisa é propor uma melhoria do sistema de resfriamento da planta PEBD. Para isso, um modelo de simulação foi desenvolvido em estado estacionário. Foram propostos cenários operacionais, modificando o fluxo de água no sistema. Foi realizada uma avaliação técnica e econômica, constatando que a proposta com maior relação benefício / custo é aquela em que um controle de fluxo de água que entra no sistema é estabelecido com as duas unidades em paralelo. Recomenda-se a concepção de uma lógica para o controle de fluxo de água que entra no sistema de resfriamento, dependendo da temperatura de entrada.

**Palavras chave:** Refrigeração; simulação; benefício / custo.

### Introducción

El sistema de refrigeración por compresión de amoniaco de la planta de polietileno de baja densidad, consta de dos unidades en paralelo, cada una de ellas tiene un compresor tipo tornillo, un evaporador de placas, un condensador evaporativo y una válvula de expansión, cuya capacidad por diseño total de 13.167.318 KJ/h (1040 TR)<sup>5</sup>. Este fue colocado en servicio en el año 2010; sin embargo, desde entonces no ha mostrado un desempeño adecuado. De tal manera, que la deficiencia de los sistemas usuarios de agua refrigerada puede aumentar la generación de cera y ensuciamiento de equipos; pérdidas de producción; descomposición de iniciadores; falla del sistema hidráulico de las bombas de inyección de iniciadores, y generación de producto fuera de especificación por contaminación con polietileno degradado del sello de la extrusora. Actualmente, empresa del sector petroquímico realiza inversiones y esfuerzos para colocar en servicio las unidades del sistema de refrigeración por compresión de amoniaco de la Planta de PEBD. Por esta razón, el objetivo de esta investigación es establecer mejoras en el sistema de refrigeración para alcanzar condiciones de eficiencia térmica.

## Parte experimental

Desarrollo del modelo de simulación en estado estacionario del sistema de compresión de amoníaco.

Para la elaboración del modelo de simulación, en estado estacionario, del sistema de compresión por compresión de amoníaco se tomó como referencia los componentes descritos en el manual del sistema<sup>7</sup>, amoníaco y agua; y en base a la naturaleza polar de dichos compuestos, y las condiciones de temperatura y presión del sistema se seleccionó el método termodinámico NTRL para el cálculo de las propiedades físicas, termodinámicas y de transporte.

Asimismo, se consideraron los siguientes equipos principales, contemplados en la Figura 1, y en el manual del sistema<sup>7</sup>: el evaporador, como un intercambiador de calor riguroso; el compresor tipo tornillo, como un equipo de desplazamiento positivo; y el condensador evaporativo, como un intercambiador de calor simple; y la válvula de expansión. Se incorporó el tanque receptor de amoníaco de baja presión, como un tanque de separación flash. Para la simulación rigurosa del evaporador (considerando la geometría del equipo), se utilizó el complemento de diseño y simulación de intercambiadores de calor de Aspen (Aspen EDR).

- Incorporación de datos de diseño de los equipos del sistema de compresión de amoníaco

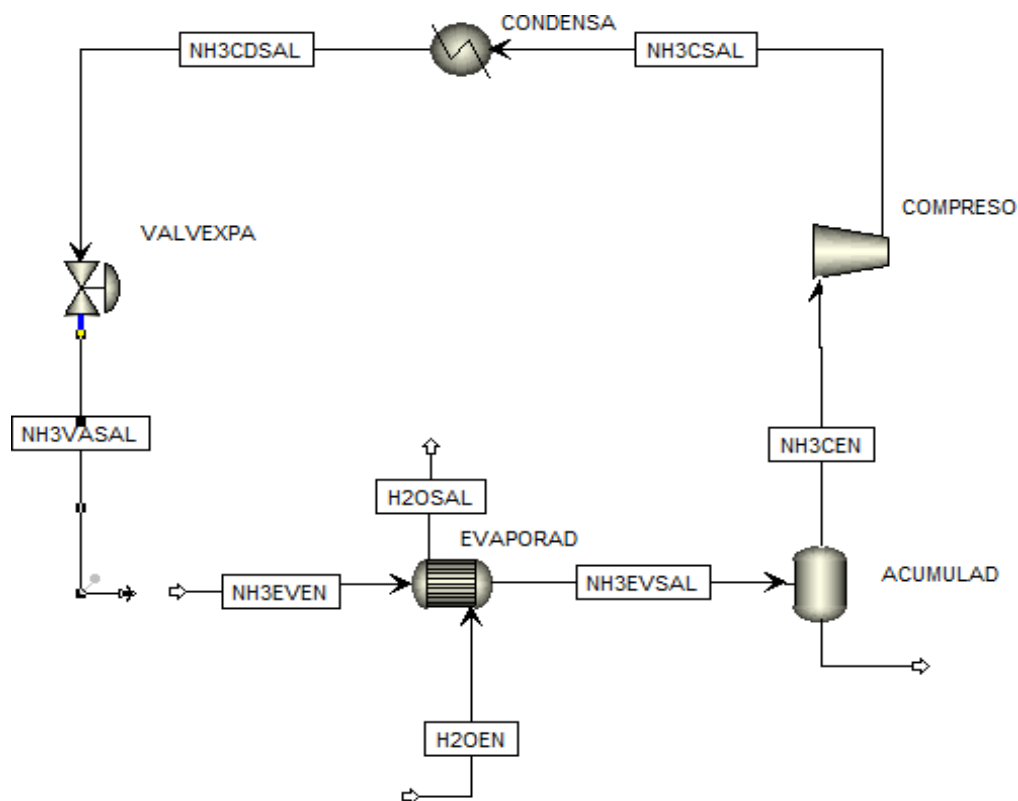
Los datos de diseño de los equipos principales del sistema de refrigeración de amoníaco de la planta de PEBD, fueron tomados del manual del fabricante<sup>7</sup>. En la Tabla 1 se presentan las especificaciones por diseño de los equipos principales del modelo de simulación desarrollado, y en la Tabla 2 se presenta la geometría del evaporador. Se asumió, un ángulo Chevron ( $\beta$ ) de  $49^\circ$ , el cual se encuentra dentro de los valores en los que varía normalmente ( $20$  y  $65^\circ\text{C}$ ).<sup>3</sup>

- Incorporación de datos operacionales de los equipos del sistema de compresión de amoníaco

En el mismo orden de ideas, los datos operacionales fueron tomados de los registros diarios de la sección de polimerización. Estos fueron depurados, descartando los periodos en los cuales el equipo o la planta se encontraban fuera de servicio, y las temperaturas de entrada de agua de las dos unidades de refrigeración presentaban diferencias. Por otra parte, el flujo de amoníaco se estableció en función del nivel de refrigerante, considerando que el 50% de nivel de refrigerante equivale al flujo de diseño ( $6209$  kg/h).

Mejora del sistema de refrigeración de la planta de polietileno de baja densidad

Figura 1. Modelo de simulación del sistema de refrigeración.



Fuente: Propia

Tabla 1. Especificaciones de diseño de los equipos principales del sistema de compresión de amoníaco.

Variables	Unidades	Evaporador		Compresor	Condensador	Válvula Expansión
		Amoniaco	Agua	Amoniaco	Amoniaco	Amoniaco
Flujo	Kg/h	6209,00	315000,00	6209,00	6209,00	6209,00
Presión de entrada	kPa	447,86	-	420,58	1496,16	-
Presión de salida	kPa	437,72	-	1496,16	-	-
Temperatura de entrada	°C	0,00	10,00	0,00	80,00	35,00
Temperatura de salida	°C	0,00	5,00	80,00	35,00	35,00
Fracción vapor de entrada	ADM	0,00	0,00	1,00	1,00	-
Fracción vapor de salida	ADM	0,85	0,00	1,00	-	0,00

Mejora del sistema de refrigeración de la planta de polietileno de baja densidad

Área	m <sup>2</sup>	71,20	-	-	-
Coefficiente Global (U)	kJ/m <sup>2</sup> s °C	3,70	-	-	-
Calor	kJ/h	6627704,31	-	9311443,07	-
Desplazamiento	m <sup>3</sup> /s	-	0,53	-	-
Capacidad	kJ/h	-	6594943,26	-	-
Potencia Requerida	kW	-	391,42	-	-
Eficiencia Volumétrica	%	-	88,50	-	-

Fuente: Propia

Tabla 2. Geometría de diseño del evaporador del sistema de refrigeración

Geometría del evaporador	Unidades	Especificación de diseño
Número de Placas		90
Ángulo Tipo Chevron	Grados	49
Distancia horizontal entre los centros de los cabezales	Mm	353
Distancia vertical entre los centros de los cabezales	Mm	1478
Espesor de la placa	Mm	0,6
Profundidad del placa	Mm	3,12
Diámetro del cabezal	Mm	203,2
Ancho de placa	Mm	780
Área efectiva de una placa	m <sup>2</sup>	0,81

Fuente: Propia

- Análisis de sensibilidad del modelo de simulación, en estado estacionario.

Una vez alimentada toda la información anterior en el modelo, fueron realizadas una serie de corridas para reproducir el balance de masa y energía por diseño, comparando los resultados obtenidos con lo disponibles en el manual del fabricante del sistema.<sup>7</sup>

Se realizaron análisis de sensibilidad para estudiar el comportamiento de la temperatura de salida del agua refrigerada frente a cambios en variables de diseño del sistema, entre las cuales están: flujos y temperaturas de la alimentación de agua y amoníaco; y número de placas y ángulo de los canales de las placas del evaporador.

## Mejora del sistema de refrigeración de la planta de polietileno de baja densidad

---

Asimismo, se realizaron análisis de sensibilidad para estudiar el comportamiento del compresor y condensador a diferentes flujos, temperaturas y presión de amoniaco; así como factor de claridad y eficiencia mecánica, en el caso del compresor.

- Mejora del sistema de refrigeración de la planta de polietileno de baja densidad.

En este apartado, fue empleada una metodología similar a la utilizada durante la verificación, se realizaron una serie de corridas al modelo de simulación para reproducir el balance de masa y energía, comparando los resultados de temperatura de salida del agua refrigerada del modelo con los recolectados en el proceso real.

Para cumplir con esta actividad se elaboraron curvas de perfil de temperatura de salida de agua refrigerada, considerando una temperatura de entrada entre 10 y 35°C; diferentes flujos de entrada de agua al sistema; y relación de flujo de entrada a cada unidad de refrigeración (50:50 y 60:40) para alcanzar el calor máximo por diseño capaz de absorberse en el evaporador (6627704 kJ/h), y un 10% por debajo de dicho calor (5964933 kJ/h).

Para la evaluación económica de la propuesta de mejora que incluye el control de flujo de agua de entrada al sistema, en función de su temperatura de entrada, los costos asociados a la instalación de indicadores-transmisores de flujo y temperatura, válvula de control, e instalación del cableado desde los instrumentos mencionados hasta el sistema de control distribuido, ubicado en la sala de control de la planta fueron tomados de la literatura<sup>8,9,11</sup>. Los costos de instalación fueron considerados como un 10% de los costos por compras de instrumentos y equipos<sup>9</sup>; mientras que para los costos de operación fueron considerados los costos y consumos de los servicios de agua desmineralizada, refrigerante y electricidad presupuestados por la empresa del sector petroquímico para el año 2017<sup>10</sup>.

Tal como se realizó en el 2005<sup>3</sup>, para el diagnóstico del estado de la producción de la planta de polietileno de baja densidad, se realizó un análisis de las condiciones de operación, tales como: temperatura de entrada de gas al reactor, conversión, flujo de etileno, y producción de la planta, para un grado de producción, comparándose con las condiciones establecidas en las directivas operacionales, y con el sistema de refrigeración en servicio. Se determinó el efecto de la temperatura de salida del agua sobre la temperatura de salida del etileno de los intercambiadores usuarios de agua refrigerada; tales como los intercambiadores de la sección del gas de retorno de mediana

## Mejora del sistema de refrigeración de la planta de polietileno de baja densidad

presión, e interertapas y finales del compresor secundario, que a su vez afectan las condiciones de operación en el reactor, mencionadas anteriormente; y se obtuvo la producción adicional anual en diferentes escenarios del sistema de refrigeración.

Considerando la producción adicional anual en diferentes condiciones de operación del sistema de refrigeración, y una ganancia neta de 345,48 \$ en la producción de polietileno, se calculó la relación beneficio/costo, tomando en cuenta una tasa de descuento de 10% y un periodo para el retorno de la inversión al menos de tres años.

### Resultados y discusión

- Descripción del sistema de refrigeración

El sistema de refrigeración de la Planta de PEBD, está conformado por dos unidades, que consisten en un ciclo de compresión de vapor de amoníaco, constituidos por un evaporador de placas, un compresor tipo tornillo, un condensador evaporativo y una válvula de expansión; cuya máxima capacidad de refrigeración por diseño es de 6.627.704,31 kJ/h (523 TR), para un total de 13.255.408,62 kJ/h (1046 TR). En las siguientes tablas se muestran los resultados de la simulación, en comparación con los datos de diseño.

En la Tabla 3, se aprecia que fue posible la reproducción de los datos de diseño del evaporador, mediante el modelo de simulación planteado; ya que se obtuvieron desviaciones por debajo del 5%, tanto para la temperatura de salida de la corriente de agua refrigerada, como la de amoníaco; y para las variables del equipo, como: área de transferencia de calor, y el calor, como tal. En el caso del resultado del coeficiente global de transferencia de calor, este se encuentra en el mismo orden de magnitud del valor de diseño; sin embargo con una desviación de 15,9%.

Tabla 3. Resultados de la simulación de los datos de diseño del evaporador.

Variables de Corriente	Unidades	Datos de Diseño		Resultados de la Simulación		Desviación (%)	
		Amoniaco	Agua	Amoniaco	Agua	Amoniaco	Agua
Flujo	Kg/h	6209	315000				
Presión de entrada	kPa	447,86	650				



Mejora del sistema de refrigeración de la planta de polietileno de baja densidad

Presión de salida	kPa	437,72	-	443,59	558,75	-1,34	
Temperatura de entrada	°C	0	10				
Temperatura de salida	°C	0	5	0,92	4,84	-0,34	0,06
Fracción vapor de entrada	ADM	0	0				
Fracción vapor de salida	ADM	0,85	0	0,84	0	1,18	0
<b>Variables de Equipo</b>							
Área	m <sup>2</sup>	71,2		71,15		0,07	
Coeficiente Global (U)	kJ/m <sup>2</sup> s °C	3,7		4,29		-15,9	
Calor	kJ/h	6627704,31		6608268		0,29	

Fuente: Propia

En la Tabla 4, se muestra que el resultado de la simulación, relacionados a la velocidad de desplazamiento del compresor se encuentra en el mismo orden de magnitud; pero con una desviación de 16,84%, es decir, mayor a 10%. En cuanto a la potencia requerida por el compresor, fue posible reproducir los datos de diseño, considerando una eficiencia mecánica de 75%; mientras que fue posible reproducir los datos de diseño de la eficiencia volumétrica, considerando un factor de claridad de 0,045; ya que ésta no depende de las variables de procesos; sino de la geometría del equipo.

Tabla 4. Resultados de la simulación de los datos de diseño del compresor.

VARIABLES	UNIDADES	DATOS DE DISEÑO	RESULTADOS DE SIMULACIÓN	DESVIACIÓN (%)
Desplazamiento	m <sup>3</sup> /s	0,5285	0,6175	-16,84
Potencia Requerida	kW	391,41	389,08	0,60
Eficiencia Volumétrica	%	88,50	89,00	-0,56

Fuente: Propia

En cuanto al coeficiente de desempeño del sistema de refrigeración, de acuerdo a los resultados de la simulación de los datos de diseño éste fue de 4,72; es decir, 0,40% por encima de lo especificado en las hojas técnicas del equipo (4,70). Además, en ambos casos, se encuentra dentro del rango de valores normales establecidos en la literatura (entre 2 y 7)<sup>4</sup>.

## Mejora del sistema de refrigeración de la planta de polietileno de baja densidad

---

Tabla 5. Resultados de la simulación de los datos de diseño del condensador.

Variable	Unidades	Datos de Diseño	Resultado Simulación	Desviación (%)
Calor	kJ/h	9311443	7569612	18,71
Calor	kJ/h	8030592	7569612	5,74

\*Este valor se obtuvo a partir de la sumatoria del calor del evaporador y la potencia del compresor por diseño

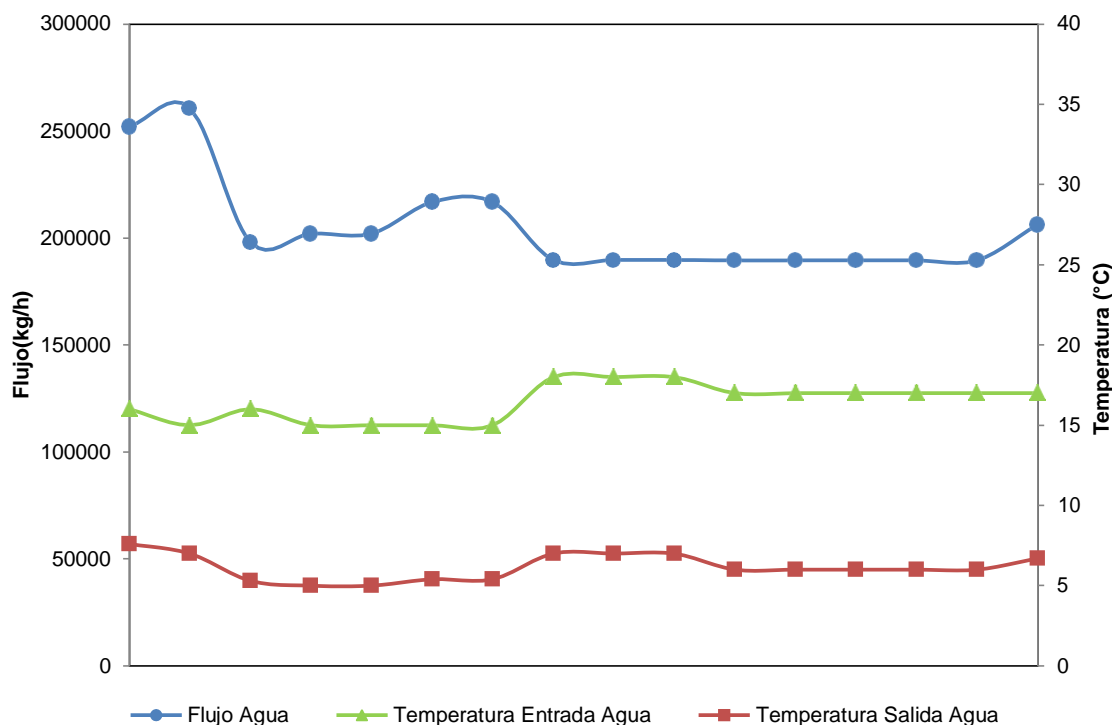
Fuente: Propia

En la Tabla 5, se muestra que el resultado de la simulación, relacionado al calor capaz de retirar el condensador por diseño, se encuentra en el mismo orden de magnitud; pero con una desviación mayor a 10%; lo cual se puede atribuir al modelado del condensador, como un equipo sencillo. Sin embargo, considerando que el calor liberado en el condensador consiste en el calor absorbido por el evaporador y la energía suplida por el compresor<sup>4</sup>, se obtiene una desviación menor al 10%.

En las figuras 2 y 3, se muestran los resultados del flujo de agua de entrada, obtenidos de simulación de los datos reales, así como la temperatura de entrada y salida del agua refrigerada; en la cual se puede evidenciar que la temperatura de salida del agua refrigerada aumenta, a medida que aumenta la temperatura y flujo de entrada de agua. Asimismo, se encontró que el flujo total manejado por el sistema de refrigeración se encuentra entre 324.750 y 407.200 kg/h, con un promedio de 357.778 kg/h, lo cual es posible ya que de acuerdo a lo reportado por el personal de operaciones, se mantiene un poco abierta el bypass de la bomba P501. Además se evidenció que las unidades de refrigeración manejan diferentes flujos, con una relación que varía entre 64:36 y 50:50, con un promedio de 57:43 entre la unidad K500C y la K500D.

Mejora del sistema de refrigeración de la planta de polietileno de baja densidad

Figura 2. Resultados del flujo de entrada de la unidad de refrigeración del k500c

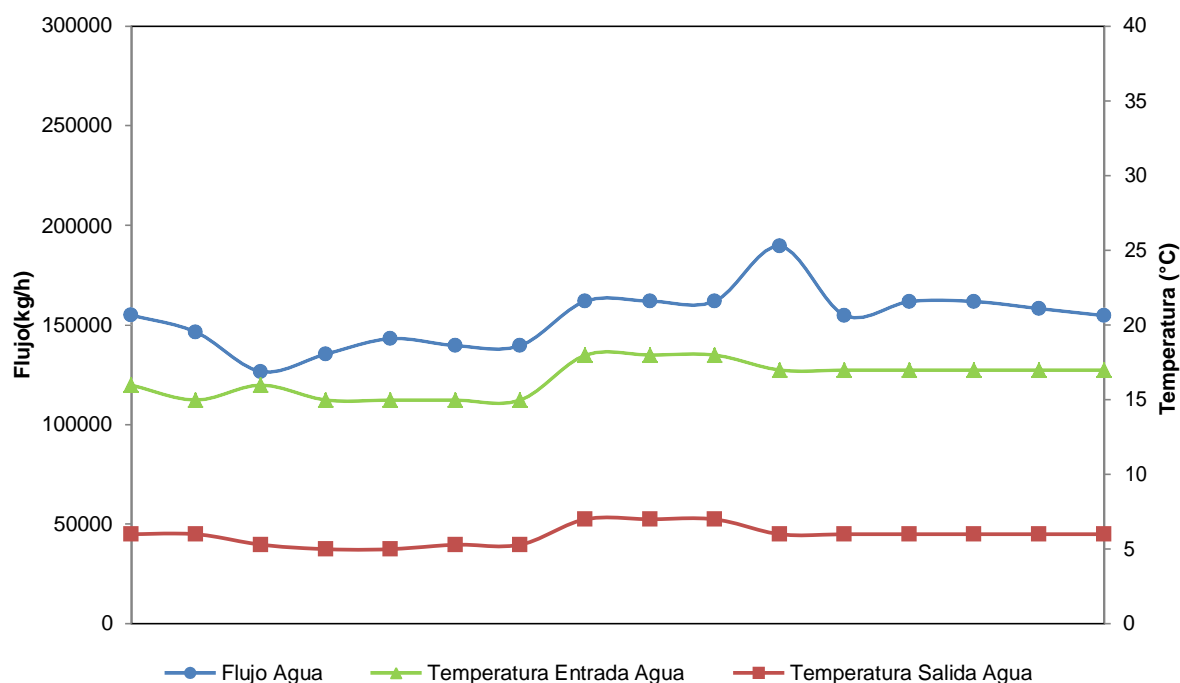


Fuente: Propia

En cuanto al coeficiente de desempeño, considerando la simulación de los datos reales, se obtuvo que este varió entre 5,06 y 5,77; siendo menor en aquellos casos, donde las unidades de refrigeración operaban con menor flujo de agua y amoníaco. Dichos valores se encuentran dentro del rango de valores normales establecido en la literatura (entre 2 y 7)<sup>2</sup>. No obstante, estuvieron entre un 7 y 23% por encima de lo establecido por diseño (4,70). Asimismo, a pesar de los valores de coeficiente de desempeño obtenidos, se puede inferir que el sistema no alcanza los valores de temperatura de salida de agua por diseño (5°C); ya que la temperatura y flujo de entrada de diseño se encuentran por encima de lo establecido en las hojas técnicas del equipo (10°C y 315 m<sup>3</sup>/h, respectivamente)<sup>9</sup>.

## Mejora del sistema de refrigeración de la planta de polietileno de baja densidad

Figura 3. Resultados del flujo de entrada de la unidad de refrigeración del k500d



Fuente: Propia

- Análisis del impacto de las variables de procesos sobre el sistema de refrigeración

En base a los análisis de sensibilidad, realizados a partir de los datos de diseño, y los resultados de la simulación de los datos reales, en la Figura 4, se presenta un diagrama con el resumen del efecto de las variables de procesos más importantes sobre el desempeño del sistema de refrigeración.

Mejora del sistema de refrigeración de la planta de polietileno de baja densidad

Figura 4. Resumen del efecto de las variables de procesos sobre el desempeño del sistema de refrigeración.

		Evaporador	Compresor	Condensador
Flujo de entrada Agua	↑	Temperatura Salida Agua Fraccion de Vapor Salida Amoniaco Calor	→ Potencia ↑	} Calor Condensador
Temperatura de entrada Agua	↑	Temperatura Salida Agua Fraccion de Vapor Salida Amoniaco Calor	→ Potencia ↑	} Calor Condensador
Flujo de Amoniaco	↑		Potencia ↑	Calor Condensador ↑
Temperatura de entrada Amoniaco	↑	Temperatura Salida Agua Temperatura Salida Amoniaco Fraccion de Vapor Salida Amoniaco Calor	↑ ↑ → Potencia ↑	Calor Condensador ↑
Area del Evaporador	↑	Temperatura Salida Agua Calor	↓ →	Calor Condensador ↑

Fuente: Propia

- Causas que generan el funcionamiento inadecuado del sistema de refrigeración.

En base al análisis realizados de los datos de diseño y operacionales del sistema de refrigeración se puede inferir que su funcionamiento inadecuado se debe a un desbalance de energía entre el calor absorbido en el evaporador y la capacidad del condensador para retirar el calor del amoniaco; ya sea debido en fallas mecánicas en el compresor; fallas en la alineación de los flujos de entrada agua al sistema, o a las unidades de refrigeración cuando se manejan altas temperaturas de entrada agua. Las altas temperaturas del agua refrigerada se presentan luego de arranques de planta, y del sistema como tal; y luego de calentamientos de los intercambiadores interetapas y finales del compresor secundario; así como de los intercambiadores de la sección del gas de retorno de mediana presión y gas de enfriamiento del separador de alta presión.

- Control del flujo de entrada de agua al sistema de refrigeración, en función de su temperatura de entrada.

En base a las condiciones de diseño, y el comportamiento observado con los datos operacionales, se plantea como un escenario de operación, el control de flujo de entrada de agua, tanto al sistema de refrigeración, como a cada una de sus unidades, en función de su temperatura de entrada.

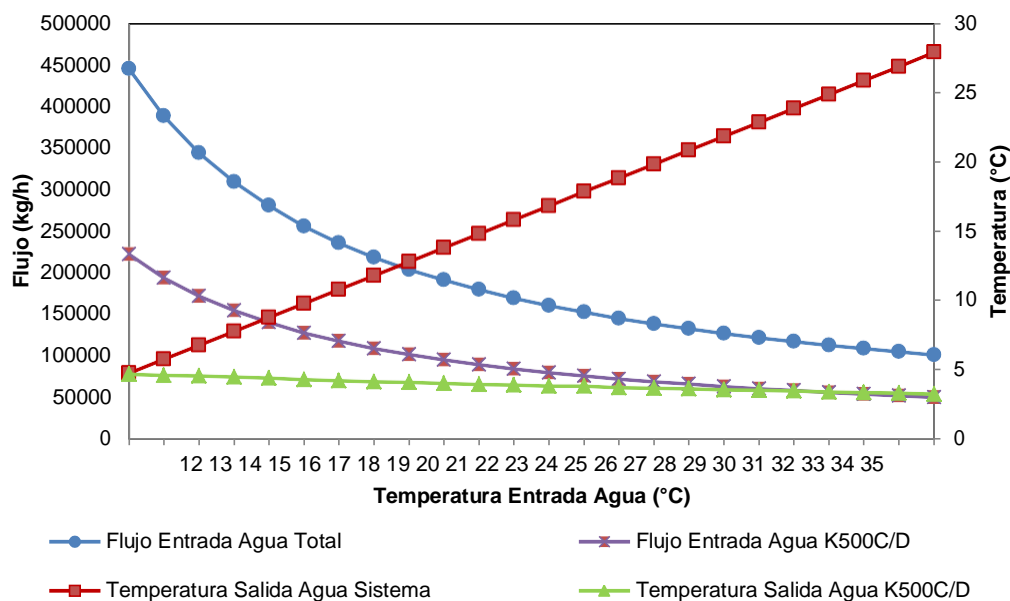
En las figuras 5 y 6 se presenta el flujo de entrada del sistema de refrigeración, y de cada unidad, considerando que el flujo se distribuye con una relación 50:50 y 60:40 entre las unidades K500C/D, respectivamente; dependiendo de la temperatura de entrada de agua refrigerada, para mantener el

### Mejora del sistema de refrigeración de la planta de polietileno de baja densidad

calor de diseño del evaporador (6627704 kJ/h); en la cual se puede observar que se requiere disminuir de forma potencial tanto el flujo de entrada de agua refrigerada total del sistema, como el de las unidades de refrigeración (K500C/D), a medida que aumenta su temperatura de entrada por encima de 12 y 11°C, respectivamente; para mantener el calor de diseño del evaporador, las condiciones físico-químicas del amoniaco, y el funcionamiento adecuado del resto de los equipos del sistema. Asimismo, se puede apreciar que la temperatura de salida del agua del sistema de refrigeración disminuye de forma lineal a medida que disminuye su temperatura de entrada.

Es importante resaltar que el flujo total de entrada de agua refrigerada, es mayor cuando éste se distribuye equitativamente entre las unidades de refrigeración, en comparación cuando se distribuye con una relación 60:40 entre las unidades K500C:K500D, con una desviación absoluta del 16,67%. Asimismo, la temperatura de salida del sistema de refrigeración es menor, cuando el flujo se distribuye equitativamente entre las unidades de refrigeración, siendo la diferencia mayor a medida que disminuye la temperatura de entrada de agua refrigerada al sistema, variando entre 4 y 20%.

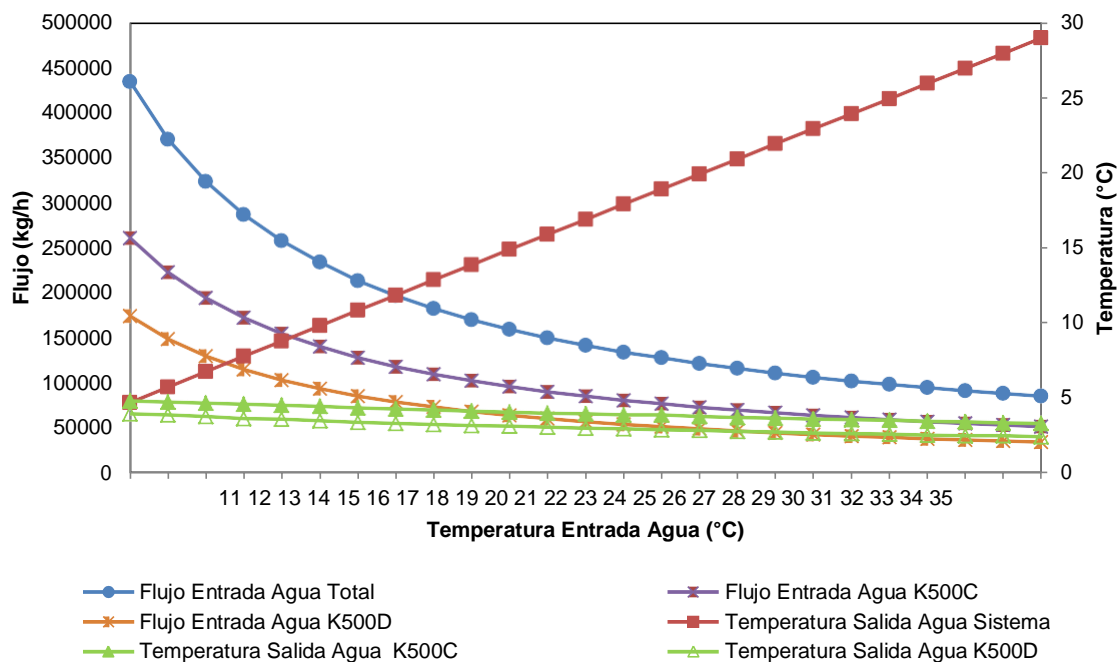
Figura 5. Control de flujo de entrada de agua refrigerada en función de su temperatura de entrada. Relación de flujo de entrada a cada unidad de 50:50.



Fuente: Propia

### Mejora del sistema de refrigeración de la planta de polietileno de baja densidad

Figura 6. Control de flujo de entrada de agua refrigerada en función de su temperatura de entrada. Relación de flujo de entrada a cada unidad de 60:40.



Fuente: Propia

- Evaluación económica de la propuesta de mejora del sistema de refrigeración.

La relación beneficio/costo de los escenarios, donde el sistema opera con las unidades en paralelo, con un control de flujo de agua en la entrada en función de la temperatura de entrada, resultó ser de 1,78; es decir, mayor a 1; ya que los costos de inversión y de operación son mayores, en comparación con los beneficios a ganar por la producción adicional, empleando un agua refrigerada con una temperatura de 5°C. Por lo tanto, dicha propuesta es factible económicamente; ya que de acuerdo, a lo establecido en la literatura, una relación beneficio/costo mayor a 1 indica que el proyecto evaluado es económicamente ventajoso<sup>11</sup>.

## Conclusiones

- Se reprodujeron la mayoría de los datos de diseño en el modelo de simulación del sistema de refrigeración de la planta de PEBD, con excepción de la velocidad de desplazamiento del compresor, y calor de diseño del condensador.
- Se analizaron las variables que impactan en el desempeño del sistema de refrigeración, encontrándose que las variables con mayor influencia son el flujo y la temperatura de entrada de agua refrigerada.
- Se obtuvieron curvas de perfil de flujo de entrada y temperatura de salida de agua refrigerada de las unidades de refrigeración K500C/D, y al sistema en general en función de la temperatura de entrada de agua, considerando la operación de las unidades K500C/D en paralelo con relaciones de flujo de entrada de agua 60:40 y 50:50; para mantener el calor del diseño en el evaporador.
- Se plantearon nuevos escenarios que incluyen la operación de las unidades de refrigeración actuales, con control de flujo de agua de entrada al sistema.
- Se realizó la evaluación económica de los escenarios planteados, encontrado que el escenario con mayor beneficio económico es aquel donde se considera la operación de las unidades K500C/D en paralelo, ya sea con una relación de flujo de 50:50 o 60:40.

## Referencias bibliográficas

1. Blank, L.T., Tarquin A.J. (1999). "Ingeniería Económica". Colombia. McGrawHill. 4ta edición. 264-274.
2. Cengel, Y., Boles, M. (2011). "Termodinámica". España. Mc Graw Hill. 4ta edición.
3. González, H., y col. (2005). "Estado de la Planta de Polietileno de Baja Densidad". Comparación de condiciones. Informe Técnico. Polieolefinas Internacionales, C.A. Miranda, Venezuela.
4. Ludwig, E.E. (2001). "Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants". Estados Unidos. Elsevier. 3era edición. Vol. 3. 289-367.



Mejora del sistema de refrigeración de la planta de polietileno de baja densidad

---

5. Martínez, J. y Vera, M. (2010). “Informe Instalación y Puesta en Servicio Chillers K500C/D”. Informe Técnico. Poliolefinas Internacionales, C.A. Miranda, Venezuela.
6. Nickhil, J. y col. (2012). “Heat transfer analysis of corrugated plate heat exchanger of different plate geometry: A review”. International journal of emerging technology and advanced engineering. India. Vol.2.110-115
7. Perez, J. (2007). “Refrigeration Chillers”. Manual del fabricante. MYCOM. Miranda, Venezuela.
8. Perry, R.H., y col. (1992). “Manual del Ingeniero Químico”. México. Mc. Graw-Hill. 6ta Edición.
9. Peter, M.S.; Timmerhaus, K.D. (1991). “Plants design and economics for chemical engineers” Singapore. Mc Graw Hill. 4ta edición.
10. Poliolefinas Internacionales, C.A. (2016). “Presupuesto de Planificación de la Producción 2017”. Miranda, Venezuela.
11. Rossiter, A.; Jones, B. (2015). “Energy management and efficiency for the process industries”. Estados Unidos. Wiley.