



Selección del sistema de calentamiento para un sistema de reacción en la planta de polimerización del complejo industrial en Girardota Invesa S.A

María Alejandra Arroyave Betancur

Informe de práctica para optar el título de ingeniera química

Asesor

Adriana Marcela Osorio Correa, PhD

Fabián Darío Gómez, Ingeniero Mecánico

Robinson Cañas, Ingeniero Químico

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería química

Medellín

2023

Cita	(Arroyave Betancur , 2023)
Referencia	Arroyave Betancur M. A (2023). <i>Selección del sistema de calentamiento para un sistema de reacción en la planta de poliesterificación del complejo industrial en Girardota INVESA S.A</i> [Semestre Industria]. Universidad de Antioquia, Medellín.
Estilo APA 7 (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Julio César Saldarriaga.

Jefe Departamento: Lina María González Rodríguez.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

A mi familia especialmente a mi madre por ayudarme todos los días a ser mejor, por motivarme a seguir adelante, por ser ese apoyo incondicional cuando las cosas no iban bien. Gracias, mamá por los consejos y vivencias. A ella que, aunque hoy no esté en cuerpo, desde el cielo está orgullosa de mí porque finalmente lo logré.

¡Gracias, madre!

Agradecimientos

Primeramente, gracias a Dios por permitirme llegar a este punto de la carrera, por llenarme de sabiduría y entendimiento en los momentos más difíciles y desafiantes de la carrera. Gracias a mi madre por motivarme todos los días a seguir luchando, por llenarme de amor y resiliencia cuando sentía que no lo lograría.

Muchas gracias a todo el equipo de trabajo, Robinson Cañas, Fabián Gómez, Laura Arciniegas y William Pabón por sus consejos y su apoyo en la ejecución de este proyecto y por el aporte a mi crecimiento personal y profesional.

Tabla de Contenido

Resumen	8
Abstract	9
Introducción	10
1 Objetivos	11
1.1 Objetivo general	11
1.2 Objetivos específicos.....	11
2 Marco teórico	12
3 Metodología	16
4. Resultados	17
4.1. Actividad 1. Seleccionar el tipo de resina sobre la que se hará el diseño completo de la unidad de reacción.....	17
4.2 Actividad 2: Revisión bibliográfica sobre la termodinámica de la reacción.....	17
4.3. Actividad 3: Establecer las condiciones de presión y temperatura, a las cuales estará sometido el sistema de reacción.....	19
4.4. Actividad 4: Seleccionar el fluido caloportador para el calentamiento de la unidad de producción.....	19
4.5. Actividad 5: Cálculo del requerimiento energético para el sistema de reacción.....	20
4.5.1 Con aceite térmico	21
4.5.2 Con producto.....	22
4.6. Actividad 6: Consultar diferentes proveedores de sistemas de calentamiento y seleccionar el que tenga mejor costo/beneficio cumpliendo con los requerimientos solicitados	22
5 Análisis.....	24
6 conclusiones	26
7 Recomendaciones.....	27
Referencias	28

Lista de tablas

Tabla 1. Tipos de calentadores industriales.....	14
Tabla 2. Resinas más críticas producidas en Invesa S.A.....	17
Tabla 3. Condiciones de presión y temperatura	19
Tabla 4. Aceites térmicos más usados para calentamiento industrial(Powermaster, n.d.).....	20
Tabla 5. Condiciones para aceite térmico	21
Tabla 6. Condiciones para INVEPOL 901	22
Tabla 7. Criterios para la selección del proveedor	23

Siglas, acrónimos y abreviaturas

MEK P.	Metil etil cetona peróxido
PET	Tereftalato de polietileno
DCPD	Dicloropentadieno
A	Anhídrido
G	Glicol
E	Ester
ΔH_{rxn}	Entalpía de la reacción
Q	Potencia requerida
Ws	Trabajo externo que se debe suministrar (agitación)
r_A	Velocidad de reacción
V	Volumen del reactor
C_{pi}	Capacidad calorífica de los reactivos y productos
N_i	Moles de los reactivos y productos
DDP	Delivery Duty Paid
FOB	Free On Board
EXW	ExWorks
END	Ensayos No Destructivos
FAT	Factory Acceptance Test
WPS	Welding Procedure Specification
PQR	Procedure Qualification Record
WPQR	Welder Performance Qualification Record
ACPM	Aceite Combustible Para Motores
G.P.M	Galones Por Minuto

Resumen

Invesa S.A. es una empresa dedicada a la producción y comercialización de productos químicos para diferentes sectores: entre estos está el agropecuario, el industrial; de la construcción, decoración y algunos otros. En la actualidad hay un aumento en la demanda de consumo de resinas poliéster, por lo cual surgió la necesidad de aumentar la capacidad de producción de dicho material en la compañía, con el fin de suplir las demandas interna y externa. En este sentido, nació la idea de un nuevo proyecto, cuyo objetivo fue instalar un nuevo sistema de reacción (Reactor, diluidor) en la planta de poliesterificación, mediante la selección de un sistema de calentamiento para la nueva unidad de producción de resinas poliéster, que resultara más adecuado, eficiente y rentable en comparación con los que se encuentran actualmente instalados en la compañía.

Palabras clave: Resinas poliéster, reactor, diluidor, sistema de calentamiento.

Abstract

Invesa S.A. is a company dedicated to the production and commercialization of chemical products for different sectors: among these are the agricultural, industrial; of construction, and decoration and some others. Currently there is an increase in the consumer demand for polyester resins, for which the need arose to increase the production capacity of said material in the company, to meet internal and external demands. In this sense, the idea of a new project was born, whose objective was to install a new reaction system (reactor, diluter) in the polyesterification plant, by selecting a heating system for the new polyester resin production unit, which would be more suitable, efficient, and profitable compared to those currently installed in the company.

Keywords: Polyester resins, reactor, diluter, heating system

Introducción

La Compañía Invesa S.A., ubicada en el municipio de Girardota, es una empresa manufacturera de distintos productos químicos tales como agroquímicos, pinturas, polímeros, resinas, entre otros. En la actualidad, el consumo de resinas poliéster a nivel mundial va en aumento. Esto debido a las múltiples propiedades que presentan dichas sustancias y los diferentes usos que se les puede dar. Según estudios, se prevé que las ventas de resinas registren una tasa de crecimiento anual compuesto (CAGR) de más del 5% para el periodo 2022-2027. (Informe de Mercado de Resina de Tereftalato de Polietileno (PET): Tamaño, Participación, Crecimiento y Tendencias (*Informe de Mercado de Resina de Tereftalato de Polietileno (PET) | Tamaño, Participación, Crecimiento y Tendencias (2023-28)*), n.d.)

Actualmente, la planta de poliesterificación de Invesa, cuenta con 4 unidades de reacción; estudios previos realizados y el potencial del crecimiento de la demanda permiten considerar el hecho de ampliar en un 40% la capacidad de producción de la planta. Por lo anterior, se propuso instalar una unidad completa de reacción (reactor y diluidor) para una capacidad de producto terminado por lote que logre cubrir la demanda a 4 años. Debido a la urgencia del proyecto lo que demanda su implementación y diseño; se dividió la ingeniería básica por secciones, de aquí surgió esta propuesta que tuvo como objetivo seleccionar el sistema de calentamiento para la unidad de producción que se planea implementar en la planta de poliesterificación.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Seleccionar el sistema de calentamiento para un sistema de reacción en la planta de poliesterificación del complejo industrial en Girardota Invesa S.A

1.2 Objetivos específicos

- Calcular el requerimiento energético para un sistema de reacción en la planta de poliesterificación del complejo industrial en Girardota Invesa S.A.
- Establecer las especificaciones técnicas del sistema de calentamiento
- Proponer el sistema de calentamiento que tenga mejor relación costo/beneficio.

2 Marco teórico

Las resinas de poliéster insaturado son actualmente la familia de polímeros termoestables más utilizada como matrices para compuestos reforzados con fibra de vidrio. Esto se debe al hecho de que tienen buenas propiedades mecánicas, ciclos de curado convenientes y costos más bajos en comparación con otras resinas termoestables disponibles en el mercado.(Avella et al., 1985)

Existen diversas formas de clasificar las resinas de poliéster insaturado, entre ellas están:

Según su materia prima: pueden ser ortoftálicas, tereftálicas, isoftálicas, DCPD (Dicloropentadieno), bisfenólicas y viniléster (Díez, 2002).

- **Resinas ortoftálicas:** se fabrican a partir de ácido ftálico. Resina de uso general ampliamente conocida y empleada para fabricar artículos sometidos a un bajo ataque químico o ambiental. Algunas aplicaciones típicas son: fabricación de sillas, cabinas, auto partes, tejas, botones, figuras artísticas, entre otras (Díez, 2002).
- **Resinas tereftálicas:** se fabrican a partir de ácido tereftálico. Recomendadas en la fabricación de tanques para almacenamiento, en sistemas cargados tipo masillas y marmolina y en uso general (Díez, 2002).
- **Resinas isoftálicas:** se fabrican a partir de ácido isoftálico. Usada en la fabricación de artículos sometidos a la intemperie, en contacto con agua o con ataque químico (Díez, 2002).
- **Resinas de dicloropentadieno:** se fabrican a partir de dicloropentadieno (DCPD). Son ampliamente usadas en la industria náutica debido a sus propiedades de contracción (Díez, 2002).
- **Resinas bis fenólicas y vinil éster:** también llamadas antiácidas. Poseen la más alta resistencia al ataque químico y a la temperatura. Reactores, tanques, tuberías, chimeneas, torres lavadoras de gases y enfriadoras, son ejemplos de artículos comúnmente fabricados con este tipo de resinas (Díez, 2002).

Según su grado de preparación: pueden ser básicas o vírgenes, que permiten la formulación a gusto del usuario; preaceleradas, que necesitan la adición de un monómero y de un catalizador,

según las necesidades del usuario; o preparadas, que vienen listas para su uso de acuerdo con la aplicación para la que fueron diseñadas (Díez, 2002).

Las resinas de poliéster insaturado son muy versátiles y puede emplearse en la fabricación de prototipos o de piezas en serie para todo tipo de industrias. Las aplicaciones pueden ser reforzadas con fibra de vidrio o sin reforzar. Algunos ejemplos de aplicaciones son: botones, artesanías, masillas, aisladores eléctricos, mesones de cocina y baño, toboganes, piscinas, tanques, tuberías, revestimientos, pisos, auto partes, cabinas telefónicas, cabinas de campero y bus, furgones, tejas, láminas, bañeras, lavaplatos, maniquís, juegos infantiles y botes (“Encycl. Polym. Sci. Technol.,” 2002)

Una de las propiedades que define el uso de las resinas de poliéster insaturado es el tiempo de gel, el cual se define como el tiempo transcurrido entre la adición de agentes químicos (acelerador y catalizador) y la transformación de la resina en una forma gelatinosa (Díez, 2002).

Para la obtención de resinas de poliéster insaturado se tienen 3 compuestos que son claves a la hora de realizar la reacción, estos son:

- **Acelerador:** tiene como objetivo activar o acelerar la reacción química, descomponiendo el catalizador para que haga su trabajo. Los más usados son el octoato y naftenato de cobalto, dimetil anilina y dietil anilina (Díez, 2002).
- **Catalizador:** son peróxidos orgánicos comercialmente conocidos como MEK P. (metil etil cetona peróxido), ciclo hexanona peróxido y B.P.O. (benzoil peróxido), encargados de hacer reaccionar el poliéster con el estireno, para formar una estructura sólida (Díez, 2002).
- **Solvente:** producto químico utilizado para bajar el espesor o viscosidad de la resina (Díez, 2002).

Durante el proceso de obtención de resinas de poliéster insaturado se presentan rampas de temperaturas; hay etapas del proceso en el que la temperatura debe ser aumentada y en otras donde debe ser reducida por lo que se hace necesario tener un sistema de calentamiento y enfriamiento que realice estos cambios de temperatura.

Existen diferentes tipos de calentadores industriales los cuales son seleccionados basados en las temperaturas a las cuales se tiene que llevar la reacción, el tipo de chaqueta que lleve el reactor, entre otras. Los principales sistemas de calentamiento que se conocen industrialmente son:

Tabla 1. Tipos de calentadores industriales

<p>Calentadores a base de Combustión o Combustibles</p>	<p>En estos calentadores, el calor se produce mediante la quema de sólidos, líquidos o gases, y luego es transferido al material bien sea directa o indirectamente. Las sustancias más comunes que se utilizan como combustible son el petróleo, el carbón, el gas natural, el aserrín, el carbón vegetal, el etanol y la celulosa. La combustión es aumentada mediante la incorporación de oxígeno o de aire al material, que es calentado bien sea de manera directa o indirecta. En el método directo hay contacto entre el gas de combustión y el material. En el método indirecto, se mantiene el material confinado en envases para mantenerlo separado de los gases de combustión. <i>(Tipos de Procesos En Los Sistemas de Calentamiento - Wattco, n.d.)</i></p>
<p>Calentadores Eléctricos</p>	<p>En los calentadores eléctricos, el material es calentado con una corriente eléctrica o un campo electromagnético de dos maneras diferentes: directo e indirecto. El primero de ellos calienta directamente el material mediante la transmisión de la corriente a través de este, induciendo una corriente o más formalmente, una corriente <i>Eddy</i>, en el material o excitando los electrones presentes en el material. El método indirecto también utiliza cualquiera de estas tres técnicas diferentes pero en lugar de conducir la energía en el material, la conduce en un elemento de calefacción separado y luego transfiere la energía producida al material. <i>(Tipos de Procesos En Los Sistemas de Calentamiento - Wattco, n.d.)</i></p>
<p>Caldera de Vapor</p>	<p>La mayor parte de la energía utilizada en las instalaciones con procesos de fabricación es generada por medio de calderas, que están conformadas por un complejo sistema de</p>

	<p>calefacción. Como tales, hay una gran cantidad de factores involucrados que pueden disminuir la ineficiencia, y es por ello que deben tomarse las medidas necesarias para mejorar el desempeño. Una caldera produce vapor mediante la quema de combustibles. Este punto de vista tiene muchas ventajas tales como la baja toxicidad, el fácil transporte, el alto calor asociado y los bajos costos en comparación con otros sistemas. Un sistema de fluido térmico es un ejemplo común de un generador de vapor. (<i>Tipos de Procesos En Los Sistemas de Calentamiento - Wattco, n.d.</i>)</p>
--	---

Finalmente, para seleccionar cual es el tipo de calentador que más se adapta a las necesidades del proceso es necesario determinar que tanta potencia es requerida para que la reacción se lleve a cabo, para esto es necesario hacer un balance de energía el cual depende principalmente del tipo de reactor en el que se da la reacción y el tipo de reacción. Generalmente las resinas como su proceso de obtención requieren de tiempos largos, su producción se da en reactores tipo *batch* o por lotes, el balance de energía para este reactor viene expresado por la siguiente ecuación (Fogler, 2004)

$$\frac{dT}{dt} = \frac{Q + Ws + (-\Delta H_{rxn})(-r_A V)}{\sum N_i C_{p,i}} \quad (1)$$

Donde:

ΔH_{rxn} : Entalpia de la reacción

Q: potencia requerida

Ws: trabajo externo que se debe suministrar (agitación)

r_A : Velocidad de reacción

V: Volumen del reactor

$C_{p,i}$: Capacidad calorífica de los reactivos y productos

N_i : Moles de los reactivos y productos

Para la validación de los datos teóricos se pudo realizar una comparación con datos empíricos, debido a que la planta contaba con un sistema de reacción de la misma capacidad del proyectado.

3 Metodología

Para dar cumplimiento a los objetivos del proyecto se contempló la ejecución de una secuencia de siete actividades macro, así:

Actividad 1: Seleccionar el tipo de resina sobre la que se hará el diseño completo de la unidad de reacción.

Actividad 2: Revisión bibliográfica sobre la termodinámica de la reacción.

Actividad 3: Establecer las condiciones de presión y temperatura a las cuales estará sometido el sistema de reacción

Actividad 4: Seleccionar el fluido caloportador para el calentamiento de la unidad de producción.

Actividad 5: Calculo del requerimiento energético para el sistema de reacción.

Actividad 6: Consultar diferentes proveedores de sistemas de calentamiento y seleccionar el que tenga mejor costo/beneficio cumpliendo con los requerimientos solicitados.

4. Resultados

4.1. Actividad 1. Seleccionar el tipo de resina sobre la que se hará el diseño completo de la unidad de reacción.

En la planta de poliesterificación de la compañía se manejan diferentes referencias de resinas poliéster y alquídicas, se escogieron las que soportan condiciones de operación más críticas, para diseñar con base en una de ellas:

Tabla 2. Resinas más críticas producidas en Invesa S.A

	T menor [°C]	T mayor [°C]	Pmayor [Psi]	Pvacío [mmHG]	P descarga [Psi]	IA	Viscosidad [cP] a 25°C	% Sólidos
Invepol 901	25	230	3	-24	20	40	350-500	58-62
Invepol 903	25	210	2	-24	20	40	350-500	58-62
Invepol 065	25	230	2	-24	20	15-25	350-600	58-62
Invepol 097	25	230	2	-24	20	40	300-400	58-62
Invepol 002	25	210	2	-24	20	45	6000-6500	76-80

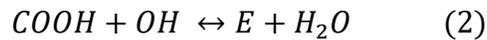
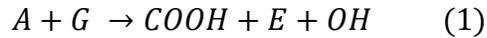
De la Tabla 2 se pudo inferir que la resina **INVEPOL 901** es la que tiene la condición de temperatura más crítica frente a las otras resinas. Respecto a la viscosidad y el porcentaje de sólidos es la **INVEPOL 002** la cual presenta las condiciones más críticas. En este caso como el objetivo del proyecto fue seleccionar el sistema de calentamiento más adecuado para el sistema de reacción nos enfocamos únicamente en la condición de temperatura más crítica, por esta razón se seleccionó la resina **INVEPOL 901** como base para determinar las condiciones del sistema de calentamiento a seleccionar.

4.2 Actividad 2: Revisión bibliográfica sobre la termodinámica de la reacción.

Para determinar el requerimiento energético para el sistema de reacción a instalar fue necesario conocer la termodinámica de la reacción o las reacciones que se dan para la obtención de la resina, para esto se realizó una búsqueda bibliográfica del proceso de obtención de una resina de poliéster insaturado y las reacciones que se dan en dicho proceso.

Geir Stian Lansdverk y colaboradores (Landsverk, G.S., Mejdell, T., & Foss, B.A. (2003)) dicen que “la síntesis de poliéster insaturado a partir de anhídrido maleico y ftálico y glicoles implica cuatro tipos de reacciones. Primero, el anhídrido (A) reacciona con un glicol (G) para formar un grupo terminal ácido y alcohol (COOH y OH) junto con un puente éster (E) como se muestra en

(1). Esta es la reacción de apertura del anillo. La esterificación procede por la reacción de diferentes grupos terminales de ácido y alcohol para formar nuevos puentes éster y agua (2), o por reacción de un grupo hidroxilo de glicol con un grupo terminal ácido para formar un puente éster y agua. El doble enlace del anhídrido maleico se puede isomerizar (3) o saturar (4). La saturación del doble enlace provoca la reticulación en el polímero, y aproximadamente el 10-20 % de los dobles enlaces se saturan en la preparación del poliéster REF” (Shah et al., 2010)



Donde:

A: anhídrido

G: Glicol

COOH: Ácido

E: Anillo de éster

Cis-trans: isomerización del doble enlace del ácido maleico

Dbb: doble enlace en anhídrido maleico

En la síntesis de poliéster insaturado para la obtención de resinas se pueden presentar múltiples situaciones que cambian por completo el proceso y por ende el resultado final de la resina, entre estas están el tipo de glicol y anhídrido usado, la relación de reactivos, Adicionalmente, es posible que se den todas las reacciones anteriormente mencionadas al 100% pero también puede que se presenten solo unas de estas y en diferentes porcentajes; aspectos que tienen que estar muy bien definidos para poder determinar la termodinámica de la reacción ya que la entalpía y la velocidad de estas reacciones dependen de estos aspectos adicional a la temperatura y la presión a la cual se esté dando la reacción.

Por ejemplo para la reacción de anhídrido maleico y 1,2 propilenglicol a una temperatura entre 60°C Y 80°C se tiene una reacción muy rápida y exotérmica con una entalpia de reacción de -40 kJ/mol (Shah et al., 2010)

Se realizó la búsqueda de dicha información para la resina INVEPOL 901 con el centro tecnológico de la compañía donde se encargan de determinar propiedades fisicoquímicas para todas las referencias de productos que se fabrican dentro de la empresa. Allí, los ingenieros de dicha área hicieron la anotación de que no contaban con dicha información; ellos tienen una metodología y unos parámetros establecidos que evalúan en cada una de las etapas de producción para que la resina INVEPOL 901 cuente con las características o propiedades adecuadas para su uso final.

4.3. Actividad 3: Establecer las condiciones de presión y temperatura, a las cuales estará sometido el sistema de reacción.

Condiciones de temperatura y presión en el sistema de reacción basada en el histórico de producción para la resina INVEPOL 901:

Tabla 3. Condiciones de presión y temperatura

Temperatura [°C]	230
Presión [PSI]	3

En los 4 históricos de producción que se revisaron, las condiciones de presión y temperatura eran las mismas.

4.4. Actividad 4: Seleccionar el fluido caloportador para el calentamiento de la unidad de producción.

Para la selección del fluido caloportador para el calentamiento de la unidad de producción que se desea instalar se evaluó la posibilidad de usar vapor saturado o aceite térmico ya que las temperaturas a las cuales se debe calentar la unidad son muy altas y son los fluidos para calentamiento más usados en la compañía. En términos de rendimiento el calentamiento con aceite térmico es más eficiente que con vapor, adicionalmente brinda un calentamiento más constante y temperaturas exactas. (*CALENTAMIENTO POR ACEITE TÉRMICO COMPARADO CON LOS SISTEMAS DE CALDERAS DE VAPOR PARA CALENTAMIENTO DE TANQUES* / Wattco, n.d.). Por otro lado, el calentamiento con vapor puede llegar a presentar mayores riesgos en la operación debido a que el sistema requiere cierto nivel de presión para funcionar, además el calentamiento con aceite térmico no se encontrará con los peligros causados por los problemas de las trampas de vapor o por la congelación del vapor, ya que el punto de congelación del aceite caliente es significativamente más bajo que el del agua. (SI, 2023)

Otra ventaja de los sistemas de calentamiento por fluido térmico es que su proceso de mantenimiento es más sencillo y a un costo inferior que los calentadores de tanque de vapor. Los

costos de mantenimiento del calentador de vapor con frecuencia se subestiman, esto debido a que utiliza agua. Generalmente, se cree que el agua es un recurso económico, pero en las calderas de vapor el agua necesita tratamiento con químicos costosos. Si el equilibrio químico es erróneo, el agua enseguida puede causar corrosión en el sistema de calentamiento de tanque. (CALENTAMIENTO POR ACEITE TÉRMICO COMPARADO CON LOS SISTEMAS DE CALDERAS DE VAPOR PARA CALENTAMIENTO DE TANQUES / Wattco, n.d.)

Entonces finalmente se definió el aceite térmico como fluido caloportador por las múltiples ventajas anteriormente mencionadas. Ahora bien, se requirió seleccionar un tipo de aceite térmico que supiera las necesidades de calentamiento del sistema. Para esto se consultaron los aceites térmicos más usados en la industria para sistemas de calentamiento.

Tabla 4. Aceites térmicos más usados para calentamiento industrial(Powermaster, n.d.)

MARCA	Temp. Máxima Recomendable (en film)		Rangos de Temperatura Recomendados por el fabricante de líquido térmico	
	°F	°C	°F	°C
Therminol 55°	675	357	hasta 600	315
Therminol 66	705	373	hasta 630	332
Therminol VP1	800	426	hasta 725	385
Dowtherm A	825	440	hasta 755	401
Dowtherm G-40	725	385	hasta 655	346
Dowtherm E	932	500	hasta 862	461
Mobiltherm 603	545	285	hasta 555	290
Marlotherm S	698	370	hasta 625	329
Mobiltherm 605	599	315	Hasta 572	300

Con el objetivo de tener una estandarización de mantenimiento y proveedores se decidió utilizar el aceite térmico **Mobiltherm 603** que es el fluido caloportador que actualmente tiene la compañía para el calentamiento de los sistemas de producción ya instalados.

4.5. Actividad 5: Cálculo del requerimiento energético para el sistema de reacción.

Para determinar el requerimiento energético del sistema (considerando que no se contó con la información necesaria para el planteamiento del balance de energía general), se realizó el cálculo de la cantidad de calor necesaria para aumentar la temperatura tanto en el aceite térmico como en la resina INVEPOL 901.

4.5.1 Con aceite térmico

Tabla 5. Condiciones para aceite térmico

Delta de temperatura (ΔT) [°C] Temperatura salida calentador: 276 °C Temperatura entrada al calentador: 256 °C	20
Capacidad calorífica del aceite (C_p) [kJ/kg °C]	4.1868
Densidad a 250 °C [kg/m ³]	738
Flujo másico [g.p.m]	200

Propiedades obtenidas de un histórico de producción en la planta

La determinación de propiedades como el delta de temperatura y el flujo másico de aceite térmico se basó en un histórico de producción para la resina INVEPOL 901 en una unidad de producción ya instalada en la planta.

$$Q = m C_p \Delta T \quad (2)$$

$$\dot{m} = 200 \frac{\text{gal}}{\text{min}} * \frac{0.00378541 \text{ m}^3}{1 \text{ gal}} * \frac{738 \text{ kg}}{\text{m}^3} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 33523.591 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$Q = 33523.591 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 4.1868 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} * 20^\circ\text{C} = 2807131.4 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 779.7587 \text{ KW}$$

Asumiendo un 15% en pérdidas

$$Q = 1.15 * 779.7587 \text{ KW} = 896.7225 \text{ KW}$$

Para 2 sistemas de reacción iguales:

$$Q = 2 * 896.7225 \text{ KW} = 1793.4451 \text{ KW}$$

4.5.2 Con producto

Se realizaron los cálculos con la etapa más crítica de producción que es la fusión del PET y la reacción con el dietilenglicol:

Las sustancias y cantidades utilizadas se extrajeron del instructivo de producción que se tiene para esta resina.

Tabla 6. Condiciones para INVEPOL 901

PET TIPO TORTA BLANCO	2938 kg
PET AMBAR EN ESCAMAS	622 kg
PET VERDE RIPIO	395.63 kg
Dietilenglicol	989.1 kg
Propilenglicol	769.77
$\Delta T [^{\circ}\text{C}]$	214
Capacidad calorífica del producto [kJ/kg $^{\circ}\text{C}$]	2.408
Tiempo [s]	5400
Masa total [kg]	5714.5

Propiedades obtenidas de un histórico de producción en la planta

$$Q = \frac{5714.5 \text{ kg}}{5400 \text{ s}} * 2.408 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^{\circ}\text{C}} * 214 ^{\circ}\text{C} = 545.32 \text{ KW}$$

Para 2 sistemas de reacción iguales:

$$Q = 2 * 545.32 \text{ KW} = 1090.64 \text{ KW}$$

Finalmente, para el diseño del sistema de calentamiento se seleccionó la potencia obtenida al realizar los cálculos con el fluido caloportador.

4.6. Actividad 6: Consultar diferentes proveedores de sistemas de calentamiento y seleccionar el que tenga mejor costo/beneficio cumpliendo con los requerimientos solicitados.

Para iniciar con las cotizaciones del sistema de calentamiento se realizó una hoja de especificaciones donde se detallaron cada uno de los requerimientos y características que debían cumplir cada componente del sistema de calentamiento (Quemador, cámara de combustión, chimenea, tanque de almacenamiento, tanque de expansión, válvula 3 vías, bomba de llenado y

recirculación, sistema de tuberías y sistema de control) y las condiciones impuestas por parte de la compañía para poder realizar la adquisición del equipo con alguna empresa proveedora.

La hoja de especificaciones descrita en el Anexo 1 fue enviada a 2 proveedores; Termaltec y Calderas JCT quienes son empresas dedicadas a la venta de este tipo de quipos. Estos proveedores enviaron la cotización respecto a la solicitud y a partir de estas y otros aspectos como ubicación de la empresa y su experiencia en el diseño y montaje, entre otros se realizó la selección final de la compañía que proveerá el sistema de calentamiento para la compañía Invesa S.A. En la tabla 7 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 7. Criterios para la selección del proveedor

Criterio evaluado/Proveedor	Ponderado	Termaltec	Calderas JCT
Costo	0.3	4	2
Cubrimiento de la necesidad	0.2	1	4
Mantenimiento/servicio post venta	0.1	-*	-*
Ubicación de la empresa	0.1	5	5
Transporte	0.1	1	5
Experiencia o trayectoria de la compañía proveedora	0.2	3	4
Ponderado final	1	2.6	3.2

*Ninguno de los 2 proveedores brindo información del servicio post venta (garantías, acompañamiento, etc)

5 Análisis

A partir de los resultados obtenidos para el requerimiento energético del nuevo sistema de producción se puede decir que hay una gran diferencia entre la potencia que requeriría el sistema si se usa aceite térmico o con el producto INVEPOL 901. Esto se presenta debido a que en el cálculo con las condiciones del aceite térmico se están tomando condiciones a la entrada y salida del calentador, allí se tienen en cuenta todas las pérdidas que se pueden presentar en la línea para llegar al reactor y la de salida del reactor al calentador, diferente a lo que se hace con el producto donde se realiza el requerimiento únicamente del reactor, sin tener en cuenta esas pérdidas debidas a accesorios presentes en la línea y la longitud de la misma. No es la manera más rigurosa de hacerla, pero debido a que no se cuenta con la información necesaria, estos resultados permiten tener un valor aceptable para la selección final del sistema de calentamiento.

En cuanto a la selección del proveedor del sistema de calentamiento, el análisis de las cotizaciones enviadas por los proveedores permitió identificar que en cuanto a costos la mejor opción sería el proveedor Termaltec, sin embargo, Calderas JCT es quien mayor cubrimiento brinda a los requerimientos planteados. Es importante tener en cuenta que no se atribuyó ninguna puntuación en cuanto al servicio post venta a ninguno de los dos proveedores debido a que dentro de las cotizaciones suministradas por ellos no hacían claridad o anotación en cuanto a este servicio.

En cuanto a la ubicación de las compañías ofertantes, ambas tienen la puntuación más alta ya que se encuentran dentro de la ciudad de Medellín, sin embargo, en el ítem atribuido al servicio de transporte, en el ponderado realizado (Ver tabla 7) se puede observar que quien tuvo la puntuación más alta es el proveedor calderas JCT, se asigna esta puntuación debido a que esta compañía si presenta dentro de su cotización este ítem, contrario a Termaltec quienes no lo incluyen, y por tanto, no es posible llegar a una comparación de la prestación de este servicio.

Finalmente, respecto a la trayectoria de los proveedores, calderas JCT es quien tiene más años desarrollándose en la industria, focalizando su portafolio en el diseño y venta de calderas, Mientras que Termaltec, que, si bien lleva menos años en este camino, es una compañía que se especializa en el diseño y venta en sistemas de calentamiento.

Para terminar, realizar un ponderado respecto a los aspectos más relevantes para la adquisición del sistema de calentamiento permite tomar la decisión más adecuada para la selección del proveedor de dicho sistema, obteniendo como la mejor opción para la compra a la compañía Calderas JCT.

6 conclusiones

- Se calculó el requerimiento energético para el nuevo sistema de reacción a partir de un historial de producción para la resina INVEPOL 901 en una unidad ya existente de las mismas dimensiones y capacidades de las planeadas para la nueva, y se proyectó para 2 unidades idénticas con el fin de suplir la necesidad a una futura ampliación.
- Se establecieron especificaciones técnicas como la potencia requerida, el tipo de combustible o fuente de energía utilizada, la temperatura máxima que puede llegar a alcanzar, el tipo de control que requiere el sistema, entre otras, las cuales son fundamentales a la hora de seleccionar un sistema de calentamiento ya que de estas depende la garantía de un rendimiento eficiente y seguro en el proceso.
- Se seleccionó el sistema a de calentamiento ofertado por el proveedor JCT, quien propone un sistema más acorde a las necesidades de la compañía, si bien tiene un costo mayor, es necesario tener un sistema que garantice un buen funcionamiento por cuestiones de producción y seguridad de procesos, aspectos que el proveedor Termaltec no presentó en la cotización enviada.

7 Recomendaciones

Se deja como recomendación a los ingenieros del centro tecnológico de la compañía estimar los parámetros termodinámicos como entalpía de reacción y velocidad de reacción para cada una de las resinas que se producen en INVESA S.A.

Se recomienda previo a la compra del sistema de calentamiento con el proveedor que se elija, preguntar acerca de las garantías y el servicio post venta que ofrecen en caso de realizar la compra con ellos.

Referencias

- Avella, M., Martuscelli, E., & Mazzola, M. (1985). Kinetic study of the cure reaction of unsaturated polyester resins. *Journal of Thermal Analysis*, 30(6), 1359–1366. <https://doi.org/10.1007/BF01914307>
- CALENTAMIENTO POR ACEITE TÉRMICO COMPARADO CON LOS SISTEMAS DE CALDERAS DE VAPOR PARA CALENTAMIENTO DE TANQUES / Wattco. (n.d.). Retrieved July 10, 2023, from <https://www.wattco.com/es/2020/09/calentamiento-por-aceite-termico-comparado-con-los-sistemas-de-calderas-de-vapor-para-calentamiento-de-tanques/>
- Diez, A.M. (2002). Aplicaciones básicas: resina poliéster. Suin S.A. Suministros industriales. Encyclopedia of Polymer Science and Technology. (2002). *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*. <https://doi.org/10.1002/0471440264>
- Fogler, H. S. (2004). *Elements of Chemical Reaction Engineering* (third edit). Asoke K. Ghosh. Informe de mercado de resina de tereftalato de polietileno (PET) | Tamaño, participación, crecimiento y tendencias (2023-28). (n.d.). Retrieved July 11, 2023, from <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/polyethylene-terephthalate-market>
- Powermaster, C. (n.d.). *Aceite Térmico*. Retrieved July 17, 2023, from <https://powermaster.com.mx/www/informacion/aceite.html>
- Shah, M., Zondervan, E., & de Haan, A. B. (2010). Modelling and simulation of an unsaturated polyester process. *Journal of Applied Sciences*, 10(21), 2551–2557. <https://doi.org/10.3923/jas.2010.2551.2557>
- SI, M. (2023). *Por qué el aceite térmico puede ser mejor que el vapor en ciertos procesos de calentamiento?* <https://www.mastersi.com.pe/mastersi/blog/302-por-que-el-aceite-termico-puede-ser-mejor-que-el-vapor-en-ciertos-procesos-de-calentamiento>
- Tipos de procesos en los sistemas de calentamiento - Wattco. (n.d.). Retrieved July 11, 2023, from <https://www.wattco.com/es/tipos-de-procesos-en-los-sistemas-de-calentamiento/>