

Evaluación de la generación de vapor de baja presión por medio del sistema de intercambiadores E-2208A y B en la planta de polietileno I de la gerencia refinaria

Barrancabermeja

Leonel Rondón Ravelo

Tomas Torres Barbosa

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniería de Procesos de Refinación y

Petroquímica

Director

P.h D. Ronald Alfonso Mercado Ojeda

Co-Director

M. sC. Pedro Elías Herrera Betancourt



Universidad Industrial de Santander

Sede Bucaramanga

Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas

Escuela de ingeniería Química

2022

Agradecimientos de Leonel

Quiero agradecer a mi esposa Natalia por su amor y el haber estado acompañándome durante estos años de Aventura.

A mis hijas Francesca y Giullianna por ser ese motor que me impulsan día a día para ser mejor en todos los escenarios.

A mis padres Leonel y Chela por su amor y por todas sus enseñanzas y amor durante mi vida.

A mi hermana Claudia Liliana y mi sobrino Julian David por ser parte de esta familia.

Agradecimientos de Tomas

Agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

Agradezco a mi esposa Gladis Pérez Osorio, por haberme brindado su apoyo incondicional para lograr formarme en esta prestigiosa universidad, a mis hijos, Tomas Alejandro y Matías por saber entender y tener paciencia por el tiempo dejado de compartir.

También de manera especial agradezco a los todos docentes que, con su sabiduría, conocimiento, apoyo y paciencia, motivaron a desarrollarme como persona y profesional en la Universidad.

Contenido

	Pág.
Introducción y descripción del problema	11
1. Estado del arte	13
2. Marco teórico.....	14
2.1 Descripción general del proceso.....	14
2.2 Vapor de 25 psi.....	17
2.3 Diseño de intercambiadores de calor.....	17
3. Objetivos.....	19
3.1 Objetivo general	19
3.2 Objetivos específicos	19
4. Metodología.....	19
4.1 Recopilación de información sobre los sistemas de generación de vapor en la Unidad de Polietileno I.	20
4.1.1 Datasheet	21
4.1.2 Condiciones de operación.....	21
4.2 Evaluación de la capacidad de generación de vapor a través de simulación rigurosa en Aspen Hysys del sistema E-2208A/B.....	21
4.3 Evaluar el impacto económico de la alternativa al emplear el vapor generado en el sistema E-2208A/B en la unidad de refrigeración por absorción X-2206.....	22
4.3.1 Cantidad y precio de los productos recuperados.	23
4.3.2 Inversión y costos de operación.	23
4.3.3 Impuestos a las utilidades.....	23
5. Resultados.....	24

5.1 Recopilación de información sobre los sistemas de generación de vapor en la Unidad de Polietileno I.	24
5.2 Evaluación de la capacidad de generación de vapor a través de simulación rigurosa en Aspen Hysys del sistema E-2208A/B.....	27
5.3 Evaluación del impacto económico de la alternativa al emplear el vapor generado en el sistema E-2208A/B en la unidad de refrigeración por absorción X-2206.....	31
6. Conclusiones.....	35
Bibliografía.....	36

Listado de figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Proceso de Producción de Polietileno.</i>	14
Figura 2. <i>Sistema de generación de vapor.</i>	16
Figura 3. <i>Especificaciones del TEMA.</i>	18
Figura 4. <i>Metodología empleada.</i>	20
Figura 5. <i>Diagrama de Flujo de la Unidad.</i>	24
Figura 6. <i>Sección de Generación de Vaporización</i>	25
Figura 7. <i>Ambiente Hysys de la simulación rigurosa de las calderas E2208A/B.</i>	27
Figura 8. <i>Ambiente View EDR Browser Aspen Hysys.</i>	28
Figura 9. <i>Ambiente View EDR Browser condiciones de operación</i>	28
Figura 10. <i>Producción de vapor vs flujo másico de agua.</i>	29
Figura 11. <i>Condiciones de la corriente de vapor generada.</i>	30
Figura 12. <i>Sistema propuesto de generación de vapor E-2208A/B y suministro a la unidad de refrigeración por absorción X-2206.</i>	31
Figura 13. <i>Proyección de precios</i>	32
Figura 14. <i>Valor Presente Neto, en los años evaluados (2022-2026).</i>	34

Listado de tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Balance de Masa de la Unidad</i>	25
Tabla 2. <i>Condiciones de entrada y salida de la Unidad</i>	25
Tabla 3. <i>Especificaciones para el diseño de la simulación rigurosa intercambiadores E-2208 A/B</i>	26
Tabla 4. <i>Precios Proyectados Vapor de Baja Presión</i>	32
Tabla 5. <i>Ingreso anual debido a la generación de vapor de baja presión</i>	33
Tabla 6. <i>Inversión necesaria para la adecuación del sistema de vapor E-2208A/B y X-2206.</i>	33
Tabla 7. <i>Matriz de flujo de fondos.</i>	34

Glosario

- C2202: Compresor reforzador de gas etileno, eleva la presión de 200 psig a 3000 psig.
- C2203: Compresor de alta presión, eleva la presión de 3000 psig a presiones que oscilan entre los 16500 y 19500 psig,
- C2204: Compresor de alta presión, eleva la presión de 3000 psig a presiones que oscilan entre los 16500 y 19500 psig,
- D2209: Tambor acumulador de condensado de vapor que alimenta los E2208A/B
- LIC22019: Controlador de nivel del tambor acumulador D2209
- R2201: Reactor de polimerización
- E2208A/B: Intercambiadores de gas de reciclo tipo caldera.
- X2206: unidad de refrigeración por absorción.
- E2218: intercambiador condensador del vapor de los E2208
- SE2201: Separador de presión de alta presión (3000 psig)
- D2203: Tambor de succión de gas etileno de los C2203/04

Resumen

Título: Evaluación de la generación de vapor de baja presión por medio de los E-2208a/b en la planta de polietileno I de la gerencia refinería Barrancabermeja.*

Autores: Leonel Rondón Ravelo y Tomas Torres Barbosa

Palabras Claves: Vapor de baja presión, Aspen Hysys, intercambiador, conversión, combustible.

Resumen:

En este proyecto se plantea la factibilidad técnica y prefactibilidad económica de utilizar el vapor generado de baja presión que sale de los intercambiadores E-2208 A/B como servicio industrial ingresando en una sola línea a la unidad de absorción X-2206. Para esto, fue necesario obtener todos los datos requeridos para desarrollar una simulación rigurosa, además de los datasheet de los equipos involucrados en los intercambiadores E-2208A/B, flujos y condiciones de operación. Se realizó un caso de estudio donde se varió el flujo y se registró las fases de vapor y líquido hasta encontrar el punto medio de la cantidad de vapor generado a una presión por debajo de 25 psig y el cual será inyectado a la unidad de absorción X-2206. Se dio cumplimiento a los objetivos pactados y comprobó la factibilidad y los beneficios económicos que obtendrá la Gerencia de la Refinería de Barrancabermeja sobre la alternativa presentada.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.
Director Ronald Alfonso Mercado Ojeda P.h. D.

Abstract

Title: Evaluation of low pressure steam generation by means of E2208A/B in the polyethylene I plant of the Barrancabermeja refinery management.*

Authors: Leonel Rondón Ravelo y Tomas Torres Barbosa

Key Word: Low pressure steam, Aspen Hysys, exchanger, conversion, fuel.

Description

This project considers the technical feasibility and economic pre-feasibility of using the low-pressure generated steam that comes out of the E-2208 A/B exchangers as an industrial service, entering the X-2206 absorption unit in a single line. For this, it was necessary to obtain all the data required to develop a rigorous simulation, in addition to the datasheets of the equipment involved in the E-2208A/B exchangers, flows and operating conditions. A case study was carried out where the flow was varied and the vapor and liquid phases were recorded until finding the midpoint of the amount of vapor generated at a pressure below 25 psig and which will be injected into the absorption unit X -2206. The agreed objectives were fulfilled and the feasibility and economic benefits that the Barrancabermeja Refinery Management will obtain from the presented alternative were verified.

* Project of grade

*Physicochemical Faculty of Engineering. School of Engineering Chemical. Master of Chemical Engineering. Director Ramiro Martinez P.h.D.

Introducción y descripción del problema

La refinería del Distrito Especial, Portuario y Turístico de Barrancabermeja, es un complejo industrial que procesa crudos de varias calidades provenientes de diferentes locaciones de extracción del país, generando distintos tipos de productos con valor agregado para el mercado nacional e internacional. El área de refinación produce principalmente gasolinas, destilados, productos petroquímicos; bases lubricantes, parafinas, aromáticos y polietileno.

Los servicios industriales son el engranaje y la pieza clave que dan el soporte vital de las diferentes plantas y unidades de la refinería, ayudando en gran medida a aportar la energía y el control para mantener en equilibrio las condiciones ideales de los procesos. Estos son generados en la refinería con recurso propio y tienen sus costos, lo cual suponen gastos dentro del balance económico de cada planta. En el caso de la generación de vapor, es un proceso de conversión de agua a vapor utilizando la oxidación de un combustible y la transferencia de calor. Actualmente, el valor para producir 1 klb/h de vapor de baja presión está en alrededor de \$ 22000 (pesos), mientras que el valor de 1 klb/h de condensado de agua se encuentra entre \$ 1900 y \$ 2100 (pesos).

La unidad de Polietileno I; es la encargada de producir polímeros mediante la transformación del etileno, el proceso posee dos intercambiadores tipo caldera instalados, éstos utilizan gas etileno de reciclaje, el cual es un residuo de la conversión en el reactor R2201 a una temperatura que oscila entre 490 °F y 500 °F, diseñado para utilizar la energía calorífica del gas etileno en la generación de vapor a una presión entre 8 y 25 psig (máximo). El vapor generado en las dos calderas, se condensa por medio de un intercambiador que utiliza agua industrial a una temperatura promedio de 89 °F. Luego de condensarse, éste cae por gravedad al tambor de

alimentación de las calderas D2209 para volver al ciclo de evaporación. El agua de condensado que se pierde por escapes o evaporación al medio ambiente a través del rebose del tambor, se repone mediante un controlador de nivel LIC22019, de manera automática desde el cuarto de control. Por lo tanto, el vapor generado en los intercambiadores tipo caldera en mención (y que se está volviendo a condensar), genera un impacto negativo en los costos de la unidad al no poder utilizarse.

En la planta de Polietileno I, existe una unidad de refrigeración por absorción, la cual se encuentra a una distancia de 200 metros aproximadamente de las calderas y consume entre 4 y 6 klb/h de vapor de baja presión, para lograr operar de manera óptima. Esta unidad de refrigeración es la encargada de bajar las temperaturas del gas etileno para que ingrese al reactor y que se realice apropiadamente la reacción exotérmica, así como también de mantener los iniciadores que se le inyectan en conjunto con el gas al reactor en temperaturas bajas por medidas de seguridad.

El consumo de vapor de baja presión de la unidad de refrigeración por absorción, en operación normal, se encuentra en un rango de precio de dos millones de pesos diarios, prácticamente el mismo valor que se está dejando de generar en las calderas del lado reciclo de gas etileno.

Ante esta situación, el presente trabajo estudia la factibilidad de integrar el proceso de generación de vapor en los intercambiadores E2208A/B como servicio industrial, dando soporte a la unidad de refrigeración por absorción para no consumir vapor degradado proveniente del área de servicios industriales de la refinería.

1. Estado del arte

Desde el punto de vista de procesos químicos, se entiende por simulación al proceso de desarrollar modelos, reproduciendo las condiciones y las variables de un sistema real en forma matemática. La simulación constituye una técnica económica para evaluar varios escenarios posibles de una situación sin provocar efectos sobre el mundo real permitiendo la posibilidad de equivocación. Es una excelente herramienta de cómputo para entender el comportamiento de un sistema o proceso en poco tiempo y para evaluar varias estrategias, con el fin de encontrar mejores condiciones de operación y optimizar sistemas. Los simuladores de procesos químicos involucran ciertos tipos de modelos matemáticos, lógicos y termodinámicos, que junto a las propiedades físicas y químicas de las sustancias involucradas, permiten predecir el comportamiento de un sistema y definir el estado de salida a partir de la información del estado de entrada.

Los softwares de la familia AspenTech se encuentran frecuentemente en estos estudios, como el realizado por Edihit y colaboradores en 2012 , Azad y colaboradores en 2016 (Azad et al. 2016) y Samborskaya y colaboradores en 2014 (Samborskaya et al. 2014). En estas investigaciones, se desarrollaron simulaciones confiables de unidades de mezcla (blending) y CDU en Aspen HYSYS, con el fin de realizar análisis de sensibilidad y optimización a los procesos involucrados. Estos simuladores aportaron información valiosa para la planificación de crudos y aumento de los rendimientos de productos ligeros (gasolina, queroseno, nafta, diésel).

Otros autores como Munawar y colaboradores, de manera similar han empleado esta herramienta, con el fin de aumentar ganancias a través de la minimización del costo energético y de materias primas (Munawar et al., 2017); o para mantener la calidad de los

productos y realizar actualizaciones a las unidades (Samborskaya et al., 2015)

Omar Martinez habla sobre la simulación de procesos industriales. Entre ellos se destacan los procesos con inyección de vapor de fase, con el objetivo de ofrecer herramientas multi-dinámicas y la caracterización de las diferentes unidades (MARTINEZ T., 2015).

Arletis Cruz desarrollo un modelo de simulación para la etapa de generación de vapor empleando aspen HYSYS v10.0 con el objeto de ofrecer un medio para el aprovechamiento energético integrado en la fabricas (CRUZ & Osney, 2021).

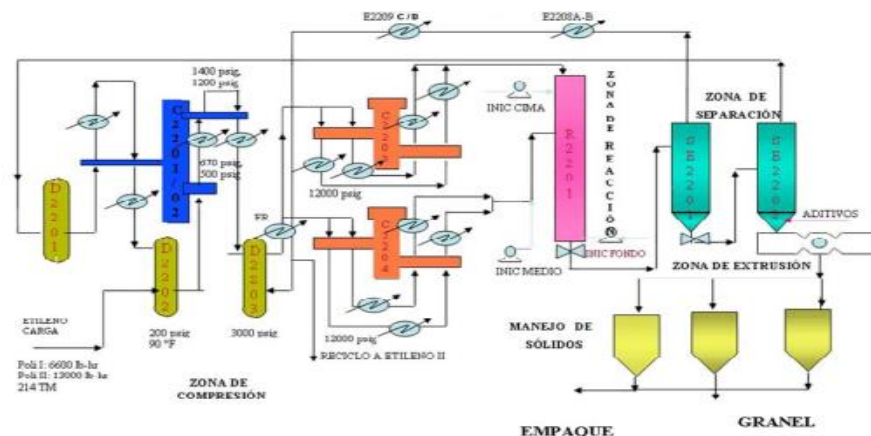
2. Marco teórico

2.1 Descripción general del proceso.

En el proceso de producción de polietileno de baja densidad, se trabaja compresiones de gas muy altas que oscilan entre los 16500 y 19500 psig, el proceso se realiza en cinco secciones según la Figura 1.

Figura 1.

Proceso de Producción de Polietileno.



Fuente: manual de procesos Planta Polietileno I/II

Por esta razón en las presiones por encima de 3000 psig se necesita de un equipo que surta de agua refrigerada el proceso de enfriamiento para mantener el gas a una temperatura más baja que la temperatura ambiente, este equipo es denominado Unidad de Refrigeración por Absorción o ARU, el cual opera con una solución de bromuro de litio como refrigerante y vapor de baja presión (aproximadamente 14 psig).

El etileno proveniente de Etileno II, llega a la planta con una presión de 200 psig y temperatura ambiente, este es succionado por el compresor primario C2202 con descarga de 3000 psig a los compresores de alta presión C2203 y C2204, los cuales descargan el gas a una presión que oscila entre 16500 y 19500 psig. En el reactor R2201, se produce el proceso de polimerización del gas etileno a una temperatura entre 350 a 515 °F y presión controlada entre 16500 y 19500 psig. Al reactor, también se alimentan los compuestos iniciadores (peróxidos orgánicos diluidos en ciclohexano), que generan radicales libres rompiendo el doble enlace de la molécula de etileno, lo que da inicio a una reacción exotérmica. La conversión del reactor es de 14 a 15%, por lo que el efluente del reactor es una mezcla entre polímero fundido y etileno, estos son separados en el SE-2201. Una parte del gas es recirculado a la zona de compresión y la otra parte es reenviada a la unidad de etileno 2 para su reprocesamiento. Al polietileno fundido se le adicionan aditivos, dosificados para brindarle propiedades adicionales. Finalmente, pasa al extrusor en donde se granula y solidifica al enfriarlo con agua, formando pellets, los cuales son secados, clasificados, pesados y transferidos por medio de aire a las tolvas en donde son retenidos o empacados para almacenar o despachar.

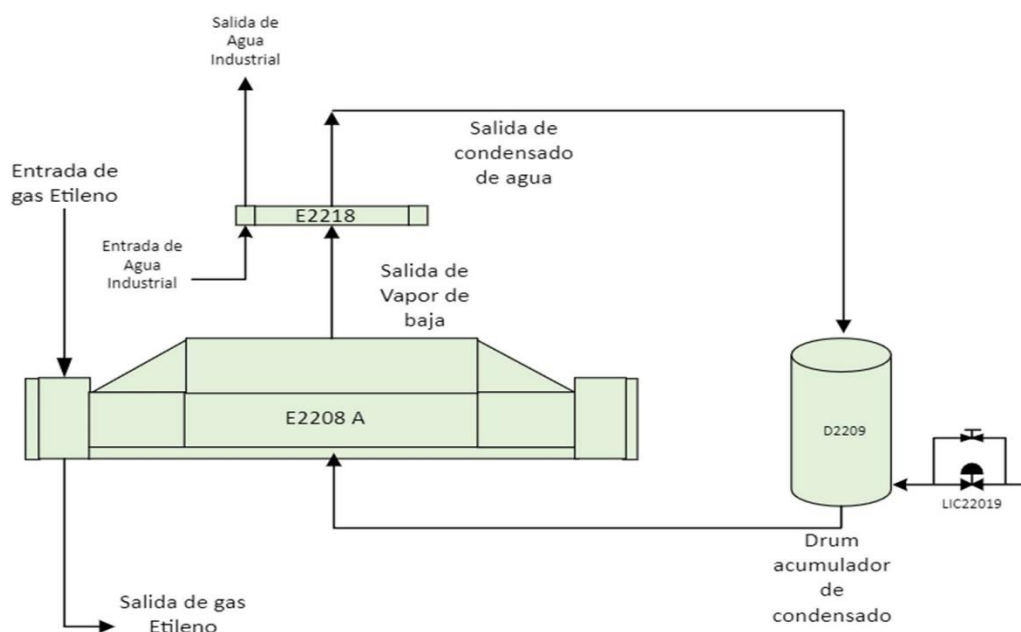
Durante el recorrido del gas por el sistema de media presión, después de pasar por el reactor R-2201, el etileno que sale por la cima del separador SE-2201 a una temperatura aproximada de 500 °F, es enfriado hasta una temperatura de 280 °F en los E-2208A/B, para

mejorar la precipitación de polímeros de bajo peso molecular (grasa) presentes. Estos enfriadores utilizan condensado como refrigerante, generando vapor de baja presión en un circuito de enfriamiento con agua industrial en el intercambiador E-2218 para retornar al tambor D-2209, ver Figura 2. Por los intercambiadores E-2208A/B fluye un promedio de 30600 lb/h de etileno a 500°F y 3000 psig que en este momento no es utilizado, ya que este vapor es condensado nuevamente en el E-2218 para ser utilizado de nuevo en el mismo proceso.

Se hace énfasis en la generación de vapor en los intercambiadores E-2208A/B como se puede ver en la Figura 2, y como se detalló anteriormente estos intercambiadores sirven para mantener la temperatura del gas de etileno de recicló, el cual se inyecta de nuevo al proceso en el tanque de succión D-2203, el sistema se mantiene bajo el lazo de control manteniendo el nivel de agua que se compensa periódicamente según se consume.

Figura 2.

Sistema de generación de vapor.



2.2 Vapor de 25 psi

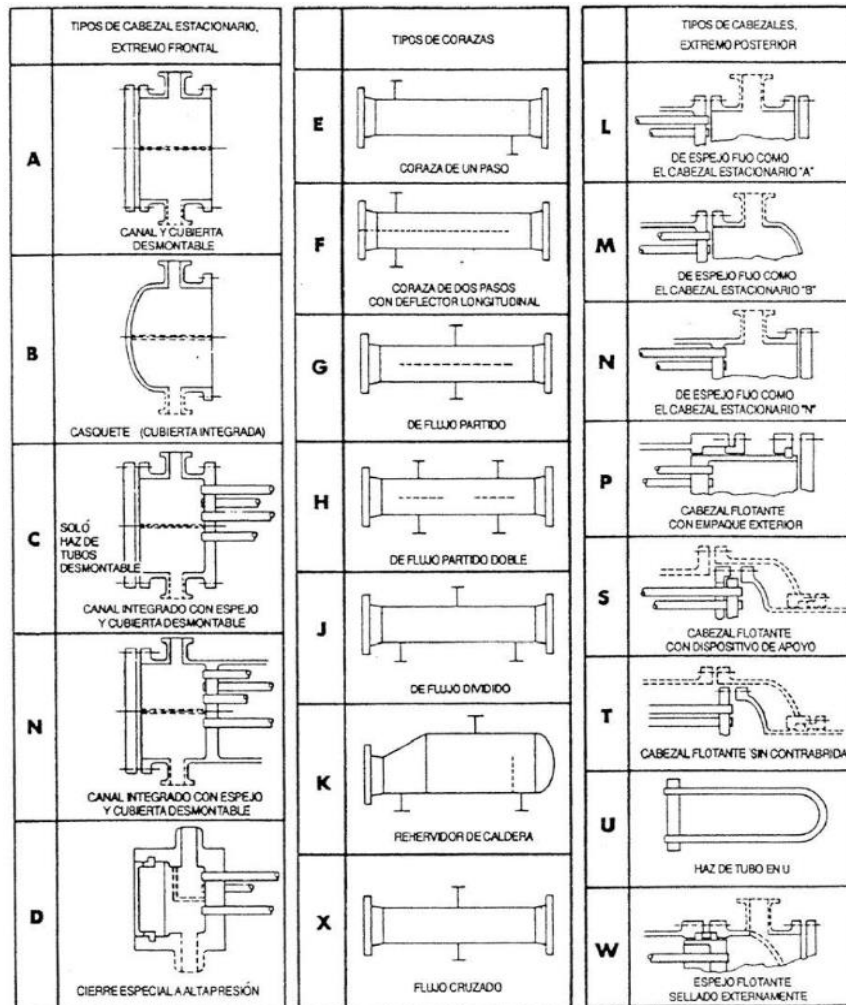
Existen dos formas de conseguir el vapor de baja presión, la primera es la utilización de turbinas y la segunda es la degradación de vapor de 50 psig.

El vapor de baja presión solo es generado cuando las turbinas que mueven los equipos están en servicio, el vapor generado por estos equipos es el vapor que sale de las turbinas (vapor exosto) luego de que es utilizado. Lastimosamente, este vapor de baja presión es un vapor que tenderá a desaparecer, esto debido a una directriz de la empresa que expresa que las bombas y los equipos siempre deben trabajar con motores eléctricos y tratar, en lo posible, de no usar el vapor para producir movimiento de estos equipos.

La segunda forma de conseguir vapor de baja presión es la degradación de vapor de 50 psi, este proceso tiene su contra pues se está enfriando un vapor más caliente y con mayor entalpia para poder usarlo en el proceso, por lo cual se está gastando dinero que puede ser ahorrado al no tener que degradar el vapor antes mencionado.

2.3 Diseño de intercambiadores de calor.

El diseño de intercambiadores de calor se realiza bajo las especificaciones del TEMA; el cual es el conjunto de normas y estándares más habitual empleado por diseñadores, fabricantes y usuarios para la fabricación y el diseño de intercambiadores de calor, ver Figura 3. Estos estándares son utilizados en un amplio rango de industrias en cualquier parte del mundo: refino, petroquímica, energía, etc.

Figura 3.*Especificaciones del TEMA.*

Las normas y estándares TEMA definen los tipos de intercambiadores de calor y las tolerancias de mecanizado y montaje. Existen tres clasificaciones TEMA, según su funcionalidad, propósito y características principales:

- TEMA C – Servicio General
- TEMA B – Servicio Químico
- TEMA R – Servicio de Refinería

TEMA C es la menos restrictiva. TEMA B y TEMA R son similares en cuanto a requisitos y normalmente requieren características como uniones con juntas confinadas y espesores mínimos mayores en algunas partes (TEMA, 1978).

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

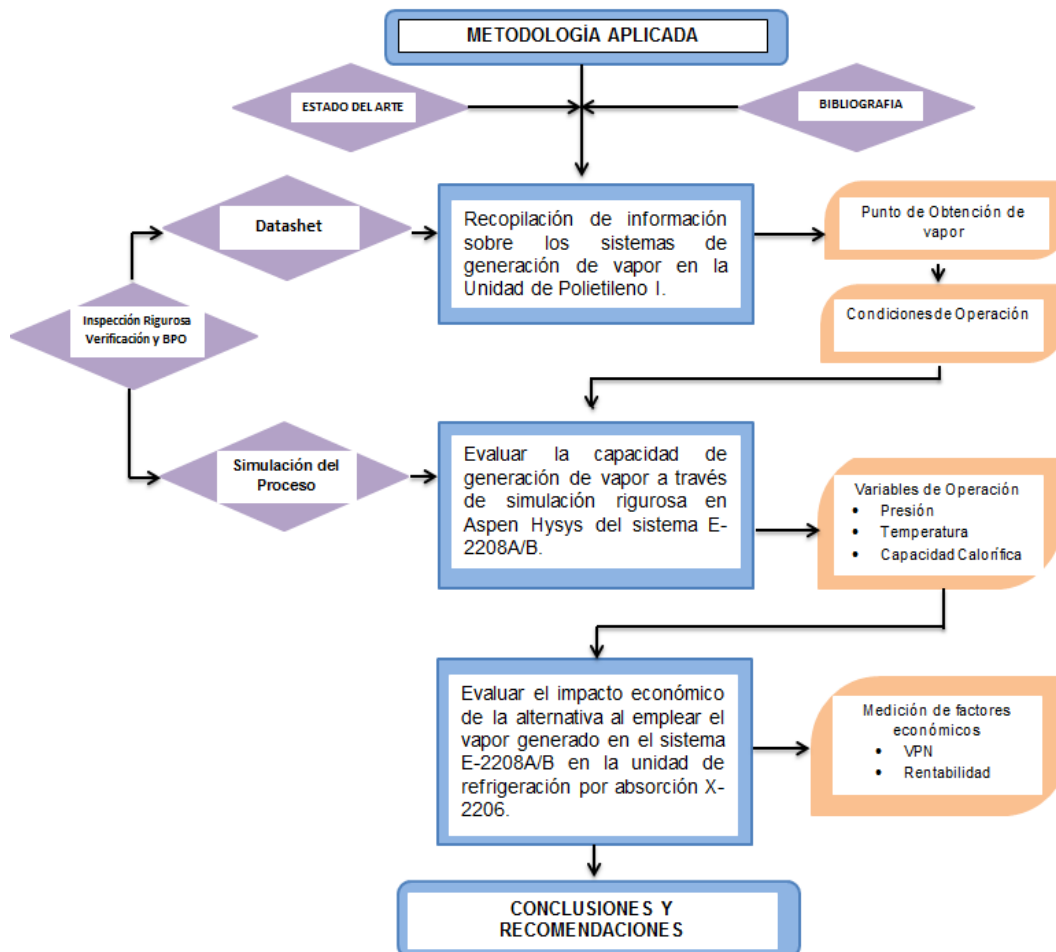
Evaluar el estado termodinámico de los intercambiadores de calor tipo caldera E-2208A/B relacionándolo con la generación de vapor de baja presión para suaprovechamiento.

3.2 Objetivos específicos

- Recopilación de información sobre los sistemas de generación de vapor en la Unidad de Polietileno I.
- Evaluar la capacidad de generación de vapor a través de simulación rigurosa en Aspen Hysys del sistema E-2208A/B.
- Evaluar el impacto económico de la alternativa al emplear el vapor generado en el sistema E-2208A/B en la unidad de refrigeración por absorción X-2206.

4. Metodología

El esquema metodológico planteado para el desarrollo del análisis de los equipos se encuentra en la Figura 4.

Figura 4.*Metodología empleada.*

El esquema anterior abarcó los tres objetivos específicos, los cuales se procederá a explicar los medios necesarios que conllevaron a su realización.

Como objetivo general; se evaluó el estado termodinámico de los intercambiadores de calor tipo caldera E- 2208A/B conectados en paralelo, relacionándolo con la generación de vapor de baja presión para su aprovechamiento.

4.1 Recopilación de información sobre los sistemas de generación de vapor en la Unidad de Polietileno I.

Para proceder con la simulación, fue necesario conocer toda la información pertinente sobre la unidad, así como las restricciones que se pueden obtener de forma rigurosa.

4.1.1 Datasheet

El datasheet (Ficha técnica del equipo) permitió conocer varios de los parámetros de entrada que se tuvieron en cuenta en la simulación, permitiendo recrear la construcción rigurosa del sistema de generación de vapor.

4.1.2 Condiciones de operación.

Las condiciones de operación que se emplearon para simular el sistema de generación de vapor, se obtuvieron de la operación del proceso y las restricciones operativas del mismo, información obtenida de la búsqueda En el manual de funciones de la unidad.

4.2 Evaluación de la capacidad de generación de vapor a través de simulación rigurosa en Aspen Hysys del sistema E-2208A/B.

Se modeló el sistema en torno a los intercambiadores E-2208A/B conectados en paralelo en Aspen HYSYS V10.00, con el fin de determinar los cambios operacionales necesarios para mantener la generación de vapor de media presión. Esta simulación se realizó en 3 etapas.

Etapas 1: Modelado del sistema de generación de vapor E-2208A/B conectados en paralelo.

Para el modelado en Aspen HYSYS, en todos los casos, se empleó el paquete termodinámico incorporado en el software especializado para los sistemas de etileno Peng Robinson, no solo por las razones ya mencionadas, sino también porque tiene en cuenta los

controles de operación recomendados por las mejores prácticas, de tal manera que, si se llegara a violar alguno de estos controles, el modelo no convergería. Además, es compatible con los fluidos empleados como servicios industriales del proceso.

Etapa 2: Estimación de las condiciones de operación en estado pseudo estacionario y composición de la corriente de vapor, temperatura y presión.

Las unidades de refinería trabajan en estado pseudo estacionario, es decir que las propiedades de las corrientes que entran y salen de cada unidad (temperatura, presión y flujo), siempre se encuentran dentro del mismo rango. Por tal motivo, para establecer las condiciones de operación en estado pseudo estacionario de la unidad E-2208A/B, se tomaron los valores registrados de los estándares del proceso, debido a que en la línea de entrada especificada no se encuentra un medidor donde se registren los cambios diarios.

Etapa 3: identificación del punto medio para mantener el nivel de suministro de agua.

Se identificó el punto medio del cual se obtuvo el nivel de agua o el flujo que se recuperará para mantener la generación de vapor, ya que el sistema trabaja bajo un lazo de control de apertura y/o suministro de agua en compensación con la temperatura a enfriar del gas de etileno de recicló, como se indicó en el marco teórico.

4.3 Evaluar el impacto económico de la alternativa al emplear el vapor generado en el sistema E-2208A/B en la unidad de refrigeración por absorción X-2206.

Desde el punto de vista económico se evaluaron la alternativa propuesta, teniendo en cuenta el valor presente neto (VPN) y tasa interna de retorno (TIR). Para esto se creó una matriz de flujo de caja y se calcularon estos parámetros por medio de Microsoft Excel. Se realizó el flujo de caja a partir del 2021, para un periodo de 5 años. Para el flujo de caja se tuvieron en cuenta las variables: cantidad y precio de los productos recuperados, inversión y

costos de operación e impuestos a las utilidades.

4.3.1 Cantidad y precio de los productos recuperados.

Por medio de los modelos realizados en Aspen HYSYS de los sistemas propuestos, los factores de recuperación y los rendimientos de las unidades, se calcularon los productos recuperados de interés, para la alternativa planteada. Posteriormente, de los índices económicos de la refinería se tomaron los precios de venta para los últimos 5 años y se proyectaron utilizando Microsoft Excel.

4.3.2 Inversión y costos de operación.

Se consultó a los ingenieros estático y electrónico asignados al departamento de polietileno I, la inversión necesaria para la adecuación de la unidad E-2208A/B en refrigeración por Absorción de la unidad X-2206 y se aumentó este valor en un factor del 20%. Por otra parte, los costos de operación se estimaron teniendo en cuenta los insumos, servicios (agua y vapor) y los análisis de laboratorio, aumentándoles en un factor del 3% anual.

4.3.3 Impuestos a las utilidades.

Se empleó el impuesto anual al año vencido; su periodo gravable es del 1 de enero al 31 de diciembre. Este impuesto grava las utilidades y su tarifa corresponde al 33% (24% corresponde al impuesto de renta y 9% al impuesto sobre la renta para la equidad CREE (DIAN, 2020). Considerando que no se recurrirá a la compra de equipo nuevo, se omitieron variables como depreciación, impuesto al patrimonio, mano de obra entre otras, puesto que estas se facturan estando o no las unidades E-2208A/B y X-2206 en servicio.

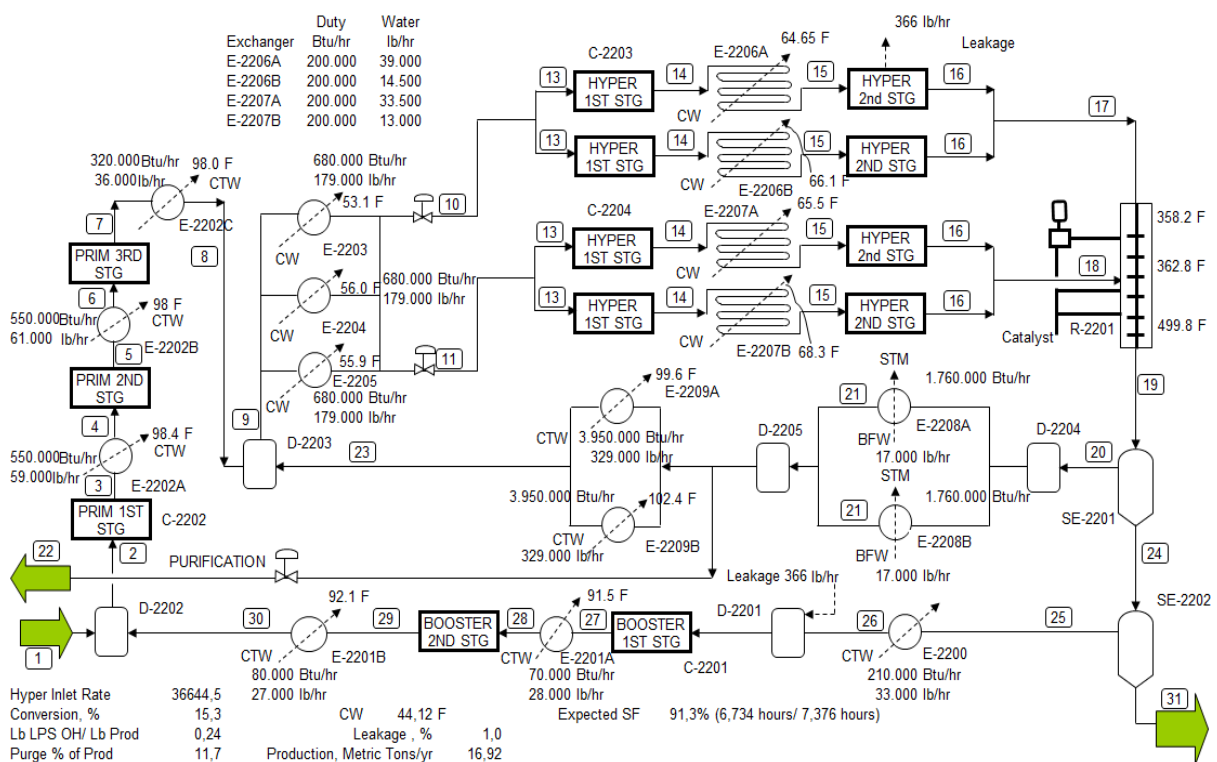
5. Resultados

5.1 Recopilación de información sobre los sistemas de generación de vapor en la Unidad de Polietileno I.

A partir de los datos de operación de la Unidad, se logró establecer el diagrama de flujo de proceso, el cual se presenta en la Figura 5.

Figura 5.

Diagrama de Flujo de la Unidad.



De la misma manera, se establecieron las corrientes y el consecuente balance de masa de la unidad, ver Tabla 1.

Tabla 1.

Balace de Masa de la Unidad.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Ethylene	6190,0	7871,0	7871,0	7871,0	7871,0	7871,0	7871,0	7871,0	36644,5	18322,2	18322,2		9161,1	9115,3	9115,3	9069,5
Polymer																
Total	6190,0	7871,0	7871,0	7871,0	7871,0	7871,0	7871,0	7871,0	36644,5	18322,2	18322,2		9161,1	9115,3	9115,3	9069,5
Temperature, F	92,5	90,5	241	101	205,8	114,5	176,5	120	120,4	69,1	73,9		71,5	145,5	106,5	123,1
Pressure, Psig		200,8	665	655	1383,8	1373,8	3043,8	3033,8	2982,3	2900	2800		2832,2	12184,4	11800	18007,5

	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Ethylene	18139,0	18139,0	30738,0	29423,5	29423,5	650,0	28773,5	1314,5	1314,5	1314,5	1680,9	1680,9	1680,9	1680,9		0,0
Polymer			5540,0					5540,0								5540,0
Total	18139,0	18139,0	36278,0	29423,5	29423,5	650,0	28773,5	6854,5	1314,5	1314,5	1680,9	1680,9	1680,9	1680,9		5540,0
Temperature, F	128,5	135,3	499,8	509	322,5	166	120,5	491,3	409,1	95	188	104	196,5	96		408,8
Pressure, Psig	18470	18470	18470	3092,3	3070	260	2900	3092,3	4,7	4,35	68	65	199	195		4,7

En función del alcance de este trabajo, se hizo hincapié en la sección de estudio para la generación de vapor y las condiciones de entrada. Estos datos son fundamentales para la etapa de simulación y pueden apreciarse en la Figura 6 y Tabla 2.

Figura 6.

Sección de Generación de Vaporización

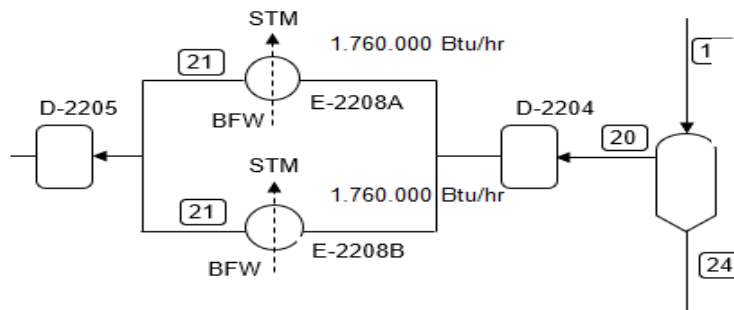


Tabla 2.

Condiciones de entrada y salida de la Unidad

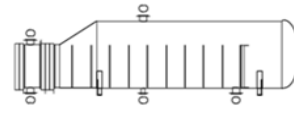
	20	21
Ethylene	29423,5	29423,5
Polymer		
Total	29423,5	29423,5
Temperature, F	509	322,5
Pressure, Psig	3092,3	3070

Se identificaron los datos del datasheet de los intercambiadores E-2208 A/B que se requirieron para la simulación rigurosa, los cuales se plantean en la Tabla 03, se puede identificar que es un intercambiador tipo caldera cuyo TEMA es NKD a un solo paso por tubo y carcasa.

Tabla 3.

Especificaciones para el diseño de la simulación rigurosa intercambiadores E-2208 A/B

HEAT EXCHANGER E-2208 A/B SPECIFICATION SHEET										
Company: ECOPETROL S.A										
Location: U2200										
Service of Unit: CALDERA SLURRY					Our Reference:					
Item No.: B520		Your Reference:								
Date:		Rev No.:		Job No.:						
Size: 360 /437,9398144		in		Type: NKD Horizontal		Connected in: 2 parallel		1 series 0		
Surf/unit(eff.)		844,4		ft*		Shells/unit		2		
						Surf/shell(eff.)		422,2		
								ft*		
PERFORMANCE OF ONE UNIT										
Fluid allocation			Shell Side			Tube Side				
Fluid name			BFW->VAPOR			ETILENO RECICLO->S				
Fluid quantity, Total			3300			29423				
Vapor (In/Out)			0			3300		29423		29423
Liquid			3300			0		0		0
Noncondensable			0			0		0		0
Temperature (In/Out)			230			267,75		509		338,03
Bubble / Dew point			265,64 / 254,07			/		/		/
Density Vapor/Liquid		lb/ft³		/ 58,649		0,073 /		8,849 /		12,15 /
Viscosity			/ 0,2523			0,0132 /		0,024 /		0,0249 /
Molecular wt, Vap						18,02		28,05		28,05
Specific heat			BTU/(lb-F)			/ 1,0565		0,4635 /		0,6472 /
Thermal conductivity			BTU/(ft-h-F)			/ 0,395		0,016 /		0,037 /
Latent heat			BTU/lb			943,8				
Pressure (abs)			psi			39,7		30,69		3106,69
Velocity (Mean/Max)			ft/s			0,09 / 0,19		1,12 / 1,29		
Pressure drop, allow./calc.			psi			0,5		9,01		40
Fouling resistance (min)			ft²-h-F/BTU			0,001		0,003		0,0042
Heat exchanged			BTU/h			3245437		MTD (corrected)		128,89
Transfer rate, Service			30,06			Dirty 30,06		Clean		35,58
										BTU/(h-ft²-F)
CONSTRUCTION OF ONE SHELL										
Design/Vacuum/test pressure			psi			500 / /		325 / /		
Design temperature			°F			500		730		
Number passes per shell			1			1		1		
Corrosion allowance			in			0,125		0,125		
Connections		in		1 4 / 300 ANSI		1 8 / 300 ANSI				
Size/Rating		Out		1 8 / 300 ANSI		1 8 / 300 ANSI				
Nominal		Intermediate		/ 300 ANSI		/ 300 ANSI				
Tube #: 224 OD: 0,75 Tks. Average 0,1046 in Length: 144 in Pitch: 1 in Tube pattern:30										
Tube type: Plain			Insert:None			Fin#: #/ft		Material:SA-213 T5b K5154		
Shell SA-202 B K12542			ID 30			OD 30,7612		ft		
Channel or bonnet			SA-202 B K12542			Shell cover		-		
Tubesheet-stationary			SA-336 F5 K41545			Channel cover		SA-202 B K12542		
Floating head cover			-			Tubesheet-floating		-		
Baffle-cross SA-283 C K02401			Type Single segmental			Cut(%d)		Impingement protection None		
Baffle-long -			Seal Type			Spacing: c/c		in		
Supports-tube			U-bend			0		Type		
Bypass seal			Tube-tubesheet joint			Expanded only (2 grooves)(App.A 1)				
Expansion joint			Type			None				
RhoV2-Inlet nozzle			0			Bundle entrance		0		lb/(ft-s²)
Gaskets - Shell side			Flat Metal Jacket Fibe			Tube side		Flat Metal Jacket Fibe		
Floating head			-							
Code requirements			ASME Code Sec VIII Div 1			TEMA class		R - refinery service		
Weight/Shell			2853745 Filled with water 2759817			Bundle		967988		lb
Remarks										

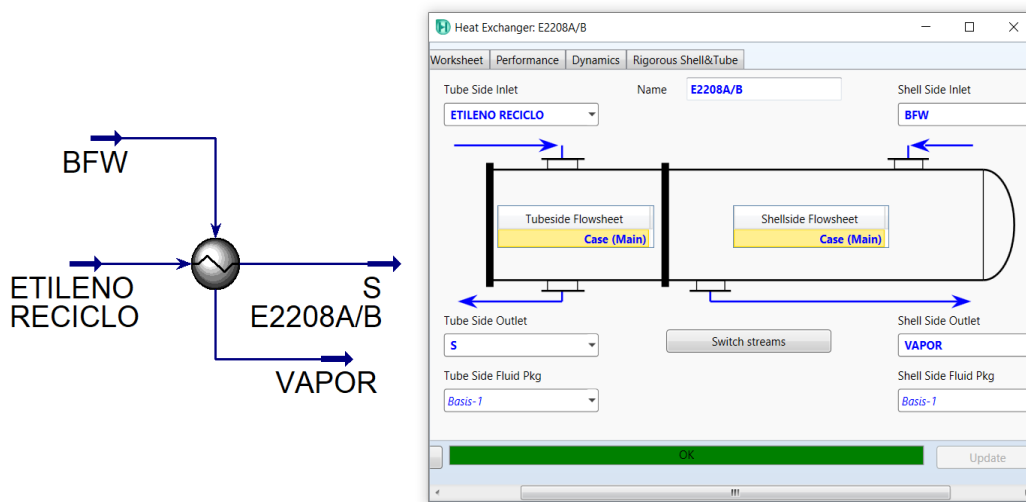


5.2 Evaluación de la capacidad de generación de vapor a través de simulación rigurosa en Aspen Hysys del sistema E-2208A/B.

Una vez identificados todos los parámetros de entrada, topología, datasheet, condiciones y otros datos representativos del equipo y proceso, se procedió con la simulación de la unidad, por medio del software Aspen Hysys, según puede observarse en la Figura 7.

Figura 7.

Ambiente Hysys de la simulación rigurosa de las calderas E2208A/B.



Hysys ofrece como herramienta la implementación de dos intercambiadores en paralelo como es el caso de estudio, que para efectos prácticos se muestran en un solo intercambiador como se aprecia en la Figura 7. Se implementaron todos los parámetros de entrada del módulo *Rigorous Shell&Tube*. En la opción *View EDR Browser* se llenaron todos los campos que permiten la simulación rigurosa y que se pueden apreciar en las Figuras 8 y 9.

Figura 8.

Ambiente View EDR Browser Aspen Hysys.

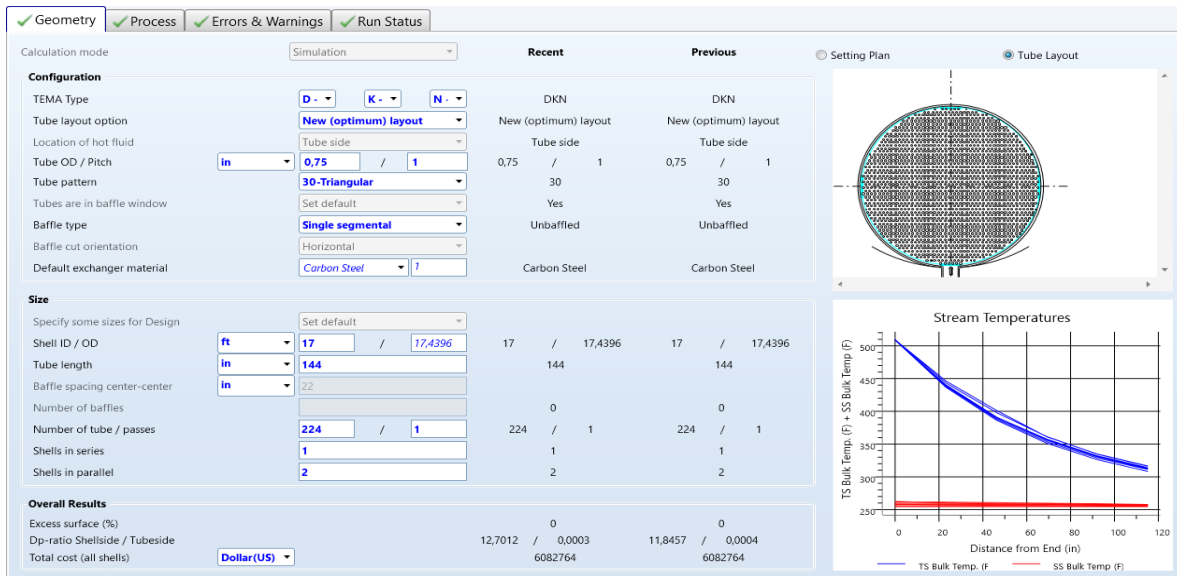
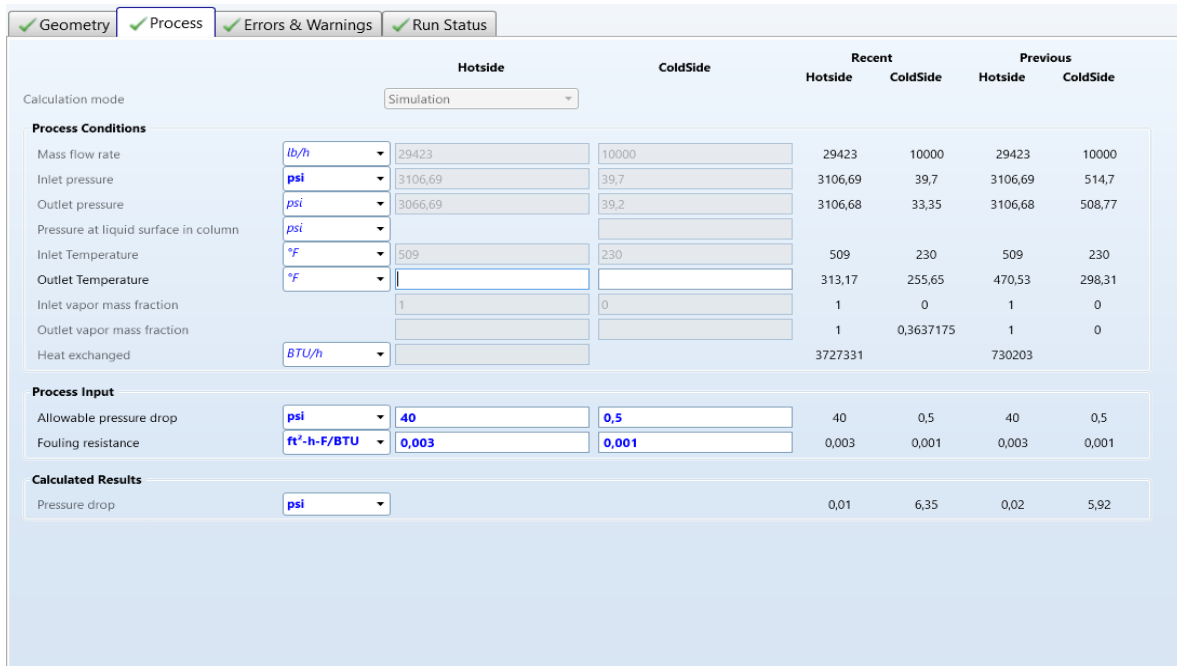


Figura 9.

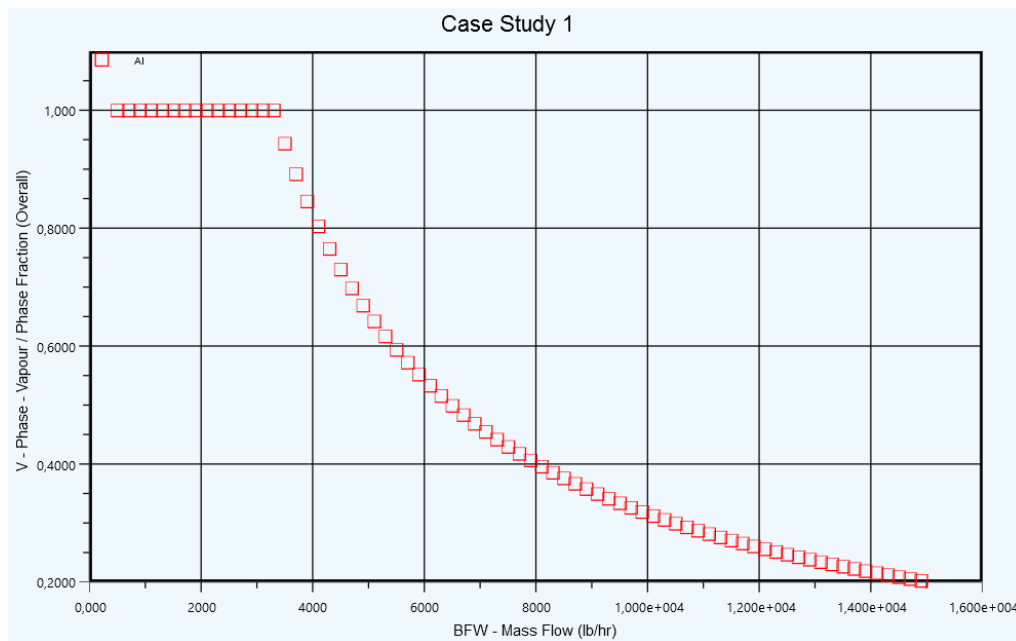
Ambiente View EDR Browser condiciones de operación



Posteriormente, se realiza un análisis de sensibilidad estableciendo como criterio la producción de vapor a 25 psig en función del flujo de agua. Los resultados de este análisis se pueden observar en la Figura 10.

Figura 10.

Producción de vapor vs flujo másico de agua.



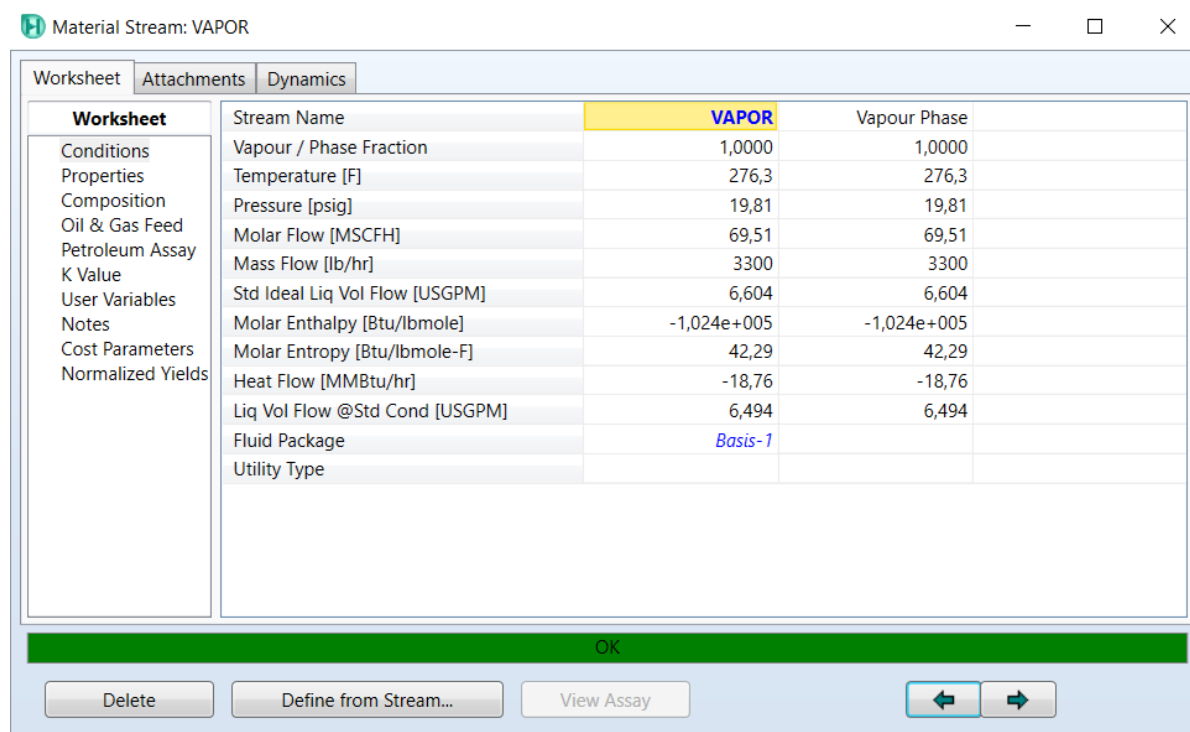
Como se puede apreciar en la gráfica a medida que se incrementa el flujo de agua la producción de vapor disminuye. Es decir, la calidad de vapor tiende a disminuir debido a los grandes volúmenes de agua que circulan por la unidad, refrigerando el sistema y soportando la carga calórica del mismo sin que se produzca un cambio de fase.

Cuando el flujo de agua está por debajo de 3300 lb/h, se genera vapor sobrecalentado (ver Figura 11), puesto que la energía calórica transferida es demasiado alta produciendo cambios rápidos de fase a vapor con elevada temperatura, lo cual no implica la opción ideal

para sistema propuesto, por lo tanto este punto de 3300 lb/h determina el nivel de agua que maneje el lazo de control para mantener el sistema propuesto en las condiciones estacionarias necesarias durante el proceso (ver Figura 12).

Figura 11.

Condiciones de la corriente de vapor generada.

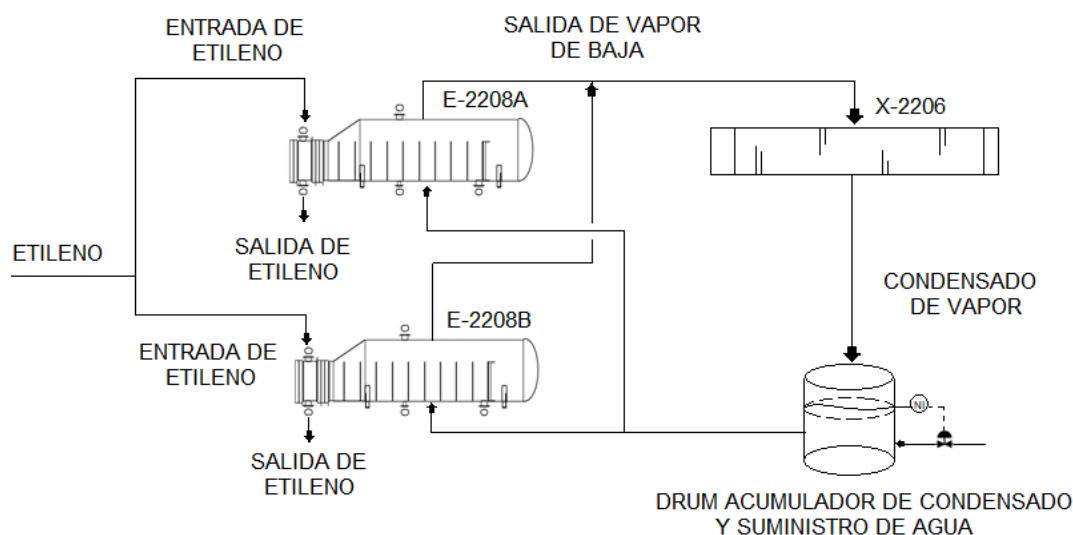


Worksheet	Stream Name	VAPOR	Vapour Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	1,0000	1,0000
Properties	Temperature [F]	276,3	276,3
Composition	Pressure [psig]	19,81	19,81
Oil & Gas Feed	Molar Flow [MSCFH]	69,51	69,51
Petroleum Assay	Mass Flow [lb/hr]	3300	3300
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [USGPM]	6,604	6,604
User Variables	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-1,024e+005	-1,024e+005
Notes	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	42,29	42,29
Cost Parameters	Heat Flow [MMBtu/hr]	-18,76	-18,76
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [USGPM]	6,494	6,494
	Fluid Package	Basis-1	
	Utility Type		

De esta manera, el sistema que se propone en este trabajo para la producción, suministro y absorción de vapor entre la unidad E-2208A/B y la unidad de refrigeración por absorción X-2206, se describe en la Figura 12.

Figura 12.

Sistema propuesto de generación de vapor E-2208A/B y suministro a la unidad de refrigeración por absorción X-2206.



Como puede observarse, el vapor de baja presión sale de los intercambiadores E-2208 A/B ingresa en una sola línea a la unidad X-2206. El agua del proceso de servicio industrial proviene del drum acumulador que posee un lazo de control que mantiene el nivel de agua, esta es compensada con la apertura de la válvula de paso, de acuerdo con los requerimientos según el agua condensada y circulante durante el proceso de enfriamiento del etileno en el intercambiador E-2208A/B y refrigeración de la unidad de absorción X-2206 cerrando el ciclo.

5.3 Evaluación del impacto económico de la alternativa al emplear el vapor generado en el sistema E-2208A/B en la unidad de refrigeración por absorción X-2206.

Se estima que toda la producción de vapor de baja presión será aportada a la Unidad

de refrigeración por absorción X-2206, los valores de los precios de vapor se calcularon a partir de la proyección de los históricos de los últimos cinco años. La proyección se realiza a cinco años, el cual será el tiempo tomado para la evaluación financiera del caso de estudio, ver Figura 13 y Tabla 4.

Figura 13.

Proyección de precios

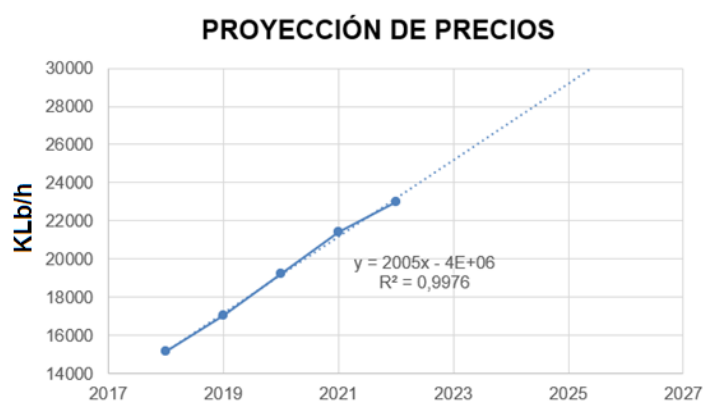


Tabla 4.

Precios Proyectados Vapor de Baja Presión

PROYECCIÓN DE PRECIOS VAPOR KLb/h	
2022	23000
2023	24050
2024	25100
2025	26160
2026	27265

De las proyecciones de los precios por año se procedió a calcular el valor del vapor generado de los intercambiadores tipo caldera E-2208A/B.

Tabla 5.

Ingreso anual debido a la generación de vapor de baja presión

PROYECCIÓN DE PRECIOS VAPOR		
AÑO	VALOR H (\$)	VALO ANUAL (\$)
2022	23000	1329768000
2023	24050	1390474800
2024	25100	1451181600
2025	26160	1512466560
2026	27265	1576353240

Se estimó la inversión necesaria para adecuar el sistema de suministro de vapor de baja, la instalación de la instrumentación de medición y control, cuyos valores fueron consultados con los ingenieros metalúrgicos y el área de dependencia, como la válvula de seguridad, el cuadro de control y el medidor de diferencial de presión. Estos costos se resumen en la Tabla 6.

Tabla 6.

Inversión necesaria para la adecuación del sistema de vapor E-2208A/B y X-2206.

ACCESORIOS	ACTIVIDADES	COSTO	
		MCOP	USD
	<ul style="list-style-type: none"> • Válvula de seguridad. • Cuadro control: flujo válvula de paso drum de condensado y suministro de agua. • Medidor de diferencial de presión • 200 metros de tubería 	250	62.500
		250	62.500

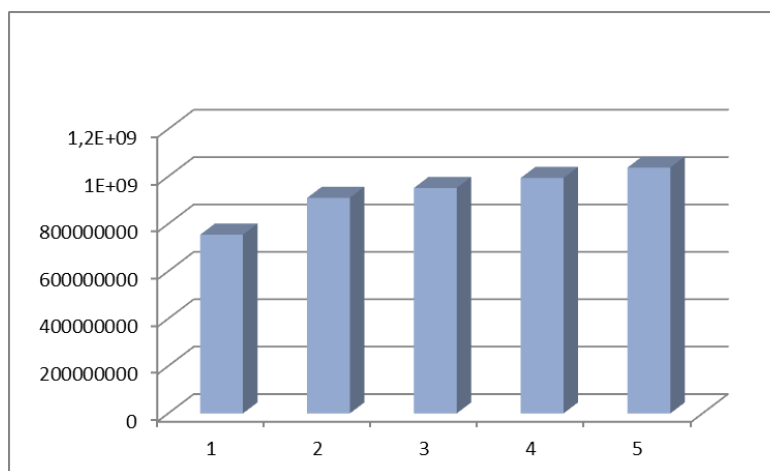
Se presenta el flujo de caja obtenido durante la aplicación del proyecto a un término de cinco (5) años y se presentan en la tabla a continuación.

Tabla 7.*Matriz de flujo de fondos.*

AÑO	PRODUCTO	PRECIO COP KLb/h (\$)	VALO ANUAL (\$)	COSTOS OPERACIONALES (\$)	UTILIDADES ANTES DE IMPUESTOS (\$)	IMPUESTOS A LAS UTILIDADES (\$)	UTILIDADES DESPUES DE IMPUESTOS (\$)	VPN COP	
0	2022	VAPOR DE BAJA	23000	1329768000	203478956	1126289044	371675385	754613659,5	\$ 754.613.659,48
1	2023	VAPOR DE BAJA	24050	1390474800	209583324,7	1180891475	389694187	791197288,5	\$ 909.876.881,73
2	2024	VAPOR DE BAJA	25100	1451181600	215870824,4	1235310776	407652556	827658219,6	\$ 951.806.952,58
3	2025	VAPOR DE BAJA	26160	1512466560	222346949,2	1290119611	425739472	864380139,3	\$ 994.037.160,16
4	2026	VAPOR DE BAJA	27265	1576353240	229017357,6	1347335882	444620841	902715041,2	\$ 1.038.122.297,37

		TAM	0,15
INVERSION INICIAL	1500000	TIR	0,72

Se observa que la inversión se recupera en el primer año de operación (Figura 14), de tal manera que la tasa interna de retorno (TIR) presenta un valor elevado correspondiente al 72%, lo que indica la alta factibilidad de esta alternativa. Sin embargo, es importante aclarar que este alto rendimiento económico depende de la generación de vapor, el cual permite recuperar los costos en los servicios industriales de la Unidad de Refrigeración X-2206.

Figura 14.*Valor Presente Neto, en los años evaluados (2022-2026).*

6. Conclusiones.

La planta U2200 Polietileno I, cuenta con la información necesaria para realizar análisis rigurosos, igualmente con la fiabilidad necesaria para virtualizar los procesos proporcionando los requerimientos necesarios para tal fin, logrando entender el impacto del trabajo a realizar para la implementación como alternativa viable en la generación y suministro de vapor de baja presión

Se estableció que la producción por día de vapor de baja presión 25 psig son de 6600 lb/h por la disposición en paralelo, condición necesaria para mantener el drum de condensado en estado pseudo estacionario, es decir que se cumpla el lazo de control y que todo el caudal de agua que ingresa se evapora en vapor de baja presión que posteriormente ingresara en la Unidad de Refrigeración X-2206. Durante el desarrollo de la simulación en Hysys se pudo previsualizar la viabilidad de la alternativa ofrecida en el presente proyecto y gracias a sus herramientas en diseño riguroso se pudo tener fiabilidad en los datos obtenidos de la GRB implementados en la simulación.

Al establecer el flujo de caja se pudo obtener un VPN positivo en el primer año del ejercicio financiero, reafirmando la viabilidad del proyecto, con un Tasa Interna de Retorno del 72%, enmarcando la eficiencia para recuperar los gastos de inversión, todo indica que como alternativa a aplicar tanto desde el análisis técnico y el económico es un buen recurso, que en definitiva genera un gran impacto económico sobre la unidad de refrigeración X-2206.

Bibliografía

- Azad, A., Rasul, M., & Khan, M. (2016). Modeling and Simulation of Heat and Mass Flow by ASPEN HYSYS for Petroleum Refining Process in Field Application . *Thermofluid Modeling for Energy Efficiency Applications* , 227-257.
- CRUZ, A., & Osney, P. (2021). *Validación de un modelo de simulación para la etapa de generación de vapor*. La Habana, Cuba: Departamento de Alcohol, Levadura y Alimento Animal, Dirección de Derivados, Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).
- MARTINEZ T., O. (2015). *Simulación de Sistemas de Control en Procesos del Sector Oil y Gas a través del Software ASPEN HYSYS y conexión a Rockwell Automation con el Estandar Comunicación OPC*. Bogota D.C., Colombia: Universidad Industrial Francisco Jose de Caldas.
- Gerencia Refinería Barrancabermeja, (2009) Manual de descripción de procesos de la unidad de Polietileno I, 0 ed., Barrancabermeja: RDW, p. 121.
- Cengel, Y., Boles, M., (2013). *Termodinámica* (González, V. y Sarmiento, S.).(7ª ed.). Ciudad de México, México: McGraw Hill.
- DIAN. (2020). Lo que debes saber del CREE. *MINI HACIENDA*.
- Ediht, E.-U., & Meihong, W. (2012). Aggregate Model for Refinery Production Planning. *Computer Aided Chemical Engineering*, 30, 917-921.
- Kern, Donald. reimpresión. (1999) *“Procesos de Transferencia de Calor.”* Compañía Editorial Continental S.A. de C.V. 31a. Mexico.
- Ludwing, E. (1994). *Aplied Process Desing for chemical and petrochemical plants*. Houston: Elsevier Science.

Samborskaya, M., Gusev, V., & Gryaznova, I. (2014). Crude Oil Distillation with Superheated Water Steam: Parametrical Sensitivity and Optimization. *Procedia Chemistry*, 10, 337-342.

Standards of Tubular Exchangers Manufactures Association, TEMA, 1978.