

Simulación de la limpieza con gas etileno caliente en los intercambiadores ER2203/04/05 de la
planta de polietileno I, refinería Barrancabermeja

Jair Ricardo Chávez

Cód. 2174760

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero en Procesos de Refinación y Petroquímica

Director:

Ramiro Martínez, Ph.D.

Escuela de Ingeniería Química, UIS



Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga

2022

Agradecimientos

En este momento en el que logro una meta cumplida más en mi vida, quiero extender mis más sinceros agradecimientos a esos seres especiales que en silencio hicieron posible cumplir mi objetivo de convertirme en profesional. Hago mención especial primeramente a Dios, a mi esposa y mis hijas, éstas últimas, mi más grande inspiración de poder enseñarles con el ejemplo que siempre hay que luchar por alcanzar eso que anhelamos.

Mi gratitud a la facultad de Ingeniería Química, Ecopetrol S.A., a los profesores que fueron pacientes para transmitir de la mejor manera sus enseñanzas, a mis compañeros de clases porque también hicieron parte importante en la construcción de todo el conocimiento adquirido para mi vida profesional.

Gracias infinitas a todos y todas.

Contenido

	Pág.
1. Descripción del problema.....	10
1.1 Planteamiento del problema	10
2. Justificación.....	12
3. Marco Teórico	13
3.1 Descripción general del polietileno.....	13
3.1.1. <i>Tipos de polietileno</i>	14
3.2 Estructura química.....	14
3.3 Síntesis de Polietileno (PE).....	15
3.3.1 <i>Iniciación</i>	15
3.3.2 <i>Propagación</i>	16
3.3.3 <i>Terminación</i>	17
3.4 Proceso de producción de polietileno de baja densidad (LDPE) en la refinería de Barrancabermeja.....	18
4. Estado del arte	19
5. Objetivos	21
5.1 General	21
5.2 Específicos	21
6. Descripción metodológica.....	22
6.1 Determinar el factor de ensuciamiento de los intercambiadores ER2203/04/05, empleando los datos históricos como método de recolección de información.	23

6.2 Simular el sistema de limpieza de los intercambiadores ER2203/04/05 usando una corriente de etileno del proceso el a través de software Aspen Hysys para evaluar las condiciones de operación del reciclo al implementar este sistema.....	25
6.3 Propuestas del procedimiento de limpieza de los intercambiadores ER2203/04/05 usando reciclo de una corriente de etileno del mismo proceso	27
7. Resultados	27
7.1 Determinación del factor de ensuciamiento de los intercambiadores E-2203/04/05, empleando los datos históricos como método de recolección de información.....	29
7.2 Simulación del sistema de limpieza de los intercambiadores E-2203/04/05 usando una corriente de etileno del proceso el a través de software Aspen Hysys, para evaluar las condiciones de operación del reciclo al implementar este sistema	33
7.3 Procedimiento de limpieza de los de los intercambiadores E-2203/04/05 usando reciclo de una corriente de etileno del mismo proceso.....	39
8. Conclusiones	42
Bibliografía.....	44

Lista de Figuras.

	Pág.
Figura 1. <i>Diagrama de la planta de Polietileno I</i>	11
Figura 2. <i>Estructura general del polímero plástico polietileno (PE).</i>	14
Figura 3. <i>Estructura ramificada del polietileno de baja densidad (LDPE).</i>	15
Figura 4. <i>Proceso de iniciación de la reacción de polimerización.</i>	16
Figura 5. <i>Reacción de propagación en la síntesis de polietileno.</i>	16
Figura 6. <i>Terminación de proceso de polimerización por medio de la reacción de acoplamiento.</i>	17
Figura 7. <i>Terminación de proceso de polimerización por desproporcionalización</i>	18
Figura 8. <i>Metodología aplicada</i>	22
Figura 9. <i>Esquema de registro de temperatura.</i>	24
Figura 10. <i>Diagrama general de balance de materia Unidad Polietileno I</i>	28
Figura 11. <i>Sistema de purga de los intercambiadores ER2209A/B</i>	29
Figura 12. <i>Grafica ΔT_{LM} Succión C-2203 y C-2204</i>	31
Figura 13. <i>Factor de ensuciamiento C-2203 y C-2204.</i>	31
Figura 14. <i>Grafica coeficiente de Transferencia de Calor Succión C-2203 y C-2204</i>	32
Figura 15. <i>Diagrama del sistema de limpieza propuesto.</i>	34
Figura 16. <i>Sección Plot Plan de la planta Polietileno I.</i>	35
Figura 17. <i>Isométrico tambor D-2229 a los intercambiadores E-2203/4/5.</i>	36
Figura 18. <i>Isométrico intercambiadores E-2203/4/5 al tambor D-229</i>	36
Figura 19. <i>Rigorous Shell&Tubes de Aspen Hysys E-2203/4/5.</i>	37
Figura 20. <i>Rigorous Shell&Tubes de Aspen Hysys E-2209A/B</i>	37
Figura 21. <i>Diagrama del sistema de limpieza propuesto ambiente Aspen Hysys.</i>	38

Figura 22. <i>Parámetros de velocidad y tipo de flujo intercambiadores E-2203/4/5 Aspen Hysys</i>	39
Figura 23. <i>Sistema de Limpieza Propuesto</i>	39
Figura 24. <i>Limpieza E-2203 funcionamiento E-2209B</i>	41
Figura 25. <i>Limpieza E-2203 funcionamiento E-2209A</i>	42

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Análisis básico de carga y producción de polietileno.</i>	10
Tabla 2. <i>Composición de etileno que se carga a las unidades de Polietileno I/II.</i>	18
Tabla 3. <i>Tubería SCHEDULE 80 de 1 inch en acero al carbón.</i>	26
Tabla 4. <i>Condiciones de las corrientes Unidad de Polietileno I.</i>	28
Tabla 6. <i>Datasheet Intercambiador E-2203/4/5.</i>	33
Tabla 7. <i>Datasheet Intercambiador E-2209A/B.</i>	34
Tabla 8. <i>Balance del Sistema de Limpieza y condiciones de operación.</i>	38

Resumen

Título: Simulación de la limpieza con gas etileno caliente en los intercambiadores ER2203/04/05 de planta de polietileno I, refinería Barrancabermeja. *

Autores: Jair Ricardo Chávez**

Palabras Claves: Sistema de Limpieza, factor de ensuciamiento, grasa, Aspen HYSYS, intercambiadores

Resumen:

En este proyecto se planteó la propuesta de un nuevo sistema de limpieza de remoción de suciedades en los intercambiadores E2203/4/5 de la Unidad de Polietileno I de la Refinería de Barrancabermeja, empleando la herramienta Aspen Hysys V10 y su matriz virtual, se obtuvieron los parámetros necesarios para evaluar la alternativa como opción confiable y segura para los trabajadores de la Unidad.

Como primera medida se obtuvo el factor de ensuciamiento, elemento crucial para la simulación rigurosa de los intercambiadores E2203/4/5. Gracias a los datos de planta, datasheet de los equipos se realizó la simulación del sistema de limpieza propuesto, se analizó la caída de presión necesaria y el flujo masico del gas de etileno de purga para el propósito de la limpieza, por último se propuso como tal los isométricos para la construcción de las tuberías necesarias del sistema de limpieza y el funcionamiento como tal del sistema de limpieza sobre cada intercambiador junto con los parámetros a seguir en la apertura y cierre de válvulas como mecanismo en la remoción de grasa de dichos equipos.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.
Director Ramiro Martínez Ph. D.

Abstract

Title: Simulation of cleaning with hot ethylene gas in the intercambiadores ER2203/04/05 of polyethylene plant I, Barrancabermeja refinery. *

Authors: Jair Ricardo Chavez **

Key Word: Economic technical evaluation, gas sweetening, Aspen HYSYS, catalytic cracking

Description

In this project, the proposal of a new dirt removal cleaning system in the E2203/4/5 exchangers of the Polyethylene Unit I of the Barrancabermeja Refinery was proposed, using the Aspen Hysys V10 tool and its virtual matrix, obtaining the necessary parameters to evaluate the alternative as a reliable and safe option for the workers of the Unit.

As a first measure, the fouling factor was obtained, a crucial element for the rigorous simulation of the E2203/4/5 exchangers. Thanks to the plant data, datasheet of the equipment, the simulation of the proposed cleaning system was carried out, the necessary pressure drop and the mass flow of the purge ethylene gas were analyzed for the purpose of cleaning, finally it was proposed as such isometrics for the construction of the necessary pipes of the cleaning system and the operation as such of the cleaning system on each exchanger together with the parameters to follow in the opening and closing of valves as a mechanism in the removal of grease from said equipment.

* Project of grade

**Physicochemical Faculty of Engineering. School of Engineering Chemical.
Director Ramiro Martinez Ph.D.

1. Descripción del problema

1.1 Planteamiento del problema

Actualmente, en el complejo industrial de la refinería de Barrancabermeja, en la planta de polietileno I son producidas 60 toneladas/día de polietileno, el gas etileno es la materia prima para la producción del material, el cual es suministrado por la planta de etileno II.

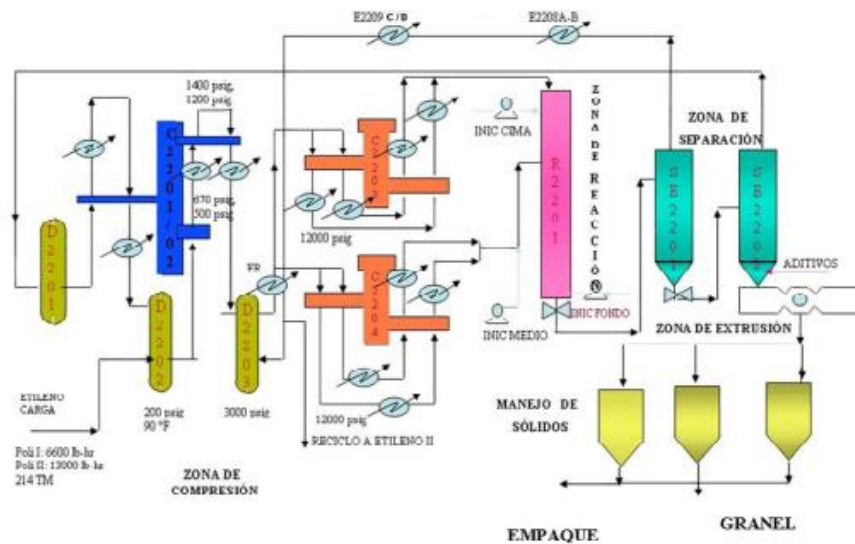
Tabla 1.

Análisis básico de carga y producción de polietileno.

Sustancias	Especificación producto en etileno II	Especificación carga a Polietileno	Efecto esperado
Metano	200 ppm	1000 ppm	Inerte
Metano + Etano	200 ppm	1000 ppm	Inerte
Etileno	99.9% en vol. Min	99.9% en vol. Min	Polimerización
Etano	500 ppm	700 ppm	Inerte
Nitrógeno	--	--	Inerte
Dióxido de Carbono	10 ppm	50 ppm	Inerte

Fuente: Manual de descripción de procesos de la unidad de Polietileno I/II

El proceso de producción inicia con la corriente de gas etileno entrando al tambor de carga fresca SD2202, a temperatura ambiente a 230 psig. Se aumenta la presión del gas etileno de 230 psig a 3000 psig, proceso que es llevado a cabo por el compresor SC2202, para después ser descargado en el tambor SD2203; al tambor SD2203 también llega el gas remanente que no fue polimerizado de los intercambiadores de calor SE2209C/D. El tambor SD2203 de igual forma es utilizado para decantar la grasa que es generada durante el proceso de polimerización. Del tambor SD2203 salen las líneas de entrada de gas hacia los intercambiadores ER2203/04/05 los cuales se encargan de realizar el enfriamiento del gas para su posterior succión en los compresores de alta presión SC2203/04 (Figura 1).

Figura 1.*Diagrama de la planta de Polietileno I*

La temperatura del gas a la entrada de los compresores debe estar entre 65 a 80 °F, esta temperatura se controla con el flujo de entrada de agua refrigerada a los intercambiadores ER2203/04/05. Normalmente operan dos intercambiadores y uno se encuentra en limpieza cuando la eficiencia de intercambio de energía en el intercambiador se ve disminuida debido al ensuciamiento con grasa. El cambio del intercambiador se realiza cuando la temperatura del gas etileno a la salida llega a los 80 °F, es entonces cuando se saca el intercambiador de servicio para realizar una limpieza con vapor a una presión de 150 psig y 350°F de temperatura.

El procedimiento de limpieza inicia con el etileno remanente en el intercambiador, el cual es dirigido hacia el cabezal de la tea, luego se espera a que el equipo alcance la temperatura ambiente, proceso que dura alrededor de 4 horas, seguidamente se inyecta una corriente de vapor de 150 psig durante 8 horas para retirar la grasa incrustada alrededor de los tubos, posteriormente se deja enfriar el equipo durante 4 horas y finalmente se inyecta una corriente de aire al equipo para el secado y retirar la humedad alrededor de 4 horas más. Esto significa que el procedimiento

de limpieza tarda alrededor de 20 horas para dejar disponible el equipo. Además, después del secado con aire, es necesario purgar este aire con etileno de proceso hacia la tea, este proceso se realiza alrededor varias veces, lo que significa que durante este procedimiento se quema el equivalente de 6 a 8 veces la masa contenida de etileno en el intercambiador.

Es en este proceso de limpieza en particular es donde se identificaron pérdidas de tiempo y recurso, las cuales pueden ser aprovechadas con el fin de optimizar el proceso actual. Adicional a esto, se identificaron impactos negativos al medio ambiente por la quema de gas remanente en la tea y el aumento de la probabilidad de que un operador tenga un accidente que le cause lesiones graves por la manipulación de grasa con condensado presentes en los intercambiadores, hechos que hicieron plantear el siguiente interrogante.

¿De qué forma se puede mejorar y optimizar el proceso actual de limpieza, aprovechando los recursos existentes en la planta de polietileno I en el complejo industrial de la refinería de Barrancabermeja?

2. Justificación

Este proyecto pretende aprovechar la corriente de gas etileno caliente para reemplazar el vapor que se utiliza en el proceso de limpieza de los intercambiadores ER2203/04/05; es decir, hacer una limpieza en línea sin sacar del proceso ninguno de los intercambiadores, aprovechando la temperatura del gas etileno y aumentando el margen actual de producción que se ve disminuido cuando un intercambiador debe ser cambiado para realizar el proceso de limpieza. Se mejora de la misma manera el manejo y uso que se le está dando actualmente al equipo y herramientas; generando menos cambios bruscos de temperaturas, los cuales pueden generar expansión o

contracción de los materiales que podrían provocar escapes o fugas de gas etileno a la atmosfera y debilitando los materiales lo cual disminuye la vida útil de estos.

Igualmente se logra evitar pérdidas por quemas innecesarias de etileno en la tea, reduciendo a cero el impacto ambiental que se está generando por la quema de gas remanente con el proceso actual de limpieza de los intercambiadores por el cabezal de la tea. Así mismo, se disminuye el riesgo ergonómico y el esfuerzo necesario que deben realizar los operadores de limpieza en los puntos de drenaje de grasa, aumentando el nivel de seguridad y salud en el trabajo en la planta al reducir la probabilidad de que ocurran accidentes y las problemáticas que estos acarrearán. De igual forma, se optimiza el recurso haciendo uso de la misma materia prima para realizar la limpieza y se reduce la probabilidad que existe actualmente de generar posibles accidentes de procesos que afecten la producción, como ya ha ocurrido en ocasiones anteriores por dejar remanentes de humedad en los sistemas del intercambiador que fue limpiado. Por último, se busca convertir una corriente gaseosa en un producto valioso, en lugar de gases de chimenea con un incremento en promedio en dos (2) toneladas diarias de producción lo que equivale a \$ 1'224,000 USD al año aproximadamente.

3. Marco Teórico

3.1 Descripción general del polietileno

El polietileno (PE) es un material termoplástico blanquecino, de color transparente a translúcido y es frecuentemente fabricado en finas láminas o pellets por la polimerización del etileno, donde pueden obtenerse productos con propiedades físicas muy variadas (Calister, 1995). Las propiedades de las resinas de polietileno se deben exclusivamente a tres propiedades moleculares básicas: densidad, peso molecular y distribución del peso molecular que dependen del

tamaño, estructura y uniformidad de la molécula. Por otra parte, algunas de las propiedades que hacen del polietileno una excelente materia prima para miles de artículos manufacturados son el poco peso, flexibilidad, tenacidad, resistencia química y aislamiento eléctrico (Morrison RT, 1998).

3.1.1. Tipos de polietileno

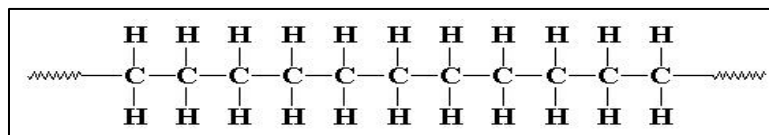
- **Polietileno baja densidad (LDPE):** Pertenece a la familia de los polímeros olefínicos. La estructura del LDPE es de cadenas muy ramificadas que hace que su densidad sea más baja en comparación con el polietileno de alta densidad.
- **Polietileno alta densidad (HDPE):** Pertenece a la familia de los polímeros olefínicos. Cuenta con una estructura lineal de pocas ramificaciones que le permite tener mayor densidad y peso molecular que el polietileno de baja densidad (Guerra, 2009).

3.2 Estructura química

Una molécula del polietileno no es nada más que una cadena larga de átomos de carbono, con dos átomos de hidrógeno unidos a cada átomo de carbono (Beltran, 2011).

Figura 2.

Estructura general del polímero plástico polietileno (PE).

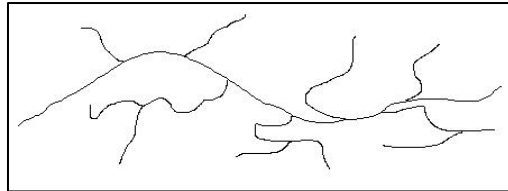


Fuente: Manual de procesos de la unidad polietileno II.

En algunos casos, los carbonos en lugar de tener hidrógenos unidos tienen asociadas largas cadenas de polietileno (Figura 3).

Figura 3.

Estructura ramificada del polietileno de baja densidad (LDPE).



Fuente: Manual de procesos de la unidad polietileno II.

3.3 Síntesis de Polietileno (PE)

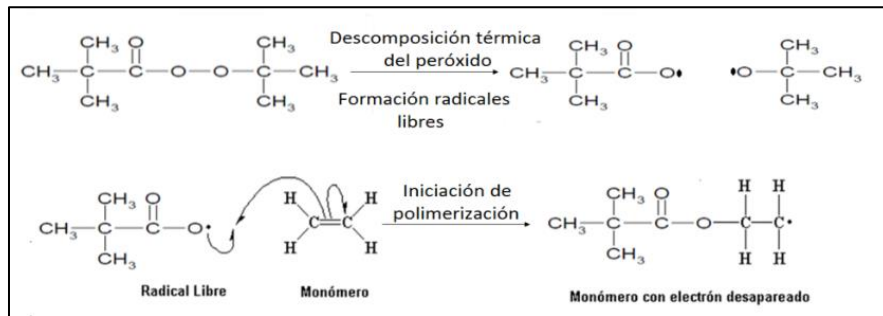
El polietileno se obtiene por medio de la polimerización a través de los radicales libres del monómero etileno. Cuando polimeriza, las moléculas de etileno se unen por medio de sus dobles enlaces, formando una larga cadena de varios miles de átomos de carbono conteniendo sólo enlaces simples entre sí. El mecanismo de reacción para la obtención del polietileno se caracteriza por tener tres etapas: iniciación, propagación y terminación (ROSALES, 2006).

3.3.1 Iniciación.

El proceso de polimerización comienza con una molécula llamada iniciador, el cual comúnmente es un peróxido. Estas moléculas tienen alta reactividad química, la cual permite por descomposición térmica separar el par de electrones del enlace O-O, generando los radicales libres necesarios para el inicio de la reacción de polimerización (Figura 4).

Figura 4.

Proceso de iniciación de la reacción de polimerización.

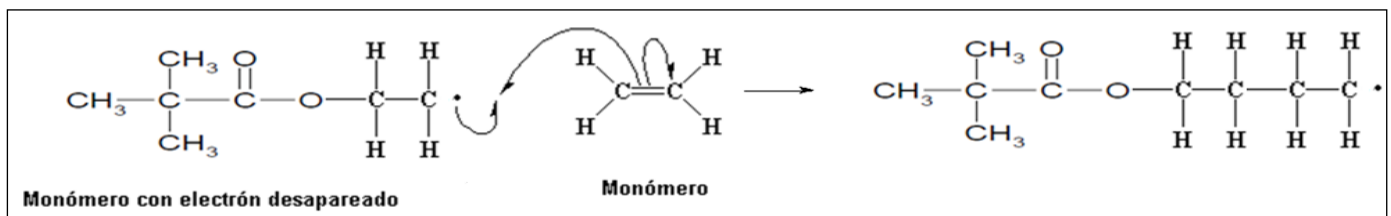


3.3.2 Propagación.

La etapa de adición de moléculas monoméricas a las cadenas en crecimiento se denomina propagación. En este caso, la molécula de etileno con un electrón desapareado, reacciona con otra molécula de etileno propagándose la reacción de polimerización por adición (Figura 5). El crecimiento rápido de polímeros ocurre cuando las moléculas de etileno se unen sucesivamente una a otra. Las altas presiones del proceso favorecen la reacción de propagación obteniéndose polímeros de mayor peso molecular.

Figura 5.

Reacción de propagación en la síntesis de polietileno.

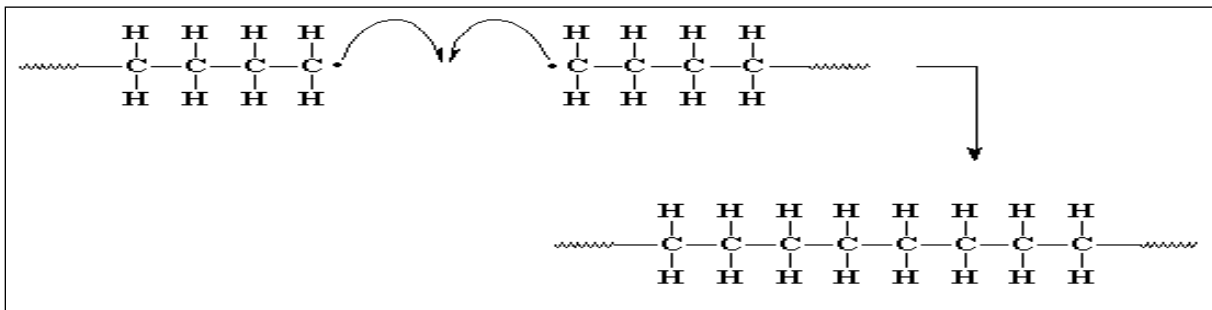


3.3.3 Terminación.

El crecimiento de la cadena puede terminarse de varias maneras. Una de éstas, la más simple, consiste en que se encuentren dos cadenas en crecimiento. Los dos electrones desapareados se unirán formando un par y se establecerá un nuevo enlace químico que unirá las respectivas cadenas, a esto se llama acoplamiento (Figura 6).

Figura 6.

Terminación de proceso de polimerización por medio de la reacción de acoplamiento.

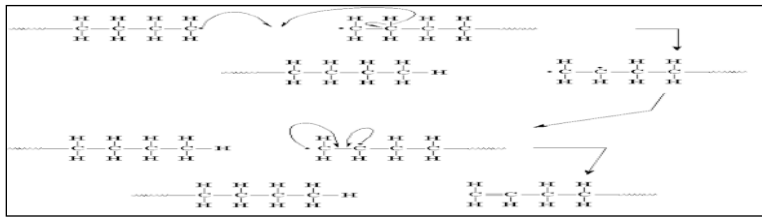


Fuente: Manual de procesos de la unidad polietileno I/II.

Otra opción de terminación es la de desproporcionalización, la cual se presenta cuando se encuentran las dos cadenas crecientes, el electrón desapareado de la primera cadena en lugar de acoplarse sencillamente con el de la otra, le arrebató un átomo de hidrógeno terminando su crecimiento y dejándola con dos electrones desapareados (Figura 7).

Figura 7.

Terminación de proceso de polimerización por desproporcionalización



Fuente: Manual de procesos de la unidad polietileno I.

3.4 Proceso de producción de polietileno de baja densidad (LDPE) en la refinería de Barrancabermeja

En la refinería de Barrancabermeja existen dos unidades para la fabricación de LDPE (Polietileno I y II), ambas son tecnología de la compañía DOW OP, por lo que sus configuraciones son similares, siendo su capacidad de producción aproximadamente de 21000 Ton/año y 41250 ton/año respectivamente. A estas unidades se le carga una corriente etileno proveniente de la planta de Etileno II (U 4100) de la refinería con la siguiente composición promedio (Tabla 2).

Tabla 2.

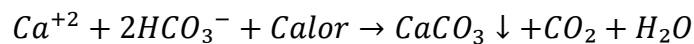
Composición de etileno que se carga a las unidades de Polietileno I/II.

COMPONENTE	COMPOSICIÓN
Metano	200 ppm
Etileno	99.9% vol
Etano	500 ppm
Nitrógeno	-
Dióxido de Carbono	10 ppm
Monóxido de carbono	10 ppm
Acetileno	5 ppm
Propileno + otras olefinas pesadas	50 ppm
Oxigenados orgánicos (Alcohol)	5 ppm
Oxígeno	5 ppm
Hidrógeno	5 ppm
Agua	20 ppm
Azufre total	1 ppm

Fuente: ECOPETROL S.A. Sistema de información de laboratorio industrial.

4. Estado del arte

Muchas plantas en sus procesos requieren el uso de intercambiadores de calor que son enfriados con agua para una gran variedad de objetivos, con el tiempo los intercambiadores acumulan incrustaciones debido a su uso, estas ocasionan reducción en la transferencia de calor y generan pérdidas económicas para la planta al afectar el proceso. El depósito mineral más encontrado en el agua de intercambiadores de calor es el carbonato de calcio (CaCO_3). El agua cruda contiene grandes concentraciones disueltas de iones de calcio (Ca^{+2}) y bicarbonato (HCO_3^-), que cuando se calientan precipitan (Ec 1). Este es el proceso conocido como incrustación caliza, que se forma en tuberías de agua caliente, griferías y cabezales de ducha de muchos sistemas de plomería hogareños. En la eliminación de estas incrustaciones se suele utilizar soluciones con una acidez moderada que se encargara de disolver el compuesto, pero se debe tener en cuenta que la solución utilizada pueda provocar picaduras y agrietamiento por corrosión por estrés en las tuberías, que por lo general suelen ser acero inoxidable.



(Ec. 1)

Otras soluciones que se pueden considerar económicas implican el uso de ácidos sometidos a procesos de calentamiento a 100 grados Fahrenheit, como suele ser el caso del sulfámico y cítrico que ayudan también a la eliminación de hierro acumulado luego de hacer circular el ácido durante algunas horas (no mayor ochos horas), durante este proceso se debe tener precaución de monitorear constantemente la operación de la bomba, ya que la reacción del carbonato de calcio con el ácido provoca que la solución genere espuma.

En algunas aplicaciones, pueden generarse otras deposiciones. Una posibilidad es el sulfato de calcio (CaSO_4). Este compuesto es la sal de un ácido potente y, por lo tanto, no se disolverá en

ácidos como lo haría el carbonato de calcio. En cualquier proceso de limpieza, no debe descuidarse la eliminación de la solución usada del intercambiador de calor y las tuberías. Verter simplemente el material por el drenaje de la planta puede infringir el permiso de descarga. Si es posible, recomendamos transportar la solución usada a su instalación de tratamiento de aguas residuales para el acondicionamiento correcto antes de la descarga³.

Actualmente, en la planta de polietileno I en el complejo industrial de la refinería de Barrancabermeja, se realiza un proceso de limpieza con gas caliente de etileno para retirar una adhesión que se presenta por polietileno de muy baja densidad, que en su estructura molecular no alcanza el peso adecuado (grasa de Polietileno), esto se hace en exactamente los intercambiadores E2209C, E2209D. Es importante resaltar que esta adhesión se presenta en los tubos lado proceso del intercambiador y no en la parte del agua de enfriamiento. Para este grupo de intercambiadores las condiciones normales de operación son de aproximadamente unas 28.700 libras de flujo de gas etileno a unos 280 ° F, este proceso se puede describir brevemente de la siguiente manera: se coordina con los operadores del cuarto de control el cambio del intercambiador que presenta adhesión de grasa en el interior de los tubos, se procede a darle apertura a las válvulas de agua industrial al intercambiador que se encuentra en óptimas condiciones (limpio) y se procede a cerrar el paso de agua industrial al intercambiador que se encuentra sucio; de esta forma se intercambian los flujos y se deja pasar el flujo caliente de gas de etileno a través del intercambiador que se encuentra sucio, mientras el flujo sigue su proceso de enfriamiento, que es llevado a cabo por el intercambiador que se encuentra limpio en línea.

³ Chemtreat. (30 de 06 de 2021). *Mejores prácticas para la limpieza de intercambiador de calor enfriado con agua*. Obtenido de ¿Por qué es importante el tratamiento de incrustaciones?: <https://es.chemtreat.com/best-practices-for-water-cooled-heat-exchanger-cleaning/>

Este trabajo busca aportar mejoras de carácter operativo al permitir que la planta pueda seguir activa durante el proceso de limpieza de uno de los intercambiadores, como ya se hace en una parte del complejo industrial de la refinería de Barrancabermeja. Así mismo la mejora incide en el rendimiento financiero, al aumentar la cantidad de material producido y su calidad, reduciendo la posibilidad de contaminación por agentes utilizados durante otros métodos de limpieza que suelen utilizar ácidos y solventes, que quedan de forma residual en las tuberías y disminuyen considerablemente la durabilidad de su material.

5. Objetivos

5.1 General

Realizar una simulación que permita identificar parámetros en el proceso de limpieza con gas de etileno en los intercambiadores ER2203/04/05 de la planta de polietileno I de la Refinería de Barrancabermeja, para medir la viabilidad de implementar la mejora en el complejo industrial de la refinería de Barrancabermeja.

5.2 Específicos

Determinar el factor de ensuciamiento de los intercambiadores ER2203/04/05, empleando los datos históricos como método de recolección de información.

Simular el sistema de limpieza de los intercambiadores ER2203/04/05 usando una corriente de etileno del proceso a través del software Aspen Hysys para evaluar las condiciones de operación del reciclo al implementar este sistema.

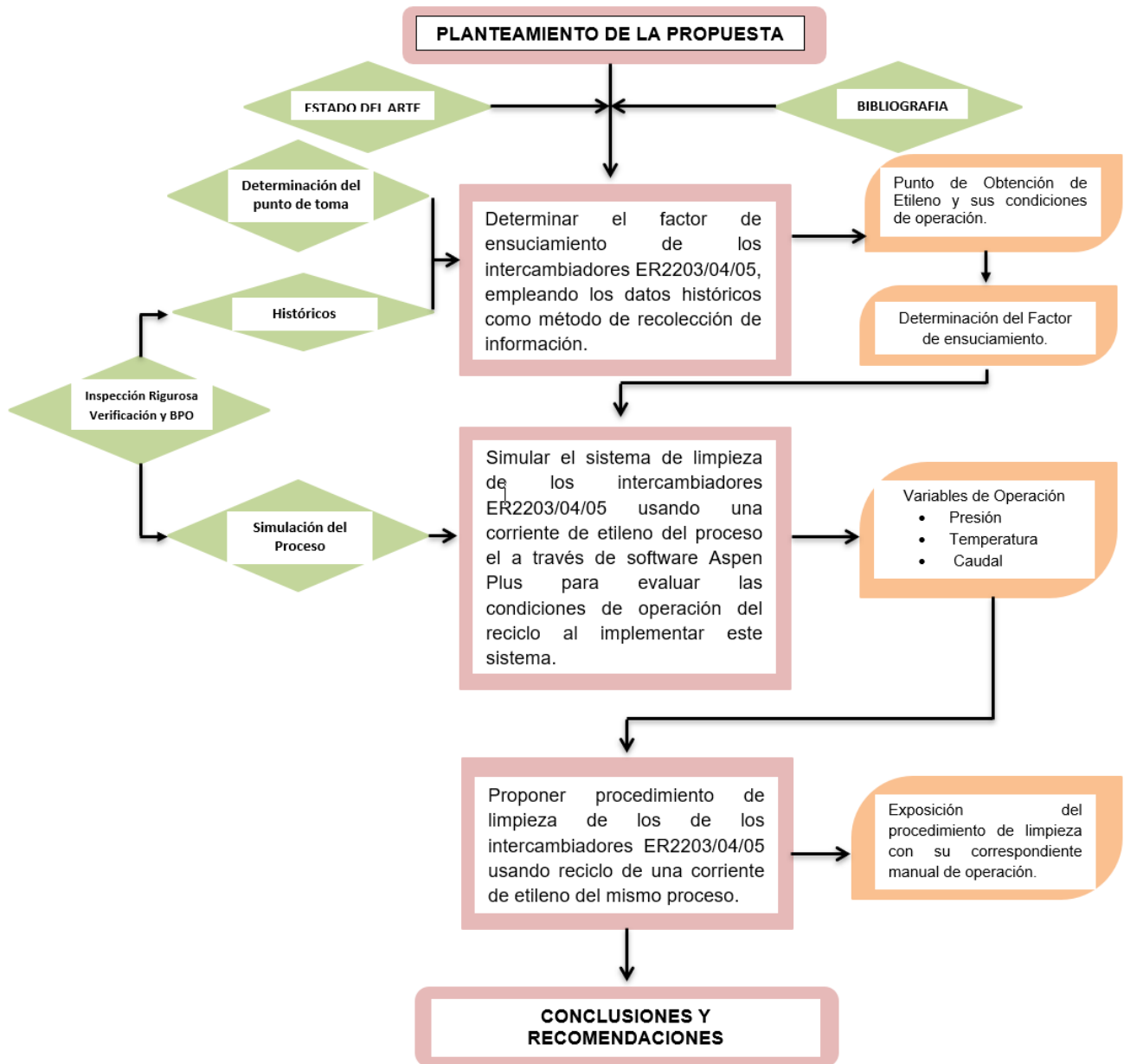
Proponer un procedimiento de limpieza de los intercambiadores ER2203/04/05 usando reciclo de una corriente de etileno del mismo proceso.

6. Descripción metodológica

La metodología desarrollada del presente proyecto se describe a continuación.

Figura 8.

Metodología aplicada



6.1 Determinar el factor de ensuciamiento de los intercambiadores ER2203/04/05, empleando los datos históricos como método de recolección de información.

Se consultaron las bases de datos de operación Process Information (PI) y System Information Refinery (RIS); a partir de ellas se obtuvieron los valores típicos de las variables de operación (temperatura, presiones y flujo); estos datos se tabularon y trataron en la herramienta ofimática Excel, con el fin de filtrar datos atípicos por perturbaciones en los sistemas o datos erróneos por falla de instrumentación. Se tomó del software Aspen Hysys las propiedades termodinámicas del flujo tales como el calor específico (C_p), densidad, viscosidad, gracias a su base de datos interno y del data sheet de los equipos se tomó las propiedades mecánicas de la unidad; U_{max} (ver ecuación 3), longitudes, área, superficies, espesor, etc., todo lo necesario para determinar el factor de ensuciamiento.

La influencia de las incrustaciones en la pérdida de eficiencia de los intercambiadores de calor se determina mediante el coeficiente global de transferencia de calor, en función de los parámetros de entrada y salida del equipo (Torres y col., 2011).

$$U = \frac{w_c C_p (T_{ee} - T_{se})}{A \left[\frac{(T_{ee} - T_{sa}) - (T_{sc} - T_{ea})}{\ln \left(\frac{T_{ee} - T_{sa}}{T_{se} - T_{ea}} \right)} \right]}$$

El factor de ensuciamiento e incrustaciones (R_d), se obtiene mediante la comparación del valor del coeficiente global de transferencia de calor obtenido de forma experimental U_{actual} cuando el equipo está limpio ($U_{máx}$), con respecto al coeficiente de transferencia de calor obtenido a partir de los valores operacionales reales (Torres y col., 2011).

$$R_d = \frac{U_{max} - U}{U_{max} U}$$

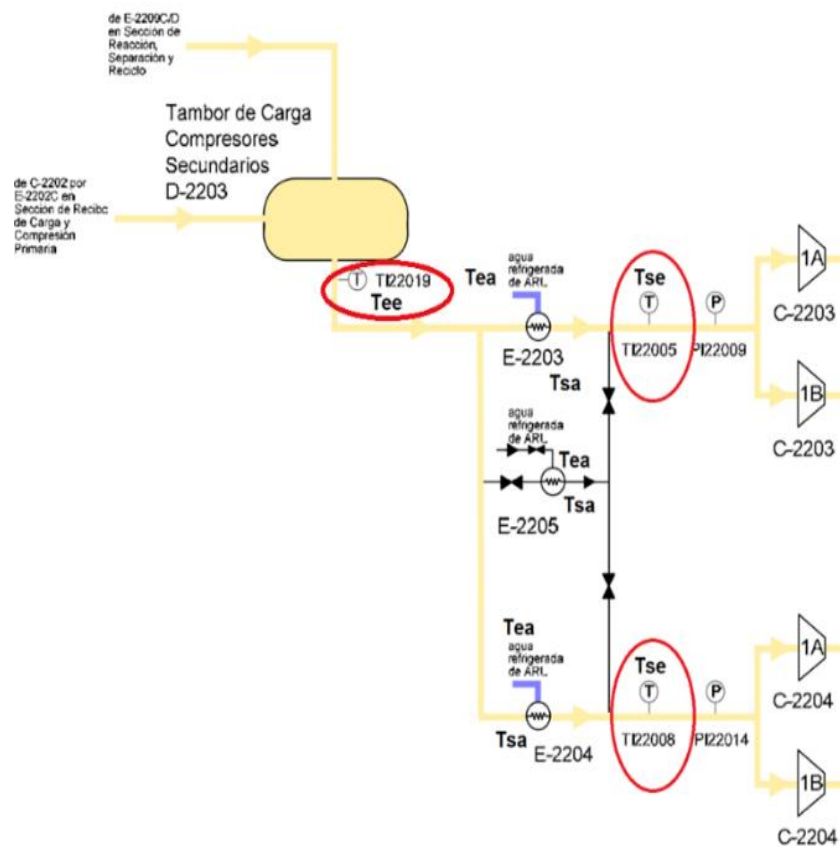
Ec 3

Se tomaron los registros históricos de las temperaturas en los indicadores de temperatura TI22019, TI22005 y TI22008 entrada y salida de los intercambiadores ER2203/04/05 (Figura 9),

durante el periodo de tiempo comprendido desde el 01/01/2021 hasta el 31/03/2021 con un intervalo de tiempo de cada 10 minutos, donde se mantuvo la operación estable en la unidad de Polietileno I.

Figura 9.

Esquema de registro de temperatura.



Por otra parte, a partir de las tendencias calculadas del factor de ensuciamiento se estimó los ciclos de limpieza a los que son sometidos los intercambiadores de calor y con el dimensionamiento de los equipos se calcula la masa de etileno desviada a ser quemada en la tea durante el procedimiento actual de limpieza.

6.2 Simular el sistema de limpieza de los intercambiadores ER2203/04/05 usando una corriente de etileno del proceso el a través de software Aspen Hysys para evaluar las condiciones de operación del reciclo al implementar este sistema

Se modela el sistema propuesto de limpieza de los intercambiadores E-2203/04/05 en Aspen HYSYS V10, con el fin de determinar el balance de masa, térmico e hidráulico de los equipos que intervienen en el procedimiento de limpieza (remoción de grasa) con gas etileno del proceso.

Etapas 1: Modelado del sistema de limpieza

Para el modelado en Aspen HYSYS se emplea el paquete de fluidos incorporado en el software (Peng Robinson), porque es comúnmente seleccionado para el modelamiento de sistema de hidrocarburos.

En la herramienta *Rigorous Shell&Tubes* de Aspen Hysys, se ingresaron los datos necesarios de los E-2209A/B, E2203/04/05, para la evaluación del sistema de limpieza propuesto.

El típico de tubería propuesto para la conexión de los equipos en el sistema de limpieza con etileno del proceso, se simula con el propósito de evaluar la capacidad hidráulica del sistema propuesto para llevar etileno de limpieza a los intercambiadores E-2203/4/5 y de regreso al tambor separador de grasa D-2229. Se define una tubería de SCH 80 que soporta las presiones del proceso del circuito evaluado (Tabla 3), con diámetro 1 inch con base a dos parámetros:

- Hidráulico: debido a que la línea principal del proceso es de 3 in, la derivación debe ser de menor diámetro para garantizar que la corriente de desvío presente mayor restricción, resultando una corriente de menor flujo que la línea principal del proceso.
- Económico: el costo del material disminuye considerablemente con respecto al diámetro de la tubería seleccionada.

Tabla 3.*Tubería SCHEDULE 80 de 1 inch en acero al carbón*

Diámetro Nominal	Diámetro Externo	SCH 80						
NPS	Pg	Mm	Grosor Pg	Pared Mm	Presión Int. Trab		Peso Aprox	
					PSI	Kg/m	Lb/pie	Kg/m
1	1.315''	33.4	0.179''	4.55	4689	342	7.89	3.24
NORMA: ASTM A312								
Longitud aprox. 6 mts								

Se trazan los isométricos de construcción de la tubería requeridas para el sistema de limpieza con gas etileno del proceso. La longitud estimada de la tubería se determina a través del plot plan de la unidad con un sobredimensionamiento del 15% para asumir pérdidas menores (cambios de dirección, codos, válvulas, entre otros).

Etapas 2: Estimación de las condiciones de operación de la Unidad de Polietileno I en estado estacionario y composición de la corriente de gas de etileno

Las unidades de refinería trabajan en estado 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 estacionario de la unidad de polietileno I, se tomaron los valores registrados en la base de datos PI, en el periodo de tiempo comprendido entre 01/01/2021 hasta el 31/03/2021, y se calculan los promedios, eliminando los puntos no representativos (falla de registro, falla de instrumento o periodos de salida, parada y puesta marcha de la unidad).

6.3 Propuestas del procedimiento de limpieza de los intercambiadores ER2203/04/05 usando reciclo de una corriente de etileno del mismo proceso

Se propone un procedimiento operacional para realizar limpieza de los intercambiadores E-2203/4/5 empleando una corriente de reciclo de gas etileno, bajo las condiciones de temperatura, presión y flujo que se obtienen de la simulación del proceso. Se realiza un procedimiento independiente de alineamiento de corriente para cada uno de los intercambiadores E-2203/4/5.

7. Resultados

El sistema propuesto consiste en desviar una corriente de gas etileno después del tambor D-2205 (corriente 22 Figura 10), se seleccionó esta corriente porque se encuentra después de los tanques D-2204 y D-2205, que son tanques de precipitado, motivo por el cual la grasa arrastrada del proceso de separación del separador SE-2201 (corriente 20, figura 10) ya ha sido retenida en estos dos equipos proporcionando una corriente de reciclo de etileno con una pureza del 99% (Tabla 4), apta para la limpieza de los intercambiadores E-2203/4/5.

Figura 10.

Diagrama general de balance de materia Unidad Polietileno I

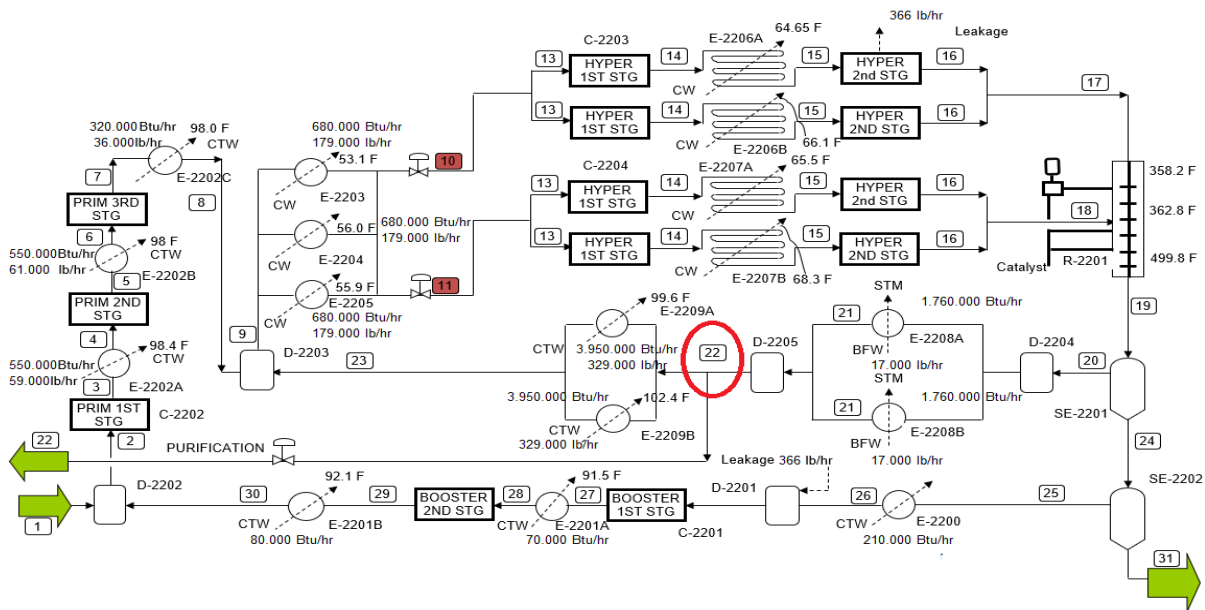


Tabla 4.

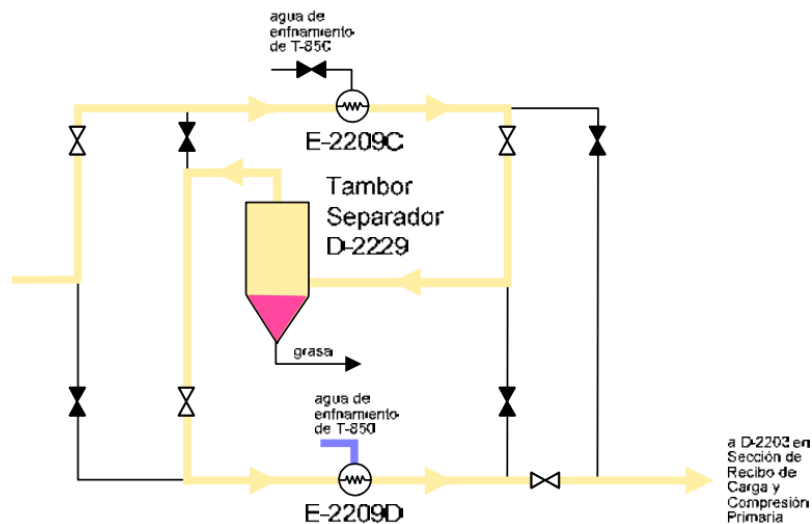
Condiciones de las corrientes Unidad de Polietileno I

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Ethylene	6190	7871	7871	7871	7871	787	7871	787	3664	1832	1832		916	9115	911	9069
Polymer	,0	,0	,0	,0	,0	1,0	,0	1,0	4,5	2,2	2,2		1,1	,3	5,3	,5
Total	6190	7871	7871	7871	7871	787	7871	787	3664	1832	1832		916	9115	911	9069
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	137,3	3043,8	303,3	2982,3	2900	2800		283,2	1218,4	118,00	1800,7
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Ethylene	1813	1813	3073	2942	2942	650	2877	131	1314	1314	1680	168	168	1680		
Polymer	9,0	9,0	8,0	3,5	3,5	,0	3,5	4,5	,5	,5	,9	0,9	0,9	,9	0,0	
Total	1813	1813	3627	2942	2942	650	2877	685	1314	1314	1680	168	168	1680	554	
Temperature, F	128,5	135,3	499,8	322,5	322,5	166	120,5	491,3	409,1	95	188	104	196,5	96	408,8	
Pressure, Psig	1847,0	1847,0	1847,0	3092,3	3070	260	2900	309,2	4,7	4,35	68	65	199	195	4,7	

La corriente de limpieza ingresa al intercambiador E-2203/4/5 que se encuentra con un alto factor de ensuciamiento arrastrando la grasa contenida en el haz de tubo hacia el tambor separador D-2229 que se encuentra en medio de los intercambiadores E-2209A/B y que se usa para la precipitación de la grasa de los equipos anteriormente mencionados, durante su proceso de limpieza con gas etileno del proceso (Figura 11).

Figura 11.

Sistema de purga de los intercambiadores ER2209A/B



7.1 Determinación del factor de ensuciamiento de los intercambiadores E-2203/04/05, empleando los datos históricos como método de recolección de información

Se determina el factor de ensuciamiento para conocer el grado de ensuciamiento que manejan los intercambiadores E-2203/4/5 durante su ciclo normal de proceso (la frecuencia de ensuciamiento), para esto se aplica la ecuación 2 y 3 (ver metodología). A continuación, se

muestran los datos requeridos para la estimación del factor de ensuciamiento, los límites de control y ventanas de integridad de temperatura de succión establecidas para estos intercambiadores son:

Ventana integridad operativa alta (VOH) 100°F

Ventana Integridad operativa baja (VOL) 60°F

Guía control alta (GCH) 80°F

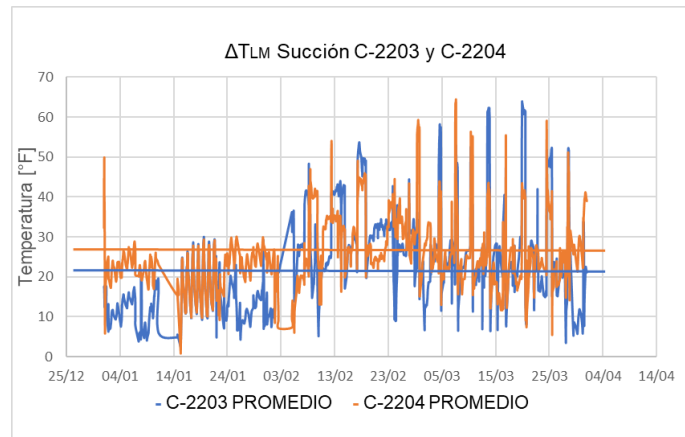
Guía control baja (GCL) 64°F

Tabla 5. Parámetros empleados para el cálculo del factor de ensuciamiento

Datos Historicos Flujos Promedios			
Ti22019 (°F)	Ti22005 (°F)	Ti22008 (°F)	Flujo Másico (Lb/H)
125,08	78,90	82,45	18322
Datos Hysys Propiedades			
Cp (Btu/Lb°F)		Densidad (Lb/Ft3)	
0,7215		0,143	
Datasheet Equipo E-2203/4/5			
Superficie (Ft2)		301,8	
Longitud (In)		144	
Id (In)		16	
Od (In)		16,75	
U Max (Diseño) (Btu/Hf2°F)		83,77	

Nota: Temperatura y flujo son valores promedios del periodo comprendido del 01/01/2021 al 31/03/2021

La estimación del ΔT_{LM} (delta de temperatura logarítmico) se muestra en la Figura 12, en la cual se observa que los enfriadores asociados a la succión del compresor C-2204 (E-2205 o E-2204) operan con un mayor gradiente de temperatura entre la corriente fría y caliente que ingresan al equipo ($\Delta T_{LM \text{ promedio}} = 25.73 \text{ °F}$) infiriendo menor transferencia de calor por unidad de caudal de flujo con respecto a los enfriadores asociados a la succión del compresos C-2203 ($\Delta T_{LM \text{ promedio}} = 23.03 \text{ °F}$).

Figura 12.*Grafica ΔT_{LM} Succión C-2203 y C-2204*

La estimación del coeficiente de transferencia de calor U y del factor de ensuciamiento se muestran en la Figura 13 y 14 respectivamente, en estas se confirman que los enfriadores asociados a la succión del compresor C-2204 presentan menor transferencia de calor y un mayor factor de ensuciamiento ($U_{\text{promedio}}= 69.12 \text{ BTU/Ft}^2\text{h}^\circ\text{F}$ y $Fd_{\text{promedio}}= 0.029 \text{ Ft}^2\text{h}^\circ\text{F/BTU}$) con respecto a los enfriadores asociados a la succión del compresor C-2203 ($U_{\text{promedio}}= 92.73 \text{ BTU/Ft}^2\text{h}^\circ\text{F}$ y $Fd_{\text{promedio}}= 0.003 \text{ Ft}^2\text{h}^\circ\text{F/BTU}$).

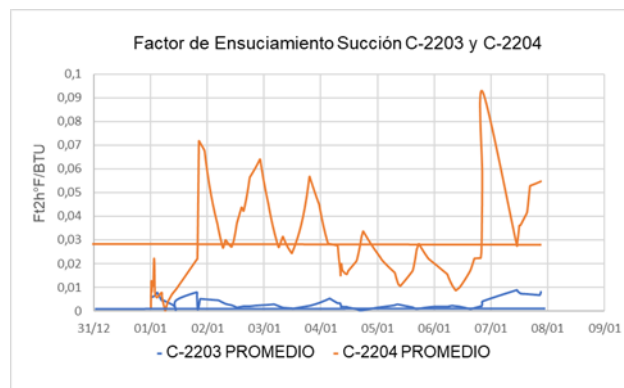
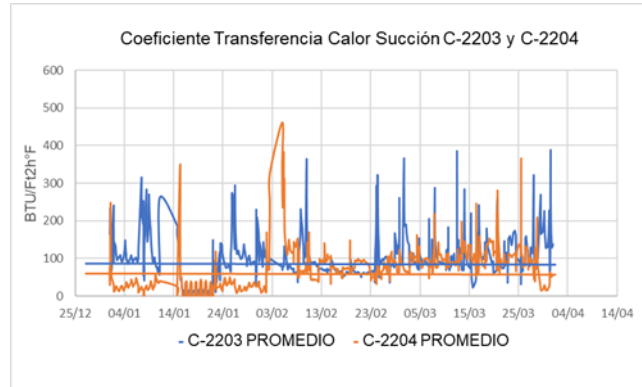
Figura 13.*Factor de ensuciamiento C-2203 y C-2204*

Figura 14.*Grafica coeficiente de Transferencia de Calor Succión C-2203 y C-2204*

Los enfriadores asociados a la succión del compresor C-2203 operan con factores de ensuciamiento y transferencia de calor cercanos a los de diseño ($U_{\text{diseño}} = 83.77 \text{ BTU/Ft}^2\text{h}^\circ\text{F}$ y $Fd_{\text{diseño}} = 0.005 \text{ Ft}^2\text{h}^\circ\text{F/BTU}$). Sin embargo, los enfriadores asociados a la succión del compresor C-2204 trabajan con valores de enfriamiento muy por encima del de diseño como se indica en la Tabla 6, infiriendo que durante la operación de estos sistemas, este circuito presenta mayor succión del compresor que implica que la distribución de la carga sea mayor en el intercambiador E-2205 o E-2204 (mayor flujo de etileno) lo que conlleva una mayor precipitación y adhesión de grasa en el haz de tubos. Esto aumenta considerablemente los ciclos de limpieza y la frecuencia con que se debe realizar el procedimiento de limpieza actual; al tiempo que acrecienta los riesgos ergonómicos, ocupacionales y las pérdidas de producción, hechos que se pretenden modificar por el sistema de limpieza propuesto.

A partir de la figura 13, se evidencia que los intercambiadores tienen una frecuencia de limpieza de cada dos días (número de crestas/día) lo que equivale a la realización del procedimiento alrededor de 180 veces al año. Cada intercambiador tiene la capacidad de almacenar 30,74 lb de

etileno a las condiciones del proceso, durante el proceso de limpieza actual el contenido de etileno del intercambiador es venteadado tres veces al sistema de tea antes de dejar el equipo disponible, lo que significa que bajo el esquema de limpieza actual se pierde alrededor 680 Toneladas/año de etileno, lo que conlleva a una reducción anual de producto terminado (Polietileno de baja densidad).

7.2 Simulación del sistema de limpieza de los intercambiadores E-2203/04/05 usando una corriente de etileno del proceso el a través de software Aspen Hysys, para evaluar las condiciones de operación del reciclo al implementar este sistema

Para la simulación rigurosa empleando la herramienta *Rigorous Shell&Tubes* de Aspen Hysys, fue necesario recopilar toda la información del datasheet de los intercambiadores E-2203/4/5 y E-2209A/B, y se presentan en las tablas 6 y 7.

Tabla 6.

Datasheet Intercambiador E-2203/4/5



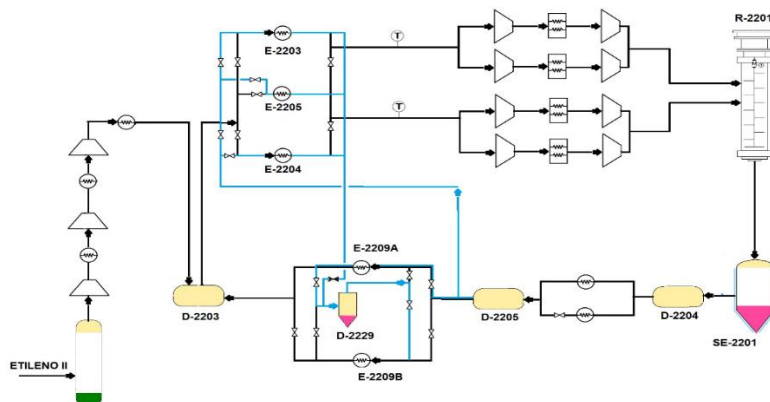
Heat Exchanger Specification Sheet									
Company: ECOPETROL S.A									
Location: POLIETILENO I									
Service of Unit:					Our Reference:				
Item No.: E2203					Your Reference:				
Date:			Rev No.:			Job No.:			
Size: 5,9842 - 144		in		Type: NEN Horizontal		Connected in: 1 parallel		1 series	
Surf/unit(eff.)		301,8		ft ²		Shells/unit 1		Surf/shell(eff.) 301,8 ft ²	
CONSTRUCTION OF ONE SHELL							Sketch		
			Shell Side			Tube Side			
Design/Vacuum/test pressure		psi		72,52 / /		3350,37 / /			
Design temperature		°F		392		392			
Number passes per shell				1		4			
Corrosion allowance		in		0,0625		0,0625			
Connections		In in		1 3 / -		1 3 / -			
Size/Rating		Out		1 3 / -		1 3 / -			
Nominal		Intermediate		/ -		/ -			
Tube #: 134		OD: 0,75		Tks. Average 0,083		in Length: 144 in		Pitch: 1 in Tube pattern:30	
Tube type: Plain		Insert:None		Fin#: /ft		Material:Carbon Steel			
Shell Carbon Steel		ID 16		OD 16,75		in		Shell cover -	
Channel or bonnet Carbon Steel								Channel cover Carbon Steel	
Tubesheet-stationary Carbon Steel								Tubesheet-floating -	
Floating head cover -								Impingement protection None	
Baffle-cross Carbon Steel		Type		Single segmental		Cut(%d) 24,44		VertiSpacing: c/c 6 in	
Baffle-long -		Seal Type						Inlet 8,8297 in	

Tabla 7.*Datasheet Intercambiador E-2209A/B*

Heat Exchanger Specification Sheet												
Company: ECOPETROL. S.A												
Location: U500												
Service of Unit: CALDERA SLURRY					Our Reference:							
Item No.: B520			Your Reference:									
Date:		Rev No.:			Job No.:							
Size 21,2598 - 192		in		Type: NEN		Horizontal		Connected in: 1 parallel 1 series				
Surf/unit(eff.)		855,4		ft ²		Shells/unit 1		Surf/shell(eff.) 855,4 ft ²				
CONSTRUCTION OF ONE SHELL					Sketch							
Design/Vacuum/test pressure		psi		Shell Side 3300 / /			Tube Side 150 / /					
Design temperature		°F		450			450					
Number passes per shell		1			2							
Corrosion allowance		in		0,125			0					
Connections		In in		1 8 / 300 ANSI			1 3 / 300 ANSI					
Size/Rating		Out		1 8 / 300 ANSI			1 3 / 300 ANSI					
Nominal		Intermediate		/ 300 ANSI			/ 300 ANSI					
Tube #:		290		OD: 0,75		Tks. Average 0,1378		in		Length: 192 in	Pitch: 1 in	Tube pattern: 90
Tube type: Plain		Insert: None		Fin #: /		#/ft		Material: CuNi 70/30				
Shell SA-202 B K12542		ID 21,25		OD 25,2658		in		Shell cover -				
Channel or bonnet SA-202 B K12542		Channel cover SA-202 B K12542										
Tubesheet-stationary SA-336 F5 K41545		Tubesheet-floating -										
Floating head cover -		Impingement protection None										
Baffle-cross SA-283 C K02401		Type Single segmental		Cut(%d) 19,41		VertiSpacing: c/c 7,7 in						
Baffle-long -		Seal Type		Inlet 13,1329		in						

El sistema propuesto se puede apreciar en la figura 15, se desvía una corriente de gas etileno después del tambor D-2205 tanque de precipitado hasta la succión de los intercambiadores ER2203/04/05, corriente de reciclo de etileno con una pureza del 99% apta para la limpieza.

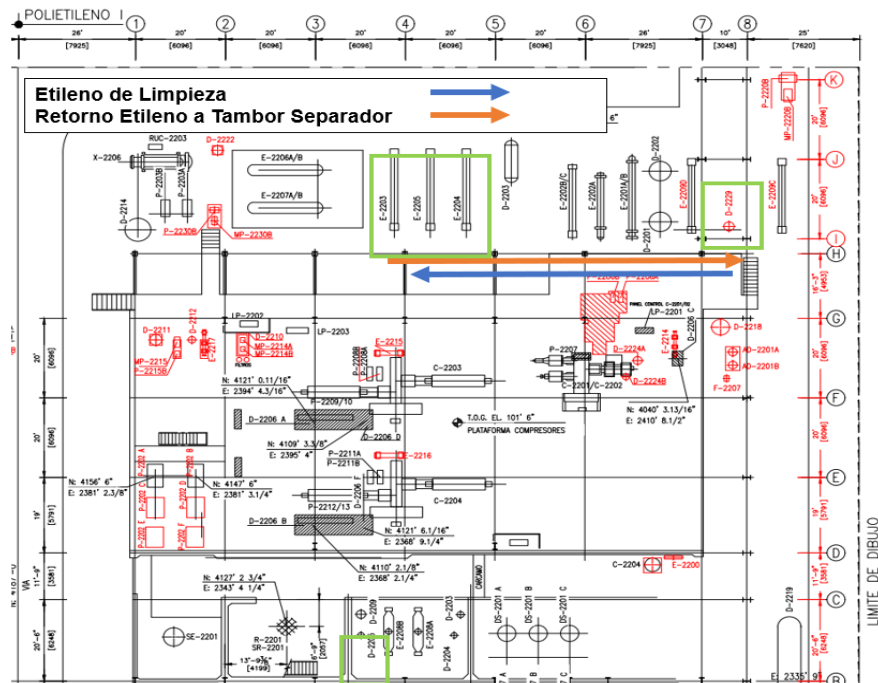
Figura 15.*Diagrama del sistema de limpieza propuesto.*

Se procede a construir la simulación rigurosa del sistema de limpieza propuesto en el ambiente Aspen Hysys. Los intercambiadores E-2203/4/5 se evaluaron con un factor de ensuciamiento igual a $0,028 \text{ Ft}^2\text{h}^\circ\text{F}/\text{BTU}$ estimados de los datos promedios de la figura 14.

En la figura 16 se muestra la sección del plot plan de la planta de polietileno I de los equipos que intervienen en el sistema de limpieza propuesto, donde según su distribución geográfica existe una distancia aproximada entre el tambor D-2205 y el intercambiador E-2203/4/5 fue de 109 (ft) y del intercambiador E-2203/4/5 al tambor D-2229 fue de 97 (ft), estos valores incluyen el sobredimensionamiento del 15%.

Figura 16.

Sección Plot Plan de la planta Polietileno I.



A continuación, se muestra el levantamiento en campo del isométrico de construcción para llevar la corriente de etileno de limpieza hasta los intercambiadores de calor E-2203/4/5 (línea roja)

y para el retorno de la corriente de etileno y grasa removida de estos equipos hacia el tambor precipitador D-2229 (línea verde).

Figura 17.

Isométrico tambor D-2229 a los intercambiadores E-2203/4/5

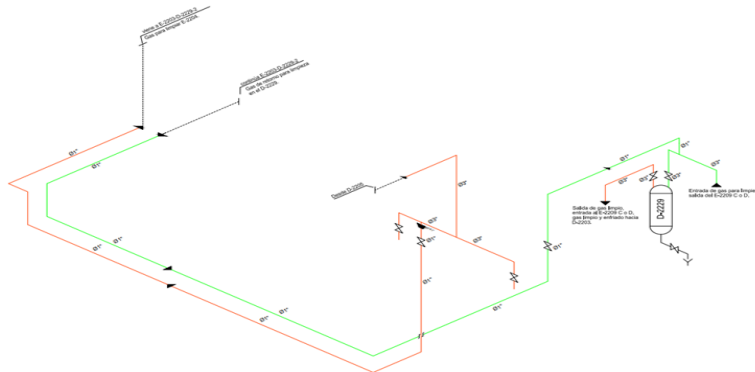
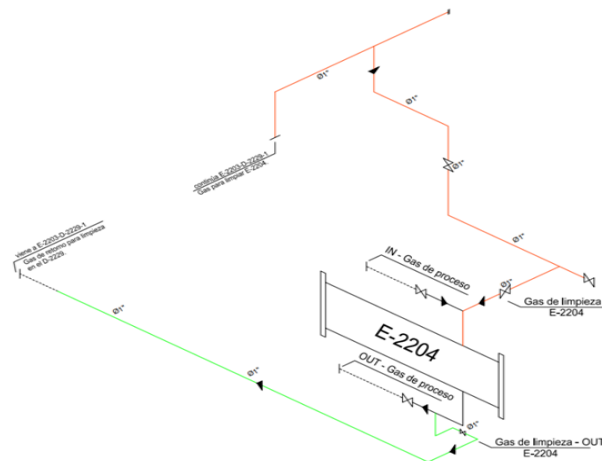


Figura 18.

Isométrico intercambiadores E-2203/4/5 al tambor D-229



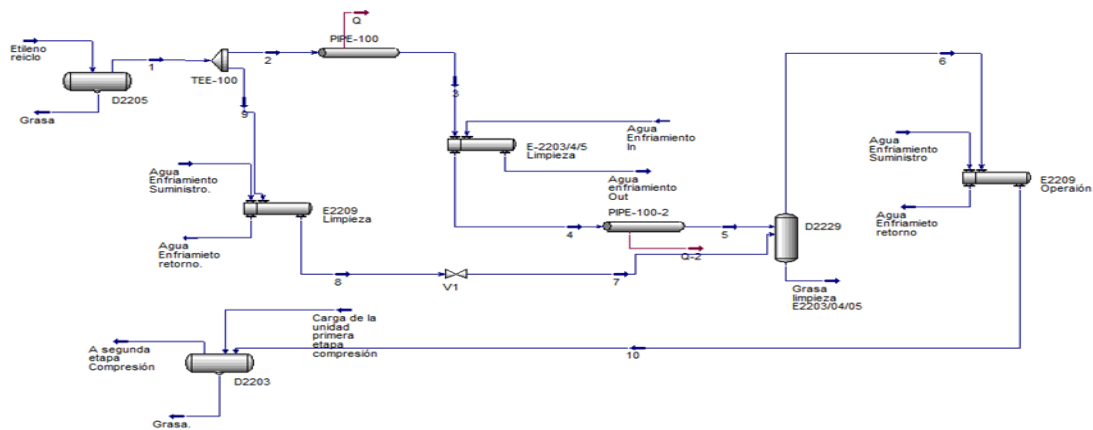
En el ambiente de la herramienta *Rigorous Shell&Tubes* de Aspen Hysys se cargaron los campos para la simulación rigurosa de los intercambiadores E-2203/4/5 y E-2209A/B mostrado en las Figuras 18 y 19.

Figura 19.*Rigorous Shell&Tubes de Aspen Hysys E-2203/4/5.***Figura 20.***Rigorous Shell&Tubes de Aspen Hysys E-2209A/B.*

A partir de la simulación rigurosa del sistema propuesto desarrollado en Aspen Hysys, se determina que para la hidráulica definida, la cantidad de etileno que pasará por los intercambiadores E-2203/4/5 es de aproximadamente 7000 Lb/h (corriente 5 Figura 17 y Tabla 8).

Figura 21.

Diagrama del sistema de limpieza propuesto ambiente Aspen Hysys.

**Tabla 8.**

Balace del Sistema de Limpieza y condiciones de operación.

	Etileno Reciclo	1	2	3	4	5	6
Temperatura (°F)	322,5	322,47986 5	322,47986 5	321,632865	321,378186 2	320,63399 8	193,32350 9
Presión (Psig)	3070	3069	3069	3027,39331	3027,11599 7	2991,2930 6	2991
Flujo masico (Lb/h)	29500	29500	7000	7000	7000	7000	29500
	7	8	9	10	Carga de la unidad primera etapa compresión	A segunda etapa Compresión	
Temperatura (°F)	193,4687319	322,39673 4	322,47986 5	98,7137192	120	50,011329 2	
Presión (Psig)	3000	3068,7176 1	3069	2990,71850 2	3033	295,71850 2	
Flujo masico (Lb/h)	22500	22500	22500	29500	7871	37371	

Por otra parte, con este flujo de etileno de limpieza se alcanza una velocidad promedio de 2.87 ft/s dentro de los tubos del intercambiador, parámetros que se encuentra dentro de los límites definidos para mantener la integridad del intercambiador establecido a una velocidad límite 5 ft/s (Ecopetrol S.A.), presentando un Reynolds de 87816.17 que garantiza el régimen turbulento según

Reynolds > 4100 (Cengel, 1999), requerido para el desprendimiento y arrastre de la grasa depositada en el haz de tubo.

Figura 22.

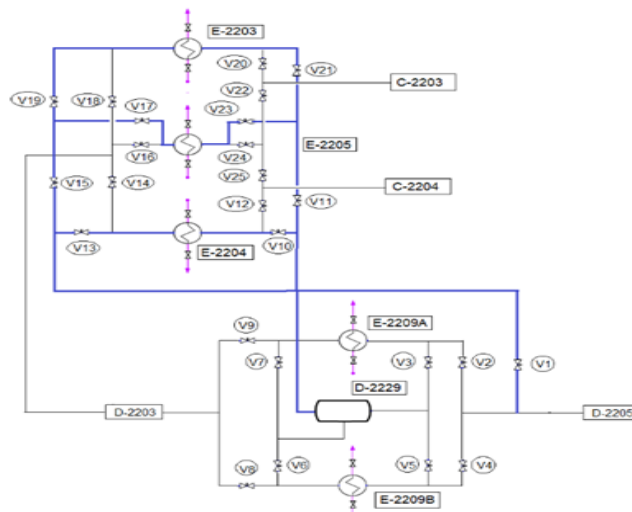
Parámetros de velocidad y tipo de flujo intercambiadores E-2203/4/5 Aspen Hysys

Process Data	Shell Side		Tube Side	
	In	Out	In	Out
Heat Transfer Parameters				
Reynolds No. vapor		6,77	87816,17	87799,13
Reynolds No. liquid	0,13			
Prandtl No. vapor		0,93	1,15	1,15
Prandtl No. liquid	5,15			
Heat Load		BTU/h		BTU/h
Vapor only		11		-1149
2-Phase vapor		0		0
Latent heat		921		0
2-Phase liquid		0		0
Liquid only		216		0
Velocity	ft/s	0	0,01	2,87

7.3 Procedimiento de limpieza de los de los intercambiadores E-2203/04/05 usando reciclo de una corriente de etileno del mismo proceso

Figura 23.

Sistema de Limpieza Propuesto.



En la figura se muestra la corriente que sale después del D2205, junto con las válvulas requeridas para la aplicación de la limpieza según el intercambiador que se encuentre F/S, incluye el retorno de la corriente de gas después de la limpieza arrastrando la grasa y retornando a la entrada del D2229.

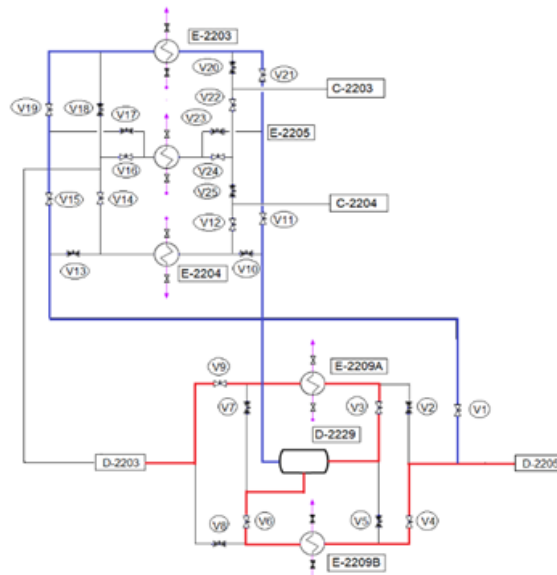
Para el procedimiento de limpieza se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones: el proceso siempre está en estado estacionario, es decir los flujos están en movimiento y como se estableció anteriormente habrá una corriente bifurcada de 7000 Lb/h encargada de la purga. Según el procedimiento habitual uno de los intercambiadores E-2209A/B está en uso y otro en servicio. Por lo tanto, al estar en estado estacionario este procedimiento no cambiara. Durante el proceso dos de los tres intercambiadores E-2203/4/5 estará en funcionamiento y uno estará en limpieza. Por lo tanto, las corrientes de etileno de limpieza y del proceso no entran en el mismo equipo.

Limpieza del Intercambiador E-2203

En funcionamiento el intercambiador E-2209B, válvula de agua abiertas.

Válvulas abiertas: V1, V3, V4, V6, V9 V11, V12, V14, V15, V16, V19, V21, V22, V24,

Válvulas cerradas: V2, V5, V7, V8, V10, V13, V17, V18, V20, V23, V25.

Figura 24.*Limpieza E-2203 funcionamiento E-2209B*

1. Poner en funcionamiento el intercambiador sustituto E-2204/5 para el proceso según sea el caso.

2. Cerrar las válvulas de agua del intercambiador E-2203.

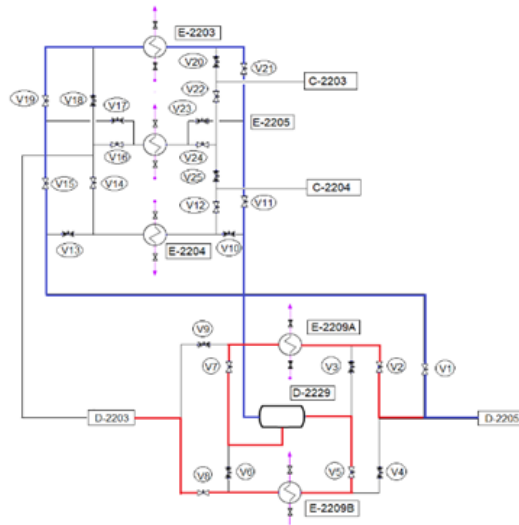
3. Dar apertura a las válvulas; V1, V15, V19, V21, V22, V24, V11.

4. Retirar del tambor D-2229 el material (grasa) extraído.

En funcionamiento el intercambiador E-2209A, válvula de agua abiertas.

Válvulas abiertas: V1, V2, V5, V7, V8, V11, V12, V14, V15, V16, V19, V21, V22, V24,

Válvulas cerradas: V3, V4, V6, V9, V10, V13, V17, V18, V20, V23, V25.

Figura 25.*Limpieza E-2203 funcionamiento E-2209A*

1. Poner en funcionamiento el intercambiador sustituto E-2204/5 para el proceso según sea el caso.
2. Cerrar las válvulas de agua del intercambiador E-2203.
3. Dar apertura a las válvulas; V1, V15, V19, V21, V22, V24, V11.
4. Retirar del tambor D-2229 el material (grasa) extraído

8. Conclusiones

Bajo la evaluación realizada se puede concluir que es posible realizar el procedimiento de limpieza empleando gas de etileno en los intercambiadores E-2203/4/5, disminuyendo la pérdidas de tiempo, recurso, impactos negativos económicos y al medio ambiente por la quema de gas remanente en la tea No 4. Así mismo se espera una disminución de la probabilidad de ocurrencia de un accidente que cause quemaduras por fugas de grasa o vapor en los intercambiadores durante el procedimiento actual de limpieza, evitando lesiones graves, desordenes musculo esqueléticos y

afectaciones lumbares debido a la manipulación prolongada de las canecas usadas durante el mantenimiento.

Se estimó el factor de ensuciamiento ($F_{d\text{promedio}} = 0.029 \text{ Ft}^2\text{h}^\circ\text{F}/\text{BTU}$ succión C-2204 intercambiadores E-2205 ó E-2204); ($F_{d\text{promedio}} = 0.003 \text{ Ft}^2\text{h}^\circ\text{F}/\text{BTU}$ succión C-2203 intercambiador E-2203 ó E-2204) y se observó que los enfriadores asociados a la succión del compresor del compresor C-2204 opera con una mayor gradiente de temperatura entre la corriente fría y caliente que ingresan al equipo (ΔT_{LM} promedio = $25.73 \text{ }^\circ\text{F}$) infiriendo menor transferencia de calor ($U_{\text{promedio}} = 69.12 \text{ BTU}/\text{Ft}^2\text{h}^\circ\text{F}$) por caudal de flujo de etileno, con respecto al compresor C-2203 (ΔT_{LM} promedio = $23.03 \text{ }^\circ\text{F}$; $U_{\text{promedio}} = 92.73 \text{ BTU}/\text{Ft}^2\text{h}^\circ\text{F}$) confirmando que la distribución de la carga es mayor en el intercambiador E-2205 o E-2204 (mayor flujo de etileno), conllevando así a una mayor precipitación y adhesión de grasa en el haz de tubos. Como medida se optara en aumentar considerablemente los ciclos de limpieza y la frecuencia con que se debe realizar el procedimiento propuesto en dicha sección, en relación al intercambiador E-2203 o E-2204 con respecto a la succión del compresor C-2203.

Se determina que para la hidráulica definida con una cedula SCH de 80, diámetro de 1' y longitud de 206 ft (tambor D-2205 al intercambiador E-2203/4/5 = 109 ft e intercambiador E-2203/4/5 al tambor D-2229 = 97 ft incluye sobre diseño del 15%), la cantidad de etileno que pasará por los intercambiadores E-2203/4/5 es de aproximadamente 7000 Lb/h, con este flujo de etileno de limpieza se alcanza una velocidad promedio de 2.87 Ft/s dentro de los tubos del intercambiador, parámetros que se encuentran dentro de los límites definidos para mantener la integridad de estos equipos establecido a una velocidad límite 5 ft/s, presentando un Reynolds de 87816.17 que garantiza el régimen turbulento, requerido para el desprendimiento y arrastre de la grasa depositada en el haz de tubos.

Bibliografía

- HIMMELBLAU, David M. Análisis y simulación de procesos. Reverté, 2021.
- Beltran, R. (2011). Estructura y propiedades de los polímeros. *Tecnologías de los polímeros.*, 120-123.
- Brancaa, C., Di Blasi, C., Galgonao, A., & Milellac, E. (2011). Thermal and kinetic characterization of a toughened epoxy resin reinforced with carbon fibers. *Thermochimica Acta 517*, 53-62.
- Brandon, J., Goldstein, M., & Ohman, M. (2016). Long-term aging and degradation of microplastic particles: comparing in situ oceanic and experimental weathering patterns. *Mar. Pollut. Bull.*, 110(1), 299-308.
- Budrugaec. (2005). Some methodological problems concerning the kinetic analysis of non-isothermal data for thermal and thermo-oxidative degradation of polymers and polymeric materials. *Polymer Degradation and Stability*, 265-273.
- Calister, W. (1995). *Introduccion a la ciencia e ingeniería de los materiales* . Reverte.
- Callister, W. (2000). *Introduccion a la ciencia e ingeniería de materiales*. Barcelona: Reverté .
- Chemtreat. (30 de 06 de 2021). *Mejores prácticas para la limpieza de intercambiador de calor enfriado con agua*. Obtenido de ¿Por qué es importante el tratamiento de incrustaciones?: <https://es.chemtreat.com/best-practices-for-water-cooled-heat-exchanger-cleaning/>
- Camacho, W., & Karlsson, S. (2001). NIR, DSC, and FTIR as quantitative methods for compositional analysis of blends of polymers obtained from recycled mixed plastic waste. *Polym. Eng. Sci.*, 41(9), 1626-1635.
- Chang, R. (2006). *Principios Esenciales de Química General*. McGraw-Hill España.

Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (1999). *TERMODINAMICA* / (1a. ed.). MEXICO: MCGRAW-

Dümichen, E. B.-K., Braun, U., Bannick, C., Brand, K., Jekel, M., & Senz, R. (2015). Analysis of polyethylene microplastics in environmental samples, using a thermal decomposition method. *Water Res*, 85, 451-457.

ECOPETROL. (2016). *Ecopetrol*. Recuperado el 14 de Octubre de 2016, de <http://www.ecopetrol.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/productos-y-servicios/productos/petroquimicos-industriales/informacion-comercial>

ECOPETROL S.A. (s.f.). ECOPETROL S.A. Sistema de información de laboratorio industrial (inspección de calidad (CDLAB GRB)).