

Análisis Operacional del Departamento de Hidrotratamiento de Reficar S.A.

María Claudia González Estrada

Escuela de Química, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia

mariaclaudiage@gmail.com



Resumen— *ECOPETROL S.A es un complejo industrial integro que se encarga de la exploración, producción, transporte, refinación y comercialización del petróleo y sus derivados, es allí donde entra REFICAR S.A la refinería más moderna de Latinoamérica y por lo tanto un complejo industrial dividido en departamentos que se encargan de suministrar los insumos y procedimientos necesarios para entregar combustibles limpios y lograr el menor impacto ambiental.*

Este artículo trata específicamente de los trabajos realizados por una estudiante de química industrial de la Universidad Tecnológica de Pereira, mientras hacia sus prácticas con esta empresa en el departamento de hidrotratamiento. El trabajo realizado cuenta con un estudio al proceso de refinación, balances de masa y energía, investigaciones sobre tetracarbonilo de níquel, análisis estadísticos del flujo preferencial en los trenes de precaliente del proceso de las unidades de hidrotratamiento de diésel, entre otros trabajos realizados durante un periodo de 6 meses.

El resultado final fue satisfactorio, y a pesar de no dar valores exactos se llevo a una aproximación adecuada y verídica para realizar el análisis correspondiente y así llegar a respuestas y acciones oportunas y eficaces.

Palabras clave— SLOP, TEA, diésel, energía, Refinería, Ecopetrol, Reficar, departamento de hidrotratamiento, tetracarbonilo de Níquel.

Abstract- *ECOPETROL SA is an integrated industrial complex that is in charge of the exploration, production, transport, refining and commercialization of oil and its derivatives, that is where REFICAR SA enters the most modern refinery in Latin America and therefore an industrial complex divided into Departments, which are responsible for supplying the necessary inputs and procedures to deliver clean fuels and achieve the least environmental impact*

This article deals specifically with the work done by a student of industrial chemistry at the Technological University of Pereira, while doing her internship with this company in the hydrotreatment department. The work carried out has a study on the refining process, mass balances and Energy among other works carried out during a period of 6 months.

The work performed was satisfactory, and despite not giving exact values, an adequate and truthful approach was reached to carry out the corresponding analysis and thus to arrive at a response and timely and effective actions

Keywords - SLOP, TEA, diesel, energy, Refinery, Ecopetrol, Reficar, hydrotreatment department.

I. INTRODUCCIÓN



Figura 1. Refinería Cartagena.

ECOPETROL S.A. se encarga de la exploración, producción transporte, refinación y comercialización del petróleo y sus derivados.¹ Es una compañía que está comprometida con su entorno, el ambiente y el país y la base de su organización es el talento humano de todos sus trabajadores²

ECOPETROL S.A. es la primera compañía de petróleo de Colombia, en la cual no solo se extrae el petróleo sino que también se le hace un tratamiento al mismo, en las refinerías de Barrancabermeja y Cartagena (REFICAR S.A). Siendo de esta manera REFICAR S.A, la refinería más moderna de Latinoamérica, (Figura 1) donde se procesa el crudo para entregar combustibles limpios y amigables con el medio ambiente.

La refinería de Cartagena es un complejo industrial integro, donde todas sus plantas están interconectadas entre sí, y los procesos dependen uno del otro para así conseguir su meta de entregar energía para el futuro sustentable y sostenible.

Para que esto pueda ser posible, REFICAR S.A cuenta con un grupo de personas capacitadas para realizar seguimiento y control a todo el funcionamiento de la compañía, en este caso este artículo, trata del principal trabajo realizado en esta empresa que fue ejecutar un seguimiento y control de la energía que se consume en uno de los departamentos de la refinería, y por otro lado, realizarle un seguimiento a los productos que se reciben y salen de cada unidad, ya sean productos fuera de especificación o productos terminados y listos para su venta y distribución.

II. CONTENIDO

1. Refinación

La refinación del petróleo empieza con un tratamiento del crudo que comienza en las torres de refinación primaria, las cuales son unas destiladoras a baja presión, lo que hacen es recibir el crudo, a alta temperatura, aproximadamente unos 380 °C, por la parte inferior de las torres y a medida que va ascendiendo se va condensando en los diferentes platos, este procesos se da por medio de la evaporación que permite una separación física de los diferentes productos a tratar,

provenientes del hidrocarburo, como lo son el gas, la gasolina, el kerosene y el diésel y los productos más pesados, que se quedan en el fondo, se utilizan como insumos para otros procesos. Esto se puede ver en la Figura 2.

Luego de ser refinado el combustible está listo para ser sometido a diferentes tratamientos de purificación, con el fin de entregar combustibles limpios.^{3,4}

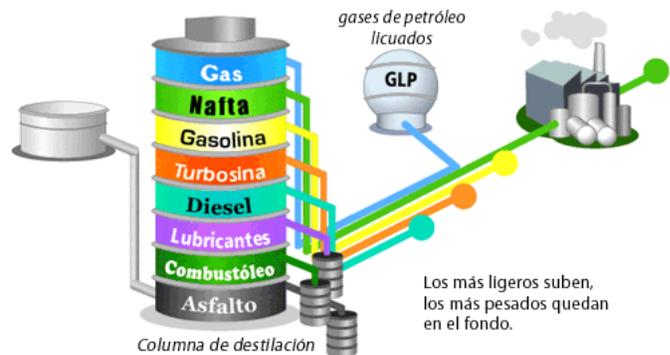


Figura 2. Torre de destilación.⁵

Esto se logra gracias a que REFICAR S.A. es la refinería más moderna de Latinoamérica, por lo cual es un complejo industrial robusto e integro, en donde todas sus unidades están interconectadas, dichas unidades están organizadas en diferentes departamentos, los cuales a su vez cuentan con diferentes plantas que se encargan de un tratamiento diferente del crudo, los departamentos están organizados así:

- Departamento de Destilación de Crudos: cuenta con las unidades de destilación atmosférica y al vacío.
- Departamento de Craqueo Catalítico: cuenta con las unidades de Cracking, Amina II, tratamiento de sodas, preparación de sodas, despojadora de aguas agrias fenólicas, hidrotamiento de Nafta.
- Departamento de Servicios Industriales: cuenta con las unidades de generación de energía (eléctrica y vapor, agua de calderas), generación de aire, captación de agua y agua clarificada, agua potable e industrial, sodas.
- Departamento de Materias Primas y Productos: cuenta con las unidades de almacenamientos, TEA y SLOP.
- Departamento de Refinación de Fondos: cuenta con las unidades de coqueización retardada, manejo de sólidos de coque.
- Departamento de Hidrocrequeo y Alquilación: cuenta con las unidades de Hidrocracking, alquilación, saturated gas, recuperación de hidrogeno PSA, butamer, sistema de gas combustible.
- Departamento de Hidrotamiento: cuenta con las unidades de Hidrotamiento de Diésel, Generación de Hidrógeno, Regeneración de Amina, Recuperación de Azufre y Despojadora de aguas agrias no fenólicas.⁶

Entre las unidades más destacadas están: -Las unidades de servicios industriales, las cuales permiten la operación de toda la refinería, puesto que proveen la energía eléctrica, el agua, el vapor, entre otros servicios necesarios para el funcionamiento de la refinería; -Las unidades de hidrógeno que proveen los insumos necesarios para realizar los hidrotratamientos que en sí es retirar el azufre de los combustibles; -Hidrotratadora de diésel que obtiene Diésel con bajo contenido de azufre; -Unidad de crudo que es donde todo inicia y -Las unidades de tratamiento ambiental como las regeneradoras de aminas, recuperadoras de azufre y despojadoras de aguas agrias, que permiten una menor contaminación de los procesos de refinación.⁴

La práctica se realizó en el Departamento de Hidrotratamiento.

a. Departamento de Hidrotratamiento

Este departamento está destinado a la producción de combustibles limpios, en donde el Diésel se une con el H₂ de alta pureza que proviene de la unidad de generación de Hidrógeno, para despojarlo del alto contenido de azufre que luego es tratado para causar el menor impacto ambiental.

La presencia de azufre está relacionada con el crudo del que se procesan los combustibles, y si no se procesa puede generar daños ambientales, que pueden dañar la salud de los humanos, animales y del ambiente como tal.³ Este tratamiento ambiental se hace por medio de un tratamiento de aminas, aguas agrias y por una recuperación de azufre, el cual se vende como producto terminado.

i. Unidades Hidrotratadoras de Diésel

Estas unidades están diseñadas para procesar 35 KBIs de diésel de alto azufre, es decir, entre 3.500 y 4.500 ppm, para entregarlo entre 20 y 30 ppm dependiendo si es diésel nacional o de exportación. Estas unidades trabajan con dos tipos de carga: una con carga netamente virgen, es decir solo diésel de alto azufre, (proveniente de la unidad de destilación combinada) y la otra con una carga combinada de diésel y productos craqueados (provenientes de la unidad de coker) dichos productos pueden ser nafta de coker y LCGO que es gasóleo liviano de coker, los cuales tienen un alto contenido de cloruros de amonio, bromo y otros contaminantes, que se precipitan inicialmente en un equipo coalescedor, aquellos contaminantes que no se quedaron en los filtros de carga que están diseñados para atrapar partículas hasta de 25 micras.

El resto se trata en el proceso con hidrogeno, aminas y lavados con condensado. El proceso de la unidad está basado en la Desulfurización de la carga, a base de hidrógeno y de tratamiento con catalizadores a alta presión y temperatura. La carga se precalienta aprovechando las corrientes de salida de producto y de hidrógeno procedente del reactor.

En la figura 3 se puede ver el diagrama grande de control de la unidad en donde se muestra cómo funciona la unidad y cuáles son los procesos de la misma.⁷

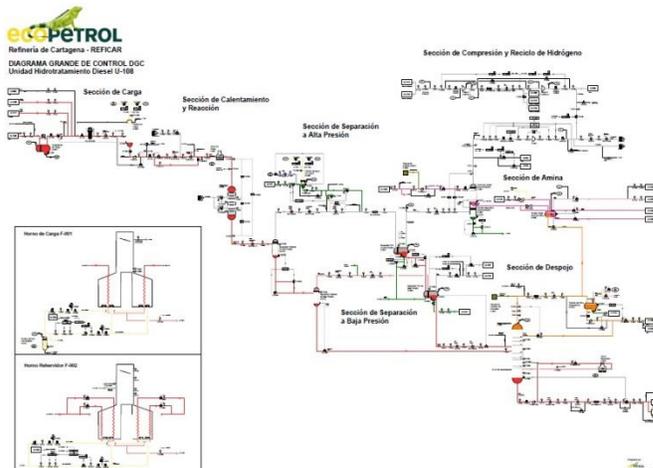


Figura 3. Diagrama grande de control. Hidrotratamiento de Diésel⁸

ii. Unidades Generadoras de Hidrógeno

Esta unidad genera hidrógeno, a partir de la conversión de gas natural con vapor, en un proceso de reformación, en el cual se toman 3 partes de vapor por 1 gas natural, con unas especificaciones bajas en el contenido de azufre que se someten a un proceso de conversión con temperatura, mediante un horno reformador y un catalizador en base a Níquel para lograr obtener H₂ con cierto grado de impurezas, el cual es procesado en unos desulfurizadores y finalmente purificado en un proceso de absorción a baja presión, logrando obtener una pureza de 99.9 %.

En dicho proceso también se obtiene otro producto, el cual, es un vapor de alta presión, que luego es utilizado como fuente de energía para otros procesos.

En la figura 4 se puede ver el diagrama grande de control de la unidad en donde se muestra cómo funciona la unidad y cuáles son los procesos de la misma.⁹

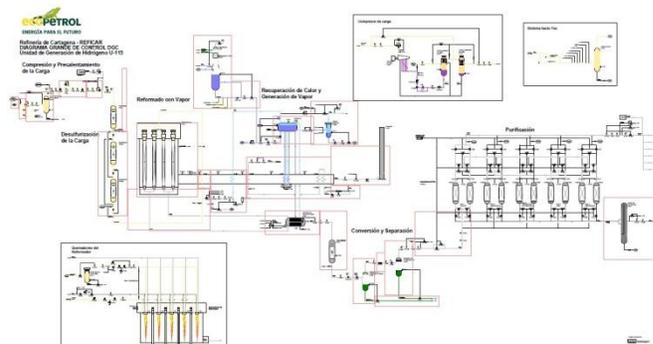


Figura 4. Diagrama grande de control. Generadora de Hidrógeno.¹⁰

iii. Unidades ambientales: Regeneración de Amina, Tratadoras de Aguas Agrias y Recuperadoras de Azufre.

Las dos unidades de regeneración de amina cargan, cada una, aproximadamente 1300 GPM; Las dos unidades de recuperación de azufre pueden cargar, cada una, 2000 SCFM y produce alrededor de 120 TON/día de Azufre; La unidad de tratamiento de aguas agrias no fenólicas, carga aproximadamente 530 GPM.

La operación de estas unidades es netamente ambiental y funciona como un bloque de procesos, en donde primero se hace un tratamiento con amina en el cual se recoge el H₂S producido en la refinería, y que proviene como amina rica en H₂S y CO₂ de las unidades de hidrotreatmento de nafta, hidrotreatmento de diésel, Hydrocracking, coker, gas saturado y gas combustible, esta sustancia se recoge para producir combustibles limpios y amigables con el medio ambiente.

Entonces dicho H₂S va hacia la unidad recuperadora de azufre y la amina pobre va hacia los clientes, que son las mismas unidades, para luego empezar de nuevo el ciclo.

El propósito de la unidad regeneradora de amina es despojar dicha amina de MDEA (ácido sulfhídrico y dióxido de Carbono). Esta amina rica en H₂S proveniente de las unidades anteriormente nombradas, pasa por un proceso de filtración de partículas mecánicas y decantación o desnatao de hidrocarburos, para luego someterse a un proceso de regeneración en la cual es despojada del H₂S y CO₂ con altas temperaturas y baja presión, de tal manera, que la amina despojada sale como amina pobre hacia los clientes propios de la refinería; los gases ricos en H₂S salen como carga a las unidades recuperadoras de azufre.

En estas últimas unidades se aplica el principio de la reacción Claus convencional y se recibe conjuntamente gases ácidos, es decir, gases de las unidades de aguas agrias, fenólicas y no fenólicas y NH₃, el cual es quemado completamente en el horno de reacción, convirtiéndose en N₂ y agua.

De esta forma en el Combustor Claus, se integran todas las cargas con aire proporcionado por unos sopladores, que lo toman controladamente de la atmosfera; la proporción de aire inyectado depende de la carga ya sea gas acido 2:1 o gas agrio, que sería 2:3, dichos gases se queman o reaccionan y se convierten en SO₂.

El 60 % de los gases ácidos y agrios, (cuyos gases de composición son H₂S, SO₂, S, H₂O, CO, CO₂, COS, CS₂, N₂ y H₂) pasan por un intercambiador de calor residual produciendo vapor de alta presión, que es enviado al cabezal de vapor de la refinería para ser usado como fuente de energía en otros procesos.

Dichos gases pasan a través de un condensador de azufre y luego a un reactor catalítico de 3 lechos y se convierten en azufre líquido, que pasa por un proceso de desgasificación, para dejarlo libre de H₂S; luego, el azufre, es enviado al tanque de almacenamiento y venta.

Los gases que no se logran condensar se envían a un reactor de gases de cola y se someten a un tratamiento en donde, a través de un proceso de hidrogenación e hidrólisis, se convierten todas las especies de azufre en H₂S, los gases que no se logran convertir y condensar se envían a un incinerador.

Por otro lado el propósito de la unidad tratadora de aguas agrias, es despojar el H₂S y NH₃ presente en las aguas agrias no fenólicas, provenientes de las unidades de Gas Saturado, Unidad PSA, Unidad de Hidrotreatmento de Nafta, Unidades de Hidrotreatmento de Diésel, Hydrocracking y las unidades Recuperadoras de Azufre, donde se separa el hidrocarburo líquido e hidrocarburo liviano del agua agria, para luego pasar a una torre de despojo con calor y así liberarla de H₂S y NH₃ y volver a utilizarla en los procesos de las unidades mencionadas anteriormente, garantizando un bajo consumo de agua de las fuentes naturales, siendo consientes con el ecosistema.

En la figura 4 se puede ver el diagrama grande de control de la unidad en donde se muestra cómo funciona la unidad y cuáles son los procesos de la misma.¹¹

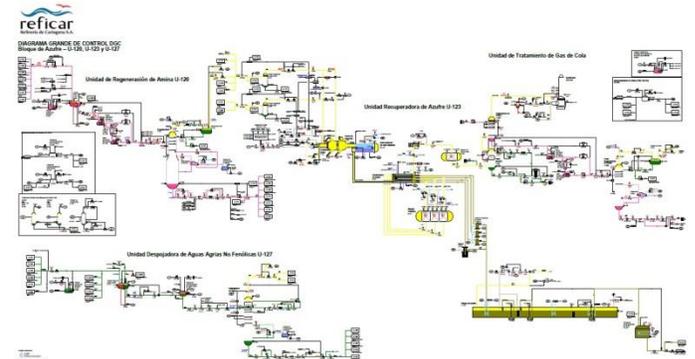


Figura 5. Diagrama grande de control. Regeneración de Amina, Tratadoras de Aguas Agrias y Recuperadoras de Azufre.¹²

2. Balances

a. Balance de la Refinería

Los procesos de producción de Ecopetrol S.A. y Reficar funcionan de manera íntegra, es decir que es una cadena de producción que inicia con la llegada del crudo, este puede venir de diferentes maneras, ya sea por un oleoducto o por vía marítima, este crudo pasa por diferentes procesos de refinación, hasta obtener diferentes productos terminados y listos para su comercialización, entonces al realizar un balance general de toda la Refinería, se hace con el fin de tener un conocimiento general de su funcionamiento, rendimiento y optimo desempeño.

Como todas las unidades de la refinería están interconectadas, resulta conveniente hacer un seguimiento a las líneas de producción, es por esto que solo se hace un seguimiento a los productos más importantes y cuantificables.

Este seguimiento se hace por medio de diferentes cuadros de control, en donde se muestran las diferentes unidades y el funcionamiento de ellas en el mes anterior al análisis, midiendo así su eficiencia y desempeño, con el fin de encontrar las oportunidades de mejora para el mes en curso.

b. SLOP

Dentro de los procesos propios de la Refinería se generan algunos subproductos fuera de especificación llamados SLOP, estos productos son indeseables y se dan por inestabilidad en la operación, en los procesos de arranque, estabilización, parada o emergencia de las unidades; dicho SLOP llega al departamento de materias primas, donde se encargan de él, ya sea para distribución, venta o reprocesamiento en las unidades de crudo o coker.

Es necesario saber cuánto SLOP sale de cada planta, puesto que estos son los flujos que no están siendo tratados y van hacia otro departamento, y con el fin de tener todo dentro del control de las unidades, es indispensable hacer una medición de todas las corrientes propias.

Este SLOP no tiene un medidor de flujo como tal en las unidades del departamento de hidrotratamiento, es por esto que al intentar medirlo se debe hacer por tres formas, una es el flujo que pasa por la bomba de descarga de los tambores, donde está contenido dicho SLOP, la otra forma es por diferencia del nivel en los tambores en los cuales está contenido, y la última y que se considera la mejor forma, es medir la diferencia de nivel, siempre y cuando la bomba este en funcionamiento.

En el departamento solo producen SLOP las unidades de hidrotratamiento de diésel y las unidades regeneradoras de amina.

- Unidades regeneradora de amina

El inconveniente que se presentó en esta unidad, es que no se podía saber si lo que se estaba midiendo era SLOP o amina, ya que por el proceso puede suceder que la amina se vaya hacia el lado donde se encuentra en SLOP, (en la figura 6 se muestra el tambor que se utiliza) en el caso en que esto ocurra existe una línea de recuperación de amina, pero está luego de la bomba despojadora y es operada manualmente, por lo cual solo se puede hacer una aproximación del SLOP, pero no se puede asegurar que esos galones reportados hayan regresado al proceso.

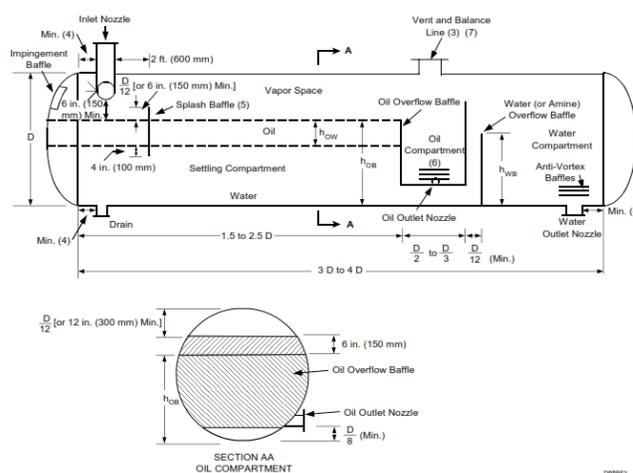


Figura 6. Tambor SLOP amina. 13

- Unidades hidrotratadoras de diésel

El inconveniente de esta unidad es que el tanque de donde sale el SLOP tiene un volumen variable, por lo cual no se puede asegurar una medición exacta, puesto que varía mucho, dependiendo del lugar en que este, y no se puede confiar solo del valor que entregue la bomba, puesto que al hacer esos cálculos no se tiene en cuenta la eficiencia de la bomba.

En la figura 7 se puede ver la geometría de dicho tambor.

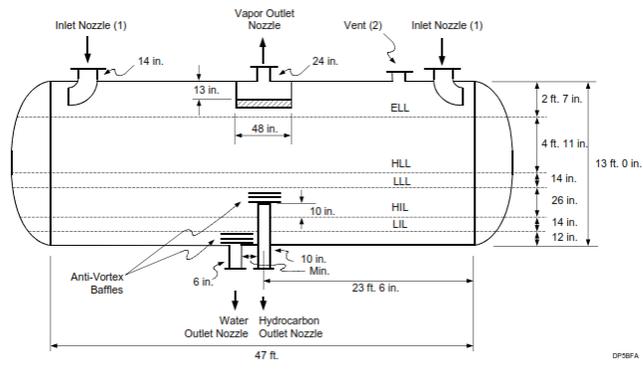


Figura 7. Tambor SLOP diésel. 13

c. TEA

La TEA es un sistema de seguridad que funciona como vía de evacuación de emergencia para algunas corrientes gaseosas de las unidades de la Refinería, son muchas las líneas de alivio que existen en cada unidad que tiene como fin este lugar, con el propósito de lograr una óptima estabilización, y así evitar generar presiones en los circuitos, equipos o fuertes emanaciones de gases tóxicos a la atmósfera; Los gases que llegan a este lugar se queman para generar el menor impacto ambiental. ² (Figura 8)

Normalmente todas las líneas de alivio de cada unidad llegan a un tambor recolector que finalmente se conecta con la TEA, esto se hace como un sistema de control de los gases que se

pretenden quemar en la atmósfera, pues hay límites establecidos por la ley para la cantidad de emanaciones de azufre e hidrocarburo que pueden llegar a la atmósfera.

Es por esto que es necesario hacer una medición de esta corriente, puesto que es un requerimiento enteramente ambiental, por lo cual, si no se le hace un seguimiento, no se dejará de producir este tipo de gases tóxicos, ya que la idea de la refinería es producir el menor impacto ambiental que sea posible, además al hacer un seguimiento de estas corrientes, se puede ver de qué unidad proviene y hacer un análisis de causa raíz, para encontrar posibles daños o problemas en cualquier unidad.

Todas las unidades del departamento tienen producción de gases que van directo a la TEA, sin embargo ninguno tiene medidores de estos flujos, es por esto que fue necesario hacerlo por medio de diferenciales de presión, teniendo en cuenta las correcciones de cada gas, dependiendo de su temperatura y composición.

Este último procedimiento no tuvo mayores problemas, puesto que se conocen las diferentes presiones y temperaturas de estos gases, aparte de su composición aproximada. Por lo cual los datos entregados son verídicos y confiables para realizar con ellos posteriores análisis y si es el caso, posteriores soluciones y acciones de mejora.



Figura 8. Sistema TEA. ²

d. Balance energético del departamento de hidrotratamiento

La energía utilizada en cada departamento de la Refinería de Cartagena se cuantifica por medio de vapor, gas combustible y/o energía eléctrica; es por esto que se hace necesario que cada departamento realice una trazabilidad del Plan Vs el Real de estos consumos energéticos medidos en MBTUD, con el fin de encontrar su nivel óptimo de funcionamiento. Dichos gastos energéticos dependen de la carga que de cada unidad, pues no es lo mismo la energía que se mide de una planta con la mitad de su capacidad a una planta que está al 100 %.

Por otro lado, es necesario aclarar qué gastos se miden con valores positivos y la energía producida se mide de forma negativa, así al final, la energía total consumida por la unidad

se ve beneficiada cuando es una productora de energía, esto es lo que sucede, por ejemplo, con las unidades generadoras de hidrógeno y con las unidades recuperadoras de azufre, esto se debe a su alta producción de vapor.

Entonces como la Refinería de Cartagena es la más moderna a nivel Latinoamérica, y por tanto uno de los más modernos complejos industriales, siempre se está comparando con las industrias a nivel mundial, para tener un referente importante que tiene como fin ubicar a la Refinería en el primer cuartil del índice de Solomon, el cual es el referente en Refinación, es decir, ubicarse a nivel mundial en el grupo de las mejores refinerías.

Este índice que plantea Solomon se conoce como IIE (Índice de Intensidad Energética) que es simplemente una relación entre la energía real y la energía estándar, esta última es la energía que una refinería debe consumirse en la planta en estudio.

Es por esto que cada mes, se realizó un estudio del manejo de la energía, que tenía cada una de las unidades del departamento, comparándose con el valor del IIE que debería tener según lo planeado cada mes, y analizando que falló y cuáles son las posibles mejoras.

Al principio, cuando las unidades del departamento no tenían estabilidad porque estaban en el proceso de arranque y estabilización, la planeación se hacía con los valores de diseño, sin embargo, como no eran valores de un comportamiento real, el IIE se veía afectado, ya sea premiando la unidad o castigándola, pues no correspondía con un análisis real de las unidades, es por esto que al final, luego de las pruebas de aceptación, se realizó una curva de comportamiento más cercana a lo real, para que así los resultados entregados pudieran ser analizados con mayor claridad.

3. Investigaciones.

a. Tetracarbonilo de Níquel.

En los procesos de arranque y parada de las unidades generadoras de Hidrógeno, por algunos errores en dichos procesos, se pueden formar diferentes sustancias, por tanto es importante tener mucho cuidado en seguir el paso a paso adecuado según los instructivos de los procesos asociados a esto.

Una de estas sustancias y tal vez la más peligrosa es el tetracarbonilo de Níquel (Figura 9), que es una sustancia supremamente contaminante, tanto para el medio ambiente, como para los seres humanos, por lo que se hace necesario evitar su formación; es más, tan solo 30 ppm son fatales para los seres humanos, además de esto puede causar daños irreparables en los equipos en donde se pueda formar, es por esto que se hace indispensable evitar que se forme.

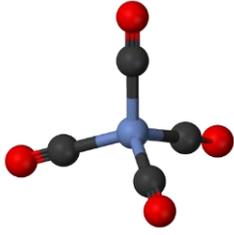


Figura 9. Tetracarbonilo de Níquel. ¹⁴

Por lo anterior es que se hizo una investigación sobre este compuesto, las causas y consecuencias de su formación, con el fin de evitar a toda costa que se presentara alguna falla que pudiera ocasionar su presencia, en los procesos normales de las unidades generadoras de hidrógeno.

Para ellos se analizaron varios casos, en los cuales se ha presentado esta sustancia en otras refinerías, y saber que fue lo que falló y como sucedió, como un medio de aprendizaje para no cometer los mismos errores.

De esta forma, se encontró que el medio por el cual se puede presentar dicha sustancia es por el catalizador usado en estas unidades, ya que al estar en contacto CO en medios de alta presión y temperatura puede llegar a formarse el tetracarbonilo de Níquel.

Por lo tanto, el mayor miedo estaba en que el proceso de arranque y parada, requiere una recirculación del gas por el catalizador, que puede contener CO, haciendo alta la posibilidad de la formación del compuesto indeseado; pero al momento de hacer la recirculación se encontró, que no se iba a dar el medio propicio para la formación de dicho compuesto.

Sin embargo, se hicieron las investigaciones y consultas necesarias para que no se cumplieran los mayores miedos y la mejor fuente de información fueron los proveedores de dicho catalizador, ellos proporcionaron mucha información valiosa que sirvió para mantener a salvo la vida de las personas, los equipos y el catalizador como tal.

La Investigación sobre la formación del Tetracarbonilo de Níquel en el proceso de apagada y arrancada de las unidades de Generación de Hidrógeno, se realizó de una manera metódica, investigando en libros, documentos y artículos, y al final la mejor fuente de información, fueron los proveedores que aportan al catalizador como tal, ellos aportaron la información más relevante

b. Flujo preferencial.

ECOPETROL es una empresa que se preocupa tanto de la gente como de sus equipos, de allí que exista una revisión de estos equipos con un modelo de rondas, las cuales se realizan periódicamente por turnos, por parte de los operadores de cada planta, que conllevan a una valoración de los equipos ya sean rotativos o estáticos y así mantener el buen funcionamiento de

todas las plantas y obtener un rendimiento óptimo de la compañía.

Es así como se detectó que en uno de los bancos de intercambiadores llamados E-002, que se dividen en dos trenes de acción, presentaban un flujo preferencial hacia uno de ellos, esto significa que todo el flujo, o la mayoría de éste, pasa por un solo tren, dejando al otro con diferenciales altos de presión y temperatura poco estables para el proceso.

Para encontrar la causa de esto, se realizó un estudio estadístico de las variables medibles alrededor de estos trenes, y que afectan directamente el flujo que entra en cada intercambiador, como lo son la temperatura, la presión, entre otros, para así encontrar la raíz del problema y poderla solucionar de una manera más eficiente.

Dicho análisis se realizó tomando los datos del año, de las presiones, temperaturas, cargas y flujos que entran y salen de los dos trenes, y así hacer un "zoom" a los momentos en que se presentaba un flujo preferencial y así encontrar primero si el flujo siempre era hacia un solo tren o si variaba.

Al encontrar que el flujo solo se daba en un solo tren entonces se procedió a hacer el análisis de las variables y así encontrar si este fenómeno se daba por algo físico, o por algo propio del proceso, como esto sucedía en las dos unidades hidrotratadoras de diésel, se concluyó que no era algo físico, son algo propio del proceso.

Después de analizar los datos, se llegó a la conclusión de que una de las variables principales que causaba este flujo preferencial, era la carga de las unidades, ya que si era menor a lo permitido, causaba este tipo de fenómenos. Sin embargo, aún se continúa con este análisis, pues no se ha encontrado la causa raíz del problema.

4. Otras actividades

a. Diagrama de Banderas

En la refinería se cuenta con un sistema de documentación en cada uno de los departamentos, donde se encuentra toda la estructura de capacitación, el Manual de Procesos, un Diagrama de parada-arranque, Guías de entrenamiento, instructivos, el Diagrama Grande de Control, los P&D, que son los diagramas donde están todas las válvulas, bombas, líneas y equipos de las unidades, los PFD, que son los diagramas donde se muestran las presiones y temperaturas del proceso, entre otros documentos que proporcionan una buena base para documentarse y aprender sobre las unidades y su funcionamiento. Esta gestión documental agiliza el flujo de información en la organización.

Cuando se realizó la prueba de aceptación de la unidad hidrotratadora de Diésel se efectuó una modernización de los PFD, pues se quería mostrar, no solo la información de diseño

de la unidad, sino también las condiciones en la que se operó durante las pruebas, esto con el fin de visualizar las variables típicas del proceso de la unidad y darle una mayor visualización de a las unidades hidrotadoras.

b. Seguimiento guías de entrenamiento de Operación Estructurada y Disciplina Operativa

La Operación Estructurada y la Disciplina Operativa son pilares del entrenamiento del personal de Ecopetrol S.A. además de ser la base fundamental del funcionamiento de la compañía, de ahí que cada departamento de la Refinería hace un seguimiento mensual a todo tipo de evaluaciones que están relacionadas con este tema; en particular el departamento de Hidrotratamiento de Diésel, en dicho seguimiento se ha notado una mejoría en las competencias y conocimientos de los operadores, con respecto al arranque, parada, estabilización y emergencia de las unidades de la Refinería de Cartagena.

Esto se debe a que este es uno de los departamentos más nuevos de la refinería y por lo mismo se han presentado muchos casos que normalmente no se presentan, por esta razón, todos los trabajadores pertenecientes a este departamento están capacitados y listos para cualquier cosa que se les presente.

c. Cuadro General de Gestión Tecnológico

Tanto Ecopetrol S.A. como REFCAR, cuentan con un sistema de información estructurado en donde se tabulan todas las acciones y los compromisos a desarrollar, para maximizar el funcionamiento de todas las partes que configuran la compañía, dichos compromisos se asumen en diferentes reuniones y se toman para garantizar una mejoría en los componentes de los departamentos; En ese orden de ideas, todos los departamentos de la refinería, incluyendo el departamento de hidrotratamiento, realizan un seguimiento mensual a dichos compromisos, con el fin de cumplir con los planes y márgenes de Refinación establecidos.

Este cuadro esta realizado en Excel con el fin de realizarle mes a mes un seguimiento a las actividades realizadas por las personas del Departamento, la actualización de los datos se realiza por medio de un acercamiento a las personas encargadas de cada actividad.

III. METODOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS

1. Visitas a plantas

Con el fin de aprender y conocer al máximo las Unidades de refinación estudiadas se realizaron diferentes visitas a campo, charlas con los ingenieros, operadores y supervisores expertos de cada planta, además de los estudios complementarios e investigaciones referentes al tema.

2. PI DATALINK

Reficar S.A. cuentan con una extensión de EXCEL que se llama PI DATALINK, la cual trae datos reales del funcionamiento de las plantas, flujos, presiones y temperaturas, esos datos son utilizados para hacer análisis del comportamiento de las plantas de la refinería. La herramienta se usó en el balance de energía del departamento, donde se comparan los datos reales de los consumos energéticos con los valores de planeación, esta comparación se realiza para hacer mejoras en las plantas, que lleven a un menor consumo energético, con el fin de llegar al primer cuartil de Refinación.

También se usa en el cuadro, análisis del departamento, con quemas en TEA, SLOP, producción de cada unidad, puesto que se realizaron diferentes relaciones con los datos tomados de PI DATALINK para medir los productos y consumos del departamento, no solo para conocerlo sino también para hacer gestión en el momento en que esos datos estén fuera de lo permitido, en términos ambientales y de integridad mismas de la refinería.

En el Balance Global de la Refinería se quiso hacer un análisis de REFCAR con todos sus consumos y productos, con el fin de hacerle seguimiento al complejo industrial íntegro que es y se utilizó en gran medida la herramienta PI DATALINK para extraer los datos necesarios

En el Análisis Estadístico, para el análisis de flujo preferencial de los intercambiadores E-002, se utiliza mucho la herramienta anteriormente mencionada, puesto que es la fuente máxima de información para esta tarea.

Con los datos entregados, por PI DATALINK, en la fecha de las pruebas de desempeño de las unidades, se realizó un diagrama en donde se muestran las condiciones reales en las que operan las unidades generadoras de Diésel.

3. SharePoint

Este seguimiento que se le hizo al entrenamiento del personal se realiza por SharePoint, en donde, en un cuadro de Excel se le hace seguimiento a estas dos metodologías utilizadas como evaluación, además de los correos y acercamientos a las personas evaluadas, con el fin realizar una mejor gestión y seguimiento de estas actividades, entregando las evidencias de lo realizado a la Vicepresidencia de Talento Humano.

IV. CONCLUSIONES

Por medio de investigaciones, charlas y visitas, se estudió el proceso de Refinación, que es un proceso complejo y lleno de variables.

Con los balances hechos a toda la refinería se pueden seguir sustancias críticas o tóxicas con el fin de tener control sobre

ellas, como lo es el H₂S, la sustancia que está en todos los procesos de Refinación y es altamente tóxica.

Se presentaron algunos inconvenientes al momento de medir las sustancias fuera de especificación (SLOP), o los gases que van hacia la TEA, puesto que las medidas de esas sustancias no se hacían con un medidor de flujo, sino que se hizo una aproximación, sin embargo dicha aproximación es considerada como verídica, con fines de no perder el control de estas sustancias.

Al estar al tanto del gasto energético de las unidades, se puede hacer un análisis operacional, para así, desde cada departamento, llevar a Reficar al mejor cuartil de refinación.

El tetracarbonilo de Níquel es una sustancia supremamente tóxica, tanto para los seres humanos como para los equipos, es por esto que es vital evitar las condiciones precisas para su formación.

El flujo preferencial es un problema grave en las industrias porque puede llegar a afectar el bienestar de los equipos involucrados.

Gracias al seguimiento de la disciplina operativa, se logró un avance en las evaluaciones de los operadores.

El seguimiento y control del cuadro general de gestión, logro que se cumplieran los compromisos adquiridos y así cumplir con todo lo necesario para terminar un 2016 sin compromisos.

El diagrama de banderas funcionó, para mostrar el funcionamiento real de las unidades de hidrotreatmento de diésel y así tener un conocimiento real del funcionamiento de estas unidades.

RECOMENDACIONES

Se recomienda a la empresa poner medidores de flujo de SLOP y de los gases que van a la TEA, dentro del departamento de hidrotreatmento.

Implementar en la reunión de análisis operacional de los viernes, un análisis energético de las unidades.

Para el 2017 realizar un cuadro de gestión, con el fin de tener un seguimiento a todos los compromisos importantes del departamento.

REFERENCIAS

- [1]. *Curso Genérico - ECOPETROL*. 2015. Curso Virtual. Cartagena.
- [2]. "Ecopetrol - Energía Para El Futuro". *Ecopetrol.com.co*. 2017. Web. 15 Ene 2017.
- [3]. "Como Lo Resuelven - ECOPETROL". Discovery, 2011. Program de tv. Tv wag de discovery.
- [4]. *ECOPETROL, Así Funciona La Nueva Refinería De Cartagena*. 2015. Web. 17 Ene. 2017.
- [5]. "El Petróleo.". *Cuentame.inegi.org.mx* 2017. Web. 10 Ene. 2017.
- [6]. "Organización Reficar". 2016. Documento.
- [7]. "U-108_Diésel HDT_Curso De La Unidad.Rev4". 2015. Documento.
- [8]. "108-109 DGC". 2015. Documento.
- [9]. "Manual del Participante Entrenamiento Unidad U-115". 2015. Documento.
- [10]. "115-116 DGC". 2015. Documento.
- [11]. "Manual del Participante Entrenamiento Genérico Unidad U-120". 2015. Documento
- [12]. "BLOQUE 120 DGC". 2015. Documento.
- [13]. *DESIGN PRACTICES*. ExxonMobil Research & Engineering Company. 4th ed. PDF, 2001.
- [14]. "Nickel Carbonyl / Carbonyl Nickel Powder & Liquid (Ni)". *Reade.com*. Web. 19 Jan. 2017.