

Diseño de un sistema de limpieza mediante ciclos térmicos en línea al turbo-expansor de la U-002 de la Refinería de Cartagena para incrementar su disponibilidad operativa



Nombre autor (es). Alexander Revollo Carreazo, Rafael Iriarte Llamas
Octubre 2022.

Universidad Antonio Nariño.
Cartagena De Indias.

Diseño del sistema de limpieza mediante ciclos térmicos en línea al turbo-expansor de la U-002 de la Refinería de Cartagena para incrementar su disponibilidad operativa

Nombre autor (es). Alexander Revollo Carreazo, Rafael Iriarte Llamas
Octubre 2022.

Universidad Antonio Nariño.
Cartagena De Indias.

Notas del autor

Alexander Revollo Carreazo, Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Antonio Nariño, Ciudad.

Rafael Iriarte Llamas, Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Antonio Nariño, Ciudad.

El proyecto de tesis de grado tuvo colaboración de la empresa Ecopetrol S.A.

Nota de Aceptación

Nombre y firma jurado 1

Nombre y firma jurado 2

Nombre y firma presidente

Nombre y firma secretario

Dedicamos nuestro trabajo primeramente al Padre celestial a él la honra, a nuestras madres que siempre han sido el pilar de nuestras vidas y a nuestros demás familiares que sin su apoyo esto no hubiese sido llevadero.

Dedicamos y exaltamos la grandiosa labor de nuestro tutor, este proyecto de tesis sin sus correcciones no hubiese triunfado, gracias por depositar su entera confianza en nosotros sus estudiantes, por creer en nuestras capacidades. Es por ello que esto es posible.

Agradecimientos

v

Gracias a Dios por unas familias maravillosas que siempre han creído en nosotros y nos han dado ejemplo de superación, dignidad, humildad y sacrificio, nos han enseñado a valorar todo lo que tenemos. A todos ellos les dedico este trabajo porque gracias a ellos y a su gran trabajo alimentan nuestro afán de superación y triunfo en nuestra vida.

Lo que ha contribuido a la consecución de este gran logro, esperamos contar siempre con su apoyo y amor incondicional, pues no cabe duda que esto no hubiera sido posible sin ustedes.

La reacción de craqueo catalítico es de naturaleza endotérmica y produce coque como subproducto depositado en el catalizador circulante. El proceso utiliza el calor de combustión del coque como fuente de energía, para lo cual se requiere una gran cantidad de aire.

Para el regenerador de la unidad, el gas producto de la combustión tiene una gran cantidad de energía que se aprovecha a través del sistema de recuperación de energía instalado en la unidad, que consta de los siguientes componentes: motor de arranque, motor/generador, compresor axial y Turbo-Expansor. El tamaño del motor/generador permite proporcionar hasta el 70% de la potencia requerida para el caso de diseño de la unidad, y la potencia recuperada por el Turbo-Expander es fundamental para alcanzar el 100% de la capacidad de la unidad y ahorrar consumo de energía.

Un aspecto fundamental de la operación es el catalizador, que es un sólido fluidizado en aire o vapor que circula entre el reactor y el regenerador. En el lado del regenerador, se proporciona una tecnología de separación de sólidos (ciclón) para minimizar la descarga de material particulado al turbo expansor, donde el turbo expansor elimina la energía disponible del gas en un intento de maximizar. Minimizar el tiempo de ejecución, que se ve afectado por la deposición progresiva. Los sólidos se encuentran en las partes estacionarias y giratorias de la máquina. Es necesario ampliar la disponibilidad operativa del turbo expansor, así como de la unidad de craqueo de la refinería de Cartagena mediante la adquisición de un sistema de limpieza en línea con vapor que permita la remoción eficiente de los depósitos de catalizador mediante ciclos térmicos sin necesidad de suspender la carga de la unidad e instalar un sistema de adición de productos químicos anti incrustantes para mejorar la capacidad de eliminación de catalizadores.

Palabras Clave: Catalizador, cracking, ciclones, motor/generador, turbo- expander.

The catalytic cracking reaction is endothermic in nature and produces coke as a by-product deposited on the circulating catalyst. The process uses the heat of combustion of the coke as an energy source, for which a large amount of air is required.

For the regenerator of the unit, the combustion product gas has a large amount of energy that is used through the energy recovery system installed in the unit, which consists of the following components: starter motor, motor/generator, axial compressor and turbo-expander. The size of the motor/generator allows it to provide up to 70% of the power required for the unit's design case, and the power recovered by the Turbo-Expander is essential to reach 100% of the unit's capacity and save consumption of energy.

A fundamental aspect of the operation is the catalyst, which is a fluidized solid in air or steam that circulates between the reactor and the regenerator. On the regenerator side, a solids separation (cyclone) technology is provided to minimize the discharge of particulate matter to the turboexpander, where the turboexpander removes the available energy from the gas in an attempt to maximize runtime, which is seen affected by progressive deposition. Solids are found in the stationary and rotating parts of the machine. It is necessary to increase the operational availability of the turboexpander, as well as the cracking unit of the Cartagena refinery through the acquisition of an online steam cleaning system that allows the efficient removal of catalyst deposits through thermal cycles without the need to suspend unit loading and install an antiscaling chemical addition system to improve catalyst removal capacity

Keywords: Catalyst, cracking, cyclones, motor/generator, turbo-expander

Contenido

Introducción	1
Productividad, competitividad e innovación.....	2
Planteamiento del Problema	2
Descripción del Problema	2
Formulación del Problema.....	5
Justificación	6
Objetivos.....	7
General.....	7
Específicos	7
Marco Referencial.....	8
Antecedentes	8
Marco Teórico.....	12
El cracking en la industria petroquímica	12
<i>El funcionamiento del turbo expander</i>	14
Marco Conceptual.....	14
Marco Geográfico (Si aplica).....	16
Marco Legal	17
Diseño Metodológico.....	20
Tipo y Enfoques de Investigación.....	20
Variables de Medición (Si aplica).....	21
Recolección y Análisis de Datos.....	21
Unidad de Estudio o Muestra (Si aplica)	22
Fases y Actividades Metodológicas.....	22
Descripción del actual sistema de limpieza en línea del turbo-expansor para identificar opciones de mejora.....	23
Conclusiones	45
Recomendaciones	46
Lista de referencias	47
Anexos	49

Lista de Tablas

ix

Tabla 1 variables de medición.....	21
Tabla 2 Secuencia de ciclo térmico en línea	30
Tabla 3 Requisitos de sobrecalentamiento.....	35

Lista de Figuras

x

Figura 1. Grafica de seccion catalitica	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2 Turbo Expansor	26
figura 3 plataforma primer nivel con línea de vapor.....	34
Figura 4 Plataforma segundo nivel con línea de vapor.....	35
Figura 5 Disparo TV-3039 a la plataforma.....	38

Lista de Anexos

xi

Foto del expander
Seguimiento fotográfico a alta velocidad alabe TEX
Equipo de captura de foto alta velocidad

Introducción

En el actual trabajo de grado se basa en buscar viabilidad de diseñar un sistema útil de limpieza mediante ciclos térmicos en línea, con la finalidad de evitar la participación humana en el proceso industrial y la optimización del tiempo de producción. Para empezar, se detallarán las condiciones de limpieza que se requieran en la industria, centrándonos en la normativa vigente. Por consiguiente, describiremos la industria, sobre la que sería factible el diseño de este sistema, para seguir hablando de las características, productos requeridos, factores a tener en cuenta, validación y ventajas del diseño planteado. Se verifica el diseño de limpieza mediante ciclos térmicos, tipo de dispositivo, secuencia de operación e instrumentación a emplear. Teniendo un dimensionado, Sin cálculos concretos.

La eficiencia es uno de los indicadores determinantes en la productividad de las empresas del sector industrial, la capacidad que tienen los procesos para generar la mayor cantidad de productos o prestación de servicios de calidad en el menor tiempo posibles garantiza la sostenibilidad de las empresas y su desarrollo en la historia.

De lo anterior, surge la necesidad de estudio constante de los procesos y equipos para identificar oportunidades de mejora para aumento de la operatividad de las empresas, por ello, la reingeniería ha tomado importancia en los sectores productivos, porque permite mejorar de manera constante la forma de los procesos y garantizar máxima eficiencia.

La Refinería de Cartagena, se reconoce por su alta productividad en la costa del Caribe colombiano, cuenta con un sin número de unidades de proceso para la consecución de recursos y productos petroquímicos, en esta se ha hecho la introducción de una serie de

equipos que garantizan máxima operatividad para el procesamiento de recursos naturales, dentro de los cuales se incluye el turbo-expansor necesario para el desarrollo de craquelado en la U-002.

Productividad, competitividad e innovación

La finalidad es diseñar nuestro sistema como un ofrecimiento para el cambio de la metodología tradicional de limpieza que se utilizan en la industria. Al proponer este innovador diseño como alternativa de solución, Se busca garantizar un desarrollo significativo a nivel de tiempo, aumentando la productividad del turbo-expansor de la U-002 de la refinería de Cartagena, implementando procesos de ciclo térmico con vapor de media presión para mejorar la disponibilidad operativa y la capacidad de trabajo de la máquina.

Planteamiento del Problema

Descripción del Problema

La Refinería de Cartagena está ubicada en la zona industrial de Mamonal. En el año 1957 la firma internacional intercol inauguró la Refinería de Cartagena y empezó a operarla con una capacidad de refinación de 26.300 barriles/día. Posteriormente en el año 1964 se amplió la capacidad de refinación a 47.000 barriles/día.

La Refinería de Cartagena modernizada y ampliada inició operaciones en el año 2016 con 14 unidades de proceso; unidad de destilación combinada atmosférica y vacío, la unidad de saturación de gases, la unidad de coquización retardada, la unidad de hidrocracking, la unidad de generación de hidrógeno, la unidad de hidrotreatmento de diésel, la

unidad de hidrotratamiento de naftas, la unidad de azufre, la unidad de alquilación, la unidad de cracking, la unidad de servicios industriales, la unidad de tratamiento de aguas sobrantes, la unidad de materias primas y productos terminado, la unidad de isomerización de butano.

En cuanto a la unidad de cracking catalítico está diseñada para una carga total de 40.000 barriles/ día, de los cuales 35,000 barriles/día son gasóleos vírgenes y 5.000 barriles/día son de nafta al riser del reactor. Desde el arranque inicial en febrero del 2016 en el sistema de gases de cima del generador se ha detectado una muy baja eficiencia en el separador de finos de catalizador, lo que ha ocasionado el arrastre de este material sólido hacia el turbo-expansor con frecuente ensuciamiento de esta máquina fundamental, en el esquema de operación de la unidad. Como resultado de lo anterior se presentan en la unidad de cracking catalítico las siguientes situaciones limitantes:

- Limitaciones para operar al 100% el diseño del tren de cima del regenerador, lo que ocasiona una menor capacidad de suministro de aire al regenerador y por lo tanto limita al incremento de la carga de gasóleos vírgenes por debajo de 30,000 barriles/día, operación por debajo de la capacidad instalada.
- A pesar de las frecuentes limpiezas con agentes para limpieza, cáscara de nuez, que se realizan una vez por turno y debido a la mayor carga de sólidos que llegan al turbo-expansor esta máquina rotativa viene perdiendo centricidad en su giro, lo que viene produciendo un incremento paulatino en su desplazamiento radial y finalmente la acción de corte y apagado de la máquina y de todo el tren de cima del

regenerador incluido el soplador de aire principal sacando de servicio toda la unidad U002.

De manera preventiva se han venido programando los ciclos térmicos, durante los cuales se saca la máquina de servicio cada tres meses durante 4 días totales, lo que implica cortar la carga a la unidad, para así mediante enfriamiento con vapor remover las partículas finas de catalizador adheridas en los alabes del Turbo-expansor y poder retornar el equipo a sus parámetros de operación confiable.

La reacción de cracking catalítico es de carácter endotérmico y genera como subproducto coque que se deposita en el catalizador circulante, el proceso utiliza como fuente de energía el calor de combustión generado en la quema del coque, para lo cual es necesario suministrar grandes cantidades de aire al regenerador de la unidad, los gases producto de la combustión poseen una alta cantidad de energía, la cual es aprovechada a través del tren de recuperación de potencia instalado en la unidad el cual está compuesto por un motor de arranque, un motor generador, un compresor axial y un turbo-expansor, el dimensionamiento del motor generador permite suministrar hasta el 70% de la potencia requerida del caso de diseño de la unidad y es necesaria la potencia recuperada por el turbo-expansor para alcanzar el 100% de la capacidad de la unidad y generar un ahorro en el consumo de energía eléctrica.

Se requiere ampliar la disponibilidad operativa del Turbo-expansor por lo tanto se requiere diseñar un sistema de limpieza en línea con vapor que permita retirar de manera efectiva los depósitos de finos de catalizador mediante termo siglos sin necesidad de suspender la carga la unidad y un sistema adición de químicos antes para mejorar la

capacidad de remoción de estos finos de catalizador mediante la técnica de inyección de abrasivo cascarilla de nuez. Los beneficios esperados al diseñar el montaje del sistema de limpieza del turbo-expansor es la generación de valor para la unidad de cracking, la organización y la reducción del riesgo de autodestrucción del Turbo-expansor por operar con valores elevados de vibración.

Formulación del Problema

En relación con lo anterior se plantea el siguiente interrogante como primordial asunto del ejercicio de investigación: ¿Cómo debe estar diseñado un sistema de limpieza mediante ciclos térmicos en línea al turbo-expansor de la U-002 para incrementar la disponibilidad operativa?

Justificación

La optimización de tiempo en los procesos productivos de la refinería de Cartagena incrementa la productividad y mejora la rentabilidad del proceso, por eso es necesario crear un sistema de limpieza en línea con vapor que permita retirar de manera efectiva los depósitos de finos de catalizador mediante termo siglos sin necesidad de suspender la carga la unidad y un sistema canción de químicos antes para mejorar la capacidad de remoción de estos finos de catalizador mediante la técnica de inyección de abrasivo cascarilla de nuez.

Se espera la reducción de los siguientes costos: Se elimina el lucro cesante ocasionado por quitar la carga a la unidad durante 4 días totales, cada tres meses, para un total de 16 días al año, teniendo en cuenta que el lucro cesante de la unidad es de aproximadamente US\$450.000 por día, esto significa una reducción de costos de US\$6.6 millones al año. (C. infante, ingeniería conceptual ciclos térmico, 2017)

Se elimina el costo que representa mantener la unidad a baja carga 22.000 barriles/día por efecto de ensuciamiento de la máquina, considerando que el factor de carga incremental es de US\$5 por barril y que por estacionalidad se maximizaría carga cuatro meses/año, la reducción de costos por este concepto sería de alrededor de US\$ 3 millones/año. (C. infante, ingeniería conceptual ciclos térmico, 2017)

Costo por mayor consumo de energía eléctrica -8.2 Mw y no disponibilidad de energía adicional por el turbo-expansor son US\$ 2.3 millones/año, en total el beneficio económico de esta iniciativa sería alrededor del orden de US\$ 11.9 millones/año.

Por consiguiente, la disponibilidad operativa de esta máquina genera un impacto significativo en el proceso, economía de la organización y recuperación energética bastante importante. Contribuyendo a la optimización de los recursos de la compañía, el estado y la naturaleza, minimizando impactos ambientales y aumentando los beneficios a la comunidad y nuestro grupo de interés empresarial. (C. infante, ingeniería conceptual ciclos térmico, 2017)

Objetivos

General

Diseñar un Sistema de limpieza en línea del Turbo-expansor de la unidad U-002 de la GRC, mediante la realización de ciclos térmicos con vapor de media presión para incrementar su disponibilidad operativa.

Específicos

Describir el actual sistema de limpieza en línea del turbo-expansor para identificar opciones de mejora

Identificar los componentes del sistema de limpieza considerando las limitaciones, recursos disponibles y viabilidad técnica.

Especificar los aspectos más relevantes y beneficios que aporta el proceso de limpieza en ciclo térmico a vapor del turbo-expansor.

Marco Referencial

Antecedentes

En búsqueda inicial de investigaciones sobre el tema de sistema de limpieza del turbo-expansor a través de ciclos térmicos, no se encontraron publicaciones similares, lo que ratifica un vacío existente en las investigaciones o proyecciones con soluciones ingenieriles sobre este tipo de equipos presentes en los procesos industriales.

Para garantizar el apartado de antecedentes en el proyecto se optó por hacer un rastreo de las investigaciones que hablan sobre el tema de optimización de procesos industriales para aumentar la rentabilidad, que sería el fin mismo de la investigación propuesta.

A nivel internacional

El trabajo titulado “Optimización de los procesos que se desarrollan en la empresa Sadinsa S.A.” presentado por (Ricaurte, 2014). **Objetivo:** Desarrollar un estudio que Brinda optimización de procesos a través de herramientas de mejora continua para completar la gestión de proyectos en la empresa Sadinsa S.A.

aspecto metodológico: la metodología desarrollada estuvo ordenada en 7 etapas que son: establecimiento de la situación actual de la empresa. Análisis cualitativo de la evaluación de resultados anteriores. Análisis cuantitativo de la evaluación de resultados anteriores, sugerencias de optimización, ejecución de propuestas de planeamiento. Introducir métodos para la evaluación del desempeño futuro. Informes y presentaciones de proyectos. Resultados: Un análisis preliminar de la situación de la empresa permitió reconocer las deficiencias planteadas por la empresa en las siguientes áreas **Resultados:** el

análisis inicial de la situación de la empresa permitió reconocer las deficiencias que presentaba la empresa en materia de procesos, como es el caso de los tiempos de cada actividad que eran muy elevados, los indicadores diseñados para evaluar no se estaban estudiando de manera objetiva. Se evidencio desorden en el inventario y las paradas técnicas que se generan gracias a las averías o por las necesidades de mantenimiento generaban mayores gastos y baja rentabilidad. Se desarrolló una propuesta que satisface las necesidades de la empresa y pone la prevención como principal pilar de la gestión para optimizar los procesos.

El trabajo titulado “Desarrollo de una herramienta computacional para el estudio y aprovechamiento energético mediante la aplicación de turbo-expansor en estaciones de regulación de presión de gas natural” desarrollado por (Rivero, 2016). **Objetivo:** Desplegar una herramienta computacional para la indagación del aprovechamiento energético mediante la aplicación de turbo-expansor, siendo Venezuela un país con grandes reservas de hidrocarburos. **Aspecto metodológico:** se llevó a cabo una investigación aplicada y documental ya que revisa los datos documentados sobre el sistema estudiado, este estudio tuvo una estructura por fases, la primera fase fue la determinación de valores de los parámetros de operación. La segunda fase fue la evaluación de los turbo-expansores y generadores de electricidad disponibles en la industria. la siguiente fue el desarrollo del sistema computacional. **Resultados:** se pudo establecer que la empresa estaba presentando perdidas en la gestión, y que el uso de una herramienta computacional podría mejorar esas cifras gracias al monitoreo en tiempo real. El desarrollo de la herramienta computacional pudo asegurar la integridad de los turbo-expansores dentro de la empresa porque registra

de manera constante el comportamiento de las variables que intervienen y esto ayudaba a establecer informes predictivos.

El trabajo titulado “Oportunidades de ahorro de energía en refinerías modernas” desarrollado por (Vázquez, 2017). **Objetivo:** identificar las oportunidades de ahorro de energía en los equipos que integran los diferentes procesos de refinación, así como las buenas prácticas y experiencias internacionales recomendadas para lograr mejorar la eficiencia en el uso de la energía. **Aspecto metodológico:** una investigación mixta en la que a través de técnicas cualitativas y cuantitativas se pudo establecer el estado de los equipos y las oportunidades de mejora dentro del sistema. Se llevó a cabo un diagnóstico, se estableció una evaluación de la gestión y un plan de mejora. **Resultados obtenidos:** una propuesta de optimización que demanda personal experto pero que garantiza la rentabilidad de la empresa desde la gestión y productividad de cada uno de los equipos dentro del proceso productivo.

El trabajo titulado “Optimización de procesos en el área de producción de una empresa de confección textil, Lima, 2018” desarrollado por (Ticsihua, 2018). **Objetivo:** así mismo proponer la optimización del proceso productivo de una empresa de confección textilera con el propósito de mejorar la productividad. **Aspecto Metodológico:** germino una investigación holística tipo proyectiva realizada con un enfoque mixto que ayuda a tener una vista clara de la situación del proceso y la propuesta de mejora necesaria. **Resultados obtenidos:** se llevó a cabo un establecimiento inicial del estado de la empresa, encontrándose un sin número de oportunidades de mejora por abordar, la propuesta se estructuró para una aplicación basada en el ciclo PHVA. La misma se basó en la

optimización de procesos, por consiguiente, se realizó un estudio de la eficiencia y eficacia, por lo que la propuesta presentada tuvo como propósito determinar la distribución de la carga de trabajo en cada proceso y desarrollar un balance en la línea y el rediseño de los accesorios entre otras acciones.

A nivel nacional

El trabajo titulado “Propuesta de un modelo de optimización de recursos para mejorar la eficiencia en el proceso de transformación del plástico” desarrollado por (Herrera, 2017). **Objetivo:** se realizó un bosquejo sobre un modelo que permita optimizar recursos en el proceso de transformación del plástico utilizando técnicas de lean manufacturing. **Aspectos metodológicos:** una investigación descriptiva con un método basado en la descripción y comprobación teórica. Se llevó a cabo en las siguientes etapas: fase 1 entender la situación inicial, fase 2 carear las estrategias, fase 3 proponer el modelo de optimización. **Resultados obtenidos:** en la primera fase se logró establecer el estado de la empresa, esta presentaba debilidades a nivel de procesos, se encontraron gastos elevados en materiales y periodos de tiempo de espera demasiado largos. En general los técnicos contaban con el conocimiento y experiencia para operar en el proceso, sin embargo, se evidenciaron errores de tipo humano. La propuesta diseñada tuvo como primera etapa la reorganización de la empresa, luego la optimización de los desperdicios, La detección de errores y finalmente la mejora continua.

El trabajo titulado “Optimización de la rentabilidad del proceso de producción de molturación de trigo” desarrollado por (G, 2019). **Objetivo:** valorar la viabilidad de aminorar costos y gastos en los procesos de producción de molturación o molienda de trigo que conllevan a optimizar la rentabilidad del negocio y así la competitividad y

sostenibilidad de este. **Aspectos metodológicos:** se desarrolló una investigación deductiva en la que se analizaron diferentes costos que componen la configuración del proceso productivo para establecer la influencia de estos en la rentabilidad del negocio. Resultados obtenidos: esta investigación se enfocó en los costos de la producción y el proceso en general, identificando rubros que pueden ser mejorados como es el caso del costo de los sistemas de mantenimiento y limpieza ya que estos requieren una prioridad establecida por el fabricante pero que puede poner en riesgo la rentabilidad de la empresa.

Marco Teórico

El cracking en la industria petroquímica

La presente investigación se basa en la propuesta de un nuevo sistema de limpieza del turbo-expansor de la Refinería de Cartagena, por ello, se considera como principal aporte al marco teórico una explicación breve del proceso en el que este equipo interviene dentro de la empresa.

Los procesos donde se evidencia calor y presión, y que sirven para hacer una transformación a los hidrocarburos caracterizados por tener un nivel alto de peso y un elevado punto de ebullición, ocasionando que los hidrocarburos de una gran cantidad de átomos de carbono rompan la cadena y forma hidrocarburos de pocos átomos y no constituyentes de naftas (Lin, 2012).

Dentro de los tipos de cracking se reconoce el craqueo térmico, que se define como pirolisis a presión, que busca un desarrollo en el aumento del rendimiento de la destilación. No obstante, la eficacia del proceso era limitada porque debido a las elevadas temperaturas y presiones, se sedimenta una gran cantidad de coque (combustible sólido y poroso) en los

reactores. Esto, a su vez, exigía emplear temperaturas y presiones aún más altas para craquear el crudo (Biswas & Maxwell, 1990).

Por otro lado, se tiene el cracking catalítico que es el que se realiza en la empresa objeto de estudio, en este se logra refinar el hidrocarburo que se basa en la transformación de los componentes del crudo en presencia de un catalizador para lo que se espera craquear hidrocarburos con punto de ebullición cerca de los 315° centígrados. El cracking catalítico produce gasolinas con un buen número de óptanos. (O'Connor, 2007).

El departamento de cracking en la refinería se encuentra estructurada por las siguientes secciones:

- Sección de carga, en esta se da la homogenización de la carga, precalentamiento de la carga, atomización de la carga, procesamiento de nafta, características de la carga, fenómenos de corrosión esperados.
- Sección catalítica, en esta se encuentra el elevador de reactor, el reactor, cámara plena del reactor, despojador del reactor, bajante catalizador gastado, regenerador, cámara plena de regenerador, bajante de catalizador regenerado, sistema de almacenamiento y distribución del condensado.
- Sección de recuperación energética: recuperación mecánica, recuperación térmica.
- Sección de fraccionamiento en esta se da la corriente de fondo, corriente lateral inferior, corriente lateral media, corriente lateral superior, corriente de cima.
- Sección de comprensión: aquí se da la sección de recuperación de vapores. Absolvedora primeria y esponja, despojadora, debutanizadora.

El funcionamiento del turbo expander

El proceso del craqueo catalítico fluidizado tiene como sub-producto el coque, el cual es depositado sobre la Superficie del catalizador. El proceso de craqueo no podría ser sostenible a menos que el catalizador sea regenerado. La regeneración ocurre en la parte inferior del regenerador y consiste en una quema controlada del coque con aire caliente proveniente desde el compresor axial.

El turbo expansor tiene dos partes principales: una parte es llamada carcasa exterior, la cual contiene los gases de combustión, y la otra parte es llamada rotor de expansión, conformada por alabes fijos y alabes móviles, que "capturan" los gases de combustión a medida que estos pasan por esta sección. El gas de combustión ejerce presión sobre el rotor de expansión, permitiendo que este gire. Después de hacer girar el rotor de expansión, los gases de combustión salen a través de un orificio de escape, con una temperatura y presión mucho menor que los valores de temperatura y presión con los cuales entraron al turbo expansor.

La energía cinética presente en los gases de combustión permite que esta se transforme en energía mecánica e impulsar el compresor axial de aire y convertir el exceso de potencia en energía eléctrica a través de un motor-generador.

Marco Conceptual

Cracking: Ruptura de moléculas grandes de HC a molécula pequeñas de HC.
Ejemplo: C10 se craquea en C6 y C4

Craqueo Catalítico Fluidizado: Un proceso catalítico ampliamente utilizado en el cual el aceite es craqueado en presencia de partículas micro esféricas de catalizador las cuales son mantenidas en estado fluidizado en el reactor por los vapores de aceite. El craqueo ocurre a 460-530°C (860-985°F) y la regeneración a 590-760°C (1100- 1400°F). Varios procesos comerciales y diseño de equipos se utilizan en el craqueo catalítico fluidizado de aceite.

Catalizador Fresco: por lo que se refiere al catalizador sin usar tal como es fabricado por el suministrador. Las propiedades del catalizador fresco son un factor clave en la determinación de los rendimientos y calidades del producto que la FCC puede lograr.

Distribución de Tamaño de Partícula La distribución de tamaños de partícula que necesita un catalizador en equilibrio FCC para mantenerse en un intervalo óptimo; partículas demasiado pequeñas conducen a altas pérdidas de catalizador, mientras que partículas demasiado grandes conducen a una fluidización pobre.

Catalizador Gastado Es el catalizador coquizado sin regenerar que sale del reactor.

Catalizador en Equilibrio regenerado: Es el término dado al catalizador circulante en una unidad FCC. Es una mezcla de catalizador fresco y regenerado. Sus propiedades se mantienen por la adición de catalizador fresco al inventario y retiro del catalizador viejo.

Ciclones Aparatos mecánicos que separan por fuerza centrífuga el catalizador entrante del flujo de gas en el regenerador y el desenganche de los vapores de hidrocarburo en el reactor. Algunos diseños usan también pareja de ciclones acoplados en los elevadores de salida para un rápido desenganche del catalizador, del vapor de aceite para minimizar cualquier reacción secundaria de craqueo. La erosión de los ciclones es un factor limitante

para FCC entre reparaciones. Las velocidades de entrada están limitadas a 65 ft/sec (20 m/sec) para prevenir agujeros prematuros, logrando al mismo tiempo máxima eficiencia en la separación.

Gas de Combustión: En general es el gas resultante de la combustión descargado a la chimenea. En FCC, es el gas resultante de la combustión del coque sobre el catalizador gastado en el regenerador.

Reactor: Es el equipo de proceso donde ocurre la reacción de craqueo.

Regenerador: Es el equipo de proceso donde ocurre la reacción de combustión, la cual permite quemar el coque adherido en el catalizador gastado, producto de la haber este reaccionado con la carga en el reactor.

Soplador de Aire: Es el equipo de proceso encargado de tomar aire de la atmosfera, elevar la presión de este mismo aire y enviarlo al regenerador, para con esta adición de aire poder regenerar el catalizador gastado.

Turbo expansor: Es el equipo de proceso, a través del cual se expande un gas a alta presión, alto flujo, para producir trabajo el cual nos permite impulsar un compresor axial.

Ciclo Térmico: Es una técnica secuencial comandada por el operador a través de una HMI, en la cual se utiliza vapor de media presión con la finalidad de bajar 600°f en la entrada del turbo-expansor y así poder retirar los depósitos de catalizador de las partes fijas y móviles del turbo-expansor mediante cambio de temperatura (enfriamiento).

Marco Geográfico (Si aplica)

El trabajo de investigación se localiza en Cartagena de Indias Capital del departamento de Bolívar, localizada en el norte del departamento de Bolívar sobre la orilla

del Mar Caribe. Se encuentra a 10° 25' 30" latitud norte y 075° 32' 25" de longitud oeste respecto al Meridiano de Greenwich, limita al oriente con los municipios de Santa Catalina, Clemencia, Santa Rosa, Turbaco y Turbana; al norte y al occidente con el mar Caribe; y al sur con el municipio de Arjona. La ciudad posee un clima semiárido cálido, su actividad más importante es el Comercio, el turismo, la actividad portuaria y logística.

La Refinería de Cartagena S.A.S. sitio de estudio es el complejo industrial más grande del Caribe colombiano y la séptima empresa más grande del país. Está ubicada en la actual zona industrial de Cartagena, se estableció en 1957 en el área de Mamonal, punto estratégico que le permite el acceso al Océano Atlántico, al igual que al interior de Colombia a través del Río Magdalena por el dique y los oleoductos existentes. La Refinería tiene acceso a un terminal con dos muelles que pueden recibir buques de hasta 85.000 toneladas de peso muerto.

Refinería de Cartagena SAS es aliada del empleo regional (Caribe), más de 3.500 personas trabajan en la refinería, en su gran mayoría cartageneros. Por su parte el clúster Petroquímico genera cerca de 12.000 empleos en el Distrito según, Datos CEDEC – Cámara de Comercio de Cartagena).¹

Marco Legal

Desde la Constitución política de 1991, se infiere que el medio ambiente es protegido otorgándole la calidad de derecho fundamental y además una relación directa

con el ser humano. En este sentido, es importante tener en cuenta, que esta discusión trae inmersos dos derechos fundamentales como lo son el de la salud y la vida. Además, la norma establece otra serie de connotaciones que son determinantes para su regulación e implementación, por ejemplo, que el Estado es libre de usar su suelo y subsuelo de acuerdo a sus necesidades pero que estas deben responder a unas instancias legales que le garanticen desarrollo, económico al país y que no transgredan las normas internacionales de protección ambiental. (Constitucion politica Colombiana, 1991).

No ha sido una tarea fácil regular el tratamiento, explotación y extracción de los hidrocarburos no convencionales, como se analizará desde la promulgación de la Ley del 99 de 1993, reglamentado por el antiguo Decreto 1753 de 1994, el Decreto 1728 de 2002, el Decreto 2820 de 2010, modificado por el Decreto 2041 de 2014, se ha buscado regular la licencia ambiental como mecanismo de control de todos aquellos proyectos de gran magnitud e impacto ambiental, esta entendida como aquella la autorización que otorga la autoridad ambiental competente para la ejecución de un proyecto, obra o actividad, que de acuerdo con la ley y los reglamentos, pueda producir deterioro grave a los recursos naturales renovables/o al medio ambiente, o introducir modificaciones considerables o notorias al paisaje; la cual sujeta al beneficiario de esta, al cumplimiento de los requisitos, términos, condiciones y obligaciones que la misma establezca en relación con la prevención, mitigación, corrección, compensación y manejo de los efectos ambientales del proyecto, obra o actividad autorizada.¹

¹ Secuencia tomada de: Presidencia de la República de Colombia. (15 de octubre 2014) —Por el cual se reglamenta el

Artículo 9o. Del Nivel Normal De Concentraciones Contaminantes. Se considerará nivel normal de concentración de contaminantes en un lugar dado, el grado de concentración de contaminantes que no exceda los máximos establecidos para el nivel de inmisión o norma de calidad del aire. El nivel normal será variable según las condiciones de referencia del lugar.

El nivel normal será el grado deseable de calidad atmosférica y se tendrá como nivel de referencia para la adopción de medidas de reducción, corrección o mitigación de los impactos ambientales ocasionados por los fenómenos de contaminación atmosférica.

Artículo 10. De los niveles de prevención, alerta y emergencia por contaminación del aire. Los niveles de prevención, alerta y emergencia son estados excepcionales de alarma que deberán ser declarados por las autoridades ambientales competentes ante la ocurrencia de episodios que incrementan la concentración y el tiempo de duración de la contaminación atmosférica. La declaratoria de cada nivel se hará, en los casos y dentro de las condiciones previstas por este decreto, mediante resolución que, además de ser

Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales". Decreto 2041 de 2014.: "Artículo 3°.

Concepto y

alcance de la licencia ambiental. La licencia ambiental, es la autorización que otorga la autoridad ambiental competente para la ejecución de un proyecto, obra o actividad, que, de acuerdo con la ley y los reglamentos, pueda producir deterioro grave a los recursos naturales renovables/o al medio ambiente, o introducir modificaciones considerables o notorias al paisaje; la cual sujeta al beneficiario de esta, al cumplimiento de los requisitos, términos, condiciones y obligaciones que la misma establezca en relación con la prevención, mitigación, corrección, compensación y manejo de los efectos ambientales del proyecto, obra o actividad autorizada."

2 Al respecto véase artículo de prensa en la revista de PORTAFOLIO, sección de economía de fecha 24 de enero de

2017, artículo disponible en línea: <http://www.portafolio.co/economia/colombia-esta-cerca-de-implementar-el-usodel-fracking-para-producir-crudo-502958>. Documento revisado el día 5 de enero de 2017.

notificada en la forma prevista por el Código de lo Contencioso administrativo y la Ley 99 de 1993 para los actos administrativos de alcance general, será ampliamente difundida para conocimiento de la opinión pública y en especial de la población expuesta. (Oficial)

Diseño Metodológico

Tipo y Enfoques de Investigación

Para el presente proyecto se aplicó la investigación aplicada ya que no se queda en la simple descripción del problema estudiado, sino que aplica soluciones al respecto a través del diseño del sistema de limpieza en línea con vapor que permita retirar de manera efectiva los depósitos de finos de catalizador mediante termo siglos (Arias, 2012).

El método para desarrollar es lógico inductivo que permite a través de la particularidad de los casos que se estudian llegar a conclusiones y conocimientos generales que pueden ser aplicados a cualquier tipo de industria en la que el turbo-expansor esté presente.

Variables de Medición

Tabla 1.
Variables de investigación

<i>Variables dependientes</i>	<i>Variables independientes</i>
Hombre	Capacitación
	Trabajo manual en obras
Maquina	Método de Cargue
	Proceso de limpieza
	Sistema de alimentación
	Desgaste
Entorno	Modificación
	Control del proceso
Método	Ciclos térmicos
	Energía

Nota: Variables que ayudan a establecer el impacto del sistema de limpieza que se propone.
Fuente: de construcción propia.

Recolección y Análisis de Datos

Observación: esta técnica (Arias, 2012) ha detectado una muy baja eficiencia en el separador de finos de catalizador, lo que ha ocasionado el arrastre de este material sólido hacia el turbo-expansor con frecuente ensuciamiento de esta máquina fundamental, en el

esquema de operación de la unidad, lo observado se registró a través de un cuaderno de campo y se hicieron fotografías para conservar la memoria del proceso.

Unidad de Estudio o Muestra

El estudio se llevará a cabo sobre el sistema de limpieza del turbo-expansor disponible en la Refinería de Cartagena.

Fases y Actividades Metodológicas

La investigación se encuentra estructurada por 3 fases que son:

Fase 1. Describir el actual sistema de limpieza en línea del turbo-expansor para identificar opciones de mejora. En esta se llevará a cabo la observación directa y revisión documental para establecer las características del actual sistema de limpieza en harás de identificar oportunidades de mejora, forma de operación e identificación de la necesidad del cambio.

Fase 2. Identificar los componentes del sistema de limpieza considerando las limitaciones, recursos disponibles y viabilidad técnica. en esta se presentará el diseño de un nuevo sistema de limpieza basado en los ciclos térmicos y que ayudan a la mejora de las debilidades del sistema actual.

Fase 3. Especificar los aspectos más relevantes y beneficios que trae consigo proceso de limpieza térmico en línea a vapor del turbo-expansor En esta fase se establecerá los aspectos a tener en cuenta la mejora continua del proceso de limpieza, y por medio de este el crecimiento de la productividad

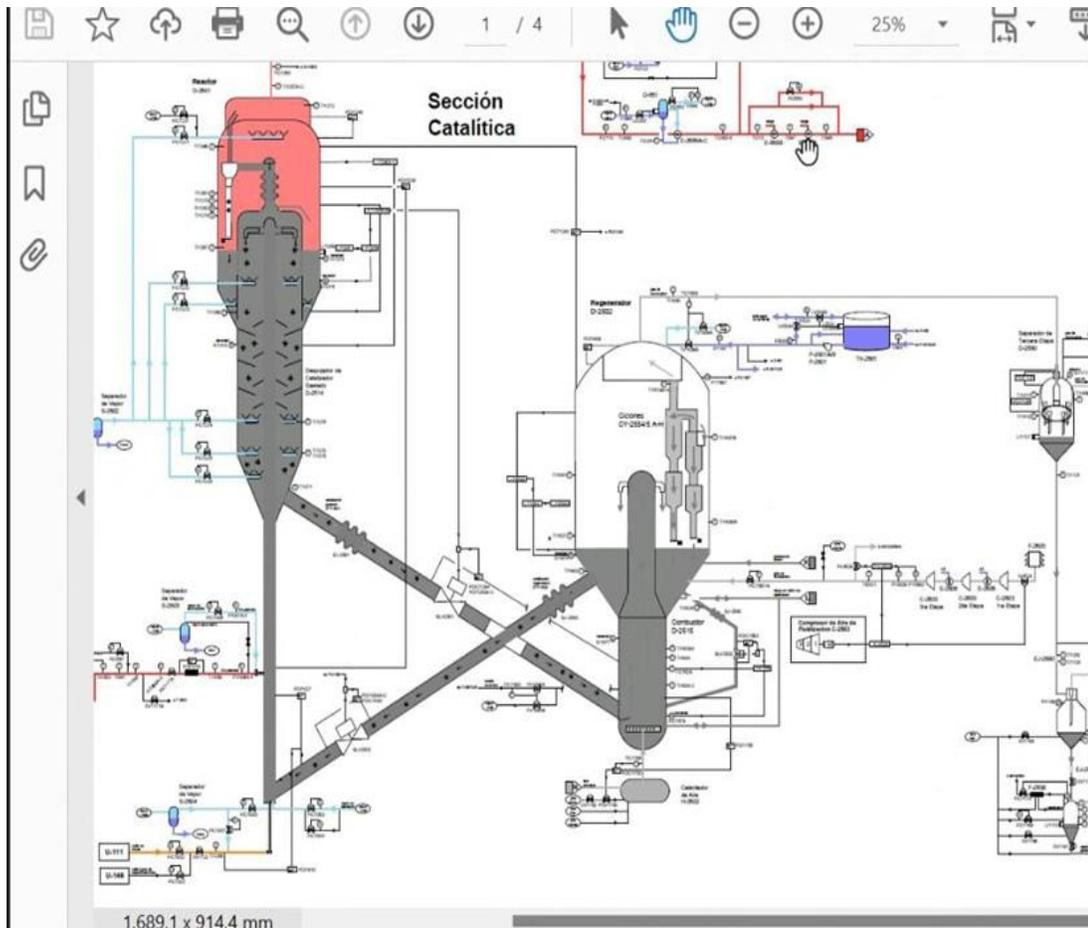
Descripción el actual sistema de limpieza en línea del turbo-expansor para identificar opciones de mejora

En la actualidad La Unidad de Cracking Catalítico de la Refinería de Cartagena está diseñada para una carga total de 40,000 BPSD, de los cuales 35,000 BPSD son Gasóleos y 5,000 BPSD Nafta de Coker al Riser. Desde su arranque inicial en febrero de 2016 en el sistema de Gases de Cima del Regenerador (Flue Gas System) se ha detectado una muy baja eficiencia en el separador de finos de catalizador FC-D-2550 (Third Stage Separador), lo que ha ocasionado el arrastre de este material solido hacia el Turbo Expander FC-TEX-2553, con frecuente ensuciamiento de esta máquina fundamental en el esquema de operación de la Unidad. Como resultado de lo anterior se presenta a continuación la descripción de actual del sistema, características, forma de operación e identificación de la necesidad del cambio, el cual se estudiará con un análisis de campo ya que nos permite obtener datos de la realidad y estudiarlo para así proceder acudir a un plan de mejora, a continuación.

La unidad de craqueo catalítico está compuesta de cuatro secciones la sección de recuperación de producto liviano (VRU) la función de la unidad es recuperar en máximo de productos valiosos como el C3 y c4 como carga a la unidad de tratamiento de glp menos el gas combustible despojado del h2s continúa hacia el sistema de gas combustible los gases y el destilado de baja presión provenientes de la unidad de ruptura catalítica se envían a un proceso de absorción es donde se obtiene una gasolina liviana mezclada con C3 y c4

finalmente esta gasolina se destila para obtener una corriente rica en propano butano y olefinas Llevan como carga a la unidad de tratamiento de glp - Merox.

Imagen 1 Sección catalítica



Fuente: (Reficar, 2016)

La unidad de tratamiento de glp - meros la función principal de esta unidad es de cargar el c3 y c4 a la sección de tratamiento de mero en la cual se le retiran los contaminantes como el h2s y los mercaptanos y los sulfuro de carbonilo luego pasa a la unidad de concentración de propileno desde la cual sale por lástima la carga hacia la unidad

de propílico, es decir, esencia hoy en día y por los fondos la carga hacia la unidad de isomerización de butano y luego a la unidad de alquilación para formar una nafta de alto octanaje alquilado.

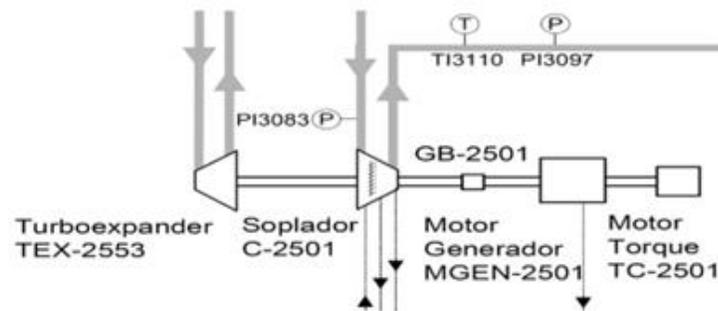
La planta de regeneración de amina: esta unidad tiene la función de tomar la corriente desde a rica y despojar la del gas agrio H_2S esta operación se hace por medio de un compuesto llamado dietanolamina de a el cual tiene la propiedad de atrapar el H_2S cuando está frío y liberarlo cuando se calienta el H_2S liberados se envía a la unidad de recuperación de azufre.

La sección catalítica describe el suministro de la carga a la unidad, la homogenización de las cargas, el precalentamiento de dichas cargas y la atomización de la carga en el Reactor.

La sección de recuperación energética trata los siguientes temas: la recuperación mecánica que describe la recuperación de energía mecánica mediante el flujo de los gases de combustión a través de estudios panzón y la recuperación térmica recuperas explica la recuperación de calor para generar vapor de alta y de media presión gracias al aprovechamiento energético que lleva la corriente de gases de combustión.

El turbo-expansor está dimensionado para 88000 SCFM. Las condiciones de diseño a la entrada son 60 psig a 1425 °F. Las condiciones operacionales a la entrada son 37 psig y 1327°F, y las condiciones a las salidas son 1.3 psig y 1001°F.

Imagine 2 Turbo Expansor



Fuente: (Reficar, 2016)

Durante la operación normal, se tienden a adherir a la superficie de los alabes del turbo-expansor u otros internos partículas de la corriente de gases de combustión, ocasionando pérdida de rendimiento y generando problemas de vibración excesiva. Para contrarrestar esto, se incluyó un sistema de adición de cascara de nueces para limpieza en línea de los sólidos que se encuentra ubicado aguas debajo de la válvula de entrada al turbo-expansor. El sistema consiste en un pote en cual se agregan las cascara de nueces hacia la tolva de adición de cascara de nueces, la tolva se presiona con nitrógeno y posteriormente se abre manualmente la válvula de globo a salida de la tolva para enviar las cascara de nuez hacia la línea de succión del turbo-expansor.

El Turbo expansor en su diseño y operación diaria normal contempla un esquema de limpieza que consiste en la adición de un químico anti incrustante de finos de catalizador al rotor del turbo-expansor, el cual se llama Turbo Mor, viene en contenedores IBC de 1000 litros.

Turbo mor ha estado proporcionando servicios de limpieza en línea para Turbo expansores de gases de combustión durante 18 años. Turbo-mor se inyecta en línea, aguas

arriba del turbo-expansor durante el funcionamiento normal, el cual penetra, afloja y desintegra el depósito del catalizador. Además, Turbo-mor protege la superficie de la corrosión y evita la acumulación de nuevos depósitos de catalizador. Al evitar la acumulación de depósitos, Turbo-mor evita; la degradación de la energía, vibración, roce de los alabes móviles del rotor con la carcasa del turbo y disparos de la planta no planificados, que terminan afectando la producción de la unidad.

A pesar de las limpiezas con agentes y cascara de nuez que se realizan una vez por turno y debido a la mayor carga de sólidos que llegan al turbo-expansor esta máquina rotativa viene perdiendo centricidad en su giro, ocasionando un incremento paulatino en su desplazamiento radia y finalmente la acción de corte y apagado de la máquina y de todo el tren de cima del regenerador incluido el sopladors de aire principal del regenerador incluido el soplador de aire principal sacando de servicio toda la unidad U002.

Diariamente se están adicionando 90 litros de Turbo-mor, en tres tandas de 30 litros. El Turbo-mor es adicionado por el operador del área del tren de recuperación de potencia, el tiempo empleado en cada adición es de 20 minutos, es decir diariamente en esa operación de adición del turno-mor se requiere 1 HR, la operación requiere 1 contenedor IBC con turbo-mor cada 9-10 días. Un contenedor IBC con Turbo-mor tiene un costo de aproximadamente 60 millones pesos.

Actualmente sucede que la adición del Turbo-mor como esquema de limpieza no ha sido eficiente, situación que conlleva a que cada tres meses la unidad de ruptura catalítica tenga que bajar carga, y ser apagada para desprender los filos de catalizador adheridos al rotor del turbo-expansor por el método de enfrentamiento de las partes

metalúrgicas, empleando este método de enfriamiento se alcanza a desprender esos finos de catalizador adheridos al rotor y alabes de la turbo máquina. Esta situación se da cada tres meses, es decir cada tres meses nos toca parar la planta por 4 días. El lucro cesante de la unidad de ruptura catalítica tiene un valor de 600,000 dólares diario, como toca realizar la apagada de la unidad cuatro días, cada tres meses se habla de 16 días al año de lucro cesante es decir al año son 9.6 millones de dólares.

Por lo anterior se identificó la necesidad de adquirir un Sistema de Limpieza en Línea con vapor que permita retirar de manera efectiva los depósitos de catalizador mediante termociclos sin necesidad de suspender la carga a la unidad e instalar un sistema de adición de químico anti-incrustante para mejorar la capacidad de remoción de catalizador ya que este es un aspecto fundamental de la operación, es un sólido el cual circula entre el Reactor y el Regenerador fluidizado en aire o vapor. Del lado del regenerador hay provista una tecnología de separación de sólidos (ciclones) para minimizar las emisiones de material particulado hacia el turbo expansor donde retira la energía disponible en el gas, tratando de minimizar el tiempo de corrida que es impactado por la deposición progresiva del sólido en las partes fijas y rotativas de la máquina para así obtener la mejora continua del proceso a comparación de la técnica de inyección de abrasivo (cascarilla de Nuez) que posee actualmente la unidad.

Este sistema de limpieza tendrá el mejoramiento continuo de los procesos de costo, mantenimiento y producción de la unidad de craqueo de catalizador, cumpliendo así con el objetivo de disminuir los tiempos de mantenimiento y aumento de la productividad.

Identificación de los componentes del sistema de limpieza considerando las limitaciones, recursos disponibles y viabilidad técnica.

Mantener las máquinas limpias y en buenas condiciones mejora el trabajo, se gana en seguridad y calidad, aumenta y reduce los posibles costes de obras o desperfectos por falta de mantenimiento. Se busca la factibilidad en los estudios de apoyo del proyecto para la toma de decisiones, entre ellos el estudio del entorno, análisis estratégico, estudio técnico, organizacional, legal y financiero que permita a la unidad de craqueo de catalizador de la refinería de Cartagena un sistema de limpieza que optimice los recursos y tiempos de producción. Para este objetivo se identifican los componentes de limpieza y se establece un sistema de limpieza en línea con ciclos térmicos a vapor y un sistema de inyección de químico anti-incrustante. Para la realización de este se ejecutará 43.000 Lb/h debido a que es una curva de enfriamiento de los gases de combustión admitidos por el turbo-expansor. El diseño detallado de la boquilla de inyección de vapor al ducto principal del Turbo-Expansor, será suministrado por Dresser Rand (Siemens). Se contará con una estación de control de temperatura regulando el flujo de vapor de inyección.

Inyección de Químico Anti- incrustante será de 6 L/min durante 17 minutos, frecuencia de inyección esperada 1 vez al día, el procedimiento de cálculo de la frecuencia y dosificación del Químico de acuerdo a las condiciones operacionales, será suministrado por Dresser Rand (Siemens). De lo anterior se espera la carga Total del turbo expansor y la unidad a las condiciones de diseño y obtener una máxima recuperación en la

productividad, teniendo en cuenta los recursos disponibles, las limitaciones y la viabilidad técnica. igualmente administrar el ciclo de vida de sus activos a través de su mantenimiento oportuno, la visión cíclica de la demanda y la optimización de los niveles de riesgo para lograr la maximización de producción y disponibilidad.

La ejecución de este ciclo de limpieza térmica en línea se manejará en tres fases:

Fase 1: En esta fase se contempla las líneas que llegan a los skids a suministrarse por Dresser Rand (Siemens) Se realizará con la unidad en operación antes de la parada de planta.

Fase 2: En esta fase se contempla las conexiones de proceso a los skids y todo el alcance relacionado con instrumentación y control.

Fase 3: Esta fase contempla los tiempos de parada de planta necesarios para la terminación mecánica.

Descripción del ciclo térmico en línea

Antes de comenzar a hablar de ciclo térmico en línea se debe cumplir con las siguientes condiciones:

- Expansor en operación
- Válvulas de aislamiento de 10" de inyección de vapor Quench cerradas
- Controladores de válvula de expansión en automático
- Transmisores sin falla
- Ciclo de limpieza térmica por fuera de operación

Tabla 2 Secuencia de ciclo térmico en línea

ITEM	ACCION	CONDICION
1	<p>1) Energizar la válvula solenoide de vapor de calentamiento XY-3039.</p> <p>2) Abrir la válvula de suministro del vapor quench TV-3063</p> <p>3) Rampa descendente de la válvula de ingreso al expansor tipo Clamp al 5%.</p>	Secuencia de inicio desde la HMI
2	<p>1) válvula solenoide de ventilación de vapor de calentamiento. Cierre de TV-3039</p> <p>2) Cerrar la válvula de suministro del vapor de quench al expander.TV-3063</p>	<p>1)Temperatura del vapor > Temperatura sobrecalentado</p> <p>2) Presión del vapor > 140 psig</p>
3	<p>1) Habilitar el lazo de control de temperatura de vapor de quench</p> <p>2) Habilitar el punto de ajuste de vibración elevado (activación de la alarma)</p> <p>3) Inicio del punto de ajuste por rampa descendente del control de temperatura del vapor de quench.</p>	<p>1) Válvulas abiertas de inyección del vapor de quench 10". (Confirmación desde la HMI)</p> <p>2) Valvula de entrada al expansor = 5%</p>
4	Válvula de cierre rápido en posición cerrada de entrada al expansor.	El punto de ajuste de temperatura para el vapor de

		quenched < Valor inicial – 50 °F
5	Rampa descendente de la válvula de ingreso al expansor tipo Clamp al 1%	El punto de ajuste de temperatura para el vapor de quenched < Valor inicial – 100 °F
6	1) Mantener el punto de ajuste constante del control de temperatura de vapor de quenched. 2) Inicio del temporizador del ciclo de limpieza térmica.	El punto de ajuste del control de temperatura de vapor de quenched < 625 °F
7	1) Inicio del punto de ajuste de control de temperatura de rampa ascendente para el vapor de quenched 2) Deshabilitar el punto de ajuste de vibración elevado	Vencimiento del temporizador del ciclo de limpieza térmica.
8	1) Rampa ascendente de la válvula clamp de ingreso al 100% 2) Apertura de la válvula de corte de entrada al expansor.	El punto de ajuste del control de temperatura de vapor de quenched > Valor inicial

Fuente: propia de los autores, construida en base a la información recopilada.

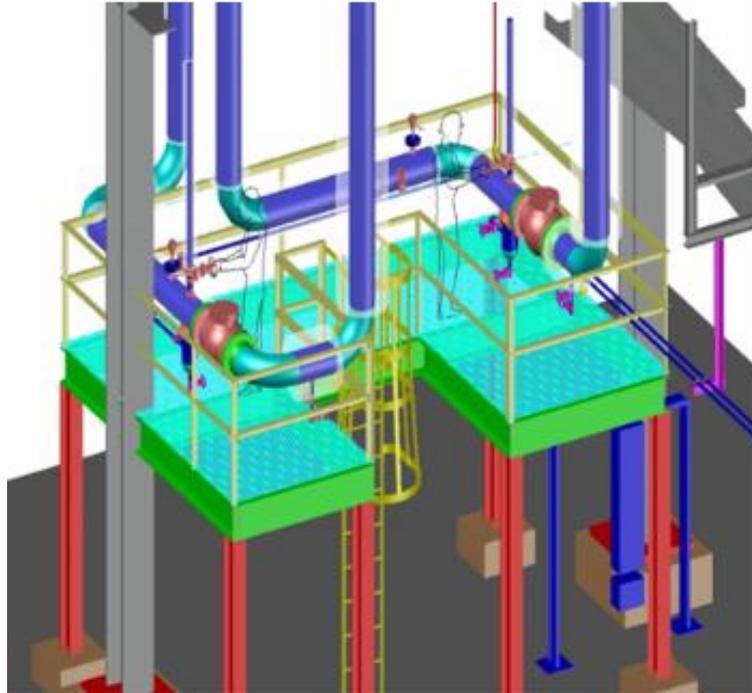
Cuando se inicia la secuencia, la salida de la válvula throttle de entrada al Expansor FGV-2501 es cerrada por una rampa habilitando la válvula Clamp de entrada al expansor cuyo valor inicial es la posición de la válvula al comienzo de la secuencia. La función de rampa y la salida de la válvula disminuyen lentamente a medida que los controladores de válvula del expansor permanecen en modo automático. De esta manera, las variables de proceso son mantenidas por PC-1607 y PDC-1240, mientras que la salida del expansor se reduce lentamente. Cuando la función de rampa alcanza el 5%, la salida por alta de la válvula Clamp se mantiene hasta que finaliza el ciclo de limpieza térmica.

- El secado de vapor de quench del ciclo de limpieza térmica debe realizarse antes de comenzar el ciclo, ya que la línea de vapor de quench debe calentarse a una condición de temperatura de sobrecalentamiento suficiente para garantizar que no lleve líquido condensado al expansor.
- La válvula de aislamiento de inyección de vapor de quench debe permanecer cerrada hasta que el vapor de quench se sobrecaliente.
- La válvula de purga de vapor de calentamiento de 2 "TV-3039 se abrirá con la solenoide XY-3039 comandada por el sistema de control cuando la presión de vapor de quench del expansor PT-3037 y su valor de temperatura TT-3039 están por debajo de la curva definida en la Tabla 1 y se cerrará cuando las condiciones están por encima de la curva (en la zona seca). Una vez que las condiciones de vapor son suficientemente sobrecalentadas como se define en la Tabla 1 y la presión del vapor está por encima de 140 psig, el PLC desactivará la válvula

solenoides de Venteo de vapor XY-3039 y cerrará la válvula de suministro de vapor de quench TV-3063 a su posición inicial (0% inicialmente).

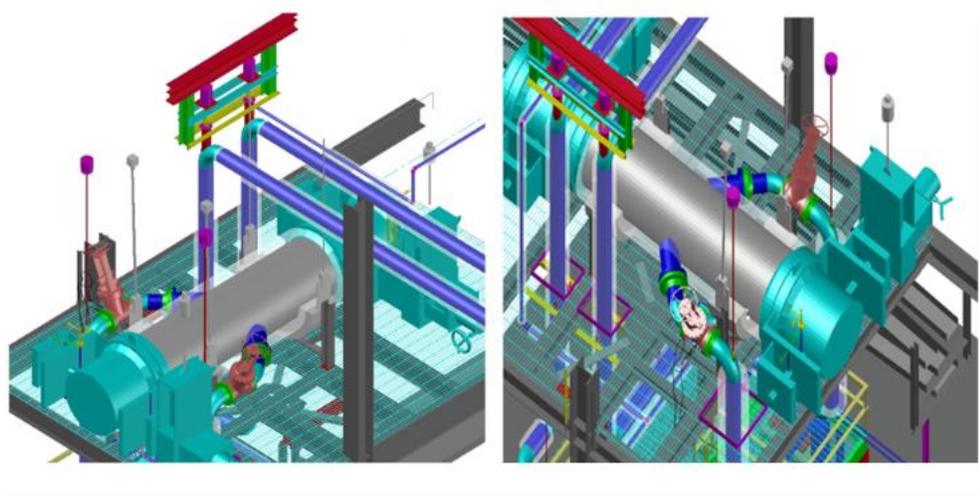
- Antes de que el punto de ajuste de rampa descendente del TIC-3064 si las condiciones de temperatura/presión caen por debajo del requerimiento de sobrecalentamiento, se iniciará el temporizador de vapor húmedo de ciclo térmico (15 minutos iniciales). Si se restablecen los requerimientos de sobrecalentamiento dentro del período de 15 minutos, el temporizador se reiniciará.
- Si transcurren los 15 minutos sin que se reestablezcan las condiciones de sobrecalentamiento, el ciclo se desactivará, se generara una alarma y el operador deberá cerrar la válvula de aislamiento de inyección de vapor de quench hasta que el ciclo vuelva a habilitarse.

Imagen 3 plataforma primer nivel con línea de vapor



Fuente: Los tres componentes principales de un sistema de distribución de vapor son: Los cabezales (Distribuidores de vapor), Las tuberías principales, y. Los ramales de vapor. Tomado de fuente propia

Imagen 4 plataforma segundo nivel con línea de vapor



Fuente: Autores; El flujo de vapor en un circuito es debido a la condensación del vapor, que provoca una caída de presión. Esto induce el flujo del vapor a través de las tuberías. El vapor generado en la caldera debe ser conducido a través de las tuberías hasta el punto en que se requiere esta energía calorífica.

Tabla 3 requisitos de sobrecalentamiento

Presion (psig)	Temperatura mínima de recalentamiento (°F)
0.0	232
15.6	270
35.6	300
85.3	349
135.1	379
184.9	403
234.7	421
285.9	437

Fuente: propia de los autores, construida en base a la información recopilada.

Cuando el vapor de quench del ciclo de limpieza térmico es secado completamente y el operador confirma que se ha abierto la válvula de aislamiento de inyección de vapor de quench y la válvula Clamp de entrada al expansor ha alcanzado su posición final, se

inicia el ciclo de limpieza térmica. La temperatura de escape del expansor será controlada por la válvula de control de vapor de quench del expansor TV-3063 usando el lazo de control PID TIC-3064. El punto de ajuste del TIC-3064 será el promedio de los TT-3063A/B y disminuirá en rampa descendente a una tasa de 75 ° F/H hasta que el punto de ajuste alcance un valor intermedio que esté 50 °F por debajo del valor inicial.

En ese punto, se cerrará la válvula de corte de entrada al expansor FGV-2504 y continuará la secuencia de reducción de la temperatura de escape.

Cuando el punto de referencia alcanza 100 ° F por debajo del valor inicial, la válvula Clamp de entrada al expansor se disminuirá aún más hasta el 1%.

La secuencia de reducción de temperatura de escape continuará hasta que el punto de ajuste alcance un valor final deseado de 625 ° F. El Temporizador de Ciclo Térmico (8 horas) se iniciará y el punto de ajuste de temperatura del TIC-3064 se mantendrá en un valor constante.

Una vez que el punto de ajuste del TIC-3064 comience a disminuir si las condiciones de vapor caen por debajo de la temperatura mínima de sobrecalentamiento definida en la Tabla 1, se emitirá una alarma, el punto de ajuste establecido en el TIC-3064 mantendrá su último valor y el operador deberá cerrar completamente la válvula de aislamiento de inyección de vapor de quench. La válvula de aislamiento de inyección de vapor de quench debe reabrirse después de que se restablezcan las condiciones de sobrecalentamiento.

Cuando se inicia el temporizador de ciclo térmico, se aumentarán los puntos de ajuste de la vibración del expansor. Se activa una alarma para alertar a los operadores de

que los puntos de ajuste de la vibración se han elevado temporalmente. El PLC ignorará la entrada discreta cableada XS-XXXX y en su lugar usará los valores obtenidos a través del enlace serial de comunicaciones Modbus para señales de vibración VXT-3212, VYT-3212, VXT-3205 y VYT-3205 para determinar si los niveles de vibración son mayores que el límite de apagado.

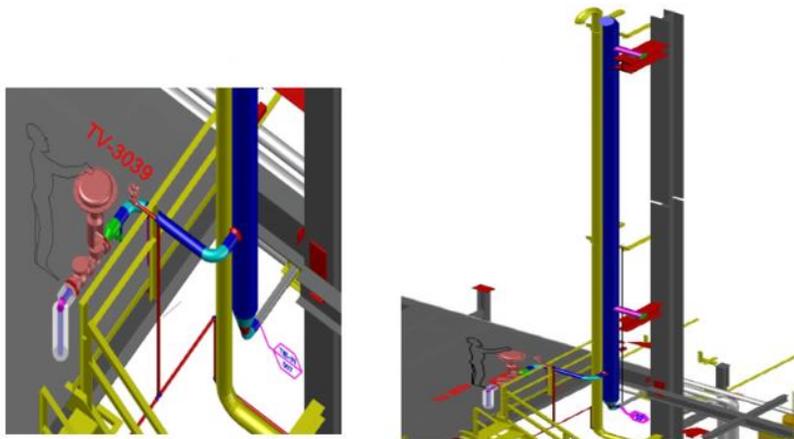
En caso de que el enlace Modbus falle, el PLC volverá a utilizar la entrada discreta XS-XXXX cableada para apagar la unidad. Cuando el Cronómetro de Ciclo Térmico expire, los puntos de ajuste de la vibración del expansor volverán a sus niveles normales. La alarma de vibración elevada y la configuración de disparo son:

- VXT / VYT-3212: alarma alta = 8.1 mils, disparo alto = 10 mils
- VXT / VYT-3205: Alarma alta = 3.6 mils, disparo alto = 4.5 milipulgadas

Cuando el Cronómetro de Ciclo Térmico expire, el punto de ajuste de temperatura del TIC-3064 se incrementará lentamente hasta que alcance el valor inicial del promedio del TT-3063A/B previamente capturado al comienzo de la secuencia. Luego, la válvula Calmp de entrada al expansor se elevará al 100% y se abrirá la válvula de cierre de la entrada al expansor FGV-2504. La secuencia se completa.

El operador puede cancelar el Ciclo de limpieza térmica a través de la HMI. Si el ciclo se cancela en cualquier momento, se reiniciará el temporizador del ciclo térmico y se cancelará la secuencia como se describe en el párrafo anterior. Del mismo modo, si todo el tren se apaga por alguna razón, la válvula de suministro de vapor de quench TV-3063 se cerrará forzosamente.

Imagen 5 disparó TV-3039 a la atmosfera



Fuente: Autores; (se da el llamado efecto invernadero, en el cual gran parte de esa energía saliente es capturada por la atmósfera y regresada a la superficie terrestre, proceso que modula la pérdida de calor).

Mientras la unidad está en funcionamiento, los operadores tienen la capacidad de habilitar un Ciclo de limpieza térmica en línea a través de la HMI durante la cual se utiliza vapor para disminuir la temperatura de entrada del expansor hasta un punto donde se eliminan los depósitos de catalizador.

Sabemos que puntualmente surge la necesidad de limpiar enérgicamente y en profundidad, por este motivo hay que implementar una limpieza óptima de forma ocasional, ya que es la solución para cubrir las necesidades de forma eficiente y reducir tiempo.

Aspectos y beneficios más relevantes que aporta el proceso de limpieza en ciclo térmico a vapor del turbo-expansor

Para esta fase se detalla con claridad las especificaciones de operación y control que se deben llevar en la unidad de cracking con el objetivo de llevar un mejoramiento continuo del proceso de limpieza, y por medio de este el crecimiento de la productividad.

Aspectos del sistema de limpieza en línea con ciclos térmicos

- El sistema de limpieza en línea con Vapor de 150 psig usa vapor sobrecalentado a 410 °F desde límite sur de la unidad con un flujo máximo 43.000 Lb/h. Los controles operativos al límite de batería de vapor serán como cualquier otro límite de batería de unidad. Esta línea se usará solo cuando se vaya a realizar el procedimiento al expansor, posteriormente debe energizarse con nitrógeno a
- través de la facilidad dejada en la válvula 002-TV-3063.
- La secuencia del ciclo térmico será según lo mostrado anteriormente, sin embargo, la decisión de iniciar será responsabilidad del soporte de confiabilidad rotativa ante variaciones en las vibraciones del TEX que permitan inferir que preventivamente es el mejor momento para iniciar la limpieza. Los valores de vibración o condiciones de la maquina en operación para tomar la decisión de iniciar el ciclo térmico deben ser avalados por SIEMENS para evitar realizar la

limpieza con altos depósitos que conlleven a altas vibraciones al momento de realizar el procedimiento en línea y activen los cortes de la máquina.

- Las trampas de vapor en la línea de vapor de 150 psig deben ser revisadas una vez puesta en servicio la línea y su bypass se debe usar para el calentamiento inicial sin alinear la trampa para evitar ensuciamiento en esa primera fase de la operación. El procedimiento de pre-comisionamiento de este sistema debe ser realizado por el equipo de ejecución y debe considerar los controles necesarios para evitar sólidos hacia el expansor una vez alineado el vapor con el equipo en servicio; controles similares de comisionado deben establecerse cada vez que la línea sea puesta en servicio a pesar que entre limpieza y limpieza se deje energizada con nitrógeno.
- En la puesta en servicio de la línea de vapor todos los puntos de drenaje deben ser habilitados y se debe forzar la TV-3063 y TV-3069 para abrir de forma gradual hasta calentar como mínimo a 400 °F la línea de vapor. El ciclo térmico puede generar en automático las condiciones de calentamiento restantes según su secuencia a partir de este punto.
- Es muy importante antes de abrir las válvulas de 10" de inyección de vapor al expansor que los dos drenajes entre estas válvulas y el cheque sea abierto hasta evidenciar que salga vapor seco y mantenerlo así hasta que se decida empezar con la secuencia de ciclo térmico y justo antes de abrir las válvulas 10" comprobando con el TT-3039 A/B que el valor es sobrecalentado con relación a la presión medida en los medidores PT-3037 A/B de cada línea de 10" . Una

vez dentro de la secuencia cuando se deba proceder con la apertura de las válvulas de 10" se debe asegurar cerrar ambos drenajes al alinear el vapor al expansor, pues cualquier retro flujo enviara gases de combustión a la atmosfera por estos drenajes.

- En todos momentos el venteo a la atmosfera de vapor por la TV-3039 durante el calentamiento debe asegurar que los drenajes aguas debajo de ¾" este abierto y habilitado el drenaje de 1" común con la TV-3226.

Aspectos importantes de sistema de limpieza de químico TURBO- MOR

- Este químico tiene como propósito este químico, ayudar a desprender los sólidos incrustados en el expansor de forma más fácil que con las cascaras de nueces y a su vez evitar que se depositen sólidos. Sin embargo, el ciclo térmico seguirá siendo necesario para desprender esos solidos que no pueden ser posible retirar por la limpieza convencional en operación.
- La Inyección de Químico Anti- incrustante se espera sea 6 L/min durante 17 minutos, 1 vez al día. Sin embargo, Siemens determinará si es necesario ya en operación una segunda inyección de químico y confirmará las cantidades de cada una de las inyecciones.
- La adición de cascaras de nueces pueden sufrir un cambio en secuencia con relación a la inyección del químico, esto debe ser confirmado con SIEMENS en la semana de condicionamiento del sistema.

- Es muy importante que mientras la boquilla de inyección retráctil esté operando insertada en el proceso, el aire de atomización, y de enfriamiento y el de purgas siempre estén habilitados para evitar afectación a los sellos, y a la boquilla en sí.
- El cambio de reservorio de químico de 1000 litros debe hacerse de forma que el tanque fijo de 1200 siempre mantenga un inventario de seguridad entre cambios. Un inventario de seguridad en bodega de 4 meses de operación mínimo es recomendado por la fabricación e importación del producto.
- Las bombas de doble diafragma deben ser ajustadas en su bombeo para conseguir los 6lt/min, usando el medidor de flujo en su descarga.
- Un análisis de riesgo debe hacerse para el manejo de carga cada vez que se retire o se traiga el tanque de 1000 litros pues puede tenerse afectación a personas por errores en el procedimiento.

Beneficios esperados con el sistema de limpieza de ciclo térmicos a vapor del turbo-expansor

Las actividades que aquí se describen son requeridas para eliminar los costos por lucro cesante debido al requerimiento de limpieza del Turbo-expansor para remover las partículas de catalizador que vienen siendo arrastradas con la corriente de Flue Gas desde el Separador de Tercera Etapa “TSS” FC-D-2550. La implementación de las facilidades abajo descritas permitirá realizar el Ciclo Térmico para limpieza de la Maquina en

operación y sin reducir la Carga a la Unidad. De esta forma se espera los siguientes beneficios:

- Eliminación de lucro cesante ocasionado por quitar carga a la unidad durante 4 días totales, cada 3 meses, para un total de 16 días al año, teniendo en cuenta que el lucro cesante de la U.002 es de Us\$400.00/día (refinería de Cartagena) esto significa una reducción de costos de MUS\$ 6.4/año
- Se eliminaría los costos de que representa mantener la unidad a baja carga por efecto de ensuciamiento de la máquina.
- La limpieza del ciclo térmico a vapor es sostenible y ecológica que garantiza un nivel de higiene y desinfección que con otros procedimientos de limpieza es difícil de obtener
- La limpieza y desinfección con vapor es compatible durante el ciclo de producción, por lo que la productividad es excelente y sin coste por inactividad. También cabe resaltar que, con una buena implementación de limpieza del ciclo térmico se reducen los problemas técnicos debido a la suciedad que se acumula en algunas zonas, especialmente en la industria.

Conclusiones

Las conclusiones a las cuales llegamos con la elaboración de este proyecto serán expuestas a continuación donde se expresan los resultados obtenidos:

Fue una experiencia muy enriquecedora a nivel personal ya que nos ayudó a introducirnos al mundo de la seguridad, higiene, y comprender la limpieza de almacenamiento de hidrocarburos.

Se comprobó que el turbo- expansor es un método el cual permite entregar la potencia que se necesita, para esto debemos basarnos en la investigación. Con la identificación del estado actual del proceso de producción del catalizador, áreas y procesos demostrados en los que se reconoce la criticidad y deficiencias en la limpieza y desinfección, además, diagnóstico de Zonas Inocuas para la identificación de fuentes de contaminación y demostrar la falta de procedimientos de limpieza y desinfección que cumplan del mismo modo, de acuerdo con la normativa vigente sobre la naturaleza de la sociedad, al definir las herramientas para el diseño de este programa, se concluyó que no se establecen planes técnicos y profesionales para llevar a cabo procesos y falta de material metodológico que ayude a mejorar cada proceso. También es cierto que la revisión literaria es muy buena. Apoyar el desarrollo de esta investigación e identificar herramientas utilizado a lo largo del proyecto.

Recomendaciones

- Se debe incluir en el plan de inspección y mantenimiento la boquilla de inyección de químico, las Bombas dosificadoras de químico y la nueva instrumentación asociada a esta iniciativa.
- Como mantenimiento de preservación, el sistema de vapor debe ser energizado con nitrógeno una vez culminada el ciclo térmico periódico. Para esto se debe inyectar nitrógeno por la facilidad dejada por esta iniciativa
- Elaborar una lista de chequeo para desarrollar el alistamiento del sistema para el ciclo térmico, el cual debe hacer parte del procesamiento de puesta en servicio
- Incluir dentro del plan de inspección de la planta la revisión detallada de la boquilla
- Se requiere un procedimiento detallado para la adición de químico para la puesta en servicio del sistema de inyección y adición
- Verificar durante el proceso de arranque el drenaje de las líneas. Dejar plasmado en el procedimiento de SAS para parada de la unidad

Lista de referencias

Elaboración de un plan de limpieza y desinfección en una industria quesera. (s. F.).

Recuperado 19 de octubre de 2022,

de http://coli.usal.es/web/demos/demo_appcc/limp_desinf/limp_desinf.html

Canabal marrugo, a. & vasquez castellanos, a. (s. F.). *Diseño de un sistema de inyección de catalizador merox para el tratamiento de nafta liviana y pesada en la planta de crudo de la refinería de cartagena s.a.* (rca). [tesis]. Universidad san buenaventura cartagena.

CALDERON GARCIA, Carlos Alberto. *Análisis Descriptivo Del Proceso Merox Para La Obtención de Gasolinas Desulfuradas En la Refinería Estatal de Esmeraldas.*

Quito Ecuador, 2010, 105p. (En línea). Disponible

en:http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/5842/1/42751_1.pdf

DEPARTAMENTO DE GESTIÓN INTEGRAL DE RIESGO OPERACIONAL. Manual de Procedimiento para el manejo seguro de sustancias químicas en refinería de Cartagena.

REFINERIA DE CARTAGENA S.A. *Manual de Operaciones Para las Unidades de Tratamiento de Naftas de la Unidad de Ruptura Catalítica.*

Project standard 166000-000-SP-PR07-0005/0014

Piping Material Class 1CG0T bajo documento No. 166000-000-SP-PI02-0158

Piping Material Class 3CB1S01 bajo documento No. 166000-000-SP-PI02-0037

Piping Material Class 1CB1S01 bajo documento No. 166000-000-SP-PI02-0157

Piping Material Class 1SD1S09 bajo documento No. 166000-000-SP-PI02-0031

Piping Material Class 3SC1S08 bajo documento No. 166000-000-SP-PI02-0199

Especificación para recubrimientos 166000-000-SP-MU10-0017

Inspección de juntas soldadas de tubería 000-SP-PI02-0227

ASME B31.3-2006

ASME B16.5-2003

Especificaciones Técnicas ECP-VST-P-MET-ET-007/008/0011/012.

Ortiz, M; y Vargas, A (2008). Validación de procesos de limpieza y programa HACCP en empresa productora de mantequilla Margarina y rellenos. (Tesis de pregrado).

(Tesis de pregrado). Recuperado

<https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/11043/Validaci>

[Pérez, D; y Vera, A \(2008\). Revisión y actualización del programa de limpieza y desinfección de AGLOPHARMA S.A. \(Tesis de pregrado\).](https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/11043/Validaci)

Anexos



Foto tomada el **17 de mayo**, máquina en servicio a 5500 rpm, vibración máxima en 0,75 mils, **27 días de operación del después del arranque (20/04/2016) por black out (18/04/2016) de la Refinería**, las raíces de álabes y el borde del shroud están libres de catalizador pero la superficie posterior de los álabes muestran depósitos mayores a los observados en la foto del 29 de marzo en las mismas condiciones (después del arranque por disparo del 21 de marzo), indicación de un posible mayor flujo de catalizador llegando al sistema.

Apertura de válvula de admisión: 5%

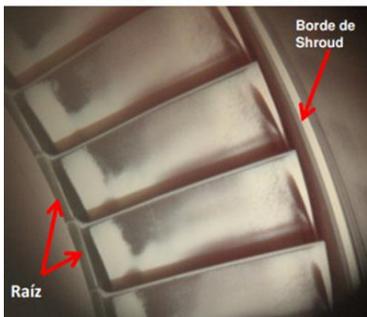


Foto tomada el **18 de abril**, máquina en servicio a 5500 rpm, vibración máxima en 0,91 mils, **horas antes de la apagada (black out) de la Refinería**, 17 días con equipo en modo by pass, se observa un aumento del catalizador en la superficie posterior de los álabes en comparación con la foto del 11 de abril en las mismas condiciones, las raíces de álabes y el borde del shroud están libres de depósitos.

Apertura de válvula de admisión: 5%



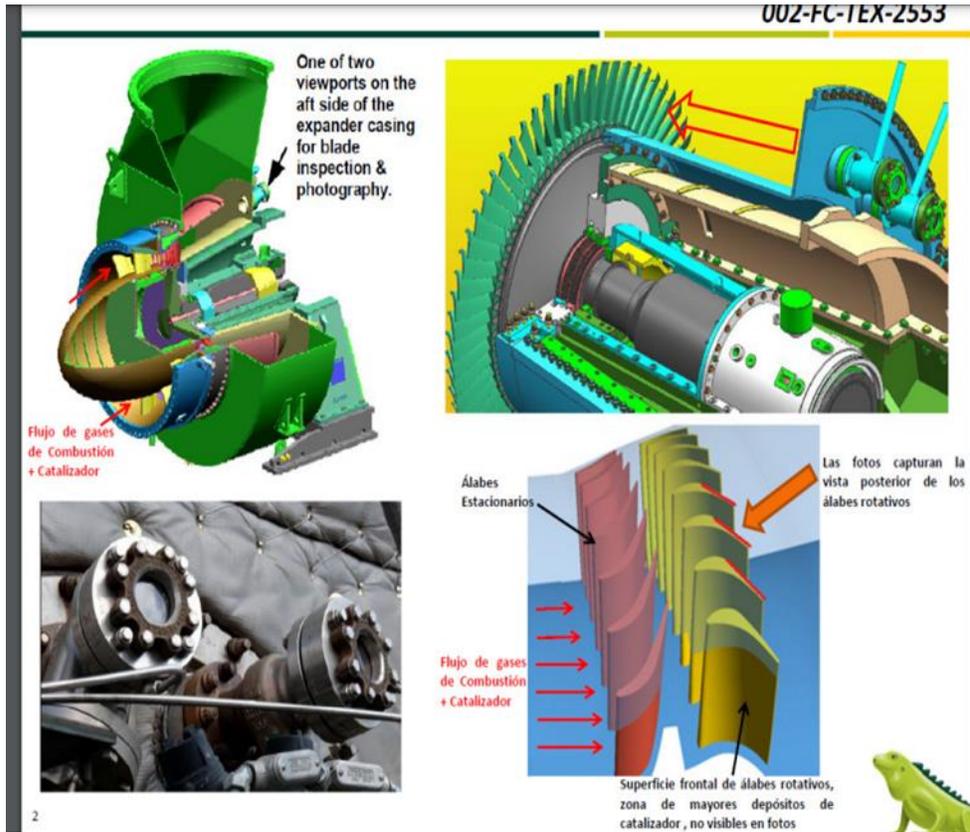


002-FC-TEX-2553



EQUIPO DE CAPTURA DE FOTOS A ALTA VELOCIDAD

- Cámara fotográfica Canon EOS Rebel 60D de 18MP con Objetivo EFS 18-135mm f/3,5-5,6 IS.
- Lámpara estroboscópica de alta potencia GenRad 1538-9701



Fuente: Reficar, 2016