

**OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE LAVADO DE GASES DE PROCESO
EN LAS UNIDADES CRACKING ORTHOFLOW Y MODELO IV PARA
DISMINUIR EL IMPACTO POR VERTIMIENTO DE AGUAS AGRIAS**

NORBERTO ALONSO BELTRÁN CASTILLO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2009

**OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE LAVADO DE GASES DE PROCESO
EN LAS UNIDADES CRACKING ORTHOFLOW Y MODELO IV PARA
DISMINUIR EL IMPACTO POR VERTIMIENTO DE AGUAS AGRIAS**

NORBERTO ALONSO BELTRÁN CASTILLO

**Trabajo de grado en la modalidad de práctica industrial, presentado para
optar al título de Ingeniero Químico.**

Director

CÉSAR AUGUSTO MORALES MOYA

Ingeniero Químico

Jefe de Departamento de Cracking III

GRB- ECOPETROL SA.

Revisor de texto

RAMIRO MARTÍNEZ REY

Ingeniero Químico, PhD.

Universidad Industrial de Santander

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2009

DEDICATORIA

A Dios por ser la fuente de sabiduría y amor en mi diario vivir.

A mis padres Alba Marina y Enrique Alberto, por todos sus esfuerzos, dedicación, orientación y entera confianza.

A mis hermanos Germán Enrique y Eliecer, por ser mis mejores amigos y por su incondicionalidad.

A Rossmery, por su gran amor y por ser el soporte ideal para poder realizar todas mis metas.

A toda mi familia por su gran apoyo.

NORBERTO ALONSO BELTRÁN CASTOLLO

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Industrial de Santander, por brindarme una educación de alta calidad y en especial a los docentes de la Escuela de Ingeniería Química por compartir sus conocimientos y experiencias de vida.

A todos los miembros del Departamento de Cracking III de ECOPETROL S.A liderados por el Ingeniero César Morales, por la inmensa amabilidad en el momento de compartir sus conocimientos y brindarme apoyo para alcanzar las metas propuestas de este proyecto.

A mis amigos, por su lealtad y compañerismo.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. CONCEPTOS TEÓRICOS	3
2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL SISTEMA DE LAVADO DE GASES EN LA PLANTA DE CRACKING MODELO IV.	3
2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL SISTEMA DE LAVADO DE GASES EN LA PLANTA DE CRACKING ORTHOFLOW.	4
2.3 CORROSIÓN EN PLANTAS DE CRACKING.	5
2.3.1 Fenómeno de corrosión en las plantas de cracking III.	5
2.3.2 Agua de lavado.	5
2.3.2.1 Tipos de agua de lavado.	6
2.3.2.2 Cantidad de agua de lavado.	7
2.3.3 Inhibidor de corrosión.	8
3. METODOLOGÍA.	9
3.1 ESTUDIO EN EL SISTEMA DE LAVADO DE GASES.	9
3.2 DISEÑO DE UN TRAMO DE TUBERÍA PARA UTILIZAR AGUA AGRIA COMO AGUA DE LAVADO EN LA PLANTA DE CRACKING MODELO IV.	10
3.3 PROBLEMAS EN LAS BOMBAS P-525 A/B EN LA PLANTA DE CRACKING ORTHOFLOW DEBIDO A SU INCAPACIDAD PARA TRABAJAR CON CAUDALES ALTOS.	10

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS.	11
4.1 ESTUDIO EN EL SISTEMA DE LAVADO DE GASES.	11
4.1.1 <i>Cracking Modelo IV.</i>	11
4.1.1.1 Análisis de la cantidad de agua de lavado adecuada al intercambiador E-311 B durante el mes de Junio.	11
4.1.1.2 Análisis de la cantidad de agua de lavado adecuada al intercambiador E-304 D durante el mes de Junio.	13
4.1.2 <i>Cracking Orthoflow.</i>	14
4.1.3 <i>Comparación del tipo de agua de lavado utilizado en las plantas de Cracking Modelo IV y Orthoflow con el de la literatura.</i>	15
4.1.4 <i>Comparación del tipo de carga en las plantas de Cracking Modelo IV y Orthoflow con el de la literatura.</i>	16
4.1.5 <i>Criticidad de corrosión dependiendo de la cantidad de H₂S y cloruros en las botas de los tambores.</i>	17
4.2 DISEÑO DE UN TRAMO DE TUBERÍA PARA UTILIZAR AGUA AGRIA COMO AGUA DE LAVADO EN LA PLANTA DE CRACKING MODELO IV.	19
4.3 PROBLEMAS EN LAS BOMBAS P-525 A/B EN LA PLANTA DE CRACKING ORTHOFLOW DEBIDO A SU INCAPACIDAD PARA TRABAJAR CON CAUDALES ALTOS.	21
5. CONCLUSIONES	25
6. RECOMENDACIONES	26
BIBLIOGRAFÍA	27

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1 Relación Galones/min agua de lavado por cada 1000 Barriles/día de carga en E-311 B.	12
Fig. 2 Velocidad de corrosión en E-311 B.	12
Fig. 3 Análisis de corrosión en el E-304 D.	13
Fig. 4 Análisis de corrosión en E-554 B.	14
Fig. 5 Diagrama propuesto para el reciclo de agua agria a la cima de la torre fraccionadora T-301.	19
Fig. 6 Sistema recolector de aguas agrias D-338.	30
Fig. 7 Curva de velocidades de corrosión para las aleaciones de cobre en presencia de H ₂ S.	31
Fig. 8 Curva de velocidades de corrosión para aceros al carbono en presencia de H ₂ S.	32
Fig. 9 Presencia de dezincificación tipo tapón, en el diámetro interno de un tubo de admiralty de un condensador.	33
Fig. 10 Efecto del pH sobre la generación de CN ⁻ .	34

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparación del tipo de agua de lavado utilizada en las plantas de Cracking III y el recomendado en la literatura.	15
Tabla 2. Monitoreo de agua agria en el D-307.	16
Tabla 3. Comparación de algunos contaminantes de la carga en las plantas de Cracking III y lo recomendado en la literatura.	16
Tabla 4. Monitoreo de H ₂ S y cloruros en las botas de los tambores.	17
Tabla 5. Severidad de la cantidad de H ₂ S en el proceso de lavado de gases.	17
Tabla 6. Severidad de la cantidad de cloruros en el proceso de lavado de gases para pH < 10.	18
Tabla 7. Condiciones de operación del agua agria de la bota del tambor de alta presión D-307.	20
Tabla 8. Hidráulica para el sistema de reciclo de agua agria desde la bota del tambor de alta presión D-307 hasta la cima de la torre fraccionadora T-301.	20
Tabla 9. Condiciones de operación para el sistema de bombeo P-525A/B.	22
Tabla 10. Hidráulica actual (entre D-503 y Tee) del sistema de bombeo P-525A/B asumiendo 99 GPM.	22
Tabla 11. Hidráulica actual (entre Tee y D-338) del sistema de bombeo P-525A/B asumiendo 99 GPM.	23
Tabla 12. Hidráulica recomendada (entre D-503 y Tee) del sistema de bombeo P-525A/B asumiendo 99 GPM.	24
Tabla 13. Caracterización del agua agria.	30
Tabla 14. Condiciones propicias para la evolución del ampollamiento por hidrógeno.	35

Tabla 15. Monitoreo de corrosión en la planta de Cracking Modelo IV. 36

Tabla 16. Monitoreo de corrosión en la planta de Cracking Orthoflow. 37

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Diagrama de la sección de lavado de gases en la planta de Cracking Modelo IV.	28
Anexo 2. Diagrama de la sección de lavado de gases en la planta de Cracking Orthoflow.	29
Anexo 3. Sistema recolector de aguas agrias D-338.	30
Anexo 4. Mecanismos de daño presentes en el sistema de cima de las torres fraccionadoras de cracking III – GCB.	31
Anexo 5. Estudio del agua de lavado en el sistema de gases en las plantas de Cracking III.	36
Anexo 6. Análisis de laboratorio a las aguas agrias del D-307.	38
Anexo 7. Tuberías que salen de la bota del tambor de alta presión D-307.	39
Anexo 8. Recomendación para diseño tramo de tubería desde la bota del tambor de alta presión D-307 hasta la cima de la torre fraccionadora T-301.	40

RESUMEN

TÍTULO: OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE LAVADO DE GASES DE PROCESO EN LAS UNIDADES CRACKING ORTHOFLOW Y MODELO IV PARA DISMINUIR EL IMPACTO POR VERTIMIENTO DE AGUAS AGRIAS¹

AUTOR: Norberto Alonso Beltrán Castillo**

PALABRAS CLAVES: Aguas Agrias, Corrosión, Cracking, Incrustaciones, Bombas.

DESCRIPCIÓN:

Se realizó la optimización de los sistemas de lavado de gases de las unidades de Cracking Orthoflow y Modelo IV por medio de la solución de algunos problemas operacionales en dichas plantas. Inicialmente se realizó un estudio en el sistema de lavado de gases analizando los niveles de corrosión, la relación entre el agua de lavado inyectada en este sistema con la cantidad de carga a la planta y el tipo de agua de lavado utilizada, todo esto para generar opciones que mejoren las condiciones actuales de corrosión y se puedan evitar roturas en los intercambiadores en esta sección del proceso. Por otra parte se disminuyó la cantidad de agua agria que llega al tambor recolector D-338 que posteriormente es enviada a la unidad de balance mediante la ingeniería conceptual del diseño de un tramo de tubería que funcionará como una línea de reciclo para utilizar agua agria como agua de lavado en la planta de Cracking Modelo IV.

Finalmente se estudió la hidráulica de las bombas P 525 A/B que envían el agua agria desde la planta de Cracking Orthoflow hasta el tambor recolector D-338 con el fin de solucionar la falta de una bomba de relevo ya que las dos bombas se encuentran trabajando en forma paralela, se recomendó el cambio de diámetro en ciertos tramos de tubería y el aumento del diámetro del impulsor de dichas bombas.

¹ Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Ing. César Morales Ecopetrol S.A. Lector: PhD. Ramiro Martínez; Universidad Industrial de Santander.

ABSTRACT

TITLE: OPTIMIZATION OF THE GAS SCRUBBING SYSTEMS IN THE CRACKING ORTHOFLOW AND MODELO IV UNITS TO DECREASE THE IMPACT BY DUMPING OF SOUR WATER²

AUTHOR: Norberto Alonso Beltrán Castillo **

KEYWORDS: Sour Water, Corrosion, Cracking, Fouling, Pump.

DESCRIPTION:

The optimization of gas scrubbing systems in the Cracking Orthoflow and Modelo IV units was performed by solving some operational problems in these plants. On one hand a study in the gas scrubbing system analyzing the corrosion levels, the ratio of the wash water injected and the feed in the plant and the type of wash water used was done in order to generate options to improve the current corrosion conditions and avoid future cracks in the heat exchangers in this section of the process. On the other hand the amount of sour water that feeds the collector drum D-338 and is later sent to the balance unit was decreased by means of the conceptual engineering of a section of pipe which will act as a line of recycle for using sour water as wash water in the Cracking Modelo IV plant.

Finally, the study of the hydraulic in pumps P 525 A / B which send sour water from the plant Cracking Orthoflow to drum collector D-338 was performed in order to address the lack of a relay pump since the two pumps are working in parallel, the change in diameter in some sections of pipe and the larger diameter impeller of these pumps was recommended.

² Undergraduate thesis work

** Physical-Chemical Engineering Faculty. Chemical Engineering Department. Director: Eng. César Morales; Ecopetrol S.A. Text Reader: PhD. Ramiro Martínez; Universidad Industrial de Santander.

1. INTRODUCCIÓN

El sistema de aguas agrias ubicado en la unidad U-300, planta Cracking Modelo IV, recibe las aguas agrias generadas en las unidades de la misma planta de los tambores D-305, D-307, D-308 y D-309, de la unidad U-500 Cracking Orthoflow por medio de las bombas P-525 A/B, de la unidad de Parafinas y próximamente de los sistemas de hidrotratamiento de diesel y nafta, unidades U-4700 y U-4750; todas estas corrientes de aguas agrias vienen por líneas independientes y son recolectadas en el tambor D-338, finalmente por medio de las bombas P-328 C/D, son enviadas hacia el sistema de tratamiento de aguas agrias ubicado en la unidad de Balance, bloque III.

El objetivo de tratar estas aguas agrias en la unidad de Balance es la remoción de contaminantes como el NH_3 y H_2S que se encuentran en alta concentración y que si no fueran removidos terminarían siendo parte del sistema de aguas aceitosas que no es totalmente cerrado y saldrían en forma de gases a la atmósfera. Este hecho causaría altos niveles de contaminación y seria un punto de riesgo severo para la comunidad debido a que consecuencias como la muerte pueden ser causadas por la inhalación de estos componentes, además los contaminantes que van en el agua aceitosa llegarían a la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR, alterando la operación. Un porcentaje de aguas agrias que llegan al tambor recolector D-338 no pueden ser enviadas a la Unidad de Balance debido a ciertas restricciones de la cantidad de agua agria que puede ser tratada en el sistema; en estos casos la cantidad de agua agria de exceso en el tambor D-338 se envía directamente al sistema de aguas aceitosas ocasionando los riesgos mencionados anteriormente. Una posible solución a este problema es el uso de un secuestrante de H_2S , sin embargo su costo es muy alto.

Por otra parte el sistema de cima de la torre fraccionadora de las plantas de Cracking III presenta problemas de corrosión en los equipos del sistema de baja y alta presión. El mecanismo de daño puede llegar a ser bastante agresivo debido a

la alta concentración de agentes corrosivos durante el proceso gradual de condensación de la fase acuosa. La metodología de control implementada es la inyección de agua de lavado para diluir las especies ácidas en el punto de condensación y solubilizar las sales de amonio formadas por las condiciones termodinámicas del sistema y por la presencia de compuestos como H_2S , CO_2 , NH_3 , HCl y cianuros, controlando así tanto la velocidad de corrosión como la formación de depósitos, el ensuciamiento y la corrosión bajo depósitos. El tipo de agua utilizada, la cantidad a inyectar y la ubicación del punto de inyección son parámetros que se deben controlar puesto que un procedimiento incorrecto puede generar congestión en los tambores separadores, erosión-corrosión a la entrada de los intercambiadores de cima y un mayor ensuciamiento en el sistema. El valor de pH en el condensado acuoso recogido en las botas de los tambores separadores es una variable a monitorear para asegurar que el daño inducido por hidrógeno está bajo control en los equipos de cima.

Este proyecto busca dar solución a los problemas antes mencionados presentes en el tambor recolector de aguas agrias D-338 y a los problemas de corrosión presentes en la sección de lavado de gases en estas dos plantas de cracking catalítico. Para esto se analizaron alternativas como el diseño de un tramo de tubería para recircular el agua agria proveniente de la bota del tambor de alta presión D-307 hasta la cima de la torre fraccionadora T-301 en la planta de Cracking Modelo IV, flujo que no solo alivia la carga de agua presente en el sistema recolector de agua agria sino que también ayuda a controlar los niveles de corrosión. También se estudio la posibilidad de aplicar un inhibidor de corrosión en las dos plantas de cracking catalítico. Además se propone una alternativa para mejorar el sistema de bombeo de agua agria desde la planta de Cracking Orthoflow hasta el tambor recolector D-338, debido a que las bombas P-525 A/B que cumplen esta función están actualmente operando en forma paralela sin dejar opción a una bomba de relevo, hecho que representa un alto riesgo en esta parte del proceso.

2. CONCEPTOS TEÓRICOS

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL SISTEMA DE LAVADO DE GASES EN LA PLANTA DE CRACKING MODELO IV.

La corriente de salida de la torre fraccionadora recibe un lavado a los gases con agua proveniente de las bombas de agua clarificada P-330A/B (en el momento se está utilizando agua de caldera proveniente de la bomba P-308 B debido a que la línea de descarga de las P-330 A/B esta obstruida) medida por el indicador de flujo de agua de lavado de gases de cima FI-03086. Los gases se encuentran con la corriente de reciclo del compresor y continúan al lado casco de los condensadores de cima E-304A/B/C/D/E/F. A su paso por los mismos, los gases se condensan al ceder calor al agua de enfriamiento que fluye por el lado de los tubos.

El tambor de cima D-305 recibe la corriente de condensado y recibe como cargas externas butanos y gases de Topping, gases de la unidad U-250 y gases del tambor de cima de la debutanizadora D-309. En el tambor de cima D-305 existen tres fases: fase de agua (bota), fase hidrocarburo líquido y fase hidrocarburo gaseoso. Las aguas agrias o ácidas se acumulan en la bota del tambor de cima y son enviadas al sistema de aguas agrias D-338. El hidrocarburo gaseoso va a la sección de compresión.

El hidrocarburo líquido acumulado en el tambor de cima D-305 sale por el fondo del tambor y lo toma las bombas de nafta y destilado P-302A/B/C. La descarga de la bomba se divide en dos, una parte hacia la unidad U-500 Orthoflow y la otra a la planta de soda. Esta corriente de destilado ejerce el control de nivel del tambor LIC-03004 el cual opera en cascada retirando el hidrocarburo acumulado hasta las unidades mencionadas. El flujo es medido en el indicador de flujo de desvío de destilado FI-03060.

El diagrama detallado del sistema de lavado de gases en la planta de Cracking Modelo IV se puede observar en el Anexo 1.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL SISTEMA DE LAVADO DE GASES EN LA PLANTA DE CRACKING ORTHOFLOW.

La gasolina y los gases provenientes de la cima de la torre fraccionadora reciben una corriente de lavado procedentes de la bota del tambor de alta presión D-554 y luego pasan por los condensadores de cima air fin fan E-526A-H y los condensadores/enfriadores secundarios E-505A-D, donde se enfrían para condensar los líquidos que se separan en el tambor de carga D-503.

El tambor de carga D-503 separa los vapores de la cima de la torre fraccionadora T-501 en tres fases: fase acuosa (agua agria), fase hidrocarburo líquido (gasolina) y fase hidrocarburo vapor (no condensable). El agua agria se asienta en el fondo del tambor y va al tambor recolector de aguas agrias D-338 mediante las bombas P-525 A/B; la gasolina flota sobre el agua agria y se envía a la sección de recuperación de gases; el gas que no se condensa se mantiene arriba y fluye a la sección de compresión.

La sección de compresión recibe el gas que no se condensa en el tambor de cima y lo envía para comprimirse en el compresor de gas húmedo C-551. Este incrementa la presión de la corriente de gases y a su descarga se inyecta una corriente de agua de lavado. Los condensadores E-554 A/B remueven el calor de esta corriente que fluye al tambor de destilado de alta presión D-554. Los gases no condensables se envían a la torre absorbadora primaria T-552 para absorción. El destilado de alta presión es enviado a la torre despojadora T-552 y el agua de la bota del tambor es enviada al sistema de agua de lavado de gases de cima o al sistema de aguas agrias.

El diagrama detallado del sistema de lavado de gases en la planta de Cracking Orthoflow se puede observar en el Anexo 2.

Todas las aguas agrias provenientes de las plantas de Cracking Modelo IV y Cracking Orthoflow llegan al sistema recolector de agua agrias D-338. (La

caracterización del fluido y el diagrama del sistema recolector de agua agria se pueden observar en el Anexo 3).

2.3 CORROSIÓN EN PLANTAS DE CRACKING.

2.3.1 Fenómeno de corrosión en las plantas de Cracking III.

La presencia de compuestos corrosivos tales como H_2S , NH_3 , HCN , genera en los equipos del sistema de cima de la torre fraccionadora los siguientes mecanismos de daño:

1. Ataque de los tubos de admiralty por amoniaco y H_2S .
2. Corrosión del acero por H_2S , CN^- y otros ácidos.
3. Ataque de hidrógeno y/o fragilización.

Mayor detalle sobre las bases teóricas de los mecanismos de daño que afectan los materiales que conforman los equipos de la cima de la torre se encuentra en el Anexo 4.

Actualmente se están monitoreando las velocidades de corrosión en algunos puntos en las plantas de Cracking III con el sistema integrado para la gestión de la corrosión ICMS3, el cual mide las velocidades de corrosión cada hora y así se pueden tomar decisiones a tiempo para combatir este fenómeno; antes solo se contaba con cupones y probetas de corrosión para realizar este monitoreo.

2.3.2 Agua de lavado

Las metodologías de control recomendadas para reducir la corrosión del sistema de cima de la torre fraccionadora de una unidad de Cracking Catalítico son:

- ✓ Inyección de agua de lavado.
- ✓ Mayor formación de polisulfuro.
- ✓ Combinación agua de lavado – inyección de polisulfuro.

La cima de la torre fraccionadora contiene una serie de contaminantes que pueden causar corrosión, taponamiento y ensuciamiento. Estos contaminantes incluyen amoníaco, sulfuros, cianuros, cloruros y fenoles. Un flujo de agua de lavado se utiliza para eliminar estos contaminantes ya que la mayoría de estos son especies iónicas o polares que tienden a ser fácilmente solubles en agua.

El agua que se inyecta en la cima de la torre fraccionadora disuelve y diluye la concentración de agentes corrosivos tales como: H_2S , NH_3 y CN^- en el fluido de proceso. La corrosividad de la fase acuosa condensada y el riesgo de ampollamiento por hidrógeno son reducidos y el agua puede ser removida de las botas de los tambores de alta y baja presión. Posteriormente el agua es enviada al sistema de tratamiento de agua agria para la remoción de contaminantes como el H_2S y NH_3 mediante despojo.

La efectividad del agua de lavado para minimizar la corrosión depende de numerosos factores como el tipo y concentración de agentes corrosivos tanto en la fase gaseosa como en el agua de lavado. Sin embargo, la velocidad de inyección de agua y su distribución en la fase gaseosa son también de gran importancia. El método de contacto entre la corriente gaseosa de cima y el agua de lavado se realiza mediante una boquilla dispersora para lavar el gas en la línea.

2.3.2.1 Tipos de agua de lavado.

Varias fuentes de aguas de lavado se pueden usar para el control de la corrosión de los gases de las FCCU y son aceptables, tales como: condensado o agua de caldera, agua agria despojada y agua fresca de alta calidad, condensado de vapor o agua que alimenta las calderas asumiendo un pH aceptable.

Puesto que el objeto del agua de lavado es diluir la concentración de agentes corrosivos en el flujo, entre más limpia sea el agua más eficaz es el procedimiento. Sin embargo la disponibilidad de agua y los costos son aspectos relevantes para tomar decisiones. En general, un programa de agua de lavado es considerado

satisfactorio si el pH del agua de drenaje está entre 6,5 – 7,5 y el contenido de iones CN^- es inferior a 25 ppm.

El agua agria puede usarse como agua de lavado siempre y cuando el pH sea inferior a 8,0 y el contenido de cloruros menor a 20 ppm. Se recomienda utilizar una mezcla entre 50 % agua agria y 50 % agua fresca.

Las principales características del agua de lavado son las siguientes:

- ✓ Contenido de cloruros (< 5 ppmv)
- ✓ Oxígeno disuelto (< 500 ppb)
- ✓ Dureza (0.0 ppmv)
- ✓ Contenido de sílice (< 5 ppmv)
- ✓ Sólidos disueltos (100 ppmv)
- ✓ pH (7,8 – 8,3).

2.3.2.2 Cantidad de agua de lavado

Los criterios estándar (típicos de UOP, Exxon, Kellogg y otros) para inyectar la cantidad suficiente de agua de lavado depende de las concentraciones de contaminantes como: amoniaco (NH_3), sulfuro de hidrógeno (H_2S), cianuros (HCN), oxígeno disuelto (O_2), cloruros y de los pH's fuera de control de las aguas agrias en los tambores de baja y de alta presión (> 7,5 y < 6,5 respectivamente).

Otra manera muy común de expresar las cantidades de agua de lavado de los gases en la sección recuperadora de vapores VRU está entre los rangos de 2,0 GPM/1000 BPD de inyector VGO (o carga fresca) hasta 4,0 GPM/1000 BPD.

Los valores altos de flujo de agua de lavado están relacionados con situaciones críticas de falla de equipos por causas de corrosión en el sistema de la cima (rotura frecuente de condensadores-enfriadores) de la fraccionadora principal y sistema inter-etapas (condensadores) del compresor de gases de VRU, situaciones que están relacionadas con altas concentraciones de contaminantes y pH's fuera de control. Igualmente están relacionados con el contenido de

contaminantes de la carga fresca (Inyector VGO) como son: azufre (> 1.0 %peso), nitrógeno total (> 2500 ppmw), nitrógeno básico (> 1000 ppmw), sodio (Na) (> 3 ppmw) por el efecto de los cloruros (NaCl). Para concentraciones de nitrógeno básico > 500 ppm considerado crítico, se puede llegar a utilizar las cantidades entre 10 a 15 %Vol. de agua de lavado con relación a la carga (equivalente a 2,9-4,4 GPM/1000 BPD Carga), son cantidades bastante altas, en comparación con los índices de UOP (2,0-3,0 GPM/1000 BPD).

2.3.3 Inhibidor de corrosión.

Es un compuesto químico inorgánico, que al inyectarse al interior de las tuberías forma una película entre la pared metálica y el medio corrosivo del producto transportado disminuyendo la velocidad de corrosión interior.

Uno de los métodos más empleados para el control de la corrosión interior es el uso de inhibidores de corrosión. Los inhibidores de corrosión tipo fólmico, contienen aminas fólmicas, el nitrógeno (N) presente en el grupo funcional amino ($R-NH_2$) se orienta hacia la superficie metálica, y la o las moléculas radicales (R) unidas al grupo amino forman una barrera protectora hacia el metal disminuyendo la velocidad de corrosión. Cuando existen dobles enlaces como en el caso de $C=O$, $C=C$, $C=N$ o anillos aromáticos, y que están presentes en los componentes de los inhibidores, al tener mayor densidad electrónica, favorecen la adhesión de estas moléculas hacia la superficie metálica protegiéndola de la corrosión.

El uso de inhibidores de corrosión no es efectivo cuando la refinería no tiene disponible las cromatografías diarias de los gases de la cima de la fraccionadora y carga al compresor de gases donde se conozcan las concentraciones exactas de H_2S , NH_3 , HCN , CO_2 , O_2 en la corriente de hidrocarburos, para dosificar convenientemente la cantidad de aditivo. Si esto no se cumple, la acción del aditivo no es efectiva o al contrario puede agravar los ataques por corrosión y la refinería gastaría dinero sin resultados.

3. METODOLOGÍA

Este proyecto se basa en el análisis de diferentes alternativas para la optimización de los sistemas de lavado de gases en las plantas de Cracking Modelo IV y Orthoflow con el fin de disminuir el impacto por vertimiento de aguas agrias y así mismo evitar daños para la comunidad y el medio ambiente. Inicialmente se identificaron las deficiencias presentes en esta sección del proceso, se estudiaron los posibles métodos de solución para estas deficiencias analizando las ventajas y desventajas de cada uno y finalmente se escogieron y presentaron las alternativas más viables para el mejoramiento de las plantas. Las siguientes medidas fueron analizadas para lograr este fin.

3.1 ESTUDIO EN EL SISTEMA DE LAVADO DE GASES.

Se compararon diferentes procedimientos para la inyección de agua de lavado recomendados en la literatura por diferentes compañías, como lo son el tipo de agua, la cantidad adecuada y los puntos de inyección más apropiados para la aplicación con el objetivo de controlar las velocidades de corrosión presentes en esta sección de las plantas de Cracking Modelo IV y Orthoflow ya que se han presentado roturas en intercambiadores de calor (E-304 y E-505) debido a este fenómeno.

Basándose en el monitoreo de corrosión realizado en las plantas de Cracking III, en especial en el sistema integrado para la gestión de la corrosión ICMS3 el cual toma valores de corrosión cada hora, se pudo analizar la relación adecuada entre el agua de lavado y la cantidad de carga a la planta; así mismo se tomaron y analizaron muestras al agua de lavado utilizada en estas plantas que no se monitorean actualmente; para realizar una comparación de los datos obtenidos con los recomendados en la literatura. También se tomó una muestra especial al agua agria de la bota del tambor de alta presión D-307 en la planta de Cracking Modelo IV con el fin de determinar si puede ser utilizada como agua de lavado a la

salida de la torre fraccionadora T-301. Además se hizo el acercamiento con las empresas proveedoras de la Gerencia Complejo Barrancabermeja GCB buscando la factibilidad para aplicar un inhibidor de corrosión.

3.2 DISEÑO DE UN TRAMO DE TUBERÍA PARA UTILIZAR AGUA AGRIA COMO AGUA DE LAVADO EN LA PLANTA DE CRACKING MODELO IV

El diseño de este tramo de tubería para recircular el agua agria se basó en los diagramas P&ID`s y en la visita a campo, ya que se encontró que existen algunos tramos de tuberías que no aparecen en los diagramas P&ID`s. Después de escoger la mejor opción para el envío del agua agria se procedió a tomar las medidas necesarias para realizar el cálculo de la caída de presión basándose en un software de Excel que utiliza las fórmulas del libro "Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías, de CRANE". Por último se inició el control de cambios (proceso formal requerido en la empresa para poder implementar este diseño).

3.3 PROBLEMAS EN LAS BOMBAS P-525 A/B EN LA PLANTA DE CRACKING ORTHOFLOW DEBIDO A SU INCAPACIDAD PARA TRABAJAR CON CAUDALES ALTOS.

Las bombas P-525 A/B son las encargadas de enviar el agua agria de la bota del tambor de baja presión D-503 hasta el tambor recolector D-338. En este momento no existe una bomba de relevo en esa línea debido a que se acudió a una operación en paralelo por los altos caudales manejados. Con el objetivo de que una de las bombas opere en estado de relevo se estudiaron diferentes alternativas, el estudio inició con la medición manual de todo el tramo de tubería, luego se calcula la caída de presión por el software mencionado anteriormente y finalmente se estudió el efecto de algunas variables en el sistema sobre la cabeza de la bomba buscando la posibilidad de que con un cambio en el diámetro de unos tramos de tubería o mediante el aumento del tamaño del impulsor se lograra utilizar una sola bomba.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 ESTUDIO EN EL SISTEMA DE LAVADO DE GASES.

Los puntos que se monitorean y los valores de la velocidad de corrosión en las plantas de Cracking III se encuentran en las Tablas 15 y 16 del Anexo 5. En estas tablas se puede observar que uno de los principales y más preocupantes problemas es la falta de seguimiento en la planta de Cracking Orthoflow, en este momento solo existe un punto de monitoreo E-554 A/B, lo que dificulta cualquier análisis que se desee realizar. El funcionamiento del ICMS3 ha sido de gran ayuda para poder tomar las medidas necesarias ante cualquier inconveniente que se pueda presentar, pero en este momento esta monitoreando los siguientes intercambiadores: E-304 D, E-311 B y E -554 B; por eso es de gran importancia aumentar el número de puntos monitoreados por este sistema o por lo menos hacerlo con cupones o probetas de corrosión.

4.1.1 Cracking Modelo IV.

4.1.1.1 Análisis de la cantidad de agua de lavado adecuada al intercambiador E-311 B durante el mes de Junio.

Durante las fechas del 5 al 12 de Junio se pudo evidenciar gracias al ICMS3 un aumento en la velocidad de corrosión en el intercambiador de calor E-311 B. En las siguientes figuras se puede observar la relación entre el volumen de agua inyectada al intercambiador E-311 B por cada 1000 Barriles/día de carga y las tendencias mostradas por el ICMS3, las cuales presentan valores muy superiores a la máxima rata de corrosión permitida para la metalurgia admiralty (0,3 mpy).

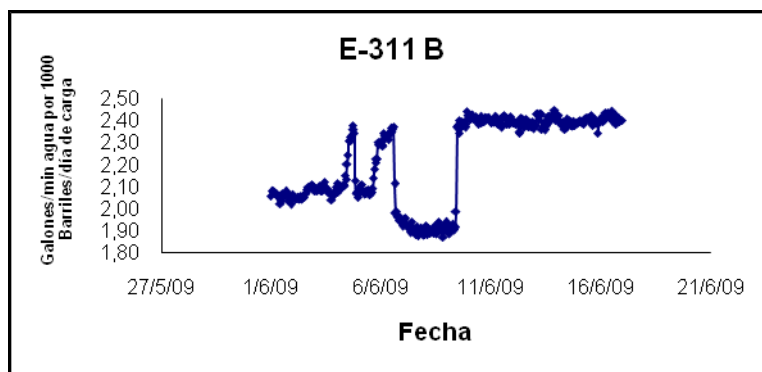


Fig. 1 Relación Galones/min agua de lavado por cada 1000 Barriles/día de carga en E-311 B.

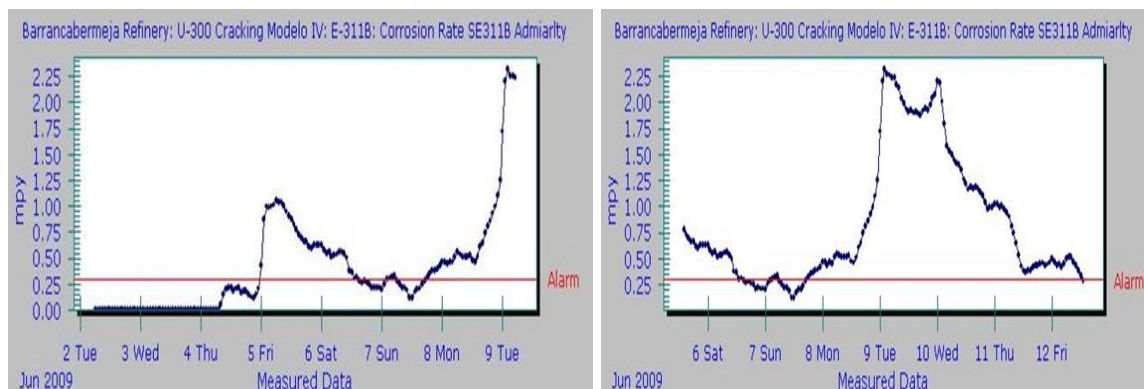


Fig. 2 Velocidad de corrosión en E-311 B.

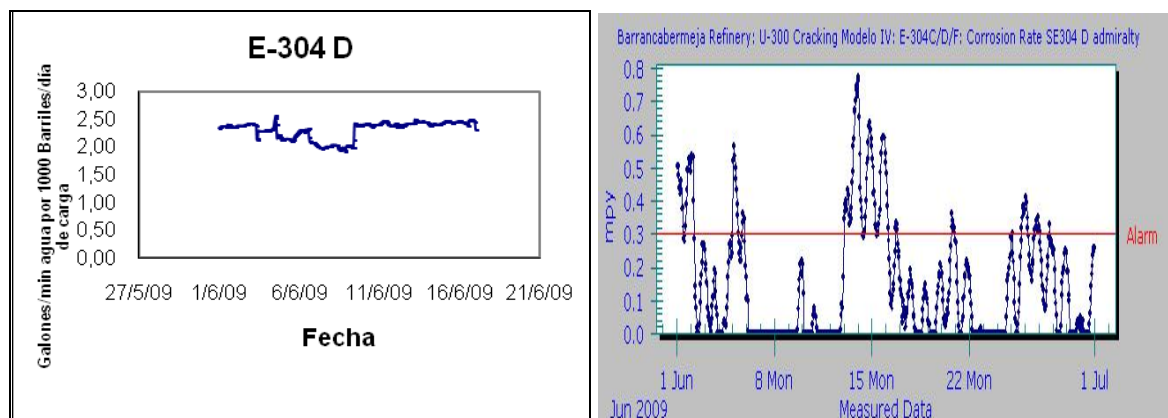
Para tener un mejor entendimiento de por qué se había presentado un incremento en la velocidad de corrosión en esta sección del proceso se analizaron durante estas fechas los datos de laboratorio en la bota del tambor de alta presión D-307 durante estas fechas. (Ver resultados de esta prueba en el Anexo 6). De acuerdo a los datos reportados por el laboratorio la concentración de H_2S y cloruros en las aguas agrias disminuyó a partir del 4 de junio, lo cual indica que estos contaminantes no afectaron la velocidad de corrosión, además los datos de temperatura y flujo de los gases antes y después del intercambiador se encuentran dentro de los rangos normales de operación.

Se puede determinar que la disminución del flujo de agua de lavado durante los días del 6 al 9 afectó notablemente el incremento en la corrosión del E-311 B, sin

embargo no se observa una tendencia lineal de afectación, es decir la disminución de la relación en estos días se ve reflejada días después. Luego de haber aumentado la relación de agua de lavado por cada 1000 Barriles/día de carga a valores entre 2,3 y 2,4 se ha logrado mantener en control la velocidad de corrosión en el intercambiador, sin embargo el valor promedio del mes de Junio fue de 0,43 mpy debido a los altos valores presentados durante estas fechas.

4.1.1.2 Análisis de la cantidad de agua de lavado adecuada al intercambiador E-304 D durante el mes de Junio.

De igual manera la figura 3 muestra la cantidad de agua de lavado inyectada por cada 1000 Barriles/día de carga y la variación de velocidad de corrosión en el mes de Junio en el intercambiador E-304 D respectivamente, se puede observar que el promedio de velocidad de corrosión en el intercambiador E-304 D en el mes de Junio fue de 0,15 mpy, es decir estuvo en control ya que para la metalurgia admiralty la máxima tasa de corrosión permitida es 0,3 mpy.



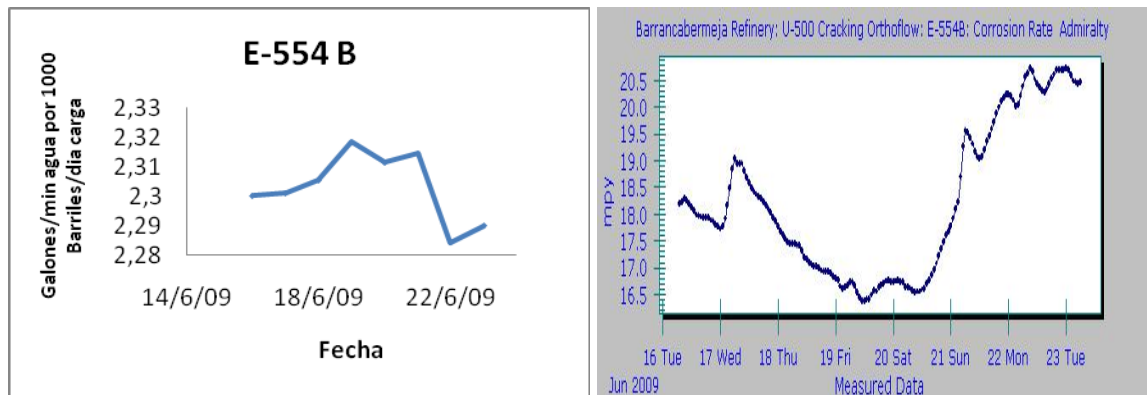
A) **B)**
Fig. 3 Análisis de corrosión en el E-304 D. **A)** Relación Galones/min agua de lavado por cada 1000 Barriles/día de carga. **B)** Datos de corrosión en el mes de Junio.

Sin embargo se puede observar que en los días del 13 al 16 de Junio se incrementó la velocidad de corrosión a valores de casi 0,8 mpy, esto fue debido a que durante los días del 7 al 9 de Junio la relación Galones/min de agua de lavado

por cada 1000 Barriles/día de carga estuvo en valores menores de 2 (ver figura 3 A); después del 10 de Junio se incremento esta relación a valores por encima de 2,3 con lo cual se controló la velocidad de corrosión.

4.1.2 Cracking Orthoflow

A continuación se muestran los valores de velocidad de corrosión y la relación volumen de agua de lavado inyectada al intercambiador E-554 B por cada 1000 Barriles/día de carga.



A) B) Fig 4. Análisis de corrosión en el E-554 B. **A)** Relación Galones/min agua de lavado por cada 1000 Barriles/día de carga en E-554 B. **B)** Datos de corrosión en el intercambiador E-554 B durante Junio.

En las figuras anteriores se puede observar que los valores de velocidad de corrosión en el intercambiador E-554 B son muy altos comparados con el límite permitido (0,3 mpy) y que en las fechas del 21 al 23 de Junio estos valores se incrementaron aún más debido a la disminución de la relacion de agua de lavado inyectada por cada 1000 Barriles/día de carga a la unidad. Las causas por las cuales estas velocidades de corrosión son tan elevadas pueden ser por el tipo de carga que se esta inyectando en la unidad o por el tipo de metalurgia de los intercambiadores de calor (Admiralty).

4.1.3 Comparación del tipo de agua de lavado utilizado en las plantas de Cracking Modelo IV y Orthoflow con el de la literatura.

Los datos que se muestran en la siguiente tabla se obtuvieron a partir de un muestreo especial por lo tanto los datos son puntuales, hay algunas casillas que no se encuentran con su respectivo valor debido a que en el laboratorio no miden oxígeno disuelto y a que el agua de lavado a la cima de la torre fraccionadora T-501 es agua agria proveniente de la bota del tambor de alta presión D-554 y allí la variable de especial cuidado es el pH.

Tabla 1. Comparación del tipo de agua de lavado utilizada en las plantas de Cracking III y el recomendado en la literatura.

Contaminante	Cantidad Máxima	Cima T-301	Descarga C-304	Cima T-501	Descarga C-551
Cloruros	< 5 ppm	0,75 ppm	0,76 ppm	1,18 ppm	2,02 ppm
Oxígeno disuelto	< 500 ppb	-----	-----	-----	-----
Dureza	0 ppm	2,52 mg CaCO ₃ /L	2,65 mg CaCO ₃ /L	-----	0,46 mg CaCO ₃ /L
Sílice	< 5 ppm	2,045 ppm	0,171 ppm	0,026 ppm	0,047 ppm
Sólidos disueltos	< 30 ppm	16 ppm	14 ppm	-----	50 ppm
pH	7,8 y 8,3	8,45	8,51	7,71	8,32

De la tabla anterior se puede inferir que en términos generales, el tipo de agua de lavado utilizada en estas plantas es la adecuada excepto por los valores de pH ya que lo recomendado es un valor entre 7,8 y 8,3 y ningún punto de inyección se encuentra en estos valores. Una vez confirmado que el tipo de agua de lavado utilizado es adecuado, se podría pensar que una forma de disminuir los valores de velocidad de corrosión en los intercambiadores E-505 A/D es utilizar una mezcla de agua de lavado entre agua agria y agua de caldera, lo recomendable para el proceso es utilizar menos del 50% de agua agria porque esta viene muy contaminada de H₂S y NH₃. Dentro de las muestras especiales también se monitoreó el agua agria proveniente de la bota del tambor de alta presión D-307 con el fin de determinar si esta agua podría ser utilizada como agua de lavado a la salida de la torre fraccionadora T-301, los datos se muestran a continuación.

Tabla 2. Monitoreo de agua agria en el D-307.

Contaminante	Bota D-307
Ph	8,31
Cloruros	3,59 mg/L

De la tabla se puede concluir que el agua agria proveniente de la bota del tambor de alta presión D-307 puede usarse como agua de lavado ya que el pH esta cercano a 8,0 y el contenido de cloruros menor a 20 ppm. Es importante utilizar esta agua agria como agua de lavado pero en una cantidad menor a 50% del agua de lavado total.

4.1.4 Comparación del tipo de carga en las plantas de Cracking Modelo IV y Orthoflow con el de la literatura.

En la siguiente tabla se muestran los valores promedio desde Enero 1 hasta Mayo 21 de 2009 de la cantidad de sodio, azufre y nitrógeno básico que contiene la carga de las plantas de Cracking Modelo IV y Orthoflow, estos valores se comparan con los datos recomendados por la literatura.

Tabla 3. Comparación de algunos contaminantes de la carga en las plantas de Cracking III y lo recomendado en la literatura.

Contaminante	Cantidad recomendada en la literatura	Cracking Modelo IV	Cracking Orthoflow
Azufre	< 1 %	0,925 %	1,047 %
Sodio	< 3 ppm	3,955 ppm	3,373 ppm
Nitrógeno Básico	< 1000 ppm	700 ppm	775 ppm

De la tabla anterior se puede determinar que las cargas de las plantas de Cracking III tienen cantidades de sodio más altas que lo recomendado lo que puede derivar en los altos valores de las velocidades de corrosión en la sección de lavado de gases, una de las causas para no poder tener en control la carga es la inestabilidad de estas ya que la composición de la carga puede variar de un día para otro dependiendo de los inventarios que se manejen (crudos pesados o livianos).

4.1.5 Criticidad de corrosión dependiendo de la cantidad de H₂S y cloruros en las botas de los tambores.

A continuación se muestran los datos promedio desde Enero 1 a Junio 30 de 2009 de H₂S y cloruros que se presentan en la bota de los tambores en las plantas de Cracking III, estos datos se van a comparar con unas tablas del American Petroleum Institute (API) para determinar la criticidad del fenómeno de corrosión.

Tabla 4. Monitoreo de H₂S y cloruros en las botas de los tambores.

Contaminante	Cracking Modelo IV		Cracking Orthoflow	
	Bota D-305	Bota D-307	Bota D-503	Bota D-554
Cloruros	8,66 ppm	6,15 ppm	4,56 ppm	4.00 ppm
H ₂ S	1863,35 ppm	1646,1 ppm	3510,9 ppm	3846,5 ppm
pH	8,86	8,31	9,05	7,71
Temperatura	100 °F	105 °F	95 °F	100 °F

Tabla 5. Severidad de la cantidad de H₂S en el proceso de lavado de gases.

pH del agua	Contenido de cianuro (mg/Kg)	Contenido de H ₂ S en agua (mg/Kg)		
		< 50	50 a 100	> 100
		Severidad		
< 4,0	----	Moderada	Alta	Alta
4,0 a 5,4	----	Baja	Moderada	Alta
5,5 a 7,5	----	Baja	Baja	Moderada
7,6 a 7,9	< 50	Baja	Moderada	Alta
7,6 a 7,9	≥ 50	Moderada	Alta	Alta
≤ 8,0	< 20	Baja	Moderada	Alta
≥ 8,0	≥ 20	Moderada	Alta	Alta

Al comparar los datos de la tabla 4 con los reportados en la tabla 5 se observa que la severidad debida a la presencia de H₂S de todas las botas de los tambores en las plantas de Cracking III es alta, este puede ser uno de los principales motivos para que las velocidades de corrosión en ciertos puntos se encuentren por fuera de los puntos de control (ver Anexo 5) logrando diversas consecuencias como lo es la rotura de los intercambiadores de calor en esta sección de proceso.

Tabla 6. Severidad de la cantidad de cloruros en el proceso de lavado de gases para pH < 10.

Temperatura (°F)	Concentración de cloruros (ppm)			
	1 - 10	11 - 100	101 – 1000	> 1000
100 – 150	Baja	Media	Media	Alta
151 – 200	Media	Media	Alta	Alta
201 - 300	Media	Alta	Alta	Alta

A diferencia de la criticidad alta mostrada por la presencia de H₂S, la cantidad de iones cloruro presentes en todas las botas de los tambores de alta y baja presión no está afectando los niveles de corrosión de una manera significativa ya que las consecuencias de la cantidad de iones cloruro en esta sección del proceso es baja. El exceso en la cantidad de H₂S se puede deber a la falta de más puntos de inyección de agua de lavado para mejorar el contacto íntimo entre los gases y el agua o al mal estado de las boquillas de atomización.

El uso de un inhibidor de corrosión en estas plantas es una buena oportunidad para disminuir el efecto corrosivo en especial en la planta de Cracking Orthoflow donde los niveles superan ampliamente los límites permitidos, sin embargo es necesario que se conozcan las concentraciones exactas de H₂S, NH₃, HCN, CO₂, O₂ en la corriente de gases de la cima de la torre fraccionadora por medio de un monitoreo periódico, sistema de monitoreo que no se encuentra instalado actualmente. Los acercamientos con las empresas proveedoras de la GCB ya se realizaron, se envió a ellas una descripción detallada con todas las características del proceso, las composiciones de las aguas de lavado, el número y la localización de puntos de inyección de agua, la localización de los posibles puntos de inyección y la cromatografía de gases de la cima de la torre fraccionadora para que estas enviaran una propuesta económica y así poder analizar la viabilidad de proyecto. Sin embargo debido a la novedad de este tipo de implementaciones en la refinería y a los arduos trámites dentro de las compañías proveedoras no se ha tenido respuesta del tema.

4.2 DISEÑO DE UN TRAMO DE TUBERÍA PARA UTILIZAR AGUA AGRIA COMO AGUA DE LAVADO EN LA PLANTA DE CRACKING MODELO IV.

Una de las alternativas que se puede utilizar para disminuir la cantidad de agua agria enviada al tambor recolector D-338 es recircular el agua agria proveniente de la bota del tambor de alta presión D-307 hasta la cima de la torre fraccionadora T-301, es decir utilizar esta agua agria como agua de lavado así como se hace en las otras tres plantas de cracking catalítico en la refinería de Barrancabermeja. En el Anexo 7 se puede observar los diferentes recorridos de las tuberías que salen de la bota del tambor de alta presión D-307.

Después de analizar los diferentes tramos de tubería que salen de la bota del tambor D-307 se encontró tramos de tuberías que no se utilizan como el que va para las bombas MP-313A/B y para los tambores D-305 y D-306. Se decidió utilizar parte del tramo de tubería que va para el D-305 como parte del tramo de tubería de reciclo y desmantelar los otros tramos (los que están de color rojo punteado) tal como se muestra en la siguiente figura.

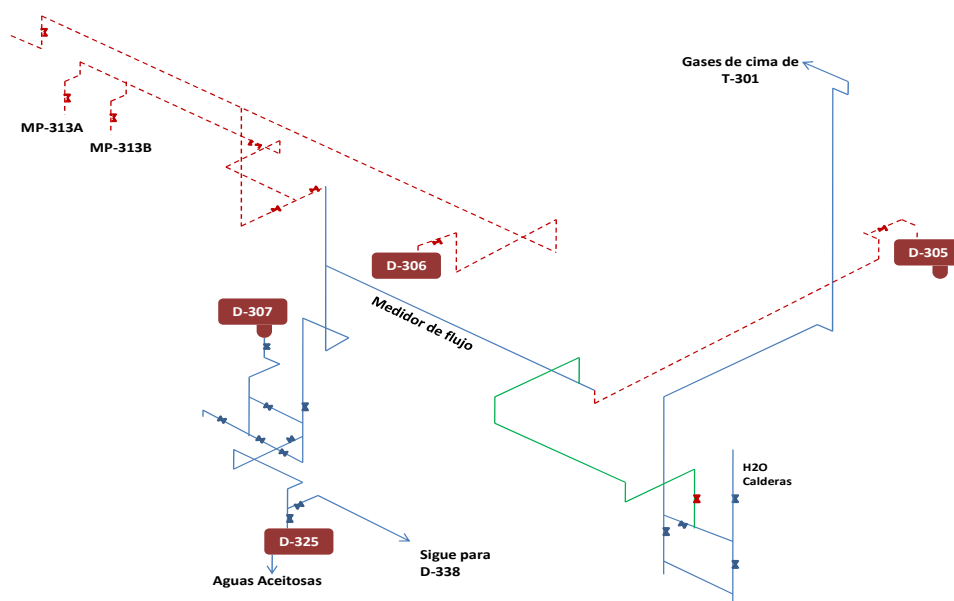


Fig. 5 Diagrama propuesto para el reciclo de agua agria a la cima de la torre fraccionadora T-301.

Para más información acerca del diagrama anterior y de los beneficios que trae hacer este diseño ver en el Anexo 8 la recomendación emitida para iniciar este proyecto.

Una vez escogida la alternativa del diseño del tramo de tubería para hacer este reciclo se procedió a tomar las medidas necesarias con el fin de realizar el cálculo de caída de presión basándose en una hoja de Excel que toma las fórmulas del libro "Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías, de CRANE". A continuación se muestran las condiciones de operación y los cálculos de caída de presión.

Tabla 7. Condiciones de operación del agua agria de la bota del tambor de alta presión D-307.

Variable	Unidades	Valor
Temperatura de flujo	° F	100
Presión en tambor D-307	psi	100
Densidad a temperatura de flujo	lb/ft ³	62,24
Densidad @ 60°F	lb/ft ³	62,43
Rata de flujo	GPM	60,00
Velocidad a través de la línea	ft/seg	6,53
Viscosidad absoluta	cP	0,80

Tabla 8. Hidráulica para el sistema de reciclo de agua agria desde la bota del tambor de alta presión D-307 hasta la cima de la torre fraccionadora T-301.

Especificación	Símbolo	Salida Agua Agria de la bota (2")	Tubería (1,5")	Encuentro con agua de lavado (condensado) (2")	Encuentro Agua de lavado a cima T-301 (2")
Diámetro interno de la tubería, pulg	d	1,937	1,500	1,937	1,937
Número de Reynolds	Re	121942	157467	121942	121942
Factor de fricción de la línea (flujo turbulento)	f	0,021	0,022	0,021	0,021
Longitud recta de la tubería, pies	L	12,8	4,0	174,9	107,7
Coeficiente de resistencia total del sistema	K _{total}	4,74	9,62	35,47	24,27
Carga dinámica, pies de líquido	h _L	3,14	17,73	23,49	16,08

Diferencia de altura entre los puntos, pies	Z_2-Z_1	-7,054	0	-0,164	60,007
Caída de presión total del sistema, psi	ΔP	-1,69	7,66	10,08	32,89
Caída de presión debido al LV03021, psi	10,7				

Caída de presión total: 58,94 psi

Una vez realizada la hidráulica del sistema se comprueba que no se necesita bomba, que con la presión de 100 psi que se maneja en el tambor de alta presión D-307 y para la cantidad de flujo de 60 GPM el agua agria va a circular sin ningún problema y va a realizar una buena atomización en las boquillas utilizadas para el lavado de gases ya que va a llegar a la cima de la torre fraccionadora T-301 con aproximadamente 40 psi.

4.3 PROBLEMAS EN LAS BOMBAS P-525 A/B EN LA PLANTA DE CRACKING ORTHOFLOW DEBIDO A SU INCAPACIDAD PARA TRABAJAR CON CAUDALES ALTOS.

Debido a los inconvenientes que se están presentando en las bombas P-525A/B las cuales se encuentran operando en paralelo cuando solo debería haber una en funcionamiento y la otra en espera (standby), se procedió a analizar la hidráulica para este sistema de bombeo con el fin de determinar la mejor alternativa para solucionar esta condición, puesto que si se llega a presentar un problema con alguna de estas o con las dos bombas se va a tener que colocar las aguas agrias al sistema de aguas aceitosas impactando el ambiente de trabajo en el patio de operaciones por tener concentraciones elevadas de H₂S.

Realizando el cambio anterior se busca aumentar la disponibilidad del sistema de bombeo SP525A/B y disminuir el consumo de energía en la unidad por la utilización de un solo sistema de bombeo. Las condiciones de operación y la hidráulica actual para este sistema son las siguientes:

Tabla 9. Condiciones de operación para el sistema de bombeo P-525A/B.

Variable	Unidades	Valor
Temperatura	°F	100
Presión de succión	psi	10,4
Presión de descarga	psi	44
Flujo normal	GPM	72
Eficiencia		53%
Gravedad específica		0,994
Cabeza	ft	78
Viscosidad	cP	0,68
Presión de vapor	psi	17,7
Potencia motor	hp	7,5
Potencia al freno BHP	hp	2,6
Densidad agua agria a 100°F	lb/ft ³	62,03
Diámetro del impulsor	pulg	5,75

Tabla 10. Hidráulica actual (entre D-503 y Tee) del sistema de bombeo P-525A/B asumiendo 99 GPM.

Especificación	Símbolo	Succión P525A/B (4")	Descarga P525A/B (2")	Descarga P525A/B (3")	Descarga P525A/B (2")
Diámetro interno de la tubería, pulg	d	4,026	1,937	3,068	1,937
Número de Reynolds	Re	114234	237433	149905	237433
Factor de fricción de la línea (flujo turbulento)	f	0,019	0,022	0,020	0,022
Longitud recta de la tubería, pies	L	37,8	12,6	51,0	74,7
Coefficiente de resistencia total del sistema	Ktotal	7,32	14,28	5,93	14,07
Caída de presión strainer (FILTRO) P525A/B, PSI		1,91			
Carga dinámica, pies de líquido	h _L	0,72	26,08	1,72	25,69
Diferencia de altura entre los puntos, pies	Z ₂ -Z ₁	-1,312	9,186	-6,234	11,811
Caída de Presión total del sistema, PSI	ΔP	1,66	6,22	-1,94	15,19

Caída de presión debido al LV5007 = 10,7 psi

Tabla 11. Hidráulica actual (entre Tee y D-338) del sistema de bombeo P-525A/B asumiendo 99 GPM.

Especificación	Símbolo	Tee D-554 (2")	Tee D-554 a Limite de batería (3")	Limite de batería a D338 (3")
Diámetro interno de la tubería, pulg	d	1,937	3,068	3,068
Número de Reynolds	Re	237433	149905	149905
Factor de fricción de la línea (flujo turbulento)	f	0,02	0,02	0,02
Longitud recta de la tubería, pies	L	0,7	175,9	869,4
Coefficiente de resistencia total del sistema	K_{total}	9,09	13,68	77,50
Carga dinámica, pies de líquido	h_L	16,600	4,169	23,477
Diferencia de alturas	Z_2-Z_1	0	-19,685	12,303
Caída de Presión total del sistema, PSI	ΔP	7,151	-6,684	15,414

Caída de presión total: 47,71 psi

La caída de presión de todo el sistema, es decir desde la bota del tambor de baja presión D-503 hasta el tambor recolector de aguas agrias D-338 es de 47,71 psi, lo cual correspondería a una cabeza diferencial de 110,87 ft, comparando este valor con la cabeza actual de la bomba que es 78 ft el problema no se podría corregir solo con cambiar el diámetro del impulsor a 6 pulg que es el diámetro superior que puede alcanzar el impulsor, este aumento de tamaño de impulsor solo daría 3 psig adicionales en la descarga de las bombas lo cual no sería suficiente para aliviar hidráulicamente el sistema. En la tabla 10 y 11 se puede observar que los dos tramos de tubería de 2 pulg y la Tee D-554 presentan altos valores en la caída de presión, por lo tanto se podría modificar la hidráulica en estos tramos cambiando el diámetro de tubería a 3 pulg.

La nueva hidráulica para estos tramos es la siguiente:

Tabla 12. Hidráulica recomendada (entre D-503 y Tee) del sistema de bombeo P-525A/B asumiendo 99 GPM.

Especificación	Símbolo	Descarga P525A/B @ 3"	Descarga P525A/B @ 3"	Tee D-554 (3")
Diámetro interno de la tubería, pulg	d	3,068	3,068	3,068
Número de Reynolds	Re	149905	149905	149905
Factor de fricción de la línea (flujo turbulento)	f	0,020	0,020	0,012
Longitud recta de la tubería, pies	L	12,6	74,7	0,7
Carga dinámica, pies de líquido	h_L	3,75	2,70	4,285
Coeficiente de resistencia total del sistema	K_{total}	2,13	8,36	3,10
Diferencia de altura entre los puntos, pies	$Z_2 - Z_1$	9,186	11,811	0
Caída de Presión total del sistema, psi	ΔP	4,22	6,13	0,38

De esta manera, la presión diferencial de la bomba solo tendría que ser de 29,89 psi, equivalente a una cabeza de 69,46 ft con lo cual se podría dejar en operación una sola bomba, para dar más confiabilidad al sistema también se propone cambiar el diámetro del impulsor por el máximo permitido, es decir pasar de 5,75 pulg a 6 pulg. Además la potencia de freno BHP en este nuevo sistema con un impulsor de 6 pulg es de 3,7 hp, lo cual no representa una restricción con la potencia del motor.

5. CONCLUSIONES

- La falta de una estrategia para combatir los altos niveles de corrosión y el monitoreo deficiente (pH, cloruros, amoníaco, cianuros, sulfuros y O₂) que se presenta en las plantas de Cracking III puede llevar a graves consecuencias como los son: la reducción de carga a la unidad, altos costos de mantenimiento por materiales y mano de obra y aumento de la cantidad de agua agria enviada al sistema recolector de aguas agrias D-338. Las causas más probables por las que se presentan los altos niveles de velocidades de corrosión son: metalurgia inadecuada en algunos equipos (E-554 B), posible falla en las boquillas de atomización, falta de puntos de inyección de agua de lavado y a la inestabilidad en la composición de la carga.
- El agua agria proveniente de la bota del tambor de alta presión D-307 puede usarse como agua de lavado ya que el pH esta cercano a 8,0 y el contenido de cloruros menor a 20 ppm. Es importante utilizar esta agua agria como agua de lavado y también la de la bota del D-554 pero en una cantidad menor a 50% del agua de lavado total.
- El uso de un inhibidor de corrosión en estas plantas es una buena oportunidad para disminuir el efecto corrosivo en esta sección del proceso en especial en la planta de Cracking Orthoflow donde los niveles superan ampliamente los límites permitidos.
- El cambio de diámetro de ciertos tramos de tubería y el aumento en el diámetro del impulsor de las bombas P-525 A/B soluciona el problema de la falta de una bomba de relevo en esta línea.

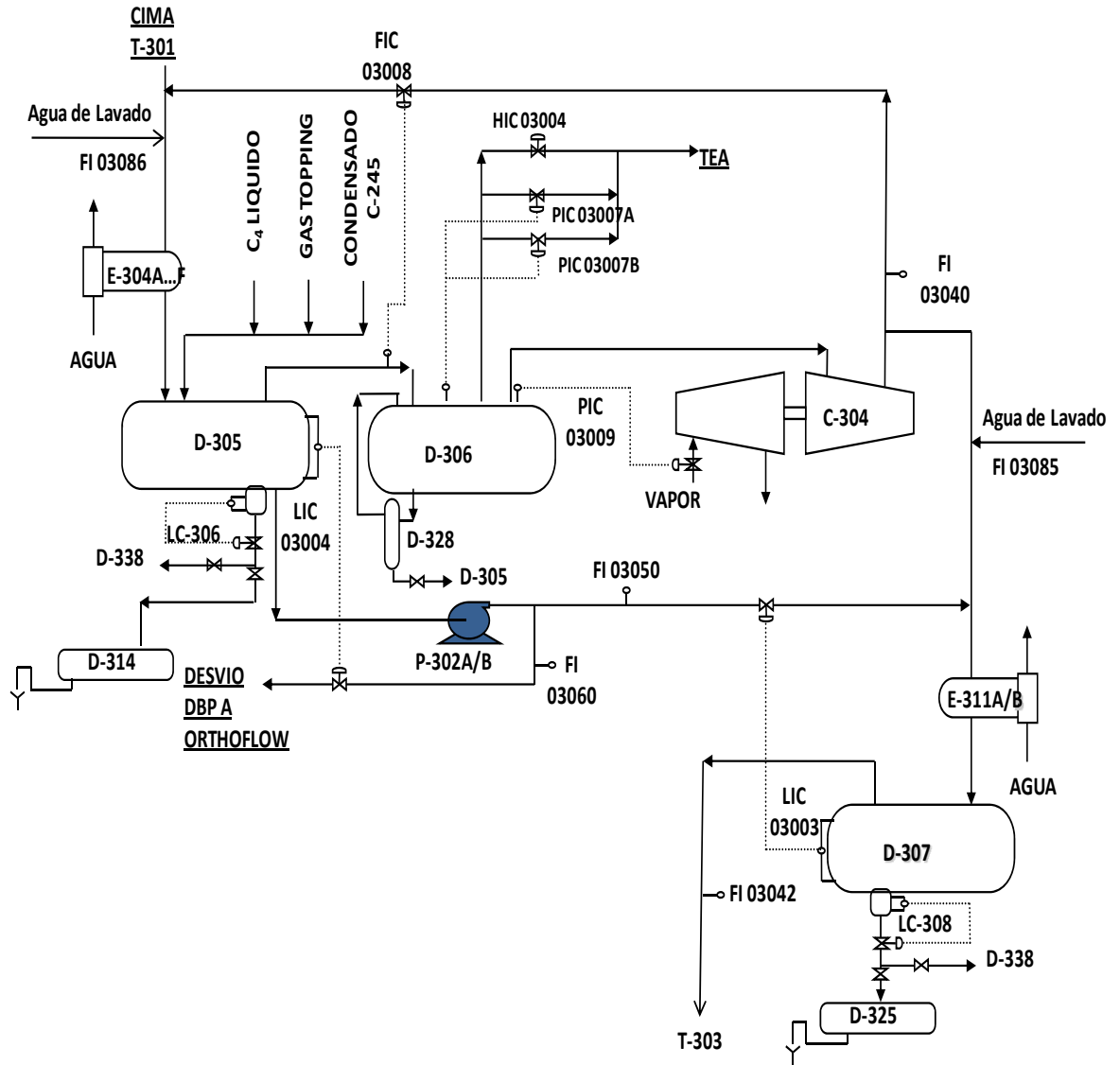
6. RECOMENDACIONES

- Utilizar como agua de lavado en la cima de la torre fraccionadora de las dos plantas una mezcla de 50% agua agria y 50% agua de caldera.
- Aumentar el número de puntos de inyección de agua de lavado mediante el uso de boquillas de aspersion en la cima de la torre fraccionadora y a la descarga del compresor en las dos plantas de Cracking.
- Continuar evaluando e implementar el uso de un inhibidor de corrosión en especial en la planta de Cracking Orthoflow donde se presentan altas velocidades de corrosión.
- Si las velocidades de corrosión continúan elevadas en algunos puntos de monitoreo (E-554 B) se recomienda un cambio en la metalurgia admiralty de los intercambiadores de calor por una metalurgia en dúplex.
- Establecer y solicitar con una frecuencia apropiada el monitoreo y análisis de laboratorio de las variables del agua agria de las botas de los tambores en para tratar de mantener el pH entre 6,5 y 7,5 y del agua de lavado las dos plantas.
- Aumentar los puntos de monitoreo con el ICMS3 o por lo menos con cupones o probetas de corrosión.
- Realizar en la siguiente parada de planta de Cracking Orthoflow los cambios de diámetro en algunos tramos de tubería y en el diámetro del impulsor de las bombas P-525 A/B para evitar que estas continúen trabajando en paralelo.

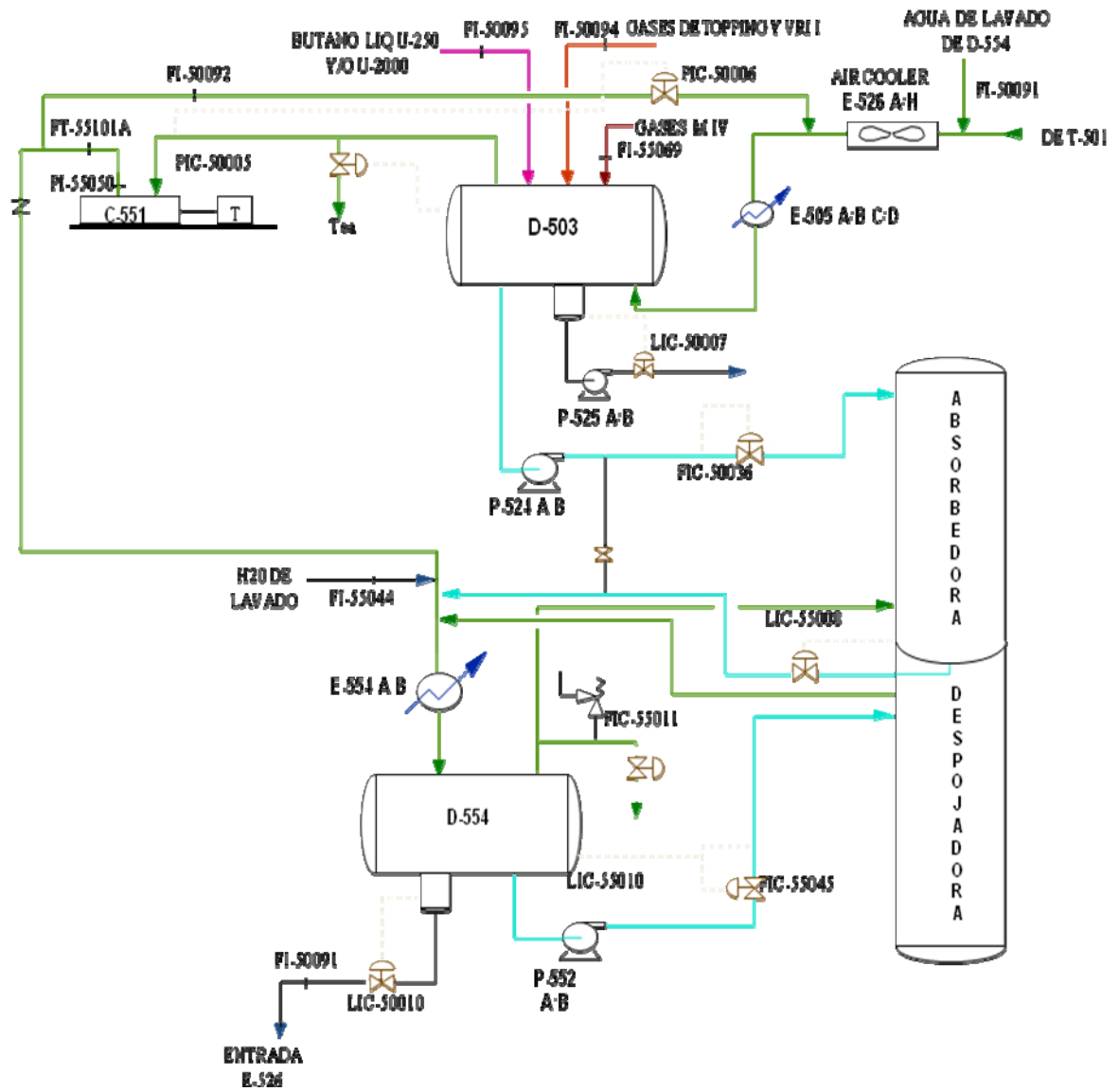
BIBLIOGRAFÍA

- ECOPETROL, Refinería Gerencia Complejo Barrancabermeja, Manual de descripción de procesos de la unidad de Craqueo Catalítico Modelo IV (Rev. 2007).
- ECOPETROL, Refinería Gerencia Complejo Barrancabermeja, Manual de descripción de procesos de la unidad de Craqueo Catalítico Orthoflow (Rev. 2007).
- DataBank MKS, Caracterización, parametrización, catalogación de partes y repuestos de plantas, equipos y componentes en Ellipse y actualización de P&ID`s de la unidad del departamento de Cracking Modelo IV (2003).
- CRANE, Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. Mc GRAW-HILL (1989).
- KENNETH J. McNaughton, Bombas selección, uso y mantenimiento. Mc GRAW-HILL. (1989).
- UOP, Fluid Catalytic Cracking Process FCC. (1998).

ANEXO 1. DIAGRAMA DE LA SECCIÓN DE LAVADO DE GASES EN LA PLANTA DE CRACKING MODELO IV



ANEXO 2. DIAGRAMA DE LA SECCIÓN DE LAVADO DE GASES EN LA PLANTA DE CRACKING ORTHOFLOW



ANEXO 3. SISTEMA RECOLECTOR DE AGUAS AGRIAS D-338.

Tabla 13. Caracterización del agua agria

DESCRIPCIÓN	% MOLAR
H ₂ O	99.06
H ₂ S	0.28
NH ₃	0.38
C ₃ H ₈	0.07
C ₆ ⁺	0.10
CO ₂	0.09
PHOH	0.01

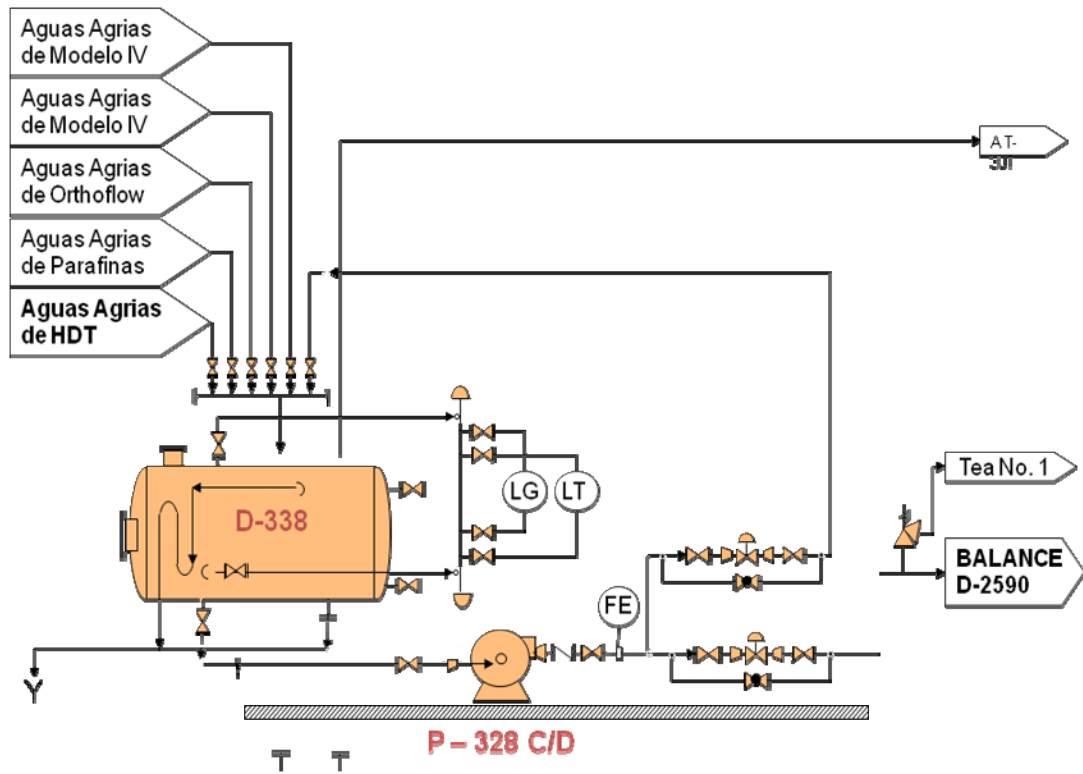


Fig. 6 Sistema recolector de aguas agrias D-338

ANEXO 4. MECANISMOS DE DAÑO PRESENTES EN EL SISTEMA DE CIMA DE LAS TORRES FRACCIONADORAS DE CRACKING III - GCB

1. ATAQUE DE LOS TUBOS DE ADMIRALTY POR AMONIACO Y H₂S.

Los mecanismos de corrosión de las plantas de Cracking Modelo IV y Orthoflow presentes en el lado externo de los tubos de los intercambiadores se deben a la presencia de H₂S, amoniaco, cianuro, ácidos orgánicos débiles, CO₂ en el producto de la cima. Las figuras 7 y 8, determinan las velocidades de corrosión para las aleaciones a base de cobre y los aceros al carbono en presencia de aguas agrias debido a la cantidad de H₂S en el agua.

El admiralty es susceptible al stress corrosión cracking – SCC y se presenta en las paradas de planta cuando los tubos tienen contacto con el aire. El SCC de los tubos de admiralty se debe al alto pH originado por NH₃ y además la presencia del H₂S acuoso.

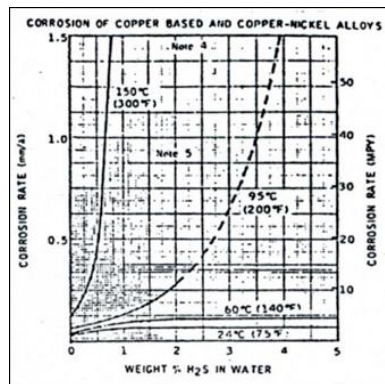


Fig. 7 Curva de velocidad de corrosión para las aleaciones de cobre en presencia de H₂S.

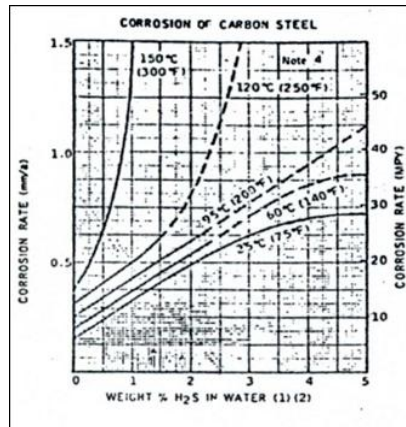


Fig. 8 Curva de velocidad de corrosión para aceros al carbono en presencia de H₂S.

Otro mecanismo de daño es la dezincificación, siendo este un ataque altamente selectivo que resulta de la disolución tanto del Cu como del Zn y la redepositación del cobre sobre el área levemente corroída. El depósito de cobre se caracteriza por ser poroso, frágil, débilmente adherido y permeable. La dezincificación ocurre en los latones donde el porcentaje de zinc es mayor del 10%.

Se reconoce la dezincificación por el cambio del color amarillo a rojizo, color característico del mayor contenido de cobre (ver figura 9), ocurre en aguas blandas especialmente cuando el contenido de dióxido de carbono es alto, también se presenta en ambientes acuosos ácidos. Otros factores a tener en cuenta en el mecanismo de daño por dezincificación son:

- ✓ Alta temperatura.
- ✓ Agua con alto contenido de cloruros.
- ✓ Baja velocidad del flujo de agua.
- ✓ Rendijas.
- ✓ Depósitos de arenas sobre la superficie metálica en ambientes neutros, alcalinos y ligeramente ácidos.

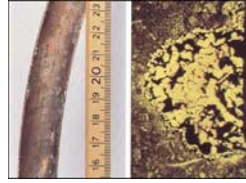


Fig. 9 Presencia de dezincificación tipo tapón, en el diámetro interno de un tubo de admiralty de un condensador.

2. CORROSIÓN DEL ACERO POR H_2S , CN^- Y OTROS ÁCIDOS.

El procesamiento de cargas con nitrógeno básico mayor a 500 ppm, aumenta la velocidad de corrosión en los equipos de VRU (Vapor Recovery Unit) de las cracking, por la generación de cianuros (CN^-) en la sección de alta temperatura. La presencia de cianuros incrementa la velocidad de corrosión del acero al carbono en la cima de la fraccionadora y en la VRU debido a la presencia de H_2S y pH alto, por la destrucción de películas protectoras de sulfuro de hierro. Por la ley de Henry se puede concluir que el NH_3 es cerca de 200 veces más soluble en agua que el H_2S , y cuanto mayor sea la relación NH_3 / H_2S , mayor será el pH del agua, lo cual proporcionará la mayor disociación del HCN y H_2S .

La gráfica de la figura 10, muestra el efecto que tiene el pH sobre la generación de iones CN^- , los cuales se originan de la disociación del HCN. Se puede afirmar que a mayor pH mayor será la generación de CN^- y a pH mayores de 11 la disociación del HCN será total.

El nitrógeno total de la carga es igual a la suma del nitrógeno básico y el nitrógeno no básico, de esta expresión y asumiendo que el nitrógeno básico es aproximadamente igual al 30%- 50% del nitrógeno total de la carga, se puede concluir que el nitrógeno total > 1700 ppm es crítico o sea mayor al 0.05% carga.

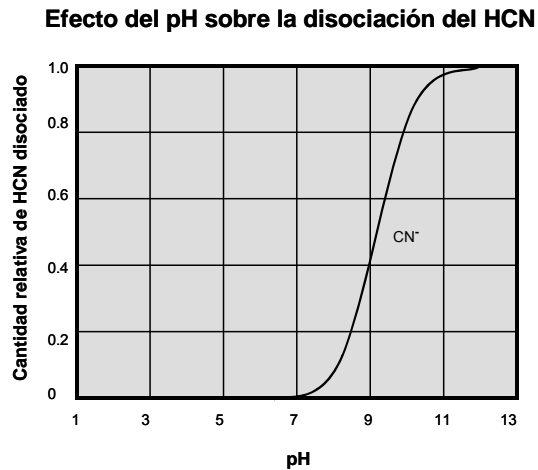
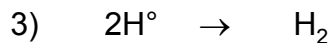
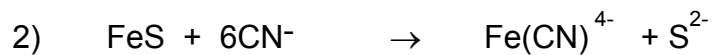
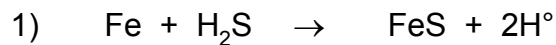


Fig. 10 Efecto del pH sobre la generación de CN^- .

Las reacciones químicas que rigen el comportamiento corrosivo de los materiales metálicos que conforman los equipos de la VRU son las siguientes:

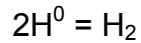


El Fe del acero al carbono reacciona con el H_2S para generar sobre el metal una película de sulfuro de hierro FeS que actúa a su vez como capa protectora y junto con el FeS se produce hidrógeno atómico (reacción 1). La capa de FeS reacciona con los iones de CN^- (reacción 2), formando un compuesto fácilmente removible (Ferrocianuro) dejando la superficie metálica expuesta al hidrógeno atómico formado en la reacción 1.

3. ATAQUE DE HIDRÓGENO Y/O FRAGILIZACIÓN

Algunos de los átomos de hidrógeno formados en el proceso de corrosión (ecuación 1) poco a poco penetran en la superficie del acero a través de las

imperfecciones y se difunden en el acero como hidrógeno atómico. Esta difusión de hidrógeno reacciona a la forma hidrógeno molecular:



Las moléculas de hidrógeno son de mayor tamaño y se encuentran atrapadas en las cavidades del acero causando presión local. El resultado es la presencia de fisuras en el metal, este mecanismo de corrosión se denomina ampollamiento por hidrógeno.

El ampollamiento por hidrógeno, ocurre predominantemente en aceros de bajos esfuerzos (aceros con esfuerzos de fluencia menor de 80 Psi). Los aceros laminados con altos niveles de impurezas tienden a experimentar más ampollamiento por hidrógeno debido a la concentración de las impurezas a lo largo de los planos paralelos de laminación. Una consecuencia de la formación de las ampollas del hidrógeno es la posible formación de grietas internas escalonadas conectadas a diferentes planos del metal o a la superficie metálica, no siendo necesario la aplicación de un esfuerzo externo.

El mecanismo de daño de ampollamiento por hidrógeno es un problema que se presenta en los sistemas de la cima de las torres fraccionadoras de Cracking Modelo IV y Cracking Orthoflow, por lo tanto se deben implementar técnicas de monitoreo y control.

Tabla 14. Condiciones propicias para la evolución del ampollamiento por hidrógeno.

Materiales Típicos:	Aceros, cobres y aluminio.
Fuente usual de hidrógeno:	Corrosión del H ₂ S, hidrógeno gaseoso.
Condiciones Típicas:	Presión: 0.2 a 1*10 ⁸ Pa. 0.00003 a 14503.7 psi. Temperatura: 30 a 300 °F

ANEXO 5. ESTUDIO DEL AGUA DE LAVADO EN EL SISTEMA DE GASES EN LAS PLANTAS DE CRACKING III.

En las tablas 15 y 16 se puede ver en color verde los lazos de corrosión que se encuentran bajo control y en color rojo aquellos lazos de corrosión que se encuentran fuera del límite permisible teniendo en cuenta que para la metalurgia admiralty (ADM) la máxima rata de corrosión permitida es 0,3 mpy y para la metalurgia de acero al carbón es de 3,0 mpy.

Tabla 15. Monitoreo de corrosión en la planta de Cracking Modelo IV.

Equipo	Tipo de Fluido	Técnica	Metalurgia	Julio 08 mpy)	Agost 08 (mpy)	Sept 08 (mpy)	Oct 08 (mpy)	Nov 08 (mpy)
E-304 D	Gases de cima T-301	PROBETA	ADM	0,3	0,10	0,22	1,84	0,10
E-304 E	Gases de cima T-301	CUPÓN	A. C.	0,46	0,21	6,25	0,27	0,27
E-304 E	Gases de cima T-301	CUPÓN	ADM	2,03	2,49	1,72	3,48	3,24
E-304 F	Gases de cima T-301	CUPÓN	A. C.	0,82	0,69	20,07	0,21	0,30
E-304 F	Gases de cima T-301	PROBETA	ADM	1,27	0,92	0,01	0,29	0,01
E-311 B	Salida de gases del C-304	PROBETA	ADM	0,30	0,46	0,20	1,07	0,01
D-305	Agua agria gases baja presión	CUPÓN	A. C.	0,32	0,15	39,63	0,25	0,32
D-307	Agua agria gases alta presión	CUPÓN	A. C.	0,61	0,25	0,61	0,31	0,30

Equipo	Diciembre 08 (mpy)	Enero 09 (mpy)	Febrero 09 (mpy)	Marzo 09 (mpy)	Abril 09 (mpy)	Mayo 09 (mpy)	Junio 09 (mpy)
E-304 D	Deshabilitado	0,11	0,26	0,42	0,38	0,30	0,15
E-304 E	0,34	0,29	0,17	SL	SL	SL	SL
E-304 E	2,62	1,26	1,83	SL	SL	SL	SL
E-304 F	0,31	0,46	0,15	0,09	0,22	0,86	0,21
E-304 F	Deshabilitado	Deshabilitado	0,10	Deshabilitado	Deshabilitado	SL	0,36
E-311 B	Deshabilitado	0,03	0,10	0,17	0,12	0,16	0,43
D-305	0,34	0,21	0,17	0,14	0,31	0,18	0,28
D-307	0,37	0,26	0,27	0,19	0,42	0,20	0,44

Tabla 16. Monitoreo de corrosión en la planta de Cracking Orthoflow.

Equipo	Tipo de Fluido	Técnica	Metalurgia	Julio 08 (mpy)	Agosto 08 (mpy)	Sept 08 (mpy)	Oct 08 (mpy)	Nov 08 (mpy)
E-554 A/B	Salida de gases del C-551	PROBETA	ADM	0,3	Deshabilitado	Deshabilitado	Deshabilitado	Deshabilitado
E-505B	Gases de cima T-501	PROBETA	ADM	0,30	0,71	0,24	0,20	Deshabilitado
E-505C	Gases de cima T-501	PROBETA	ADM	Deshabilitado	Deshabilitado	Deshabilitado	Deshabilitado	Deshabilitado

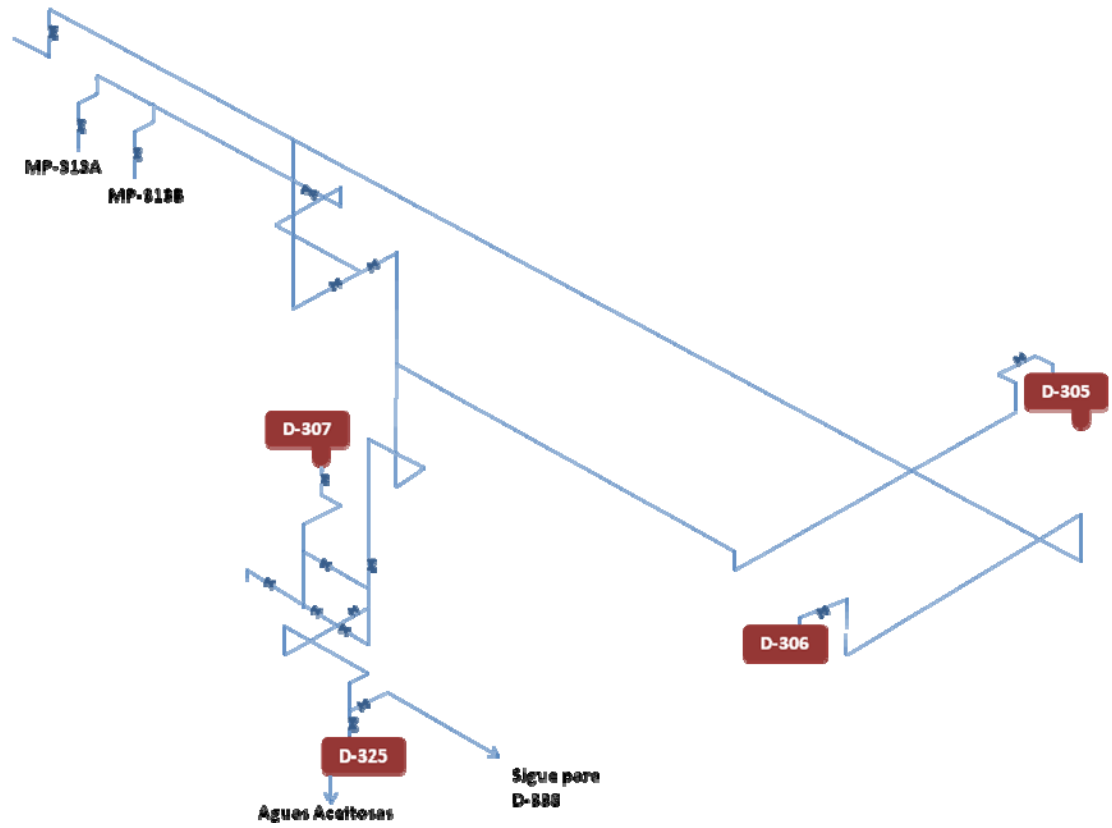
Equipo	Dic 08 (mpy)	Enero 09 (mpy)	Febrero 09 (mpy)	Marzo 09 (mpy)	Abril 09 (mpy)	Mayo 09 (mpy)	Junio 09 (mpy)
E-554 A/B	Deshabilitado	Daño Probeta	Daño Probeta	Daño Probeta	SL	15,34	19,02
E-505B	Deshabilitado	Deshabilitado	Deshabilitado	Deshabilitado	SL	SL	SL
E-505C	Deshabilitado	Deshabilitado	Deshabilitado	Deshabilitado	Deshabilitado	Deshabilitado	Deshabilitado

**ANEXO 6. CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES EN LA BOTA DEL
TAMBOR DE ALTA PRESIÓN D-307**


FECHA	H₂S	RSH
01/06/2009 09:56	1226	94.51
02/06/2009 12:45	1174	0
03/06/2009 12:43	1258	323
04/06/2009 15:48	1162	0
05/06/2009 10:01	938.5	0
06/06/2009 13:01	849.15	132.3
07/06/2009 11:59	1023	0
08/06/2009 13:47	779	626
09/06/2009 12:38	1080	0
10/06/2009 12:42	804.8	0
11/06/2009 12:31	863.3	0
12/06/2009 11:55	823.6	0

FECHA	NH₃	CLORUROS
02/06/2009 12:03	528.9	15.94
08/06/2009 13:47	752.19	5.06

ANEXO 7. TUBERÍAS QUE SALEN DE LA BOTA DEL TAMBOR DE ALTA PRESIÓN D-307.



ANEXO 8. RECOMENDACIÓN PARA DISEÑO TRAMO DE TUBERÍA DESDE LA BOTA DEL TAMBOR DE ALTA PRESIÓN D-307 HASTA LA CIMA DE LA TORRE FRACCIONADORA T-301.

	GERENCIA REFINERIA BARRANCABERMEJA	GCB-PTB-F-102
	COORDINACION DE INSPECCION E INTEGRIDAD	Julio 24 de 2007
	FORMATO PARA RECOMENDACIONES	Página 1 de 3

PIM-Z2-26135	EQUIPO : U300 Componente: Diseño tramo de tubería nueva	MDD	X
SERVICIO: Aguas Agrias		PPY	
OT No: 283071	DIRIGIDO A: DPTO. DE PLANEACION DE LA PRODUCCION	POSTERIOR	
CON COPIA: Coordinación Cracking III	VALORACION RAM = M FRP: JULIO 2009	REVISIÓN No:	02

1. DIAGNÓSTICO:

1.1. Condición Actual:

- 1.1.1. El sistema de aguas agrias ubicado en la U-300, Planta Cracking Modelo IV, recibe las aguas agrias, generadas en las unidades de la misma Cracking Modelo IV proviene de los tambores D-305, D-307, D-308 y D-309, Cracking Orthoflow, Parafinas y posteriormente de los sistemas de hidrotreatmento de Diesel y Nafta, unidades U-4700 y U-4750; todas estas corrientes de aguas agrias vienen por líneas independientes y son recolectadas en el tambor D-338, finalmente por medio de las bombas P-328 C/D, son enviadas hacia el sistema de tratamiento de aguas agrias ubicado en la unidad de Balance, bloque III.
- 1.1.2. El objetivo de tratar estas aguas agrias en la Unidad de Balance es removerle todos los contaminantes que tienen como el NH₃ y H₂S, contaminantes que de otra forma irían al sistema de aguas aceitosas, el cual no es totalmente cerrado, por tanto el NH₃ Y H₂S saldrían en forma de gases a la atmosfera produciendo contaminaciones extremadamente peligrosas a las personas que los inhalen y pueden producir hasta la muerte, los contaminantes que van en el agua aceitosa llegan a la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR, alterando la operación.
- 1.1.3. Un porcentaje de aguas agrias que llegan al tambor recolector D-338 no pueden ser enviadas al sistema de tratamiento de aguas agrias ubicados en la unidad de balance debido a ciertas restricciones que se tienen en cuanto a la cantidad de agua agría que se puede enviar; en estos casos la cantidad de agua agría de exceso en el tambor D-338 se envía directamente al sistema de aguas aceitosas ocasionando peligros a la atmosfera y a las personas debido a la alta concentración de contaminantes como el H₂S y NH₃, para evitar que estos gases contaminantes de las aguas aceitosas salgan a la atmosfera se puede utilizar un secuestrante de H₂S llamado triazina, el cual es muy costoso.

1.2. Condición a la que se quiere llegar con el proyecto

Mediante el reciclo de Agua Agría desde el tambor de alta presión D-307 a la cima de la torre fraccionadora T-301 se puede disminuir la cantidad de agua agría enviada al tambor D-338 lo cual implica:

- ✓ Menos costos en el tratamiento de agua agría en sistema de aguas aceitosas.
- ✓ Menos contaminación a la atmosfera.
- ✓ Menos peligros para las personas que se encuentren trabajando cerca al circuito recorrido de aguas aceitosas.

Adicionalmente mediante el reciclo se optimiza el proceso de Cracking ya que esta agua agria pasaría a ser utilizada como agua de lavado la cual serviría para controlar el pH y para el lavado de sales en esta sección del proceso.

2. VALORACIÓN RAM:

Según la valoración RAM se tiene (M)

Personas: 3C: M
Económico: 2D: L
Ambiental: 3D: M
Clientes: 2D: L
Imagen: 2D: L

3. RECOMENDACIONES:

- 3.1. Realizar levantamiento del plano por parte de un proyectista tomando como referencia el diagrama adjunto en el anexo. Revisando si la soportería actual es suficiente.
- 3.2. A partir del punto No. 1 se puede dismantelar la tubería que se dirige hacia las P313A/B y hacia el D306. Esta tubería esta demarcada en el diagrama con líneas punteadas de color rojo.
- 3.3. A partir del punto No. 2 se puede dismantelar la tubería que se dirige hacia el D305. Esta tubería esta demarcada en el diagrama con líneas punteadas de color rojo.
- 3.4. Utilizar tubería de 2" de diámetro, material ASTM A106 Gr. B, sch 80.
- 3.5. Bridas de 2" de diámetro, rating 150#, tipo WN, cara RF, SCH:80, ENDS:BFW, material ASTM A105.
- 3.6. Accesorios de 2" de diámetro, material ASTM A105, sch: 80.
- 3.7. Perfiles para soportería material ASTM A36.
- 3.8. Válvula globo de 2" de diámetro, ASTM A216 GR WCB, CLASS:150, ENDS:RF, API TRIM:8 (F6, 13% CR/HF), BORE: NORMAL
- 3.9. Instalar medidor de flujo.
- 3.10. Soldar utilizando electrodos AWS E6010 para el pase de raíz y E7018 para rellenos.
- 3.11. Realizar tratamiento térmico a las uniones soldadas con el propósito de disminuir los esfuerzos residuales del material.
 - 3.11.1. Calentar hasta alcanzar una temperatura de 1150°F, incrementando la temperatura a una velocidad de 350°F por hora.
 - 3.11.2. Mantener la temperatura de 1150°F durante una hora por cada pulgada de espesor.
 - 3.11.3. Enfriar hasta alcanzar una temperatura de 600°F, a una velocidad de 350°F por hora.
 - 3.11.4. Dejar enfriar hasta la temperatura ambiente, manteniendo tapadas las uniones soldadas con la manta kaowool.

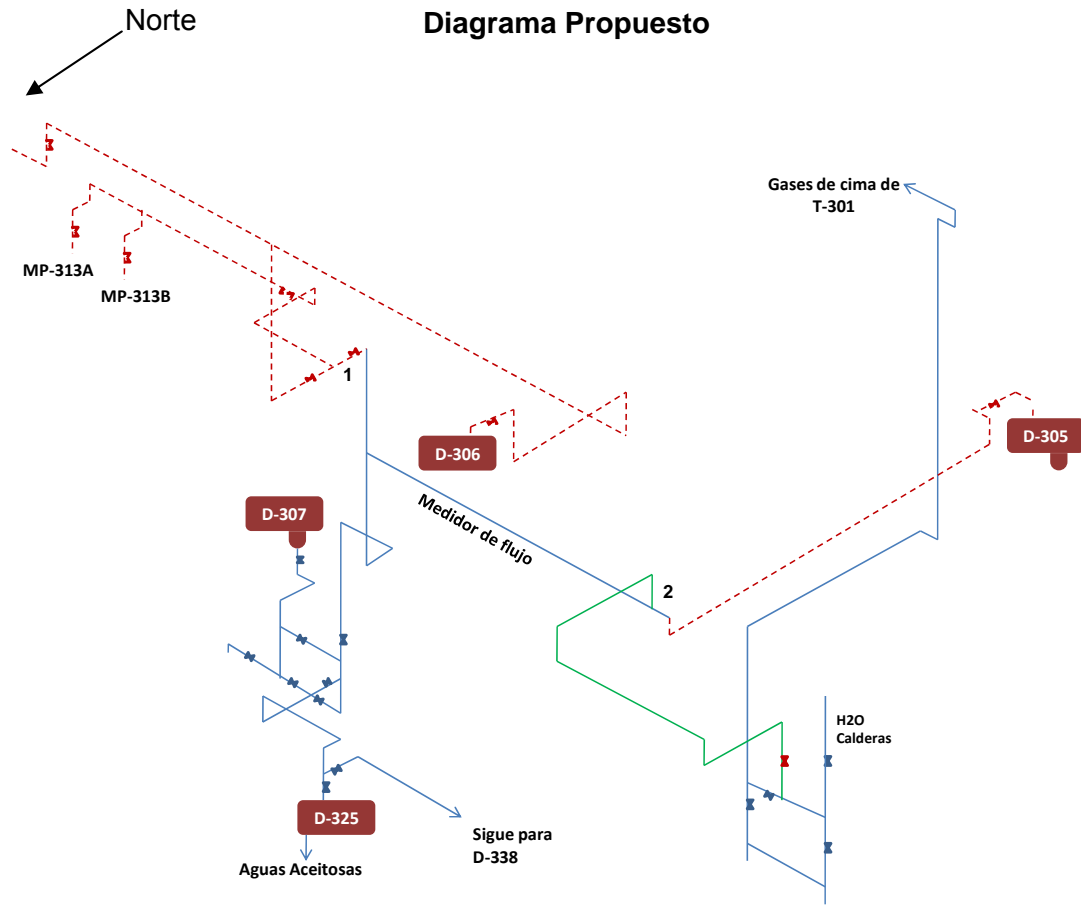
4. CONTROLES DE CALIDAD REQUERIDOS:

- 4.1. Diligenciamiento del respectivo protocolo.
- 4.2. Inicio del respectivo control de cambios.
- 4.3. Ensayo de líquidos penetrantes al pase de raíz.
- 4.4. Inspección visual y recibo de todos los trabajos por parte del inspector de equipos.

5. PROTOCOLOS E INSTRUCTIVOS A UTILIZAR:

- 5.1. HSE,
- 5.2. ATS,
- 5.3. Permiso de trabajo,

ANEXOS: Diagrama línea de agua de lavado								
ELABORÓ: Norberto Alonso Beltrán / Liseth Zamudio Rubio. REGISTRO: E0202413 /2-6998								
FECHA : 10 de junio de 2009								
FIRMA :								
EJECUCION:	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	TOTAL	<input type="checkbox"/>	PARCIAL	<input type="checkbox"/>



Convenciones del diagrama:

- El diagrama no está dimensionado.
- Las líneas y válvulas de color azul son las que se encuentran en el sistema actual.
- La línea de color verde es el tramo de tubería que se va a diseñar para hacer el reciclo de agua agria desde la bota del D-307 hacia la línea de salida de los gases de la cima de la torre fraccionadora T-301.

La válvula de color rojo debe ser una válvula de globo para controlar la cantidad de agua agria proveniente de la bota del D-307.