

**ACONDICIONAMIENTO DE EFLUENTE ACUOSO PROVENIENTE DEL D-2604
DEL DEPARTAMENTO DE REFINACIÓN DE FONDOS DE LA GRB, PARA SU
USO COMO AGUA DE CALDERAS**

JULY ANDREA GARCÍA RUEDA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2015

**ACONDICIONAMIENTO DE EFLUENTE ACUOSO PROVENIENTE DEL D-2604
DEL DEPARTAMENTO DE REFINACIÓN DE FONDOS DE LA GRB, PARA SU
USO COMO AGUA DE CALDERAS**

JULY ANDREA GARCÍA RUEDA

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de:
Ingeniera Química**

Directora

DEBORA ALCIDA NABARLATZ

Ingeniera Química, Ph.D

Tutor

YENNSY DAVIAN RAVELO ESPINDOLA

Ingeniero Químico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2015

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. MARCO TEÓRICO	14
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	14
1.2. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	16
1.3. INICIATIVAS IMPLEMENTADAS ANTERIORMENTE	21
1.4. CORROSIÓN DEL ACERO AL CARBÓN POR O ₂ Y CO ₂ EN SOLUCIÓN	21
1.5. PRINCIPIOS TEÓRICOS DE LA DESAIREACIÓN:	22
1.5.1. Desaireación por vacío.	22
1.5.2. Desaireación térmica.	23
2. OBJETIVOS.....	26
2.1. OBJETIVOS GENERALES.....	26
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
3. METODOLOGÍA	27

3.1. REQUERIMIENTOS PARA QUE UN CONDENSADO PUEDA SER ENVIADO A SIBA PARA SU USO COMO AGUA DE CALDERAS	27
3.2. CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL EFLUENTE	28
3.3. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS	28
3.4. EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS	28
3.4.1. Evaluación Técnica.....	28
3.4.1.1. Alternativa 1: Desaireación térmica	28
3.4.1.2. Alternativa 2: Desaireación química.....	31
3.4.2. Evaluación Económica.....	31
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	33
4.1. REQUERIMIENTOS PARA QUE UN CONDENSADO PUEDA SER ENVIADO A SIBA PARA SU USO COMO AGUA DE CALDERAS	33
4.2. CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL EFLUENTE	34
4.3. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS	34
4.4. EVALUACIÓN TÉCNICA DE LAS ALTERNATIVAS.....	35
4.5. EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	42
5. CONCLUSIONES	44

6. RECOMENDACIONES.....	45
REFERENCIAS BIBLIOGRAFIA.....	46
BIBLIOGRAFÍA.....	49
ANEXOS.....	52

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de bloques del Departamento de Refinación de Fondos.....	16
Figura 2. Diagrama de flujo de la Unidad de Generación de Hidrógeno.....	18
Figura 3. Efluente ácido del tambor D-2604	19
Figura 4. Metodología planteada	27
Figura 5. Propuesta de rediseño del F-2602C	38
Figura 6. Sistema propuesto para la alternativa 1.....	39
Figura 7. Sistema propuesto para la alternativa 2.....	41

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Datos de entrada al desaireador en la simulación (PRO II)	29
Tabla 2. Características del agua de alimentación al DH-2951	33
Tabla 3. Caracterización fisicoquímica del efluente acuoso del D-2604	34
Tabla 4. Resultados de la simulación en PRO II.....	36
Tabla 5. Relación de equipos y/o accesorios necesarios para el proceso de desaireación térmica.....	40
Tabla 6. Relación de equipos y/o accesorios necesarios para el proceso de desaireación química.....	42
Tabla 7. Factor j para cada alternativa.....	42

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Diagrama de bloques de la Gerencia Refinería Barrancabermeja	52
ANEXO B. Artículo 11 de la Resolución 0631 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	53
ANEXO C. Filtro F-2602C desmantelado en la Unidad de Generación de Hidrógeno	54
ANEXO D. Simulación de desaireación del CO ₂ disuelto en el condensado del D- 2604	55
ANEXO E. Plano del filtro F-2602C	56
ANEXO F. Datos de entrada a Pipephase para el cálculo hidráulico de la alternativa 1	57
ANEXO G. Datos de entrada a Pipephase para el cálculo hidráulico de la alternativa 2	58
ANEXO H. Reporte de medición de espesor del F-2602C	59
ANEXO I. Cálculo de vida útil del F-2602C	60
ANEXO J. Especificaciones de Amina neutralizante Corrtreat BW 7324	61
ANEXO K. Ficha de seguridad de la Amina Corrtreat BW 7324	63
ANEXO L. Resultado del cálculo hidráulico desde el F-2602C hasta el DH-2951 en Pipephase	64
ANEXO M. Resultado del cálculo hidráulico desde el D-2604 hasta el DH-2951 en Pipephase	65
ANEXO N. Cálculo del factor j para cada alternativa	66

RESUMEN

TITULO: ACONDICIONAMIENTO DE EFLUENTE ACUOSO PROVENIENTE DEL D-2604 DEL DEPARTAMENTO DE REFINACIÓN DE FONDOS DE LA GRB, PARA SU USO COMO AGUA DE CALDERAS*

AUTORES: GARCÍA RUEDA, July Andrea**

PALABRAS CLAVES: Desaireación térmica y química, CO₂ disuelto.

DESCRIPCIÓN:

En la planta de Generación de Hidrógeno del Departamento de Refinación de Fondos de la GRB, se está vertiendo un condensado ácido al sistema de aguas lluvias, proveniente del mismo proceso, en el tambor separador D-2604. Este efluente está generando los siguientes impactos desfavorables: daño a la comunidad y al ecosistema del Rio Magdalena por el desequilibrio en la fauna y flora generado, aceleración de la corrosión en las tuberías aguas abajo e impedimento de reutilización por daño corrosivo en la metalurgia de los equipos, deterioro del concreto alrededor del equipo en cuestión y mal aspecto visual de la planta, además del detrimento económico por falta de reutilización del efluente, que previo al proceso de generación de hidrógeno pasa por todo el tratamiento fisicoquímico de aguas de calderas.

A través de la práctica industrial realizada se evalúan técnica y económicamente dos alternativas con el fin de acondicionar el efluente en cuestión para enviarlo al desaireador DH-2951 de la Unidad de Servicios Industriales Balance, y darle uso como agua de calderas. Las alternativas consideradas fueron: realizar desaireación térmica mediante la adecuación de la torre F-2602C (la cual se encuentra en desuso y desmantelada desde hace varios años) para usarla como desaireador, y realizar la desaireación química eliminando el CO₂ disuelto en el mismo tambor separador D-2604.

Con ambas alternativas se logra eliminar el CO₂ disuelto y subir el pH del efluente a 8.8, sin embargo el estudio económico muestra que la alternativa 2 tiene el factor j más alto, lo que quiere decir que genera mayor beneficio económico al departamento de Refinación de Fondos. Se recomienda la implementación de la alternativa 2 porque además de ser más rentable, su montaje y operación es más sencillo.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas, Escuela de Ingeniería Química, Director: Dra. Debora Alcida Nabarlahtz.

ABSTRACT

TITLE: CONDITIONING OF THE AQUEOUS EFFLUENT FROM THE D-2604 IN THE BOTTOMS REFINING DEPARTMENT BELONGING TO THE GRB, TO USE IT AS A HEATING FLUID*

AUTHOR: GARCÍA RUEDA, July Andrea**

KEY WORDS: Thermal and chemical deaeration, CO₂ dissolved.

DESCRIPTION

In the hydrogen generation plant of the Bottoms Refining Department of the GRB, a condensed acid is pouring into the rainwater system, which comes from the same process, through the D-2604 separator drum. This effluent is generating the following unfavorable impacts: community and ecosystem damage of the Magdalena River caused by the fauna and flora disequilibrium that is generated, accelerating the pipeline corrosion downstream, reuse impediment due to the corrosive damage in the equipment's metallurgical, concrete deterioration around that equipment and an unsightly plant. Furthermore, it also caused an economical detriment due to the lack of the effluent reuse, which before the hydrogen generation process, it passes through the water boilers physicochemical treatment.

Two alternatives were technically and economically evaluated through the industrial practice developed to condition the effluent mentioned above with the aim of send it to the DH-2951 deaerator of the Balance Industrial Services Unity and use it as a water boilers. The considered alternatives were: thermal deaeration through the adequacy of the F-2602C tower (which is not being used and it was dismantled many years ago) to use it as a deaerator and the chemical deaeration which consists in remove the dissolved CO₂ in the same D-2604 separator drum.

The final outcome with both alternatives was the removal of the dissolved CO₂ and the increasing of the pH effluent to 8.8, however the economical studied showed that the second alternative has the highest j factor, namely, it generates the greatest economic benefit for the Bottoms Refining Department. It is recommended the second alternative implementation due to the fact that not only has an easy assembly and operation but it is more profitable as well.

* Degree project.

** Phisico-Chemical Engineering Faculty, Chemical Engineering School, Director: Phd. Debora Alcida Nabarlahtz.

INTRODUCCIÓN

La Gerencia Refinería de Barrancabermeja (GRB) de Ecopetrol S.A, procesa crudos de varias calidades con el fin de producir diferentes tipos de combustibles y productos petroquímicos para el abastecimiento nacional. El área de refinación produce principalmente gasolinas y destilados, mientras que el área de petroquímica elabora productos tales como bases lubricantes, parafinas, aromáticos y polietilenos.

Para que esta actividad económica se lleve a cabo, muchos procesos de refinación están sujetos a regulaciones y condiciones de permisos impuestos por el gobierno, por lo que uno de los temas más importantes para la GRB es el cumplimiento de los asuntos relacionados con el medio ambiente, basados en los permisos y penalidades que debe cumplir la industria.

El Departamento de Refinación de Fondos de la GRB, tiene como prioridad aplicar las leyes ambientales impuestas por los entes gubernamentales, con el fin de mitigar todo el impacto ambiental en la ciudad de Barrancabermeja y evitar multas y sanciones a la refinería. Por tal motivo ha venido trabajando en reducir los impactos ambientales generados en el departamento, dentro de los cuales se encuentra el acondicionamiento o reutilización de un condensado ácido que se está vertiendo al sistema de aguas lluvias, cuyo efecto es el desequilibrio de la fauna y flora del Rio Magdalena. A través de la práctica industrial realizada se presentó el siguiente trabajo, en donde se evalúan diferentes alternativas con el fin de acondicionar dicho efluente para reutilizarlo como agua de calderas, así como el respectivo estudio económico y la sugerencia de una alternativa a implementar.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Ecopetrol S.A es la empresa más grande del país y la principal compañía petrolera de Colombia. Por su tamaño, pertenece a las 39 petroleras más grandes del mundo y está entre las cinco principales de Latinoamérica. Es una sociedad mixta, de naturaleza mercantil, vinculada al Ministerio de Minas y Energía, dedicada al ejercicio de las actividades propias de la industria y el comercio del petróleo y sus afines¹ [1].

Ecopetrol cuenta con la mayor refinería de Colombia; la Gerencia Refinería de Barrancabermeja (GRB), localizada en la ciudad del mismo nombre, en el departamento de Santander. La GRB tiene la capacidad de mantener una carga promedio de 250 mil barriles día de crudo de diferentes calidades, que se procesa inicialmente en el Departamento de Refinación de Crudos. Allí cuentan con 5 columnas de destilación atmosférica, cuyos productos según el orden ascendente de peso molecular son: Nafta, JET, ACPM, gasóleo y crudo reducido. Este último pasa a las 4 plantas de destilación al vacío, donde se obtiene el producto liviano GLV (gasóleo liviano de vacío), seguido del GPV (gasóleo pesado de vacío) y un asfalto muy pesado llamado fondos de vacío (Ver anexo A).

El Departamento de Refinación de Fondos se encarga de procesar los fondos de vacío con el fin de convertirlos en gasolina y en otros productos más valiosos. Este departamento surgió a partir del proyecto de economizar divisas al disminuir

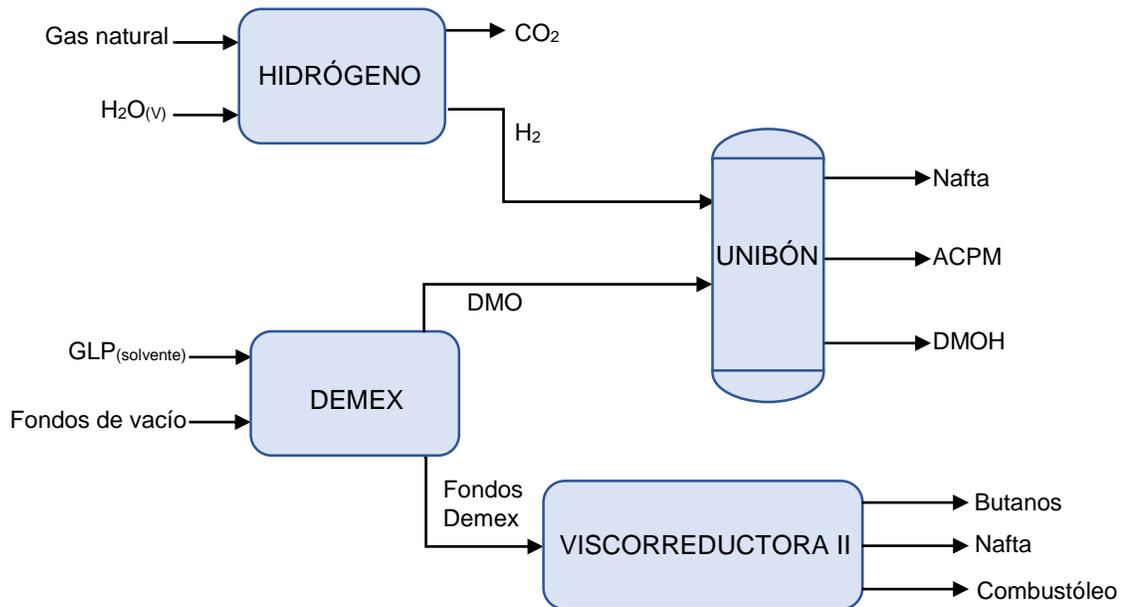
¹ E. S.A, «Ecopetrol S.A,» 9 12 2014. [En línea]. Available:http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/Ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienes-somos/acerca-de-ecopetrol/nuestra-historia!/ut/p/z1/tVZdk5owFP0r3QceYxJCIPYN1y6K0_0QtSsvTsCgtEAQUHf76xvtjIN3VxhnKDM83HDuSe49hwvQh8_Qz_guXvEqIhIPVDz3zQV7xLYzRHjkdL0-svXpkN5NdTx. [Último acceso: 2 mayo 2015].

la importación de gasolina, convirtiendo un producto de bajo precio como el asfalto, en otros productos de alto precio como gasolina y gas propano.

El Departamento de Refinación de Fondos está compuesto por cuatro plantas ubicadas en los bloques I y II de la unidad de Balance, Demex (U-2500), Viscosreductora II (U-2800), Unibón (U-2650) e Hidrógeno (U-2600). En la primera se cargan los fondos de vacío y por medio de un proceso de extracción líquido-líquido se separa un producto liviano llamado aceite demetalizado (DMO) de uno pesado denominado fondos Demex. La Unidad Viscosreductora II carga los fondos Demex y por medio de craqueo térmico obtiene butanos líquidos, nafta y combustóleo. Por otro lado, la unidad de Unibón procesa el DMO por medio de una reacción de hidrogenación, con la que se produce el aceite demetalizado hidrogenado (DMOH) que se carga en las unidades de cracking para producir más gasolina. El hidrógeno que se necesita en Unibón lo provee la Unidad de Generación de Hidrógeno, donde por medio de una reacción de reformado entre el vapor de agua y el metano contenido en el gas natural, se produce hidrógeno de alta pureza² [2]. Lo anterior se esquematiza en la figura 1.

² ECOPEPETROL S.A, «Manual de descripción de proceso de la Unidad Demex, capítulo 2,» Barrancabermeja, 2007.

Figura 1. Diagrama de bloques del Departamento de Refinación de Fondos



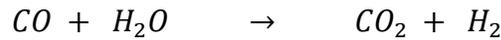
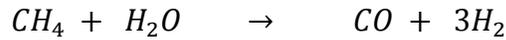
1.2. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La Unidad de Generación de Hidrógeno carga aproximadamente 3 millones de pies cúbicos estándar día (PCED) de gas natural y produce 12.5 millones PCED de hidrógeno y 150 ton/día de CO₂ como subproducto. Este proceso se lleva a cabo en las secciones descritas a continuación y se esquematiza en la figura 2³ [3]:

- **Sección de Desulfurización:** Se remueven las trazas de azufre que trae el gas natural y que envenenan el catalizador del horno de reformado.

³ ECOPETROL S.A, «Manual de descripción de proceso de la Unidad de Generación de Hidrógeno,» Barrancabermeja, 2007.

- **Sección de Reformado con Vapor:** Se produce hidrógeno a partir de vapor de agua y metano, dentro del horno de reformado. Adicionalmente se genera CO₂ y CO, según las siguientes reacciones:



- **Sección de Conversión:** Se convierte el monóxido de carbono en dióxido de carbono generado en la reacción de reformado, de la siguiente manera:



- **Sección de Remoción de Dióxido de Carbono:** La remoción de CO₂ se realiza por medio de un proceso de absorción con amina, para lograr alta pureza en el hidrógeno gaseoso.

- **Sección de Metanización:** Ocurren las reacciones de metanización, que convierten los óxidos de carbono residual del proceso, en metano:

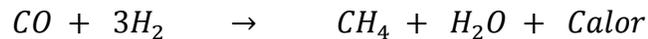
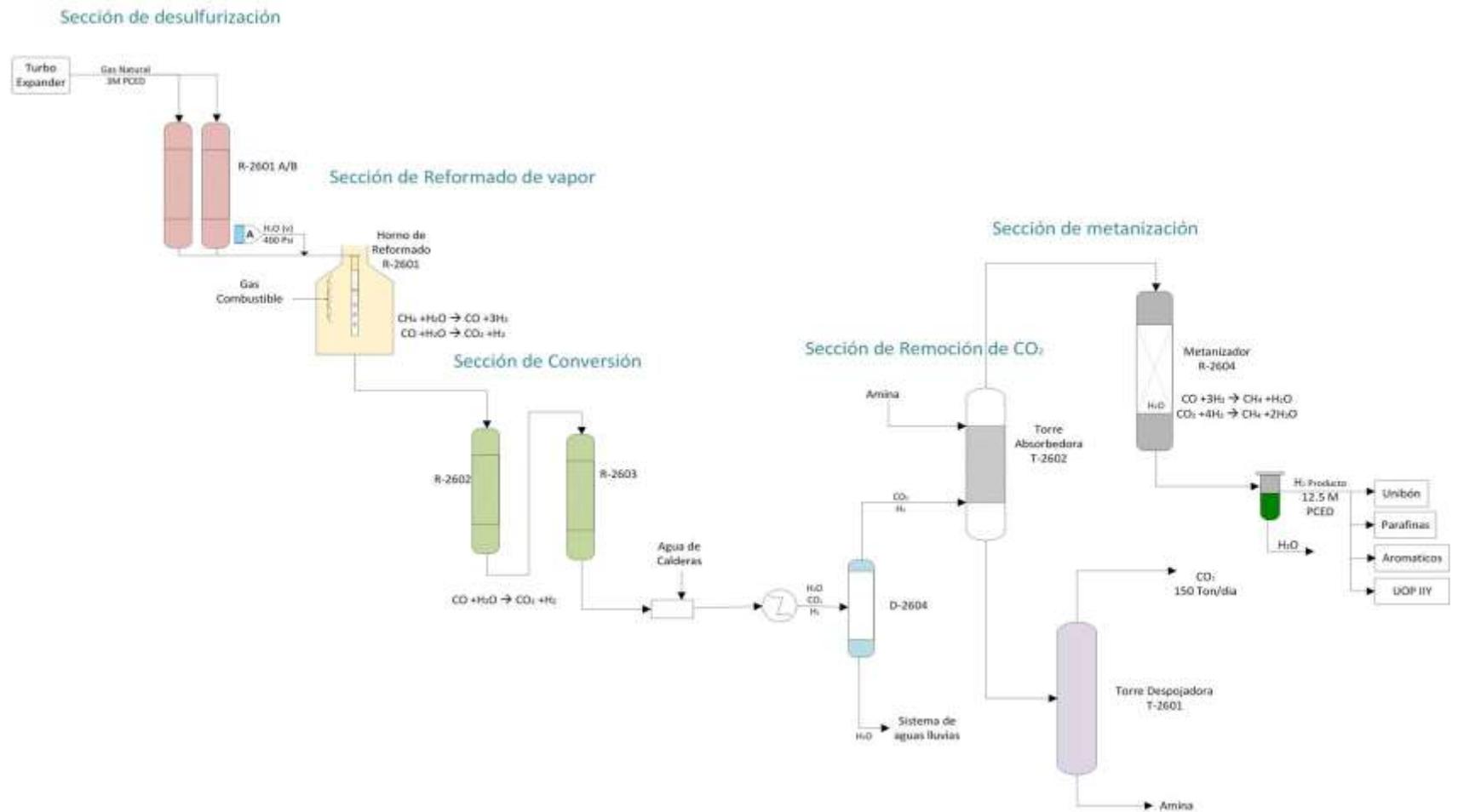


Figura 2. Diagrama de flujo de la Unidad de Generación de Hidrógeno



Fuente: Manual de la Unidad de generación de Hidrógeno [3].

Enfatizando en la sección de conversión, la corriente de gases (H_2 , CO_2 y H_2O_{vapor}) que sale de los reactores que convierten el CO en CO_2 (R-2602 y R-2603) se satura con agua de calderas y se enfría para separar el agua que está en fase vapor de los otros gases. Dicha separación se da en el tambor D-2604, donde los gases de hidrógeno y CO_2 pasan a la sección de remoción de dióxido de carbono por medio de absorción con amina, mientras que el agua condensada se vierte como efluente acuoso al sistema de aguas lluvias, tal como se puede observar en la figura 3.

Figura 3. Efluente ácido del tambor D-2604



Este efluente tiene un pH ácido por la acción del CO₂ que se disuelve como ácido carbónico en el agua condensada, lo que ha generado los siguientes impactos desfavorables:

- Aceleración de la corrosión en las tuberías aguas abajo y el impedimento de reutilización por daño corrosivo en la metalurgia de los equipos.
- Deterioro del concreto alrededor del equipo en cuestión y mal aspecto visual de la planta.
- Graves daños a la comunidad y al ecosistema del Rio Magdalena, ya que genera un desequilibrio en su fauna y flora.
- Detrimento económico por falta de reutilización del efluente, que previo al proceso de generación de hidrógeno pasa por todo el tratamiento fisicoquímico de aguas de calderas.

Desde el punto de vista ambiental, hay penalidades o multas para las empresas que no se rigen a la Resolución No. 0631 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la cual “establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles que deberán cumplir quienes realizan vertimientos puntuales a los cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público”⁴. En el artículo 11 del capítulo VI se encuentran los parámetros fisicoquímicos a monitorear para los efluentes de aguas residuales de actividades asociadas con hidrocarburos, donde se establece que su pH no debe estar por debajo de 6 ni por encima de 9 (Ver Anexo B). Esto ha generado una gran preocupación y por ende la necesidad de acondicionar o reutilizar el efluente acuoso que sale del tambor D-2604, aspecto en el cual se enfoca la presente propuesta.

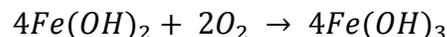
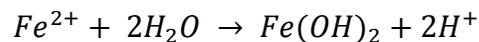
⁴ COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 0631 (17, marzo, 2015). Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. Bogotá: El ministerio, 2015. 62p.

1.3. INICIATIVAS IMPLEMENTADAS ANTERIORMENTE

- Se envió el condensado en cuestión a la planta de aguas agrias, ubicada en el bloque III de la Unidad de Balance, para neutralizar la corriente de agua que se envía hacia PTAR y hacia los desaladores de Topping. Por problemas hidráulicos, se presentaba inundación de la torre T-2590 de la planta de aguas agrias, lo que llevó a desmantelar dicha iniciativa.
- Se instaló una línea de dos pulgadas (2 in), de acero inoxidable, desde el tambor D-2604 hasta el cabezal de alimentación del desaireador DH-2951, de la Unidad de Servicios Industriales de Balance (SIBA), con el fin de desgasificar el efluente en cuestión y reutilizarlo como agua de calderas. Esta iniciativa estuvo en funcionamiento tan sólo por una semana, ya que el equipo DH-2951 es de acero al carbón, por lo que la pasivación interna se veía amenazada debido a la aceleración de la corrosión provocada por el CO₂ disuelto en el efluente, tal como se explica en el siguiente apartado.

1.4. CORROSIÓN DEL ACERO AL CARBÓN POR O₂ Y CO₂ EN SOLUCIÓN

En medio acuoso el hierro se oxida a hidróxido ferroso (Fe(OH)₂), el cual reacciona con el oxígeno disuelto en el agua para formar hidróxido férrico (Fe(OH)₃), que es de color rojizo, lo que implica corrosión⁵ [4].

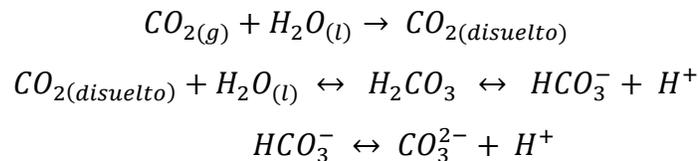


A elevadas temperaturas el hidróxido ferroso se convierte en una capa densa de protección, de color negro denominada magnética, la cual termina protegiendo el

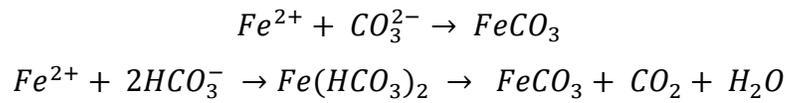
⁵ P. R. ROBERGE, Handbook of corrosion engineering, New York: McGraw-Hill, 1999, p. 15.

metal del agua y del oxígeno [4]. Sin embargo, a bajos pH el hidróxido ferroso se diluye, permitiendo el ataque corrosivo del CO₂ disuelto, el cual involucra la formación de una capa de carbonato de hierro sólido (FeCO₃), según las reacciones descritas a continuación [5]. El FeCO₃ precipita sobre la superficie del metal formando una película no protectora de producto de corrosión, por lo que el ataque corrosivo del metal prosigue. Se ha confirmado que la corrosividad del CO₂ en solución aumenta si el medio se encuentra en movimiento⁶ [6].

Disociación del CO₂ disuelto:



Formación de FeCO₃:



1.5. PRINCIPIOS TEÓRICOS DE LA DESAIREACIÓN:

La existencia de gases no condensables en el agua ha de combatirse con la desaireación. Entre los tipos de desaireación se puede encontrar la desaireación por vacío, la desaireación térmica y la desaireación química [7].

1.5.1. Desaireación por vacío. Se realiza en una torre cuyo interior contiene bocas pulverizadoras que dividen el agua en pequeñas partículas, con lo que se consigue aumentar la superficie del líquido para facilitar el posterior desprendimiento de los gases disueltos. En esta cámara se crea un vacío a través de la extracción de aire por medio de un eyector de vapor o bomba de vacío, el

⁶ B. V. SALAS Y M. S. WIENER, Corrosión y preservación de la infraestructura industrial, España: OmniaScience, 2013, p. 108.

cual mantiene el equipo a la presión correspondiente a la temperatura de ebullición del agua o muy próxima a ésta, generando que los gases insolubles se liberen y se eliminen por medio de esta bomba [8]. Este tipo de desgasificadores no suelen usarse con tanta frecuencia debido al alto costo de operación en bombas de vacío o por las limitaciones de los eyectores, además es menos eficiente que los otros tipos de desaireadores a medida que aumenta el caudal del agua a tratar⁷ [8].

1.5.2. Desaireación térmica. Proceso en el cual se pone en contacto el agua a tratar con vapor, a velocidades controladas, en una torre empacada o de platos, con el fin de aumentar la temperatura del agua hasta que se alcance la temperatura de saturación correspondiente a la presión del equipo. Los gases contenidos en el agua se liberan y salen del equipo junto con trazas de vapor que no se logran retener. Este fenómeno físico se basa en tres principios fundamentales: ley de Henry, ley de Dalton y el concepto de solubilidad [8].

- **Ley de Henry:** La concentración de un gas disuelto en un líquido es proporcional a la presión parcial del gas en la atmósfera que contiene el líquido ($p = Hx$) [9]. Por tal motivo la presión parcial del gas en el desaireador deberá ser baja, y se debe mantener durante toda la sección de desaireación.
- **Ley de Dalton:** La presión total de una mezcla de gases es igual a la suma de sus presiones parciales ($P = \sum p_i$) [9].
- **La solubilidad de un gas es inversamente proporcional a la T:** La solubilidad de cualquier gas es cero en el punto de ebullición de un líquido. Por tanto, si se opera a una temperatura cercana a la de ebullición del agua, se

⁷ J. E. V. GÓMEZ, Análisis de Equipos de Desgasificación en Instalaciones de Vapor (tesis de pregrado), Sevilla-España, 2014, pp. 37- 41

puede afirmar que el O₂ y CO₂ pasarán a la fase vapor, para que se mantenga el equilibrio predicho por la ley de Henry⁸ [9].

Los tipos de desgasificación que manejan el método térmico son el atmosférico y el presurizado. El primero tiene un uso similar al que trabaja a presión, pero suele emplearse cuando se quiere ahorrar en elementos auxiliares en el sistema de eliminación de gases, sin embargo es de baja eficiencia y por eso presenta limitaciones según el caudal a manejar y el uso. De ahí que, en la industria dedicada a la generación de energía no se usan desaireadores atmosféricos [8].

1.5.2.1.Desaireación química. Su función es la de eliminar químicamente el residual de oxígeno o dióxido de carbono disueltos en el agua, para ello existen diferentes productos químicos tales como:

- Eliminadores de O₂: Sulfitos, hidracina, carbohidracina, DEHA, etc. Estos reaccionan con las moléculas de O₂ e impiden su presencia como agente libre al verse formando nuevas moléculas químicas con su reactante que no son perjudiciales para los equipos que conforman la planta [7].
- Eliminadores de CO₂: se emplean aminas neutralizantes. Morfolina, ciclohexilamina, DEAE, y control de pH. Estos compuestos se encargan de reaccionar con el ácido carbónico y otros ácidos, ya que poseen pares de electrones libres que pueden interaccionar con el hidrógeno protonado de los ácidos. De estas reacciones se forman sales que no resultan potencialmente corrosivas a diferencia de los ácidos de los cuales provienen, las cuales terminan eliminándose en la purga de la caldera [10].

⁸ D. G. EDUARDO BAREIRO, «Eliminación de Gases Disueltos, Desaireadores (tesis de pregrado),» [En línea]. Available: <http://es.scribd.com/doc/140018133/Eliminacion-de-Gases-Disueltos-Desaireadores#scribd>. [Último acceso: 13 agosto 2015].

- Eliminadores de incrustaciones: No son agentes desgasificadores como tal, pero permiten la precipitación química de las sales disueltas en el agua de calderas, para evitar la formación de depósitos o incrustaciones en los generadores de vapor. Los principales productos utilizados son fosfatos, quelantes, fosfonatos y dispersantes⁹ [11].

Cabe mencionar que una de las desventajas con respecto a la desgasificación térmica son los altos costos asociados a los productos químicos en sí, y a la purga, pues los costos de mantenimiento se ven aumentados por el aumento en la frecuencia de purga en la caldera, lo que a su vez genera un aumento en el agua de reposición que se debe alimentar al sistema.

⁹ MARTINEZ, G. J. «Evaluación de dos agentes ablandadores de agua y su mezcla para ajustar el índice de Langelier en recirculación de aguas de enfriamiento y estabilizar parámetros químicos en calderas de vapor (tesis),» 2012. [En línea]. Available: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1277_Q.pdf. [Último acceso: 17 agosto 2015].

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVOS GENERALES

Realizar un análisis técnico económico para la recuperación y acondicionamiento del efluente acuoso del tambor separador D-2604 de la Unidad de Generación de Hidrógeno, para ser utilizado como agua de calderas.

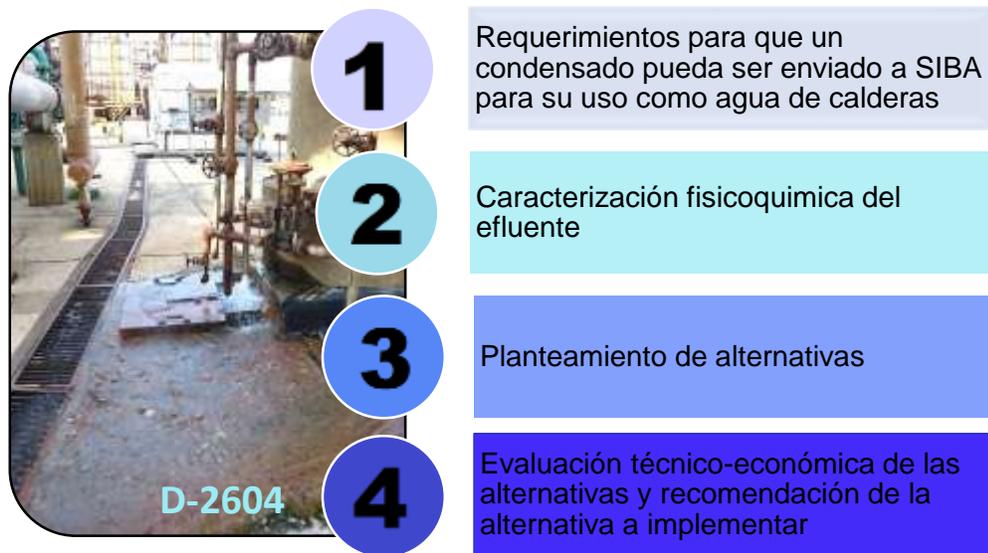
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los requerimientos necesarios para que el efluente pueda ser enviado al Departamento de Servicios Industriales, y pueda ser reutilizado como agua de calderas.
- Plantear alternativas de acondicionamiento del efluente en cuestión, para cumplir con lo que estipula el Departamento de Servicios Industriales para su recibimiento.
- Realizar una evaluación técnico-económica de las alternativas planteadas.
- Recomendar la alternativa más favorable para la reutilización del efluente acuoso en el Departamento de Refinación de Fondos.

3. METODOLOGÍA

En la figura 4 se presenta la metodología empleada para el desarrollo del problema planteado.

Figura 4. Metodología planteada



3.1. REQUERIMIENTOS PARA QUE UN CONDENSADO PUEDA SER ENVIADO A SIBA PARA SU USO COMO AGUA DE CALDERAS

Para que el sistema de operación de la planta de Servicios Industriales de la Unidad de Balance (SIBA) no se altere, el departamento ha registrado en manuales los parámetros característicos de las corrientes que alimentan los diferentes procesos. Por tanto, se hace la respectiva búsqueda en estos manuales, de los parámetros fisicoquímicos que debe tener el agua que se

alimenta al desaireador DH-2951, equipo que precede a las calderas de vapor y por el cual debe pasar todo condensado que se retorne a estas.

3.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL EFLUENTE

Para evaluar las características del efluente en cuestión, se tomó una muestra de éste y se llevó para su respectivo análisis al laboratorio de la GRB. Adicionalmente se midió el caudal tomando registro de volumen y tiempo, se censó la temperatura con un termómetro de pistola láser y se registró la presión registrada en los tableros del cuarto de control.

3.3. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

Se analizan los resultados anteriores y con base a esto se plantean 2 alternativas con el fin de acondicionar el condensado ácido del D-2604 en la Unidad de Generación de Hidrógeno previo al envío al desaireador DH-2951 de la Unidad de Servicios Industriales.

3.4. EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS

3.4.1. Evaluación Técnica

3.4.1.1. Alternativa 1: Desaireación térmica. El equipo para adaptar como desaireador es el filtro F-2602C (Ver Anexo C), que se encuentra ubicado en la Unidad de Generación de Hidrógeno a unos 30 metros del D-2604. Éste se dejó de usar como lecho de carbón activado para filtrar la MEA usada en la absorción de CO₂, desde hace aproximadamente 10 años, y desde entonces se encuentra

desmantelado y a disposición para darle uso. El equipo lo mantienen presurizado, pero en su interior no cuenta con ningún tipo de accesorio. Como su material es de acero al carbón, se solicitó al grupo de ingenieros estáticos de la GRB el estudio de la vida útil a las nuevas condiciones de operación, con el fin de saber si era viable su utilización, desde la perspectiva de la metalurgia del equipo.

Teniendo en cuenta los principios de desaireación térmica, se define el proceso y todos los accesorios necesarios para su correcto funcionamiento. Para conocer la cantidad de vapor requerido y la concentración del CO₂ disuelto en la corriente de salida, se utilizó la herramienta de cálculo PRO II, donde se simuló el sistema propuesto (Ver Anexo D). En dicha herramienta se creó la corriente de agua de alimentación con las características del efluente del D-2604, descritas en la tabla 1. El paquete termodinámico utilizado fue NRTL, porque es capaz de representar los equilibrios L-V, L-L y L-L-V [12].

Tabla 1. Datos de entrada al desaireador en la simulación (PRO II)

Descripción	Cantidad	Unidades
Caudal	40	gpm
Temperatura	118	°F
Presión	30	Psig
CO ₂ disuelto	114.43	ppm
O ₂ disuelto	1.1	ppm

Fuente: La autora

Como en esta herramienta no es posible ingresar una corriente líquida con concentraciones de gases disueltos, se ajustó la simulación hasta obtener las condiciones de entrada al desaireador, de la siguiente manera: Se hizo absorción de los gases CO₂ y O₂ en agua, en la torre “absorber”. Luego se diluyó con agua en el “mixer” para obtener la concentración de 114.43 ppm, seguido de una

división de flujo en el “splitter” para separar los 40 gpm que se han de tratar, y de un enfriamiento con el “E1” para llevarlo a la temperatura de 118°F.

Teniendo el agua con las condiciones del efluente a tratar, se lleva a la cima de la torre “tower” para realizar el despojo con vapor de 50 Psig que se alimenta en el fondo de la misma. Esta torre tiene 3 platos, por lo que entre el plato 1 y 2 se puso un lecho empacado tipo Flexiring de plástico de tamaño 0.625 in, y 1 m de altura. El diámetro de torre es de 1.219 m, igual al diámetro del F-2602C (Ver anexo E). Los gases que salen por la cima de la torre se enfrían en el “E2” para condensar la mayor cantidad de agua que se escapa en fase vapor la cual se separa en el “F1” y se recircula nuevamente a la cima de la torre. La corriente 14 representa los gases que se ventearían a la atmósfera. El agua que sale del fondo de la torre pasa al tambor de almacenamiento y sale por la corriente 16, la cual representa el agua desaireada. Adicionalmente, se utilizó un optimizador “OP1” para calcular el vapor mínimo requerido para obtener la mayor cantidad de O₂ y CO₂ en la corriente de venteo (corriente 14); este parámetro está sujeto a que los flujos de gases a la entrada de la torre de desaireación sean aproximadamente igual a los flujos de los gases que se ventean a la atmósfera, calculado en la calculadora “CA1”.

Como el proceso de desaireación térmica deja un remanente de CO₂ disuelto en la corriente de salida, se propone realizar adicionalmente desaireación química, alimentando una corriente de aminas neutralizantes en la zona de almacenamiento de la torre. Para saber la cantidad de amina necesaria para neutralizar el CO₂ remanente (resultado de la simulación) y subir el pH hasta 8.8, se realizó cotización vía correo electrónico a la empresa Clariant, encargada del suministro de insumos al departamento de servicios industriales.

Teniendo el efluente listo para enviar al DH-2951 de la Unidad de Servicios Industriales, se establecen las tuberías nuevas y existentes necesarias para el

transporte del fluido, además de los accesorios y/o equipos que se deben utilizar. El cálculo hidráulico de dicho transporte se realizó en la herramienta de cálculo Pipiphase, cuyos datos de entrada corresponden a los datos de la corriente de salida del desaireador (Ver anexo F).

3.4.1.2. Alternativa 2: Desaireación química: En esta alternativa, se plantea retirar todo el CO₂ disuelto en el condensado del D-2604 utilizando amina neutralizante. Pese a que se puede necesitar mayor cantidad de amina, se considera esta alternativa pues puede que sea viable desde el punto de vista económico, ya que la Unidad de Servicios Industriales no exige el acondicionamiento del O₂ disuelto y la constructibilidad del proyecto sería más fácil y económica.

Para conocer la cantidad de amina necesaria para remover los 114.43 ppm de CO₂ disuelto en el efluente en cuestión, se hizo cotización vía correo electrónico a la empresa Clariant, solicitando la cantidad requerida y el precio de dicha sustancia química. Adicionalmente se planteó todo el proceso y los equipos y/o accesorios necesarios para éste. Se definió la línea de transporte del fluido y se calculó la caída de presión en ésta, utilizando la herramienta de cálculo Pipephase (Ver anexo G para datos de entrada), con el fin de conocer la presión a la cual debe salir el efluente del D-2604 para que llegue a la unión del cabezal de alimentación del DH-2951 a una presión de 26 Psig, la cual es ligeramente mayor a la presión de operación del dicho cabezal de alimentación.

3.4.2. Evaluación Económica. El factor de riesgo (factor J) es utilizado en las ingenierías conceptuales de la GRB como el principal parámetro en la evaluación de la rentabilidad de un proyecto, por lo que se utilizó como criterio de comparación de las alternativas mencionadas anteriormente. El factor J se determina de la siguiente manera:

$$\text{Factor } J = \frac{R_1 - R_2}{C_i}$$

En donde:

R_1 = Costo de no implementar el proyecto (Valor de riesgo antes).

R_2 = Costo del proyecto implementado (Valor del riesgo después).

C_i = Costo de la inversión.

Con la información obtenida en la evaluación técnica se sacaron los costos de inversión y los costos mensuales de operación para las dos alternativas, teniendo como referencia los precios de los servicios industriales que manejaba internamente la GRB a enero de 2015, el precio de cotización de la amina neutralizante dado por la empresa Clariant, y la consulta de precios de equipos y accesorios.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. REQUERIMIENTOS PARA QUE UN CONDENSADO PUEDA SER ENVIADO A SIBA PARA SU USO COMO AGUA DE CALDERAS

En el capítulo 10 del manual del operador se encontraron los parámetros dentro de los cuales debe estar el agua que se alimenta al desaireador DH-2951, tal como se muestra a continuación.

Tabla 2. Características del agua de alimentación al DH-2951

Condiciones	valor
pH	8.8 - 9.4
O ₂ disuelto (ppm)	5 - 40
Dureza (ppm de CaCO ₃)	0
Sílice (ppm)	< 5

Fuente: Manual de SIBA, capítulo 10

La Unidad de Servicios Industriales de Balance no recibe condensado retorno al desaireador DH-2951 que esté fuera de las especificaciones descritas en la tabla 2, principalmente si hay variación en el pH, ya que el material del equipo es de acero al carbón y se ve gravemente amenazado por la acción del ácido carbónico en solución, lo que llevaría a un deterioro del DH-2951 y de los equipos aguas abajo en caso de que en las condiciones normales de operación no se alcance a remover todo el CO₂ disuelto.

4.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL EFLUENTE

Tabla 3. Caracterización físicoquímica del efluente acuoso del D-2604

Descripción	Cantidad	Unidades
Caudal	40	gpm
Temperatura	118	°F
Presión	30	Psig
CO ₂ disuelto	114.43	ppm
O ₂ disuelto	1.1	ppm
Dureza total	0	ppm CaCO ₃
Alcalinidad	4.3	ppm CaCO ₃
pH	4.53	ácido
Conductividad	23	µs/cm
Sílice	2	ppm

Fuente: Laboratorio de la GRB y la autora

4.3. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

Como se puede observar en las tablas expuestas, el agua ácida del tambor separador D-2604 es un efluente que cumple con todos los parámetros para poder ser alimentado al desaireador DH-2951, excepto por el bajo pH. Los parámetros como alcalinidad, conductividad y sílice de la corriente a tratar, no afectan al sistema de generación de vapor, pues son valores muy bajos, que mientras pasan por el DH-2951 van en solución y a la salida de éste se tratan con dispersantes de dureza, fosfatos y quelantes, para prevenir corrosión por depósitos o incrustaciones en las calderas. Por tanto, la acidez del efluente en cuestión es la que limita su envío directo al desaireador DH-2951 como condensado retorno, pues afectaría la metalurgia del equipo. No obstante, se plantea acondicionar el

efluente en la Unidad de Generación de Hidrógeno previo al envío al DH-2951, considerando las siguientes alternativas:

- Desaireación térmica, rediseñando y adecuando la torre F-2602C (la cual se encuentra en desuso y desmantelada desde hace varios años) para usarla como desaireador.
- Desaireación química del CO₂ disuelto en el tambor separador D-2604.

4.4. EVALUACIÓN TÉCNICA DE LAS ALTERNATIVAS

- **ALTERNATIVA 1:** Desaireación térmica, rediseñando y adecuando la torre F-2602C (la cual se encuentra en desuso y desmantelada desde hace varios años) para usarla como desaireador.

El estudio de los ingenieros estáticos arrojó como resultado que el equipo F-2602C tendría una vida útil de 53 años¹⁰, con lo que se consideró que es apto para utilizarlo como desaireador del efluente ácido del D-2604.

El proceso propuesto de desaireación térmica en el F-2602C consiste en dividir el equipo en dos secciones con una presión de operación de 7 Psig. En la parte superior se tendría una torre empacada en donde se da el contacto del condensado ácido con vapor de 50 Psig para hacer el despojo del CO₂ y O₂ disueltos, mientras que la parte inferior, se utilizaría como tambor de almacenamiento para garantizar el flujo y la cabeza de succión de la bomba que lleva dicho fluido a su destino. El condensado ácido del D-2604 se alimenta por la cima, a través de unas válvulas rociadoras que dividen el agua en pequeñas gotas y películas delgadas, pasando por un lecho empacado de 1 m de altura para hacer

¹⁰ La inspección del espesor y el cálculo de la vida útil lo realizaron los ingenieros Diego Mora y Fabián Reyes respectivamente, quienes hacen parte del grupo de ingenieros estáticos de la GRB y cuyos resultados se encuentran en los anexos H e I.

contacto con el vapor de 50 Psig que se inyecta por debajo del lecho empacado. El agua desaireada se almacena en la parte inferior del equipo, en un espacio de aproximadamente 3 m³. El CO₂ y O₂ despojados se evacúan por medio de un venteo hacia la atmósfera, regulado por una brida en la cima del desaireador. Por seguridad y buen funcionamiento del equipo es necesario poner una válvula de seguridad en la cima de la torre; un medidor de nivel de agua con su respectivo control en el tambor de almacenamiento; dos medidores de presión, uno en la cima de la torre y otro en la parte de almacenamiento; también es importante hacer control del flujo del vapor de despojo para evitar sobrepresión del equipo.

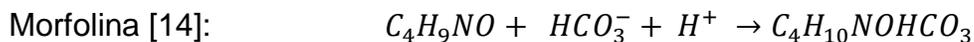
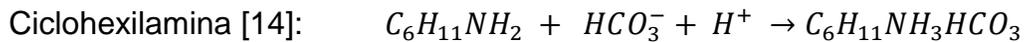
La cantidad de vapor necesaria para el proceso y las concentraciones de gases disueltos en la corriente de salida, se registran en la tabla 4, según los resultados de la simulación del proceso en PRO II descritas en el apartado de la metodología.

Tabla 4. Resultados de la simulación en PRO II

	Unidad	Corriente 9 Agua ácida	Corriente 10 Vapor de 50 Psi	Corriente 14 Venteo	Corriente 16 Agua desaireada
Fase	-	Líquida	vapor	vapor	Líquida
Temperatura	°F	140	350	231	232
Presión	Psig	9.3	50	7	7
Flujo másico total	lb/h	20008.7	2398.6	40.3	22367.2
Composición másica					
H2O	%	99.98	100	94.18	100
CO2	%	0.01	0	5.71	0
O2	%	0.0002	0	0.11	0
Concentraciones					
H2O	g/L	997.8	997.9	927	997.9
CO2	g/L	0.115	0	56.22	0.0001
O2	g/L	0.0021	0	1	0

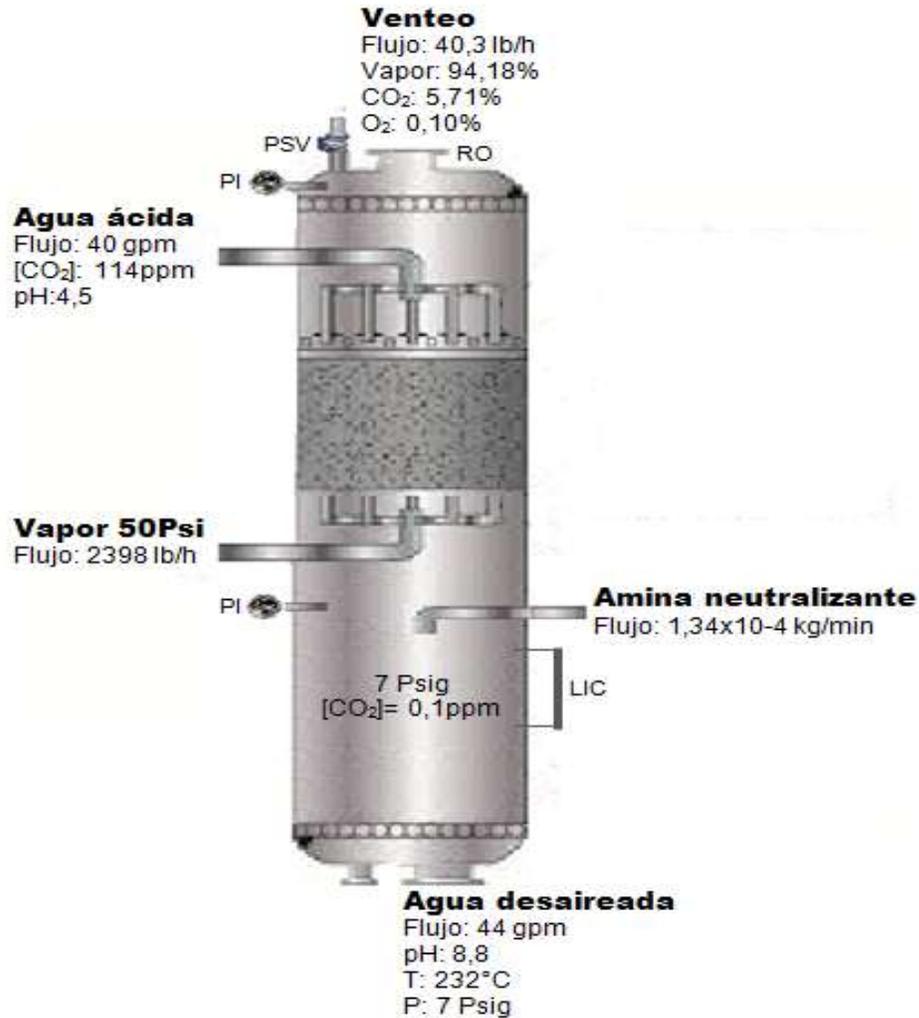
Fuente: La autora

Con lo anterior se estima que se necesitarán alrededor de 2398 lbm/h de vapor de 50 Psig para realizar el despojo de los gases y que el efluente pasará de tener una concentración de CO₂ de 114.9 ppm a 0.1 ppm. Para neutralizar los 0.1 ppm de CO₂ disuelto que quedan del proceso de desaireación térmica, la empresa Clariant responde que es necesaria una corriente continua de 1.34*10⁻⁴ Kg/min de amina neutralizante Corrtreat BW 2723 [13]. Este producto químico es una mezcla de alquilaminas en solución acuosa, tales como Morfolina, Ciclohexilamina y 2-Dimetilaminoetanol, que tienen características especiales de estabilidad y vaporización (ver anexo J y K). Estas aminas son bases débiles que reaccionan con ácidos fuertes para formar sales, de la siguiente manera:



En la figura 5 se muestra la propuesta de rediseño de la torre F-2602C con las respectivas condiciones de operación aparente y la instrumentación recomendada para el correcto funcionamiento y seguridad del equipo.

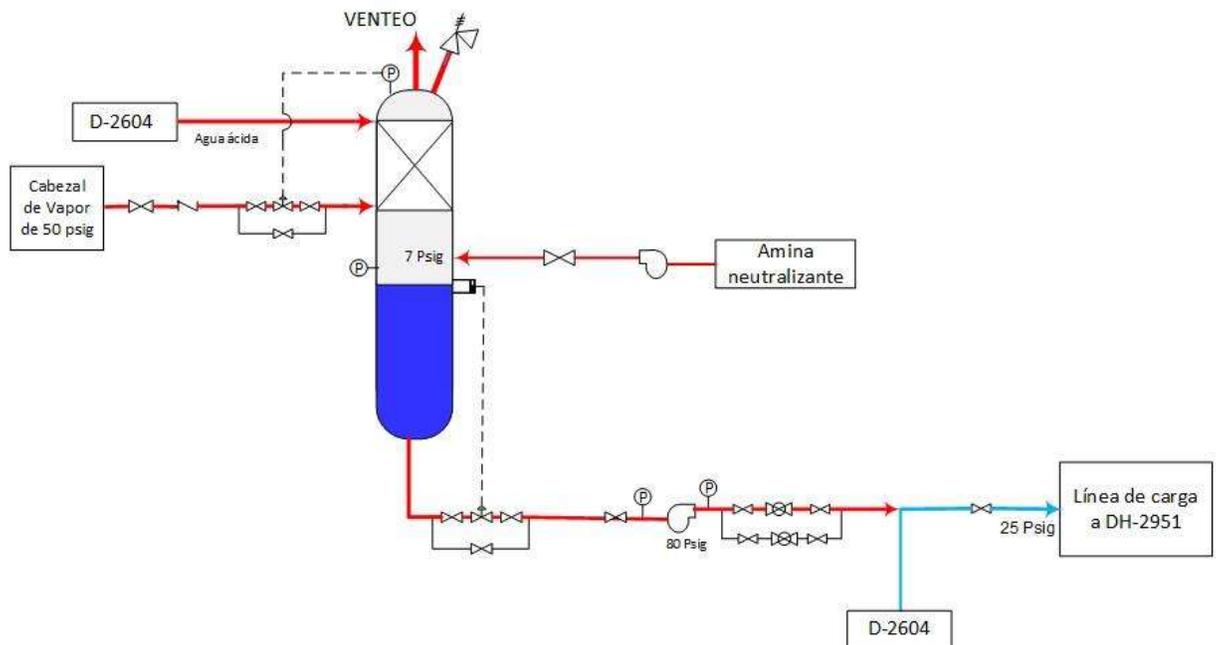
Figura 5. Propuesta de rediseño del F-2602C



El flujo de agua desaireada se envía por medio de una bomba (nueva) hasta el DH-2951 de la Unidad de Servicios Industriales Balance. El flujo se transporta inicialmente por una línea nueva de acero inoxidable de 2", de aproximadamente 12 m de longitud, la cual va desde la descarga de la bomba hasta la línea de acero inoxidable de 2" que se había construido en la iniciativa de llevar el condensado ácido tal y como salía del D-2604 hasta SIBA. El flujo sigue su trayectoria en esa línea en desuso y llega al cabezal de alimentación del DH-2951. La presión de operación de esta línea es de 25 Psig, por lo que se calculó la presión a la que debe descargar la bomba, teniendo en cuenta las distancias y accesorios

inspeccionados en campo. Los resultados obtenidos con la herramienta Pipephase muestran que la bomba necesita tener una presión de descarga de 80 Psig, presión a la cual le permite al flujo llegar a 26 Psig a la unión con la corriente de alimentación al DH-2951 (Ver anexo L). Finalmente, el sistema propuesto se representa en la figura 6, donde las líneas de color azul son líneas existentes y las de color rojo son líneas nuevas necesarias para el funcionamiento de la presente alternativa.

Figura 6. Sistema propuesto para la alternativa 1



Teniendo en cuenta el sistema propuesto, en la tabla 5 se registran todos los equipos y accesorios necesarios para el proceso de desaireación, aclarando lo que está disponible y lo que se debe comprar, según lo expuesto anteriormente.

Tabla 5. Relación de equipos y/o accesorios necesarios para el proceso de desaireación térmica

Equipos y/o accesorios	Cantidad	Unidad	Disponible en planta	Se debe comprar
Torre (desaireador)	1	Unidad	x	
Lecho empacado Flexiring plástico de 0.625 in,	1.176	m3		x
Tubería de acero inoxidable de 2", Scheule 40	24	m		x
Tubería de acero al carbón, de 3", Schedule 40	15	m		x
Tubería de acero al carbón, de 1/2", Schedule 40	15	m		x
Válvulas de compuerta de 2" y 3"	12	unidad		x
Válvulas cheque de 3", acero al carbón	1	unidad		x
Válvulas de control	2	unidad		x
Válvula de seguridad	1	unidad		x
Medidor de presión	4	unidad		x
Medidor de nivel	1	unidad		x
pH metro digital	1	unidad		x
Bomba de capacidad de 40 gpm	1	unidad		x
Bomba para la amina neutralizante	1	unidad		x

Fuente: La autora

- **ALTERNATIVA 2:** Desaireación química del CO₂ disuelto, en el tambor separador D-2604.

Para la desaireación química de las 114.43 ppm de CO₂ disuelto, la empresa Clariant respondió que era necesario utilizar 0.00139 Kg/min de amina neutralizante Corrtreat BW 2723. Esta amina se inyecta directamente al tambor separador D-2604, por encima del nivel del agua, mediante una pequeña bomba que suministra el mismo proveedor de la amina. Es importante que dentro del equipo se instale un mezclador estático de acero inoxidable (mismo material del D-2604) hasta el nivel del agua, para garantizar una buena distribución de la amina neutralizante. Se debe instalar un pHmetro digital en la corriente de salida del

equipo, para el control de la dosificación de la amina, en el cual se debe mantener un pH entre 8.8 y 9.4.

El efluente desairado se envía al DH-2951 por medio de la línea de acero inoxidable que está en desuso. Se estima que la presión del fluido a la salida del D-2604 debe estar alrededor de los 75 Psig para que éste llegue a la unión del cabezal de alimentación del DH-2951 a una presión de aproximadamente 27 Psig, según el resultado de la herramienta de cálculo Pipephase (Ver Anexo M). El D-2604 opera a una presión de 230 Psig, sin embargo, la válvula LIC-26002 que controla su nivel de agua, baja la presión del condensado a 30 Psig, por lo que se debe ajustar la apertura de la válvula de control para que la presión a la salida de la misma sea de 75 Psig. En la figura 7 se esquematiza el sistema propuesto junto con la instrumentación y ajustes necesarios para el correcto funcionamiento de la presente alternativa, según lo expuesto anteriormente. En la tabla 6 se relacionan todos los equipos y/o accesorios necesarios para este sistema, aclarando lo que está disponible y lo que se debe comprar.

Figura 7. Sistema propuesto para la alternativa 2

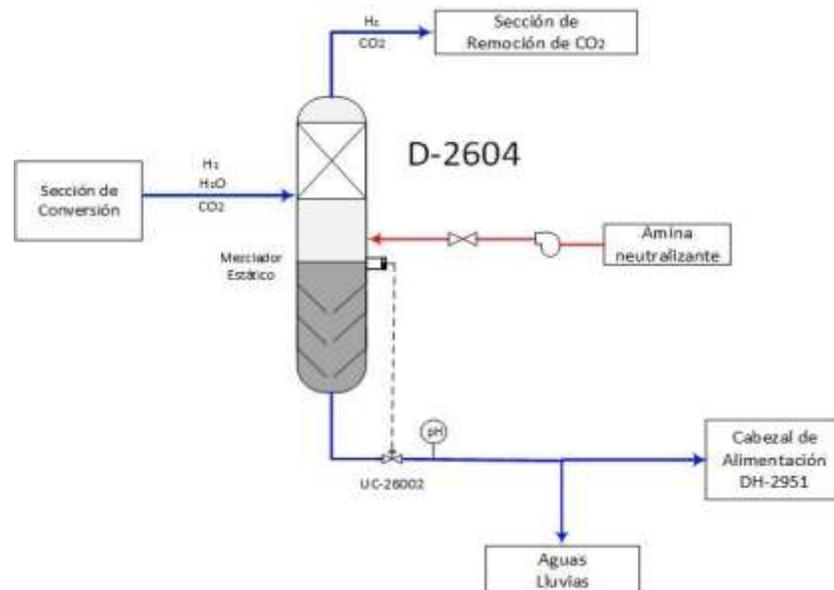


Tabla 6. Relación de equipos y/o accesorios necesarios para el proceso de desaireación química

Equipos y/o accesorios	Cant	Unidad	Disponible en planta	Se debe comprar
Bomba para amina neutralizante	1	Unidad		x
Tubería de acero al carbón, de 1/2", Schedule 40	3	m		x
pH metro	1	Unidad		x
Láminas de acero inoxidable (mezclador estático)	5	m ²		x

Fuente: La autora

4.5. EVALUACIÓN ECONÓMICA

El análisis presupuestal incluyó el costo de los 40 gpm de condensado que se están vertiendo al alcantarillado (valor R1), los costos de operación mensual en cada caso después de haber realizado el proyecto (valor R2) y el costo de inversión que incluye todos los equipos y accesorios relacionados en las tablas 5 y 6, más el costo del montaje y estudios (valor Ci) (Ver anexo N). Reemplazando los valores en la ecuación descrita en la metodología, se obtuvo el factor j para cada una de las alternativas evaluadas, cuyo resultado se relaciona en la tabla 7.

Tabla 7. Factor j para cada alternativa

ALTERNATIVA 1	R1	27'475,200	Factor j	0.068
	R2	19'810,128		
	Ci	111'451,915		
ALTERNATIVA 2	R1	27'475,200	Factor j	2.09
	R2	3'000,000		
	Ci	11'702,480		

Fuente: La autora

Teniendo en cuenta que las dos alternativas llevan el efluente en cuestión a las condiciones deseadas, se toma como parámetro de elección el resultado del estudio económico. Se recomienda la alternativa 2 porque es la del factor j más alto, lo que quiere decir que le va a generar mayor beneficio económico al Departamento de Refinación de Fondos, además su montaje y operación es más fácil que el de la alternativa 1.

5. CONCLUSIONES

- Se identificó que para poder enviar el efluente ácido del D-2604 (pH 4.5), al desaireador DH-2951 de la Unidad de Servicios Industriales para darle uso como agua de calderas, se requería acondicionarlo primero en la planta de Generación de Hidrógeno, hasta subir su pH a 8.8.
- Se plantearon dos alternativas para acondicionar el efluente en cuestión. La alternativa uno consiste en realizar desaireación térmica y química, rediseñando la torre F-2602C que se encuentra desmantelada en la planta de Generación de Hidrógeno, para adaptarla como desaireador. La alternativa dos radica en realizar sólo desaireación química en el mismo tambor separador D-2604.
- Técnicamente hablando, con las dos alternativas se logra desgasificar el CO₂ disuelto y subir el pH a 8.8, sin embargo el estudio económico muestra que la alternativa 2 tiene el factor j más alto, lo que quiere decir que genera mayor beneficio económico al departamento de Refinación de Fondos.
- Se recomienda la implementación de la alternativa 2, porque además de ser más rentable, su montaje y operación es más fácil.
- La implementación del proyecto en cuestión genera un impacto favorable sobre la planta de Generación de Hidrógeno, ya que disminuye significativamente la contaminación ambiental, elimina el mal aspecto visual de la misma y aumenta la rentabilidad de la operación.

6. RECOMENDACIONES

- Instalar el pH-metro digital a la salida del D-2604 con transmisor de señal a las pantallas del cuarto de control, para hacer el respectivo monitoreo del pH del efluente sin la necesidad de ir a campo.
- Para instalar el mezclador estático dentro del D-2604 se debe cumplir con la norma AWS D1.6 “Structural Welding Code Stainless Steel”, la cual regula el trabajo de soldadura para los diferentes aceros inoxidable [15].
- Para la instalación de la línea de ½” de acero al carbón que transporta la amina neutralizante, se debe cumplir con la norma ASME B31.3 “Process piping”, la cual regula los trabajos de tubería para procesos incluyendo sustancias químicas e inflamables [15].

REFERENCIAS BIBLIOGRAFIA

- [1] E. S.A, «Ecopetrol S.A,» 9 12 2014. [En línea]. Available: http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienes-somos/acerca-de-ecopetrol/nuestra-historia!/ut/p/z1/tVZdk5owFP0r3QceYxJCIPYN1y6K0_0QtSsvTsCgtEAQUHf76xvtjIN3VxhnKDM83HDuSe49hwvQh8_Qz_guXvEqIhIPVDz3zQV7xLYzRHjkdL0-svXpkN5NdTx. [Último acceso: 2 mayo 2015].
- [2] ECOPETROL S.A, «Manual de descripción de proceso de la Unidad Demex, capitulo 2,» Barrancabermeja, 2007.
- [3] ECOPETROL S.A, «Manual de descripción de proceso de la Unidad de Generación de Hidrógeno,» Barrancabermeja, 2007.
- [4] P. R. Roberge, Handbook of corrosion engineering, New York: McGraw-Hill, 1999, p. 15.
- [5] J. E. P. Pineda, *Evaluación de la corrosión interna generada por el sistema H₂S-CO₂-H₂O en gasoductos (tesis de maestría)*, Universidad Industrial de Santander, Santander, Colombia, 2012.
- [6] B. V. Salas y M. S. Wiener, Corrosión y preservación de la infraestructura industrial, España: OmniaScience, 2013, p. 108.
- [7] Futurenviro, «Ampliación de la EDAR de avila,» enero 2015. [En línea]. Available: <http://futurenviro.es/pdf/reportajes-especiales/7-FuturENVIRO-ENERO-2015-EDAR-AVILA-Agua.pdf>. [Último acceso: 12 junio 2015].
- [8] J. E. V. Gómez, Análisis de Equipos de Desgasificación en Instalaciones de Vapor (tesis de pregrado), Sevilla-España, 2014, pp. 37- 41.
- [9] D. g. Eduardo Bareiro, «Eliminación de Gases Disueltos, Desaireadores (tesis de pregrado),» [En línea]. Available: <http://es.scribd.com/doc/140018133/Eliminacion-de-Gases-Disueltos->

- Desairadores#scribd. [Último acceso: 13 agosto 2015].
- [10] A. M. Javier Sanchez, «Análisis del sistema de recuperación del condensado en las áreas de vapor y energía del complejo industrial de Barrancabermeja (tesis de pregrado),» Bucaramanga, 2005, pp. 5-6.
- [11] G. J. Martinez, «Evaluación de dos agentes ablandadores de agua y su mezcla para ajustar el índice de Langelier en recirculación de aguas de enfriamiento y estabilizar parámetros químicos en calderas de vapor (tesis),» 2012. [En línea]. Available: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1277_Q.pdf. [Último acceso: 17 agosto 2015].
- [12] S. L. Rodriguez y A. B. V. Granda, Simulación y optimización avanzadas en la industria química y de procesos :HYSYS, Oviedo, España: ISBN, 2005.
- [13] «Clariant,» [En línea]. Available: <http://www.clariant.com/en/Corporate>. [Último acceso: 20 enero 2015].
- [14] I. Q. M. Ltda, «Curso de tratamiento de aguas,» [En línea]. Available: http://www.mascia.com.br/cms/arquivos/curso_tratamiento_aguas.pdf. [Último acceso: 25 febrero 2015].
- [15] J. J. Amado, «Arco Industrial,» 12 Agosto 2013. [En línea]. Available: <https://arcoindustrial.wordpress.com/2013/08/12/calificacion-de-soldadores/>. [Último acceso: 20 febrero 2015].
- [16] «Made in china.cm,» [En línea]. Available: http://es.made-in-china.com/co_huihuangcatalytic/product_Plastic-Intalox-Saddles-Plastic-packing-_enuihyhng.html. [Último acceso: 2 febrero 2015].
- [17] «Aceromax.com.co,» [En línea]. Available: <http://mail.google.com/mail/u/0/#inbox/150930e312052459>. [Último acceso: 4 febrero 2015].
- [18] Coval, «www.coval.com.co,» [En línea]. Available: https://coval.com.co/pdfs/listasprecios/ult_helbert.pdf. [Último acceso: 2

febrero 2015].

- [19] «Viaindustrial.com,» [En línea]. Available: <http://www.viaindustrial.com/cotizacion.asp>. [Último acceso: 3 febrero 2015].
- [20] «www.matche.com,» [En línea]. Available: <http://www.matche.com/equipcost/PumpCentr.html>. [Último acceso: 2 febrero 2015].
- [21] M. Peters y K. Timmerhaus, Plant Design and Economics for Chemical Engineers, New York: McGraw-Hill, 1991.

BIBLIOGRAFÍA

ACEROMAX.COM.CO, [En línea]. Available: <http://mail.google.com/mail/u/0/#inbox/150930e312052459>. [Último acceso: 4 febrero 2015].

CLARIANT, [En línea]. Available: <http://www.clariant.com/en/Corporate>. [Último acceso: 20 enero 2015].

COVAL, «www.coval.com.co,» [En línea]. Available: https://coval.com.co/pdfs/listasprecios/ult_helbert.pdf. [Último acceso: 2 febrero 2015].

D. G. EDUARDO BAREIRO, «Eliminación de Gases Disueltos, Desaireadores (tesis de pregrado),» [En línea]. Available: <http://es.scribd.com/doc/140018133/Eliminacion-de-Gases-Disueltos-Desaireadores#scribd>. [Último acceso: 13 agosto 2015].

E.S.A, «Ecopetrol S.A,» 9 12 2014. [En línea]. Available: http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienes-somos/acerca-de-ecopetrol/nuestra-historia/lut/p/z1/tVZdk5owFP0r3QceYxJCIPYN1y6K0_0QtSsvTsCgtEAQUHf76xvtjI N3VxhnKDM83HDuSe49hwwQh8_Qz_guXvEqIhIPVDz3zQV7xLYzRHjkdL0-svXpkN5NdTx. [Último acceso: 2 mayo 2015].

ECOPETROL S.A, «Manual de descripción de proceso de la Unidad de Generación de Hidrógeno,» Barrancabermeja, 2007.

ECOPETROL S.A, «Manual de descripción de proceso de la Unidad Demex, capítulo 2,» Barrancabermeja, 2007.

FUTURENVIRO, «Ampliación de la EDAR de avila,» enero 2015. [En línea]. Available: <http://futurenviro.es/pdf/reportajes-especiales/7-FuturENVIRO-ENERO-2015-EDAR-AVILA-Agua.pdf>. [Último acceso: 12 junio 2015].

G. J. MARTINEZ, «Evaluación de dos agentes ablandadores de agua y su mezcla para ajustar el índice de Langelier en recirculación de aguas de enfriamiento y estabilizar parámetros químicos en calderas de vapor (tesis),» 2012. [En línea]. Available: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1277_Q.pdf. [Último acceso: 17 agosto 2015].

I. Q. M. Ltda, «Curso de tratamiento de aguas,» [En línea]. Available: http://www.mascia.com.br/cms/arquivos/curso_tratamento_aguas.pdf. [Último acceso: 25 febrero 2015].

J. E. P. PINEDA, Evluación de la corrosión interna generada por el sistema H₂S-CO₂-H₂O en gasoductos (tesis de maestría), Universidad Industrial de Santander, Santander, Colombia, 2012.

J. E. V. GÓMEZ, Análisis de Equipos de Desgasificación en Instalaciones de Vapor (tesis de pregrado), Sevilla-España, 2014, pp. 37- 41.

J. J. AMADO, «Arco Industrial,» 12 Agosto 2013. [En línea]. Available: <https://arcoindustrial.wordpress.com/2013/08/12/calificacion-de-soldadores/>. [Último acceso: 20 febrero 2015].

M. PETERS Y K. Timmerhaus, Plant Design and Economics for Chemical Engineers, New York: McGraw-Hill, 1991.

MADE IN CHINA.CM,» [En línea]. Available: http://es.made-in-china.com/co_huihuangcatalytic/product_Plastic-Intalox-Saddles-Plastic-packing-_enuihyhng.html. [Último acceso: 2 febrero 2015].

MATCHE. [En línea]. Available: <http://www.matche.com/equipcost/PumpCentr.html>. [Último acceso: 2 febrero 2015].

P. R. ROBERGE, Handbook of corrosion engineering, New York: McGraw-Hill, 1999, p. 15.

S. L. RODRIGUEZ Y A. B. V. Granda, Simulación y optimización avanzadas en la industria química y de procesos :HYSYS, Oviedo, España: ISBN, 2005.

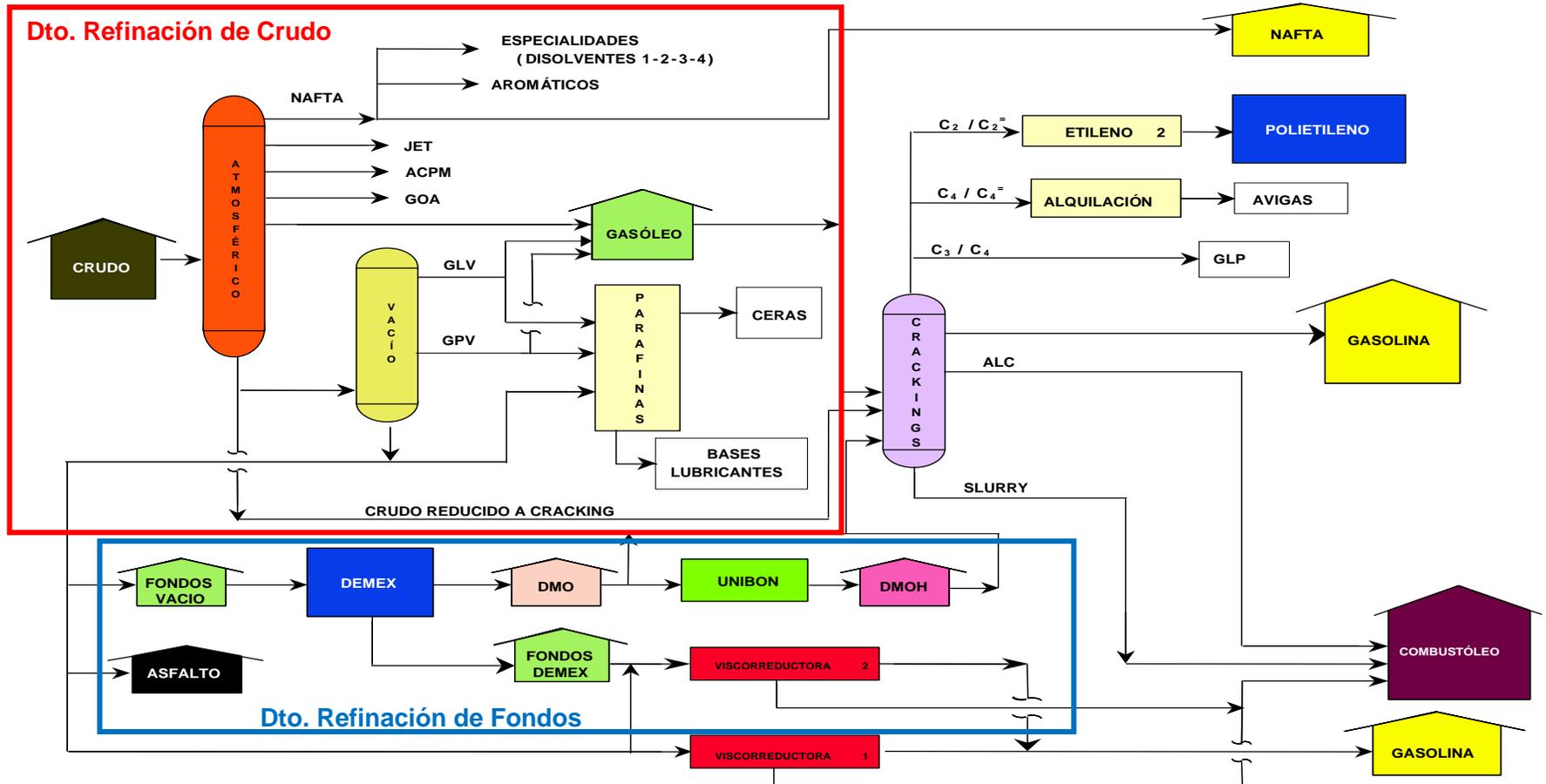
SALAS B. V. Y WIENER, M. S. Corrosión y preservación de la infraestructura industrial, España: OmniaScience, 2013, p. 108.

SANCHEZ A. M. JAVIER, «Análisis del sistema de recuperación del condensado en las áreas de vapor y energía del complejo industrial de Barrancabermeja (tesis de pregrado),» Bucaramanga, 2005, pp. 5-6.

VIAINDUSTRIAL. [En línea]. Available: <http://www.viaindustrial.com/cotizacion.asp>. [Último acceso: 3 febrero 2015].

ANEXOS

ANEXO A. Diagrama de bloques de la Gerencia Refinería Barrancabermeja



Fuente: Manual de la Unidad Demex-Capítulo 2 [2]

ANEXO B. Artículo 11 de la Resolución 0631 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

ARTÍCULO 11. *Parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas – ARnD a cuerpos de aguas superficiales de actividades asociadas con hidrocarburos (petróleo crudo, gas natural y derivados).* Los parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas – ARnD a cuerpos de aguas superficiales de las actividades asociadas con hidrocarburos (petróleo crudo, gas natural y derivados) a cumplir, serán los siguientes:

HIDROCARBUROS

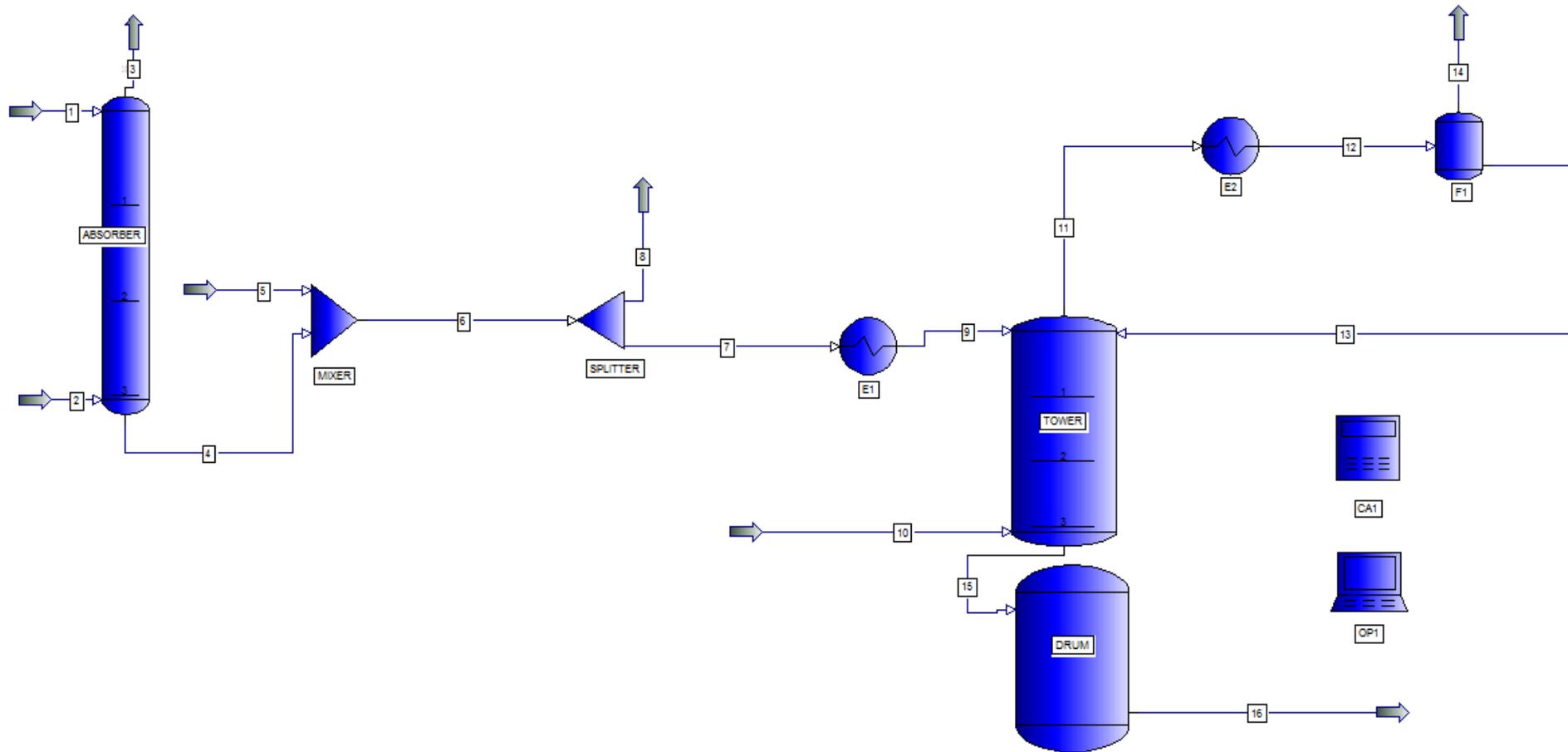
PARÁMETRO	UNIDADES	EXPLORACIÓN (UPSTREAM)	PRODUCCIÓN (UPSTREAM)	REFINO	VENTA Y DISTRIBUCIÓN (DOWNSTREAM)	TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO (MIDSTREAM)
Generales						
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	400,00	180,00	400,00	180,00	180,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	200,00	60,00	200,00	60,00	60,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Grasas y Aceites	mg/L	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Fenoles	mg/L	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20

Fuente: [4]

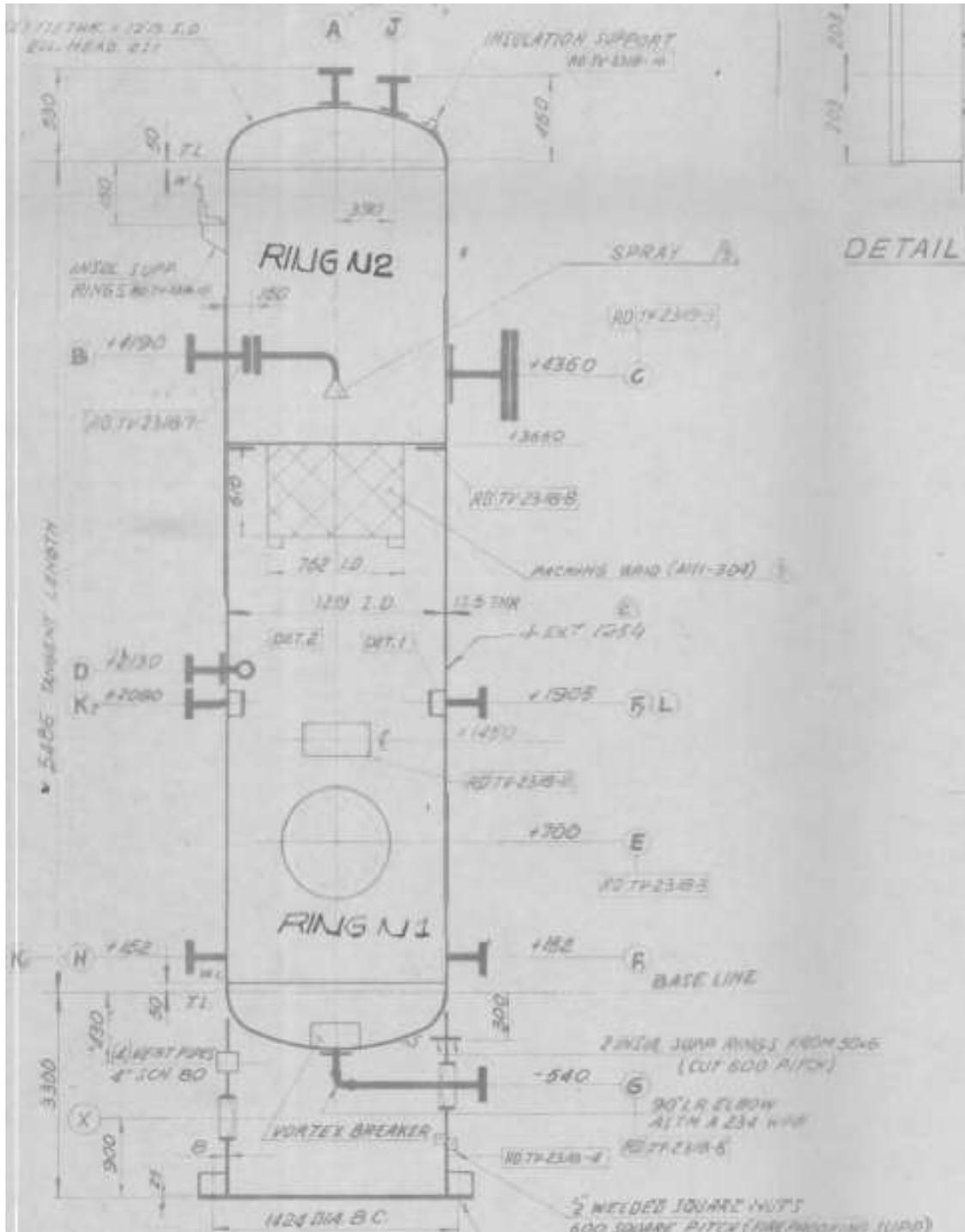
ANEXO C. Filtro F-2602C desmantelado en la Unidad de Generación de Hidrógeno



ANEXO D. Simulación de desaireación del CO₂ disuelto en el condensado del D-2604



ANEXO E. Plano del filtro F-2602C



Fuente: Plano 48-075-005 de la GRB

ANEXO F. Datos de entrada a Pipephase para el cálculo hidráulico de la alternativa 1

DI	Device Name	Data Entry Window	Dir	Diameter (in)	Length (in)	Elevation Change (in)	Mf/D (in)	Depth (in)	Insert/Alter
0	P000	Source							Pipe
1	P000	Pipe	✓	2.000	7.000	7.000			Pipe
2	B000	Bend	✓	2.000					Pipe
3	P001	Pipe	✓	2.000	18.000				Tubing
4	B001	Bend	✓	2.000					Access
5	P002	Pipe	✓	2.000	7.000	7.000			PH
6	B002	Bend	✓	2.000					VFP
7	P003	Pipe	✓	2.000	127.000				VFP
8	V000	Valve	✓	2.000					Pipe
9	P004	Pipe	✓	2.000	6.000				Pipe
10	B003	Bend	✓	2.000					Pipe
11	P005	Pipe	✓	2.000	0.700	-0.700			Pipe
12	B004	Bend	✓	2.000					Tubing
13	P006	Pipe	✓	2.000	28.000				Access
14	B005	Bend	✓	2.000					PH
15	P007	Pipe	✓	2.000	0.700	-0.700			VFP
16	B006	Bend	✓	2.000					VFP
17	P008	Pipe	✓	2.000	9.500				Pipe
18	B007	Bend	✓	2.000					Pipe
19	P009	Pipe	✓	2.000	0.800				Pipe
20	B008	Bend	✓	2.000					Pipe
21	P010	Pipe	✓	2.000	0.000				Tubing
22	B009	Bend	✓	2.000					Access
23	P011	Pipe	✓	2.000	1.000	1.000			PH
24	B010	Bend	✓	2.000					VFP
25	P014	Pipe	✓	2.000	0.500				VFP
26	V001	Valve	✓	2.000					Pipe
27	P012	Pipe	✓	2.000	0.500				VFP
28	B000	Sink							Check

ANEXO G. Datos de entrada a Pipephase para el cálculo hidráulico de la alternativa 2

The image displays the 'Link v1000 Device Data' table and two configuration dialog boxes. The table lists 34 devices with their respective properties. The 'Liquid Source' dialog is configured for 'D000' with a pressure of 75 psig and a standard flowrate of 40 gal/min. The 'Sink' dialog is also configured for 'D000' with an estimated pressure of 25 psig and a fixed standard flowrate of 40 gal/min.

Device Name	Code Entry	Dev1	Diameter (in)	Length (in)	Elevation Change (in)	Inlet (in)	Depth (in)	Items
D000	Source							
P001	Pipe		2.000	0.000	0.500			Pipe
V002	Valve		2.000					Valve
P003	Pipe		2.000	0.000	0.000			Pipe
B004	Well		2.000					Well
P005	Pipe		2.000	0.000				Pipe
B006	Well		2.000					Well
P007	Pipe		2.000	1.000	1.500			Pipe
B008	Well		2.000					Well
P009	Pipe		2.000	1.500				Pipe
B010	Well		2.000					Well
P011	Pipe		2.000	1.500	1.000			Pipe
B012	Well		2.000					Well
P013	Pipe		2.000	1.000				Pipe
B014	Well		2.000					Well
P015	Pipe		2.000	0.000				Pipe
P016	Pipe		2.000	0.700	0.300			Pipe
B017	Well		2.000					Well
P018	Pipe		2.000	0.000				Pipe
P019	Pipe		2.000	0.700	0.300			Pipe
B020	Well		2.000					Well
P021	Pipe		2.000	0.000				Pipe
P022	Pipe		2.000	0.000				Pipe
B023	Well		2.000					Well
P024	Pipe		2.000	0.000				Pipe
B025	Well		2.000					Well
P026	Pipe		2.000	0.000				Pipe
P027	Pipe		2.000	0.000				Pipe
B028	Well		2.000					Well
P029	Pipe		2.000	0.000				Pipe
V030	Valve		2.000					Valve
P031	Pipe		2.000	0.500				Pipe
D000	Sink							

Liquid Source

Source Name: D000 Short Name: D000

Mandatory Data

Pressure: Fixed 75 psig Estimated [] psig

Standard Flowrate: Fixed 40 gal/min Estimated [] gal/min

Properties: PVT Property Set 1

Source Priority: 0

Buttons: OK, Cancel, Help

Sink

Sink Name: D000 Short Name: D000

Injection Well

Mandatory Data

Pressure: Fixed [] psig Estimated 25 psig

Standard Flowrate: Fixed 40 gal/min Estimated 1 gal/min

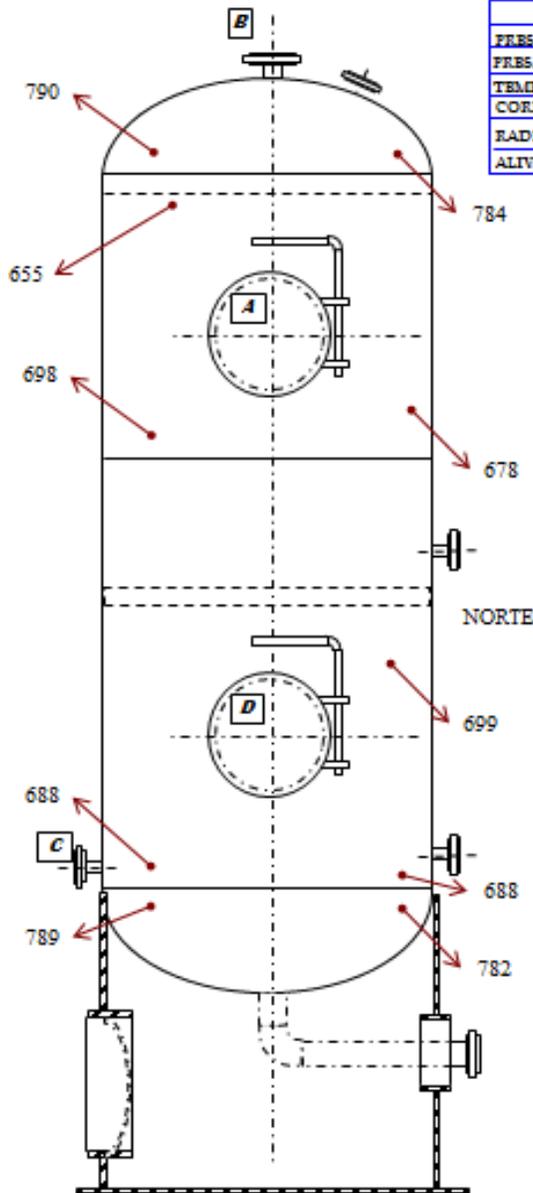
Disable Sink

Buttons: OK, Cancel, Help

ANEXO H. Reporte de medición de espesor del F-2602C

REPORTE DE MEDICIÓN PARCIAL DE ESPESORES.

EQUIPO :	SF-2602C	SERVICIO:	
VEL. CALIBRACIÓN:		FECHA : 09-ENE-2015	INSPECTOR : DIEGO MORA



INFORMACION DE DISEÑO MECANICO		
FRES. DE DISEÑO	PSIG	CASCO Y CAP'S
FRES. DE PRUEBA	PSIG	
TEMP. DE DISEÑO	°F	
CORROSION PERM.	"	
RADIOGRAFIAS	0/0	
ALIVIO DE ESP.		

INFORMACION DE BOQUILLAS.				
N°	Ø	MATERIAL	ESPESOR	SERVICIO.
A		CS	980	MANHOLE
E		CS		
C		CS	362	
D sur		CS	797	MANHOLE
D norte			989	MANHOLE



CONVENCIONES	
CUG: Corrosión uniforme general.	Ø: Loc. en el gráf. y dimensionar
CUL: Corrosión uniforme localizada.	PROP.: Área.
FG: Fisadura general.	*
FL: Fisadura localizada.	

OBSERVACIONES: dimensiones en milésimas de pulgada

Fuente: Coordinación de ingenieros estáticos de la GRB

ANEXO I. Cálculo de vida útil del F-2602C

El F-2602C tiene un espesor actual promedio de 0.688", el cual puede soportar hasta 482 psi, según modelado del equipo en el software PV-elite de Intergraph bajo los lineamientos de la norma ASME Sección VIII División 1 (Diseño de recipientes a presión). Esto quiere decir que la presión de operación del equipo no afectaría al mismo pues es de 7 Psi. Por norma el espesor mínimo debe ser de 0.125", por lo que se puede permitir una disminución del espesor de: $0.688" - 0.125" = 0.563"$. Para fluidos ácidos la velocidad de corrosión es de aproximadamente 10 mpy (mils per year), entonces la vida remanente del equipo sería: $0.563"/10 \text{ mpy} = 56.3$ años.

Fuente: Coordinación de ingenieros estáticos de la GRB

ANEXO J. Especificaciones de Amina neutralizante Corrtreat BW 7324

Tratamiento de Condensado de Vapor

Amina Neutralizante para Sistemas de Condensado de Vapor

Corrtreat BW 7324

Literatura Técnica



Exactly your chemistry.

CORRTREAT BW 7324

Tratamiento para Condensado

GENERALIDADES

- ✓ Controla la corrosión de equipo y tubería.
- ✓ Minimiza la deposición de productos de corrosión en sistemas de calderas.
- ✓ Mezcla concentrada para uso en aplicaciones a bajo costo.
- ✓ Mezcla de aminas eficientes y con distribución máxima en el vapor.
- ✓ Puede ser usado en plantas reguladas por FDA/USDA.

DESCRIPCION Y USO

EL CORRTREAT BW 7324 es una mezcla de aminas neutralizantes con características especiales de estabilidad y vaporización. Se volatiliza con el vapor y neutraliza rápidamente los componentes ácidos del vapor. Las características únicas del CORRTREAT BW 7324 ofrecen protección controlada en los puntos de condensación inicial y en áreas intermedias y extensas de sistemas complejos de vapor condensado. Eso

hace que disminuyan los productos de corrosión de cobre y hierro.

EL CORRTREAT BW 7324 está aprobado para uso en plantas reguladas por FDA o USDA en donde el vapor es usado para esterilización o entra en contacto con alimentos o productos alimenticios. No está aprobado para uso en sistemas en donde el vapor contacta leche o productos lácteos.

TECNOLOGIA

La corrosión en sistemas de vapor condensado es un problema frecuente. El dióxido de carbono es la causa más común de corrosión, con oxígeno en segundo lugar. La influencia del oxígeno puede incidir, ya que trazas de oxígeno catalizan la corrosividad del dióxido de carbono y no reflejan las características comúnmente asociadas a ataques por oxígeno.

La alcalinidad del agua de alimentación es la fuente principal de dióxido de carbono, porque el bicarbonato y el carbonato se descomponen a temperaturas

Clariant S. A.
Autopista Medellín Km 2.5
Vía Parcelas Km 1, Vereda Siberia
Cota - Cundinamarca
Fono : (011) 5683-7527
Fax : (011) 5683-7594

Internet: www.clariant.com

Water Treatment Message Water Treatment Service Trademark®

* Confiamos que la información presentada arriba sea de su interés. Está basada en datos y conocimientos considerados correctos y exactos, que son ofrecidos a los usuarios para su uso personal en investigación y control. Sin embargo, al ser condiciones de campo, está sujeta a los cambios de nuestra supervisión; no podemos garantizar los resultados obtenidos. Le agradecemos tomar en consideración todas las informaciones, recomendaciones y sugerencias junto con nuestras condiciones generales de venta, incluso aquellas que limitan las garantías aplicables a todos los productos que ofrecemos. Ninguna información, recomendación o sugerencia debe ser interpretada de modo a violar o desobedecer cualquier norma o disposición legal corriente o derecho perteneciente a terceros.

elevadas, formando gas dióxido de carbono. Las reacciones son como sigue:



La primera reacción es 100 por ciento completa; sin embargo, solo el 80% de la descomposición indicada en la segunda reacción ocurre. En los puntos de condensación, el dióxido de carbono se disuelve en el agua, formando ácido carbónico. Eso reduce el pH y produce daños y adelgazamiento del metal, a nivel del agua y más abajo.

COEFICIENTE DE DISTRIBUCION

La eficiencia de un tratamiento de amina neutralizante depende de su buena distribución en el sistema de vapor condensado. La amina debe estar presente en el condensado para neutralizar el dióxido de carbono, a medida que éste se disuelve.

El coeficiente de distribución es la relación de la concentración de amina en el vapor con la concentración en el condensado, y es una medida de su capacidad de entrar en la fase líquida.

La mezcla presente en el **CORRTREAT BW 7324** hace posible aprovechar esas propiedades y maximizar la distribución del tratamiento de amina.

TRATAMIENTO Y ALIMENTACION

Las concentraciones adecuadas de tratamiento de **EL CORRTREAT BW 7324** dependen de muchos factores específicos y de un determinado sistema. Aunque el pH del condensado por lo general sea mantenido en un rango no-corrosivo, alcalino, de 8,0 a 8,5, el producto debe ser usado de acuerdo con los procedimientos de control que CLARIANT establece para una aplicación específica.

EL CORRTREAT BW 7324 debe ser mezclado con agua de reposición ablandada, condensado o agua de alimentación, para producir una solución química de

una concentración conveniente. Es compatible con la mayor parte de las formulaciones de tratamiento de calderas. Sin embargo, cuando es mezclado con otros tratamientos de caldera, la concentración combinada de la solución no debe sobrepasar el 10% en peso.

ENVASADO

EL CORRTREAT BW 7324 es una mezcla líquida, disponible en una amplia variedad de contenedores y métodos de entrega especiales. Contacte al Representante CLARIANT para obtener mayores detalles.

ALMACENAJE

Almacenar el **CORRTREAT BW 7324** en temperaturas moderadas y protegerlo contra congelamiento. Si se congelara, descongelar completamente y mezclar muy bien antes de volver a usarlo.

SEGURIDAD Y MANEJO

Todo producto químico exige precauciones en cuanto a su manejo, almacenaje y desecho.

Recomendamos lectura atenta de la Ficha de Seguridad y cumplimiento de las instrucciones contenidas en ella.

Clariant S. A.
Autopista Medellín Km 2.5
Via Parcelas Km 1, Vereda Siberia
Cota - Cundinamarca
Fone : (011) 5683-7627
Fax : (011) 5683-7694

Internet: www.clariant.com

Water Treatment Message Water Treatment Service Trademark®

* Contamos que la información presentada arriba sea de su interés. Está basada en datos y conocimientos considerados correctos y exactos, que son ofrecidos a los usuarios para su uso personal en investigación y control. Sin embargo, si las condiciones de su uso estuvieran fuera de nuestra supervisión, no podemos garantizar los resultados obtenidos. Le agradecemos tomar en consideración todas las intenciones, recomendaciones y sugerencias junto con nuestras condiciones generales de venta, incluso aquellas que limitan las garantías aplicables a todos los productos que proveemos. Ninguna información, recomendación o sugerencia debe ser interpretada de modo a violar o disobediencia cualquier norma o disposición legal corriente o derechos pertenecientes a terceros.

Fuente: [13]

ANEXO K. Ficha de seguridad de la Amina Corrtreat BW 7324



Ficha de Datos de Seguridad conforme a NCh 2245 CORRTREAT BW 7324

Página 1

Código del material: 000000374813
Versión: 1 - 1 / RCH

Última revisión: 13.05.2010
Fecha de impresión: 20.09.2010

Sección 1: Identificación del producto y del proveedor

Nombre comercial:
CORRTREAT BW 7324

Identificación de la sociedad o empresa:
Clariant Colombia S.A.

Autopista Medellín Km. 2,5 - Vía Parcelas Km. 1
Vereda Siberia, Cota, Cundinamarca
Teléfono : +57 (1) 877 3300

Información de la sustancia o del preparado:
División Funcional Chemicals

Teléfono de emergencia: +57 01800 5114141

Sección 2: Composición/ingredientes

Características químicas:
Alquilaminas en solución acuosa

Nombre del producto: CORRTREAT BW 7324

No. ONU : 2920

Componentes peligrosos:

Morfolina
Concentración: >= 20 - <= 50 %
No. CAS : 110-91-8

Ciclohexilamina
Concentración: >= 20 - <= 50 %
No. CAS : 108-91-8

2-Dimetilaminoetanol
Concentración: >= 5 - <= 20 %
No. CAS : 108-01-0

Sección 3: Identificación de los riesgos



Peligros para la salud de las personas

Peligros para el medio ambiente | No se han efectuado pruebas toxicológicas con el

Fuente: [13]

ANEXO L. Resultado del cálculo hidráulico desde el F-2602C hasta el DH-2951 en Pipephase

Results Summary - Base Case							
Link Name	Device Name	Device Type	Seg 1 Mixture Flow Rate	Inlet Pressure	Outlet Pressure	Inlet Temperature	Outlet Temperature
			GAL/MIN	PSIG	PSIG	DEG F	DEG F
L000	P000	PIPE	42,04	80,70	70,80	230,00	229,91
L000	B000	BEND	42,04	70,80	70,71	229,91	229,91
L000	P001	PIPE	42,04	70,71	69,52	229,91	229,68
L000	B001	BEND	42,04	69,52	69,43	229,68	229,68
L000	P002	PIPE	42,04	69,43	59,53	229,68	229,59
L000	B002	BEND	42,04	59,53	59,43	229,59	229,59
L000	P003	PIPE	42,04	59,43	51,85	229,59	228,09
L000	V000	VALV	42,01	51,85	51,83	228,09	228,09
L000	P004	PIPE	42,01	51,83	51,46	228,09	228,02
L000	B003	BEND	42,01	51,46	51,37	228,02	228,02
L000	P005	PIPE	42,01	51,37	52,27	228,02	228,01
L000	B004	BEND	42,01	52,27	52,18	228,01	228,01
L000	P006	PIPE	42,00	52,18	31,15	228,01	223,94
L000	B005	BEND	41,94	31,15	31,06	223,94	223,94
L000	P007	PIPE	41,94	31,06	31,96	223,94	223,93
L000	B006	BEND	41,94	31,96	31,87	223,93	223,93
L000	P008	PIPE	41,94	31,87	31,28	223,93	223,81
L000	B007	BEND	41,94	31,28	31,19	223,81	223,81
L000	P009	PIPE	41,94	31,19	31,14	223,81	223,81
L000	B008	BEND	41,94	31,14	31,04	223,81	223,81
L000	P010	PIPE	41,94	31,04	30,54	223,81	223,71
L000	B009	BEND	41,93	30,54	30,45	223,71	223,71
L000	P011	PIPE	41,93	30,45	26,20	223,71	223,67
L000	B010	BEND	41,93	26,20	26,10	223,67	223,67
L000	P014	PIPE	41,93	26,10	26,07	223,67	223,67
L000	V001	VALV	41,93	26,07	26,05	223,67	223,67
L000	P012	PIPE	41,93	26,05	26,02	223,67	223,66

ANEXO M. Resultado del cálculo hidráulico desde el D-2604 hasta el DH-2951 en Pipephase

Results Summary - Base Case							
Link Name	Device Name	Device Type	Mixture Flow Rate	Inlet Pressure	Outlet Pressure	Inlet Temperature	Outlet Temperature
			GAL/MIN	PSIG	PSIG	DEG F	DEG F
L000	P013	PIPE	40,40	75,00	74,27	117,00	117,00
L000	V002	VALV	40,40	74,27	74,25	117,00	117,00
L000	P015	PIPE	40,40	74,25	65,45	117,00	116,98
L000	B011	BEND	40,40	65,45	65,36	116,98	116,98
L000	P016	PIPE	40,40	65,36	65,12	116,98	116,97
L000	B012	BEND	40,40	65,12	65,03	116,97	116,97
L000	P017	PIPE	40,40	65,03	62,83	116,97	116,96
L000	B013	BEND	40,41	62,83	62,74	116,96	116,96
L000	P018	PIPE	40,41	62,74	62,65	116,96	116,96
L000	B014	BEND	40,40	62,65	62,56	116,96	116,96
L000	P019	PIPE	40,41	62,56	60,36	116,96	116,95
L000	B015	BEND	40,41	60,36	60,27	116,95	116,95
L000	P020	PIPE	40,40	60,27	52,38	116,95	116,55
L000	V003	VALV	40,40	52,38	52,35	116,55	116,55
L000	P021	PIPE	40,40	52,35	52,00	116,55	116,54
L000	B016	BEND	40,40	52,00	51,92	116,54	116,54
L000	P022	PIPE	40,40	51,92	52,86	116,54	116,53
L000	B017	BEND	40,40	52,86	52,77	116,53	116,53
L000	P023	PIPE	40,40	52,77	32,53	116,53	115,53
L000	B018	BEND	40,39	32,53	32,44	115,53	115,53
L000	P024	PIPE	40,39	32,44	33,38	115,53	115,53
L000	B019	BEND	40,39	33,38	33,29	115,53	115,53
L000	P025	PIPE	40,39	33,29	32,72	115,53	115,50
L000	B020	BEND	40,39	32,72	32,63	115,50	115,50
L000	P026	PIPE	40,39	32,63	32,58	115,50	115,50
L000	B021	BEND	40,39	32,58	32,50	115,50	115,50
L000	P027	PIPE	40,39	32,50	32,01	115,50	115,47
L000	B022	BEND	40,39	32,01	31,92	115,47	115,47
L000	P028	PIPE	40,39	31,92	27,52	115,47	115,46
L000	B023	BEND	40,39	27,52	27,43	115,46	115,46
L000	P029	PIPE	40,39	27,43	27,40	115,46	115,46
L000	V004	VALV	40,39	27,40	27,38	115,46	115,46
L000	P030	PIPE	40,39	27,38	27,35	115,46	115,46

ANEXO N. Cálculo del factor j para cada alternativa

$$\text{Factor } J = \frac{R_1 - R_2}{C_i}$$

En donde:

R_1 = Valor de riesgo antes

R_2 = Valor del riesgo después

C_i = Costo de la inversión

Valor del riesgo antes (R_1)

Hace referencia al costo mensual de los 40 gpm de condensado que se están vertiendo al sistema de aguas lluvias (R_1 es igual para las dos alternativas).

Precio del condensado¹¹ = 15,900 COP\$/Kgalón

$$R_1 = 15,900 \frac{\text{COP\$}}{\text{Kgalón}} * \frac{1 \text{ Kgalón}}{1000 \text{ galones}} * \frac{40 \text{ galones}}{\text{minuto}} * \frac{43200 \text{ minutos}}{1 \text{ mes}}$$

$$R_1 = 27'475,200 \text{ COP\$/mes}$$

Valor del riesgo después (R_2)

Hace referencia al costo mensual de operación del sistema propuesto (R_2 es diferente para cada alternativa).

Alternativa 1:

- Costo mensual de las 2,398 lb/h de vapor de 50 Psi para la desaireación:

Precio del vapor de 50 Psi³ = 11,300 COP\$/Klb

$$\text{Costo de vapor de 50} = 11,300 \frac{\text{COP\$}}{\text{Klb}} * \frac{1 \text{ Klb}}{1000 \text{ lb}} * \frac{2,398 \text{ lb}}{\text{h}} * \frac{720 \text{ horas}}{1 \text{ mes}}$$

$$\text{Costo de vapor de 50} = 19'510,128 \text{ COP\$/mes}$$

- Costo mensual de la amina neutralizante¹² = 300,000 COP\$/mes

¹¹ Precios que se manejaba en la coordinación de programación de la GRB a enero de 2015

R₂ para alternativa 1		
Concepto	Unidades	Valor
2400 lb/h de Vapor de 50#	COP\$/mes	19'510,510
Amina neutralizante	COP\$/mes	300,000
Total R₂	COP\$/mes	19'810,128

Alterativa 2:

- Costo mensual de la amina neutralizante⁴ = 3'000,000 COP\$/mes

R₂ para alternativa 2		
Concepto	Unidades	Valor
Amina neutralizante	COP\$/mes	3'000,000
Total R₂	COP\$/mes	3'000.000

Costo de inversión (Ci)

Hace referencia al costo de materiales, equipos, montaje, honorarios y contingencias (Ci para cada alternativa es diferente).

Alternativa 1:

¹² Según respuesta vía correo electrónico de la empresa Clariant.

Costo de materiales y equipos				
Equipos y/o accesorios	Cantidad	Unidades	Valor por unidad	Valor total
Lecho empacado [16]	1.176	m3	505,000	593,880
Tubería de acero inoxidable de 2" [17]	24	m	268,000	6'432,000
Tubería de acero al carbón, de 3" [17]	15	m	208,000	3'120,000
Tubería de acero al carbón, de 1/2" [17]	5	m	179,000	895,000
Válvulas de compuerta de 2" [18]	8	unidad	305,800	2'446,400
Válvulas de compuerta de 3" [18]	4	unidad	467,400	1'869,600
Válvulas de control [19]	2	unidad	12'922.000	25'844,000
Válvula de seguridad [19]	1	unidad	551,963	551,963
Medidor de presión 0-30 Psi [19]	2	unidad	93,554	187,108
Medidor de presión 0-150 Psi [19]	2	unidad	142,062	284,124
Medidor de nivel [19]	1	unidad	1'212,200	1'212,200
pH metro digital [19]	1	unidad	1'586,042	1'586,042
Bomba centrífuga [20]	1	unidad	14'215,000	14'215,000
Bomba para la amina neutralizante ¹³	1	unidad	2'000,000	2'000,000
Total Costo de materiales y equipos				61'237.317

Se incluyen costos indirectos tales como ingeniería y supervisión, construcción y contingencias, los cuales heurísticamente corresponden a un porcentaje del costo de materiales y equipos. Estos porcentajes se asignaron en base al libro Peter and Timmerhaus [21], como se relacionan a continuación.

Costos indirectos	Porcentaje	Valor [COP\$]
Ingeniería y supervisión	35%	21'433,060
Construcción	37%	22'657,807
Contingencias	10%	6'123,731
Total costos indirectos		50'214,598

¹³ Según respuesta vía correo electrónico de la empresa Clariant

Finalmente el costo de inversión es la suma del costo de materiales y equipos más los costos indirectos.

Ci para alternativa 1	
Tipo de Costo	Valor [COP\$]
Materiales y equipos	61'237.317
Costo indirecto	50'214,598
TOTAL	111'451,915

Alternativa 2:

Costo de materiales y equipos				
Equipos y/o accesorios	Cant	Unidades	Valor por unidad	Valor total
Bomba para amina neutralizante ⁵	1	Unidad	2'000,000	2'000,000
Tubería de acero al carbón, de 1/2" [17]	3	m	179,000	895,000
pH metro digital [19]	1	Unidad	1'586,042	1'586,042
Láminas de acero inoxidable (mezclador estático)	6	laminas	269,000	1'614,000
Total Costo de materiales y equipos [COP\$]				6'095,042

Costos indirectos	Porcentaje	Valor [COP\$]
Ingeniería y supervisión	45%	2'742,769
Construcción	37%	2'255,165
Contingencias	10%	609,504
Total costos indirectos		5'607,438

Ci para alternativa 2	
Tipo de Costo	Valor [COP\$]
Materiales y equipos	6'095,042
Costo indirecto	5'607,438
TOTAL	11'702.480

Cálculo del factor J

ALTERNATIVA 1	R1	27'475,200	Factor j	0.068
	R2	19'810,128		
	Ci	111'451,915		
ALTERNATIVA 2	R1	27'475,200	Factor j	2.09
	R2	3'000,000		
	Ci	11'702,480		