

**ELIMINACIÓN DEL RIESGO A EXPOSICIÓN DE H<sub>2</sub>S EN EL ÁREA DEL  
TAMBOR D-2658 DE LA PLANTA UNIBÓN**

**KENNYHER CABALLERO BLANCO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA  
2011**

**ELIMINACIÓN DEL RIESGO A EXPOSICIÓN DE H<sub>2</sub>S EN EL ÁREA DEL  
TAMBOR D-2658 DE LA PLANTA UNIBÓN**

**KENNYHER CABALLERO BLANCO**

**Trabajo de grado modalidad práctica industrial, para optar el título de:  
INGENIERO QUÍMICO**

**Directora:**

**Prof. SONIA AZUCENA GIRALDO DUARTE**

**Co-director:**

**Ing. SAMUEL ANTONIO VALDERRAMA PINZÓN  
(ECOPETROL S.A.)**

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

**2011**

## DEDICATORIA

*Para Felipe Caballero Toloza, Elsa María Blanco Briceño y Fady Jaidyth Caballero:*

*Este libro lleva en sí el fruto de mi esfuerzo y lucha, pero animado por el recuerdo de una sonrisa, una mirada, un gesto tierno, de ahora o atañe, que me alimentaba espiritualmente para escribirlo, pacientemente a lo largo de los días y noches.*

*"El hombre bien preparado para la lucha ya ha conseguido medio triunfo."*

*Miguel de Cervantes*

## AGRADECIMIENTOS

*Son muchas las personas especiales a las que me gustaría agradecer su amistad, apoyo, ánimo y compañía en las diferentes etapas de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en el corazón. Sin importar en donde estén o si alguna vez llegan a leer estos agradecimientos, quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.*

A mis padres, **Felipe Caballero Toloza** y **Elsa María Blanco Briceño**, no me equivoco si digo que son los mejores padres del mundo, gracias por todo el esfuerzo, el apoyo y por toda confianza que depositaron en mí. Gracias porque siempre, aunque lejos, han estado a mi lado. Los quiero mucho y daría cualquier cosa porque siempre estuvieran conmigo.

A mi hermana, **FadyJaidyth Caballero Blanco**, por ser mi fuente de inspiración para levantarme cada mañana y seguir luchando ante la adversidades de mi diario vivir.

A **Lina María Orozco Chinome**, quien siempre estuvo junto a mí y me apoyo sin restricción alguna ayudándome a superar los momentos difíciles y por las porras que me echa para seguir superándome.

Al profesor **Aristóbulo Centeno Hurtado** (Q.E.P.D) por haber sido mi director de proyecto en primera instancia, aunque lamento su prematura partida le agradezco por enseñarme a redescubrir mi humildad gracias a los consejos que profesaba en el salón de clases.

A la profesora **Sonia Giraldo Duarte** directora de esta tesis, por su invaluable apoyo, dirección y motivación durante el desarrollo de este trabajo.

A todos mis amigos, sin excluir a ninguno, pero en especial Mauricio, Carolina, Luís Alfonso, Víctor, Davinson, Camilo, Luís, Leo, Manuel y Carlitos Granados. Mil gracias por todos los momentos que hemos pasado juntos y porque han estado conmigo siempre, aunque sea solo en ocasiones para dar lata y molestar. Solo me queda decirles éxitos y que Dios los bendiga.

A todos mis profes no sólo de la carrera sino de toda la vida, mil gracias porque de alguna manera forman parte de lo que ahora soy. En especial a Johana Cáceres, Carlos Ruiz y Jesús David Cubillos, este último más que mi tutor fue mi profesor en la refinería Barrancabermeja.

A la **Universidad Industrial de Santander** que me brindó la oportunidad de realizar mi pregrado y me formó tanto académica como personalmente.

A **Dairon César Nietoy Samuel A. Valderrama** que siempre estuvieron pendientes del avance del proyecto y que con sus consejos pudo salir adelante.

A todos mis compañeros de trabajo del departamento de Refinación de Fondos, por su amistad y compañerismo.

A **ECOPETROL S.A.** por darme la oportunidad de realizar mi proyecto de grado en sus instalaciones y por hacer que cada día aprenda mucho más.

Al más especial de todos, a **ti Señor** porque hiciste realidad este sueño, por todo el amor con el que me rodeas y porque me tienes en tus manos. Esta tesis es para ti.

**Kennyher Caballero Blanco**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	17
1. DESARROLLO DEL PROYECTO .....	19
1.1 ANTECEDENTES, RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y VERIFICACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL CONDENSADO EN CAMPO .....	19
1.3. PLANTEAMIENTOS Y SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA.....	24
1.3.1. Instalación de una red de tuberías en la succión de las bombas P-2669 A/B 24	24
1.3.2. Envío del condensado al tambor acumulador de cima D-2657 .....	26
1.4. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA.....	30
1.4.1. Cálculo del volumen drenado .....	30
1.4.2. Tambor colector .....	32
1.4.3. Tambor D-2621 .....	34
1.4.4. Descripción del sistema de facilidades de circulación .....	36
1.4.5. Esquema operacional .....	39
2. ANÁLISIS Y RESULTADOS .....	40
2.1. Análisis de riesgo .....	44
3. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA.....	45
CONCLUSIONES .....	46
RECOMENDACIONES .....	47
BIBLIOGRAFÍA .....	48
ANEXOS .....	49

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Sensores de gases midiendo el contenido de H <sub>2</sub> S despojado durante la acción de drenado .....	17
Figura 2. Diagrama de flujo de la etapa de rectificación y recobro de gases de la unidad Unibón.....	19
Figura 3. Instalación de red de tuberías en la succión de las bombas P-2669 .....	23
Figura 4. Instalación de tambor colector para enviar el efluente al tambor acumulador de cima (D-2657).....	27
Figura 5. Costo de tambores al aplicar el método de modular de Guthrie .....	32
Figura 6. Diagrama de flujo de facilidades de circulación de la alternativa propuesta. ....	35

## LISTADO DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Efectos Fisiológicos a Varias Concentraciones de Sulfuro de Hidrógeno	18
Tabla 2A. Resultados de laboratorio prueba N° 1.....	21
Tabla 2B. Resultados de laboratorio prueba N° 2.....	21
Tabla 3. Volumen total drenado del tambor D-2658 .....	29
Tabla 4. Especificaciones mínimas de diseño del tambor colector .....	33
Tabla 5. Dimensiones D-2621.....	33
Tabla 6. Características tambor requerido vs D-2621.....	38
Tabla 7. Costos.....	43

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo 1. Tabla de control del nivel del D-2658.....	47
Anexo 2. Condensado D-2658.....	47
Anexo 3. Función del Tambor Acumulador de Cima D-2657.....	48
Anexo 4. Especificaciones y curva de operación.....	49
Anexo 5. Tambor D-2621 equipo estático a emplear como tambor colector del condensado drenado.....	52
Anexo 6. Rango tomado para el cálculo del volumen drenado.....	53
Anexo 7. Data sheet D-2657.....	54
Anexo 8. Data sheet D-2658.....	55
Anexo 9. Procedimiento de puesta en marcha (ATR).....	56
Anexo 10. Valores del índice de costo de planta para Ingeniería Química CEPCI	58

## NOMENCLATURA

GRB: Gerencia Refinería de Barrancabermeja.

ATR: Análisis de Tareas de Referencia.

RSH: Mercaptanos.

PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

BC: Costo base.

UBMC: Valor estimado del tanque.

UF: Factor de actualización que depende del índice de Costo de Planta para Ingeniería Química CEPCI (anexo 6 [7]).

MPF: Factor de corrección en función al material y presión de operación del tambor a estimar.

MF: Factor de corrección que depende del costo base calculado.

PI: indicador de Presión.

LG: Indicador de Nivel.

Ø= Diámetro exterior.

## RESUMEN

**TÍTULO:**ELIMINACIÓN DEL RIESGO A EXPOSICIÓN DE H<sub>2</sub>S EN EL ÁREA DEL TAMBOR D-2658 DE LA PLANTA UNIBÓN\*.

**AUTOR:** KENNYHER CABALLERO BLANCO\*\*.

**PALABRAS CLAVES:**H<sub>2</sub>S, Condensado,Alternativas, PTAR, Recobro de Gases.

Se plantea la fase I de ingeniería para el diseño base de un sistema cerrado de recobro de gases y envío de condensado con alto contenido de H<sub>2</sub>S de la planta Unibón hacia el sistema de aguas agrias, esto con el propósito de buscar la disminución de impactos ambientales y riesgos operacionales que se presentan en el departamento de Refinación de Fondos.

En el ejercicio de la práctica, se identificó que la problemática se presenta cuando se realiza el drenado de forma manual, por parte del personal de operaciones, del condensado contenido en el tambor, D-2658. Este, es enviado al sistema abierto de aguas aceitosas provocando el despojo por drenada, de altas concentraciones de H<sub>2</sub>S, mercaptanos y nitrógeno amoniacal que se presenta en el momento de llevar a cabo dicha actividad. Esta acción de drenado, se realiza en promedio entre 4 a 5 veces por turno en verano y entre 8 a 9 veces en invierno (Ecopetrol cuenta con tres turnos cada uno de 8 horas).

Dada esta problemática, se han propuesto actividades de recopilación de información y evaluación de la situación actual del condensado en campo, la caracterización del mismo mediante muestreo y pruebas de laboratorio con el fin de determinar los contaminantes presentes y las variables fuera de rango, la identificación de las posibles alternativas y las evaluaciones técnicas, ambientales y económicas de las mismas. Ello se da, con la finalidad de eliminar el actual foco de contaminación que se da en el área del tambor D-2658 de la planta Unibón.

\* Tesis de Grado.

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Ingeniería Química.

Directora: Sonia Azucena Giraldo Duarte, Co-director: Samuel Antonio Valderrama Pinzón

## ABSTRACT

**TITLE:** DISPOSAL OF RISK EXPOSURE OF H<sub>2</sub>S IN THE AREA OF THE DRUM D-2658 AT THE UNIBON PLANT\*.

**AUTHOR:**KENNYHER CABALLERO BLANCO\*\*.

**KEYWORDS:** Hydrogen sulphide (H<sub>2</sub>S), Alternatives, Gas recovery, condensed, Water Treatment plant (WTP).

Phase I of engineering has been planned in order to get a basic design of a close system for recovering of gas and send the condensed with high content of H<sub>2</sub>S from Unibón plant to the sour water system, this with the aim of seeking the reduction of the environmental impacts and operational risks which arise in the refining of funds department.

During the practice, it was found that the problem occurs when the drainage of the condensed in the drum, D-2658, is manually done by the personal of operations. It is sent to an open system of oily water causing the plunder by draining of the high concentrations of H<sub>2</sub>S, mercaptans and ammoniacal nitrogen that are present at the time of carrying out such activity. This action of drainage is performed on overage 4 to 5 times per shift in summer and between 8 and 9 times in winter (Ecopetrol S.A. has three shifts a day).

Analysing this problem have been proposed information collection activities and an evaluation of the current situation of the condensed in the camp, characterization of it by sampling and laboratory tests in order to determine contaminants and out the range variables, identification of the alternatives and technical, environmental and economical evaluations of them. This was done with the intention of eliminating the current source of contamination of the drum D-2658 in the Unibón plant.

\* Thesis Project.

\*\* Faculty of Physical Chemical Engineering. School of Chemical Engineering  
Director Sonia Azucena Giraldo Duarte, Co-director: Samuel Antonio Valderrama Pinzón.

\* Thesis Project.

\*\* Faculty of Physical Chemical Engineering. School of Chemical Engineering  
Director Sonia Azucena Giraldo Duarte, Co-director: Samuel Antonio Valderrama Pinzón.

## INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de la práctica industrial es que el estudiante aplique los conocimientos adquiridos durante su formación académica en el alma mater en situaciones que requieran de su competencia profesional. La Universidad Industrial de Santander en convenio con Ecopetrol S.A., promueve el desarrollo de dicho objetivo, permitiendo la realización de proyectos que contribuyan al mejoramiento continuo de la empresa a la vez que incorpora al estudiante a la vida laboral. El génesis de este trabajo atiende un problema ambiental generado por las actividades y procesos productivos que causan impactos negativos en el ambiente y en las personas; Es por ello, que la Gerencia Refinería de Barrancabermeja (GRB) de Ecopetrol S.A. ha impulsado en los últimos años el desarrollo de proyectos que minimicen impactos ambientales y tengan beneficios económicos, entre los que se encuentran: corrección de escapes, recuperación de condensados, disminución de vertimientos y emisiones a la atmósfera.

El presente trabajo pertenece a la fase I (modelo de maduración de proyectos exigido por la empresa para la asignación del capital) del proyecto **“MINIMIZACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL Y ELIMINACIÓN DEL RIESGO A EXPOSICIÓN DE H<sub>2</sub>S EN LA PLANTA UNIBÓN”**, en donde se presenta a nivel conceptual el análisis de las alternativas propuestas para el diseño de un sistema cerrado de recobro de gases despojados y envío de un condensado con alto contenido de H<sub>2</sub>S (entre 5000 a 11000 ppm de H<sub>2</sub>S) de la unidad Unibón hacia la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

Este efluente se forma por la condensación de gases livianos provenientes de los tambores D-2657 y D-2803 de la planta Unibón y Viscosreductora II, respectivamente. Para posteriormente, ser almacenado en el tambor D-2658

(equipo estático centro de atención del proyecto). Tambor que se drena manualmente por parte del personal de operaciones al sistema abierto de aguas aceitosas, entre 4 a 5 veces por turno en épocas de verano y en épocas de lluvia entre 8 a 9 veces (la GRB maneja tres turnos de 8 h cada uno). Actividad que provoca el despojo de altas concentraciones de gases tóxicos; es por ello, que el tema del envío del efluente a PTAR tiene su justificación en dos aspectos básicos: *la reducción gradual en el departamento del impacto ambiental por despojo de gases tóxicos a la atmosfera*, que de acuerdo a los sensores utilizados para la medición de gases al efluente se evitaría el despojo en promedio de 200 ppm de  $H_2S$  por drenada (la concentración de  $H_2S$  despojado depende de la calidad de la carga y las fluctuaciones que se puedan presentar en las plantas Unibón y Viscorreductora II durante su operación normal) y *la protección de la integridad del trabajador* a la hora de realizar esta tarea matutina de drenado.

Para tal fin, se propone la realización de actividades de recopilación de información y evaluación de la situación actual del condensado en campo, la caracterización del mismo mediante muestreo y pruebas de laboratorio para determinar los contaminantes presentes y las variables fuera de rango, la identificación de las posibles alternativas y las evaluaciones técnicas, ambientales y económicas de las mismas. Todo ello, con el objetivo de eliminar el actual riesgo de contaminación por despojo de  $H_2S$  que se ha presentado desde hace 31 años, en el área del tambor D-2658 de la planta Unibón.

## 1. DESARROLLO DEL PROYECTO

### 1.1 ANTECEDENTES, RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y VERIFICACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL CONDENSADO EN CAMPO

#### Antecedentes

Desde hace aproximadamente 31 años el condensado del tambor D-2658 se ha drenado al sistema abierto de aguas aceitosas; acción que en verano provoca que por cada 24 h, se drenen  $0,35 \text{ m}^3$  ( $12,24 \text{ ft}^3$ ) de condensado dando como resultado el despojo de 2700 ppm de  $\text{H}_2\text{S}$  a la atmosfera (la figura 1 demuestra que por drenada se despojan alrededor de 200 ppm de  $\text{H}_2\text{S}$ ); la preocupación se extiende en épocas de lluvia, donde se drenan en un día  $0,67 \text{ m}^3$  ( $23,5 \text{ ft}^3$ ) del efluente provocando un despojo de alrededor de 5100 ppm de  $\text{H}_2\text{S}$ .

**Figura 1.** Sensores de gases midiendo el contenido de  $\text{H}_2\text{S}$  despojado durante la acción de drenado.



Fuente: el autor

La figura 1, deja en evidencia la presencia de altas concentraciones de H<sub>2</sub>S que supera los límites tolerables para el individuo como se aprecia en la tabla 1. Siendo ello, un gran riesgo para la integridad del trabajador, pues, puede provocar en él, secuelas irreversibles para su salud.

Tabla 1. Efectos Fisiológicos a Varias Concentraciones de Sulfuro de Hidrógeno.

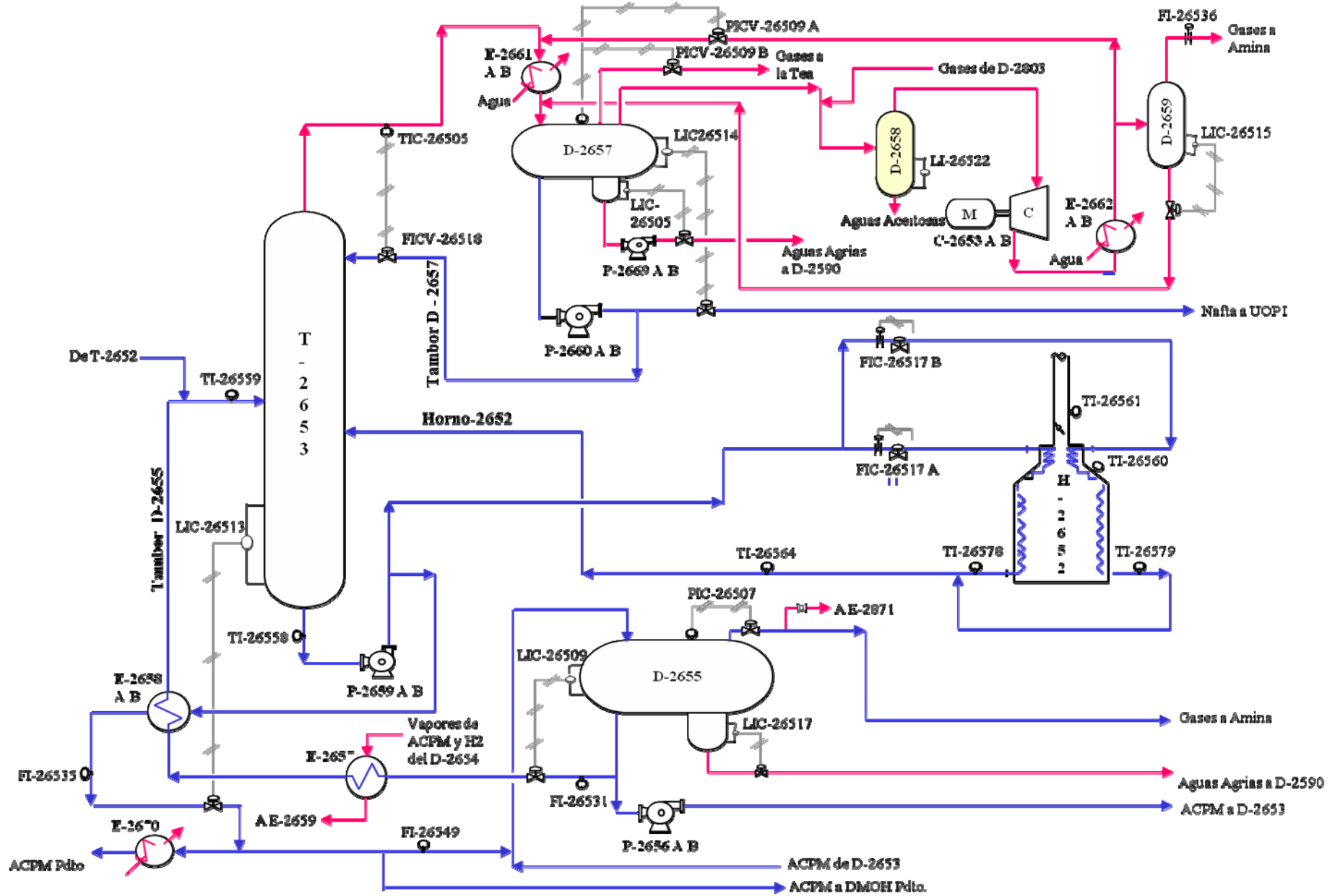
Concentración en ppm. Vol	Duración	Efectos
0.01-0.15	Corta	Olor
20	Prolongada	Olor detectable y tolerable
100-150	3-15 min	Parálisis. Sentido del Olfato.
100-150	1 hora o más	Puede causar desmayo, decaimiento repentino de piernas, dolor de cabeza y somnolencia.
Por encima de 200	Varias horas	Peligra la vida debido a irritación de los pulmones
700-1000	Inmediato	Pérdida del conocimiento. Parálisis respiratoria.
Por encima de 1000	Inmediato	Fatal

### Formación del condensado del tambor D-2658

El tambor (D-2658) pertenece a la etapa de recobro de gases y rectificación de ACPM. Tiene como función la acumulación y drenaje del líquido condensado de los gases provenientes de los tambores D-2657 y D-2803 de las plantas Unibón y Viscorreductora II, respectivamente; que se dirigen hacia los compresores (C-2653 A/B), siendo estos gases ricos en H<sub>2</sub>S, mercaptanos y CO<sub>2</sub>.

En la Figura 2 se esquematiza la etapa de recobro de gases y rectificación de ACPM en donde se detalla la formación del condensado del D-2658.

Figura 2. Diagrama de flujo de la etapa de rectificación y recobro de gases de la unidad Unibón.



El efluente se genera por la condensación de la corriente de gases livianos que salen por la cima del tambor D-2657 producto de la separación de los componentes livianos de la corriente de ACPM, que ingresan a la torre rectificadora (T-2653) provenientes del horno H-2652, tambor D-2655 y torre T-2652. Los vapores de cima de la torre son condensados por los intercambiadores E-2661 A/B con agua, estos se combinan con una línea de condensado provenientes del tambor de descarga de los C-2653 A/B, D-2659, para ser separados por diferencia de densidad en el tambor acumulador de cima (D-2657), en tres corrientes. Una corriente es agua acumulada en la bota que es succionada por las bombas P-2669 A/B para enviar el flujo a aguas agrias, la segunda corriente es nafta, que se envía como producto a las unidades UOPI y una parte como reflujo a la cima de la torre T-2653 por medio de las bombas (P-2660 A/B). La tercera y última corriente, son gases livianos que sale por la cima del tambor (D-2657) que se une con una corriente de gases provenientes del tambor (D-2803) de la unidad Viscorreductora II, e ingresan al tambor de succión de los C-2653 A/B, D-2658, en donde el condensado es acumulado y drenado de forma manual por el personal de operaciones al sistema abierto de aguas aceitosas, cuando se alcanzan un 10% de nivel, indicado por la alarma del indicador de nivel LI-26522 del tambor (ver Anexo1 [3]).

## **1.2. CARACTERIZACIÓN DEL CONDENSADO MEDIANTE MUESTREO Y PRUEBAS DE LABORATORIO**

Las Tablas 2A y 2B muestran los resultados obtenidos de la caracterización de las muestras del condensado del tambor D-2658. Para su realización se tomaron 2 muestras, 1 por cada semana identificada bajo el nombre SAE 755 (ver Anexo2). El análisis físico-químico se llevó a cabo en los laboratorios de aguas de la refinería. En ellos se observan valores en rojos que van desde los 5000 hasta 11000 ppm de H<sub>2</sub>S según las condiciones de operación. Este análisis físico-químico demuestra que la variable más preocupante es el contenido de H<sub>2</sub>S, pues

puede provocar que hayan despojos mayores a 200 ppm por drenada haciendo más crítica esta actividad para el operador de planta superando. Se destaca la presencia de valores bastante aceptables de mercaptanos (RSH) y nitrógeno amoniacal.

**Tabla 2A.** Resultados de laboratorio prueba N° 1

		MUESTRAS DE RESULTADOS DE ANALISIS			
		RESULTADOS DE LA MUESTRA			
<b>Id Muestra:</b>	202885035				
<b>Fecha:</b>	23/12/2010 08:01:10 p.m.			Producto:	Especial
<b>Id Muestra USR:</b>	SAE 755 Mtra Condensad				
Componentes	Resultados	Unidad	Limites	Ingresado en	Ingresado por
GRASAS Y ACEITES		mg/L	N/A	23/12/2010 08:16:46 p.m	E0201878
DIOXIDO DE CARBONO (ppm)	0	mg/L	N/A	23/12/2010 08:38:19 p.m	E0201878
H2S	11387	mg/L	N/A	23/12/2010 08:15:53 p.m	E0201878
RSH	1388	mg/L	N/A	23/12/2010 08:15:53 p.m	E0201878
NITROGENO AMONICAL	2804,5	mg/L	N/A	23/12/2010 08:57:49 p.m	E0201878

**Tabla 2B.** Resultados de laboratorio prueba N° 2

		MUESTRAS DE RESULTADOS DE ANALISIS			
		RESULTADOS DE LA MUESTRA			
<b>Id Muestra:</b>	202891882				
<b>Fecha:</b>	31/12/2010 07:35:10 p.m.			Producto:	Especial
<b>Id Muestra USR:</b>	D-2658 SAE 755 Mtra Condensad				
Componentes	Resultados	Unidad	Limites	Ingresado en	Ingresado por
H2S	5038,9	mg/L	N/A	23/12/2010 08:15:53 p.m	E0201878
RSH	2726,2	mg/L	N/A	23/12/2010 08:15:53 p.m	E0201878

Fuente: Laboratorio de Aguas de Ecopetrol.

### **1.3. PLANTEAMIENTOS Y SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA**

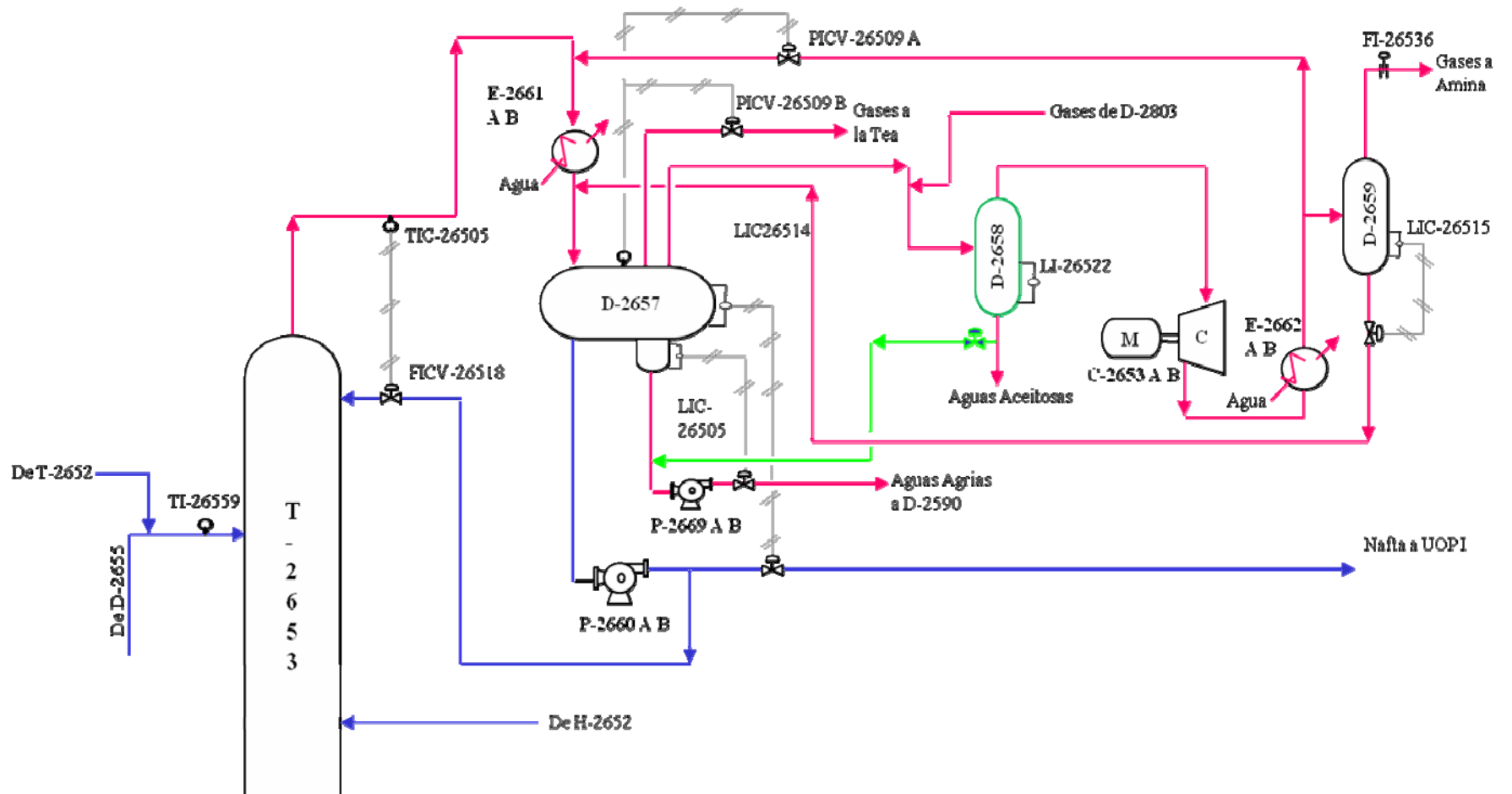
Se plantean dos alternativas para enviar el efluente a la unidad de PTAR a través de un sistema cerrado de tuberías y evitar así su despojo a la atmósfera al momento de realizar la tarea de drenado. La primera de ellas consiste en enviar el condensado directamente a dicha unidad por medio de una red de tuberías que se acoplaría a la succión de las bombas de aguas agrias (P-2669 A/B) (ver Figura 3). La segunda opción, consiste en enviar el condensado al tambor acumulador de cima (D-2657) para aprovechar la función que este cumple en la etapa de recobro de gases y rectificación de ACPM (ver Anexo 3), destinando de esta modo al efluente a la unidad ya mencionada para hacer una mejor disposición de acuerdo a las condiciones del mismo.

Los detalles generales de las alternativas se presentan a continuación:

#### **1.3.1. Instalación de una red de tuberías en la succión de las bombas P-2669 A/B**

Esta propuesta se esquematiza en la Figura 3. En ella se propone como primera opción el diseño de un sistema de red de tuberías para acoplarlo en la succión de las bombas P-2669 A/B para aprovechar la función que estas cumplen, al enviar el agua que se separan de los gases livianos acumulada en la bota del tambor acumulador de cima (D-2657) hacia PTAR. Para este propósito, se estudiaron las características de diseño de las bombas a intervenir, estas se tomaron de las placas de especificaciones de los equipos y se corroboraron con las hojas de datos (*data sheets*) de los mismos. Del estudio preliminar de estos equipos se obtuvo el dato de capacidad (16 gpm), siendo esta la variable más importante, pues es insuficiente para soportar el flujo de descarga del sistema a plantear (30 gpm) necesitándose así que estas bombas actuaran en paralelo para garantizar la operación del sistema, reduciendo la confiabilidad del sistema, incrementando el consumo de energía y volumen instalado de los equipos.

**Figura 3.** Instalación de red de tuberías en la succión de las bombas P-2669



**Nota:** Las líneas verdes representan el sistema de tuberías que se acoplarían a la succión de las P-2660 A/B.

Los requerimientos de esta alternativa son:

- Tubería correspondiente al tramo drenaje del tambor D-2658 y succión bombas P-2669 A/B.

Con respecto a las bombas P-2669 A/B se realizó la siguiente evaluación:

- Afectación de la metalurgia: debido a que el efluente drenado presenta características semejantes al fluido de trabajo de las bombas, es posible realizar esta conexión sin una afectación significativa de la metalurgia de los equipos.

Dada la limitación que se ha expuesto en párrafos anteriores (trabajo en paralelo de las bombas por falta de capacidad); a esta, se le suma el posible arrastre de no condensados por el efluente drenado del D-2658. Esta hipótesis, se puede presentar debido a su condición de drenado manual, que posibilita el arrastre de no condensados por falsas lecturas en el indicador de nivel del tambor por parte del operador, provocando el problema de cavitación en los equipos de bombeo a utilizar, afectando de esta manera la integridad de los mismos. Es por esto, que no se considera como una alternativa viable.

### **1.3.2. Envío del condensado al tambor acumulador de cima D-2657**

Dentro de esta alternativa se proponen las siguientes dos opciones con el propósito de que el despojo de gases del efluente del tambor D-2658 se efectúe en el tambor acumulador de cima (D-2657) y así poder recircular los gases que se despojan hacia los compresores C-2653 A/B para evitar la presencia de no condensados en el efluente a enviar a PTAR:

1. Usar las bombas fuera de servicio del departamento o realizar la compra de un equipo de bombeo el cual evacue el condensado drenado hacia el tambor acumulador de cima (D-2657).

Los requerimientos de esta alternativa son:

- Bomba para enviar el condensado desde el tambor D-2658 al D-2657.
- Adecuaciones ya sean de tipo neumático o eléctrico según sea la bomba a emplear.
- Instalación de sistemas de control para la entrada en servicio de la bomba de acuerdo a las señales de alto y bajo nivel del tambor D-2658.
- Tubería correspondiente al tramo entre D-2657, bomba (nueva o existente) y D-2658.

Se realizó una inspección visual para verificar las bombas que se encuentran fuera de servicio y que puedan ser utilizados en el sistema de bombeo que se busca implementar en el tambor acumulador de cima (D-2657).

Los equipos que se encuentran disponibles en el departamento son los siguientes:

- P-2606 A/B.
- P-2812 A/B.
- P-2814.
- P-2816 A/B.

Estos equipos llevan muchos años fuera de servicio y en algunos casos como en las bombas P-2812 y P-2814 no poseen placas de especificaciones, y por lo tanto no se pueden conocer sus características de diseño, aunque este tipo de bomba es muy similar a las P-2606 A/B, de la cual se obtuvieron datos de capacidad (2,2gpm), siendo esta insuficiente para soportar el flujo de descarga que requiere el sistema que se busca plantear (30 gpm).

Las bombas P-2816 A/B tienen una capacidad de 350 gpm, lo que supera en gran proporción al estimado en el diseño preliminar del sistema que se busca implementar.

Dada la imposibilidad de utilizar los equipos rotativos existentes del departamento, se cotizó una bomba con las siguientes características:

- Bomba neumática, con un flujo máximo de 49 gpm, con un costo de \$ 2470000.

En el Anexo 4 se adjunta la cotización realizada por Novatec Fluid System S.A del equipo de bombeo que se utilizaría de acuerdo a la opción 1.

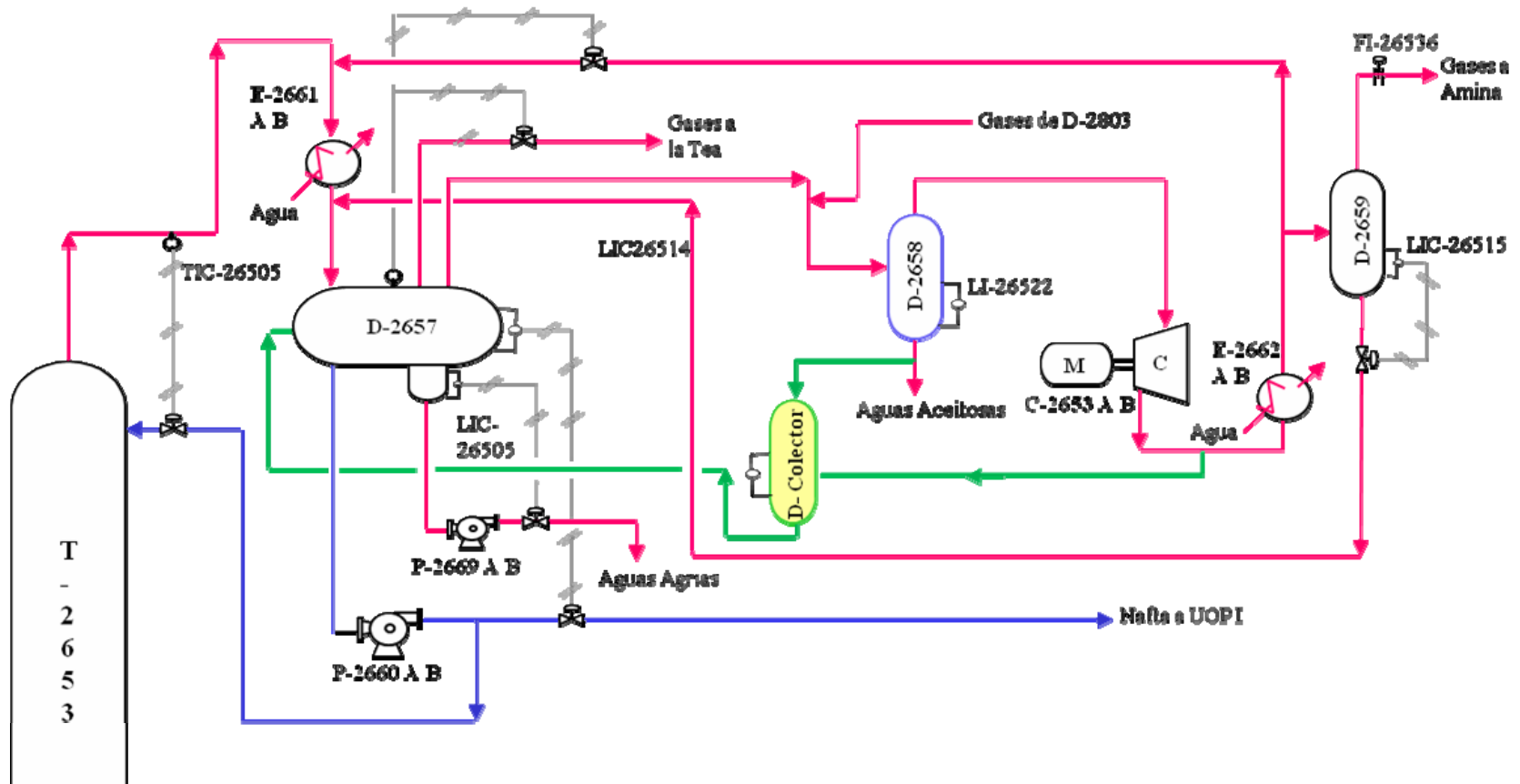
2. Instalar un sistema de facilidades de circulación por medio de conexiones de tuberías desde la línea de drenaje del D-2658 que se conectará a un nuevo tambor, el cual se utilizará como tambor recolector de condensado, para posteriormente enviar el efluente al tambor acumulador de cima (D-2657) presionado con la descarga de los compresores C-2653 y/o con nitrógeno proveniente del cabezal. Enviando de esta manera los gases despojados hacia el compresor, evitando así la presencia de no condensado en el efluente para utilizar las bombas P-2669 A/B.

Requerimientos de la alternativa:

- Construcción, reutilización o compra de un tambor nuevo de acero inoxidable que actuará como tambor colector del efluente drenado.
- Tubería correspondiente al tramo entre el drenaje D-2658, nuevo tambor y D-2657 y tubería correspondiente al tramo entre los compresores C-2653, cabezal de nitrógeno y nuevo tambor.

Esta propuesta se esquematiza en la Figura 4.

**Figura 4.** Instalación de tambor colector para enviar el efluente al tambor acumulador de cima (D-2657)



**Nota:**

Las líneas verdes representan el sistema de tuberías a acoplar entre el tambor colector, D-2658, D-2657 y C-2653 A/B

Apoyados en un análisis de riesgo y técnico preliminar (análisis realizado con la participación del equipo núcleo y los ingenieros de procesos del departamento), se opta por seleccionar la opción 2 (ver Figura 4). Esta decisión se da teniendo en cuenta que el departamento de Refinación de Fondos cuenta con 5 tambores verticales que no están siendo utilizados, de los cuales se seleccionó por tamaño y configuración el tambor cuyo referencia (*tag*) es D-2621 (ver Anexo 5) que cumple con los requerimientos mínimos de diseño (diámetro, altura y volumen) para actuar como tambor colector (ver Tabla 4 y 5).

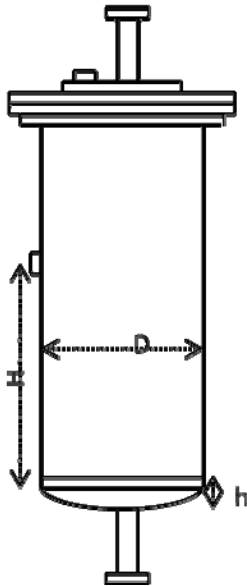
#### **1.4. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA**

Como etapa inicial para el dimensionamiento del sistema cerrado de recobro de gases y envío del condensado a PTAR, se definieron las propiedades fisicoquímicas del efluente. Las muestras tomadas se realizaron en condiciones típicas de operación de la unidad. Bajo tal caracterización se evidencio que el nuevo tambor a emplear (alternativa seleccionada, ver Figura 4) debe estar diseñado para almacenar líquidos altamente corrosivos (ver Tabla 2A y 2B). A continuación se explica en detalle la alternativa seleccionada.

##### **1.4.1. Cálculo del volumen drenado**

En la tabla 3 se expone el volumen total a enviar al tambor D-2657 y las dimensiones tomadas para el cálculo del mismo. Para ello, se tomó como máxima altura el 100% del indicador de nivel del tambor(0,54 m o 3.1 ft)(ver Anexo6), que es la condición más extrema de almacenamiento del líquido ante una situación anormal de operación.

**Tabla 3.** Volumen total drenado del tambor D-2658



<b>D-2658</b>	
Diámetro Ext. (D)	0,46 m (1,5 pies)
Altura tomada desde la sección recta hasta el 100% del LG (H)	0,33 m (2,4 pies)
Altura sección semiesférica (h)	0,21 m (0,7 pies)
Volumen sección recta (H)	0,1 m <sup>3</sup> (3,5 pies <sup>3</sup> )
Volumen sección semiesférica	0,02 m <sup>3</sup> (0,7 pies <sup>3</sup> )
Volumen total en tuberías 3/4", 1" y 1 1/2"	4,81 x10 <sup>-4</sup> m <sup>3</sup> (0,017 pies <sup>3</sup> )
<b>Volumen total drenado</b>	<b>0,13 m<sup>3</sup> (4,6 pies<sup>3</sup>)</b>

Fuente: el autor.

De acuerdo al cálculo del volumen drenado y tomando un 10% como factor de seguridad (recomendación dada por los ingenieros de procesos), se concluye que el volumen del tambor acumulador debe ser aproximadamente  $\geq 0,14 \text{ m}^3$  (5.1 ft<sup>3</sup>). En la Tabla 4 se expone el dimensionamiento del tambor colector.

**Tabla 4.** Especificaciones mínimas de diseño del tamborcolector.

<b>TamborColector</b>	
Diámetro	0,46m (1,5 pies)
Altura	0,91m (3 pies)
Volumen	0,14 m <sup>3</sup> (5,1 pies <sup>3</sup> )

Fuente: el autor.

### 1.4.2. Tambor colector

Para la elección del tamborcolector de condensado se evaluaron las siguientes opciones:

1. Utilizar recursos existentes en el departamento de Refinación de Fondos.

Se hizo un recorrido por las cuatros plantas que componen el departamento teniendo como principal criterio de selección del volumen del tambor, su posibilidad de traslado y la existencia de facilidades para la instalación de válvulas y tuberías

2. Tambor colector nuevo.

Para el diseño preliminar del tanque de almacenamiento se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros [4]:

- Flujo estimado de condensado: valor usado en el cálculo del volumen para el tambor de almacenamiento.
- Relación Altura/Diámetro: Se consideró una relación entre largo y ancho como mínimo de 2:1.
- Nivel de condensado: El nivel máximo de condensado para que entre en funcionamiento el sistema de presionar con los C-2653 A/B para desocupar el tambor es del 60% del volumen total.

Usando el método modular de Guthrie se obtiene el costo aproximado del tambor mediante las siguientes expresiones y un conjunto de datos empíricos.

El costo base se calcula mediante la siguiente expresión:

$$BC = C_0 \left( \frac{L}{L_0} \right)^m \left( \frac{D}{D_0} \right)^n \quad (\text{EC.1})$$

Fuente: BIEGLER, Lorenz T. GROSSMANN, Ignacio E. WESTERBERG, Arthur W. [5].

En donde los valores  $L_{21}, C_{22}, D_{22}, \alpha_1, \beta$  Son valores empíricos que varían según la configuración y tipo de equipo a diseñar.

Luego se usa una serie de factores de corrección para calcular el precio estimado del tambor.

$$UBMC = UF (BCXMPF + MF - 1) \text{ (Ec.2)}$$

Fuente: BIEGLER, Lorenz T. GROSSMANN, Ignacio E. WESTERBERG, Arthur W. [5].

Para realizar el cálculo de costos se tuvo en cuenta que el tambor deberá operar en un rango de presión de 30psig (presión mínima requerida para enviar el condensado al tambor acumulador de cima (D-2657)) y que el material será acero inoxidable, ya que es el material más adecuado para el propósito del proyecto.

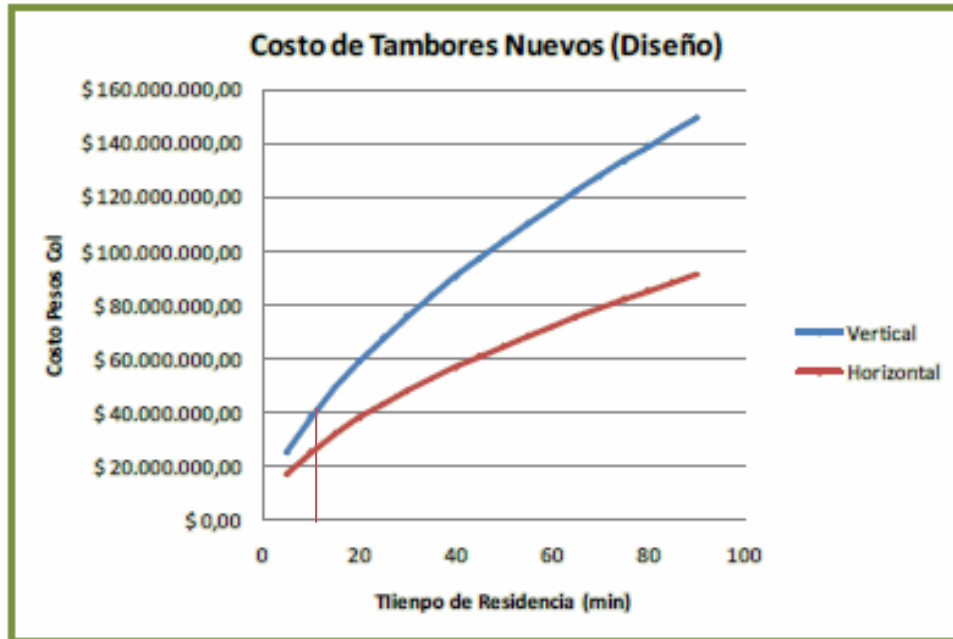
1. Usos de los recursos existentes del departamento.

Se realizó un seguimiento en campo y se identificaron cinco tambores verticales que no están siendo utilizados en el departamento, de los cuales se seleccionó por tamaño y configuración el tambor D-2621.

2. Tambor de colector nuevo.

En la Figura 5 se muestra los resultados obtenidos al aplicar el método modular de Guthrie para el cálculo de costos del tambor, en caso de que no se encontraran tambores en el departamento con la posibilidad de ser reutilizados. En ella, se muestra la variación de costo en función de la orientación horizontal o vertical y del tiempo de residencia del tambor y se aprecia que a medida que aumenta el tiempo de residencia, aumenta los costos de los tambores; independiente su configuración. Para este caso si requiriera un tambor colector nuevo vertical, este oscilaría entre los 40 000 000 y si fuese horizontal oscilaría entre los 30 000 000.

**Figura 5.** Costo de tambores al aplicar el método de modular de Guthrie



Fuente: el autor.

Comparando las dos alternativas se eligió usar el tambor existente en el departamento ya que su capacidad supera las especificaciones mínimas requeridas de diseños mostradas en la tabla 4 y su uso contribuirá en la reducción de costos mediante el uso de los recursos del departamento.

### 1.4.3. Tambor D-2621

Como ya se mencionó, este tambor se encuentra en custodia por el departamento a espera de dársele un nuevo uso; en este caso tambor colector de condensado.

Dada las características del efluente y el dimensionamiento presentado en la tabla 4, el tambor D-2621 cumple con las exigencias de diámetro, altura, volumen y material adecuado para el almacenamiento del efluente, además se tiene la

ventaja de que el tambor cuenta con la respectiva base y soportes para hacer más fácil su reutilización (ver Tabla 5y Anexo5). Hay que resaltar que antes de que el tambor sea puesto nuevamente en servicio, se debe realizar la respectiva valoración e inspección (metalurgia, aplicaciones de normas, montaje y desmontaje para su respectiva adecuación) y demás tareas de monitoreo y cuidado básico para la identificación previa de fallas que puede presentar el equipo y garantizar así su confiabilidad en el proceso.Estas tareas serán llevadas a cabo por los ingenieros de equipo estático y civil del departamento.

**Tabla 5.**Dimensiones D-2621

<b>D-2621</b>	
Material	Acero Inoxidable
Diámetro	0,52 m (1,7 pies)
Altura	1,58 (5,2 pies)
Volumen	0,33 m <sup>3</sup> (11,8 pies <sup>3</sup> )

Fuente: el autor.

**Nota:** Las dimensiones del tambor fueron tomadas en campo soportadas con los datos del ingeniero de equipo estático debido a que no se encontró registros del data sheet del equipo.

En losAnexos 7 y 8se adjunta los *Data Sheets* de los equipos estáticos involucrados (D-2658 y D-2657) en el sistema cerrado de recobro de gases y envió del condensado a PTAR, exceptuando el tambor D-2621.

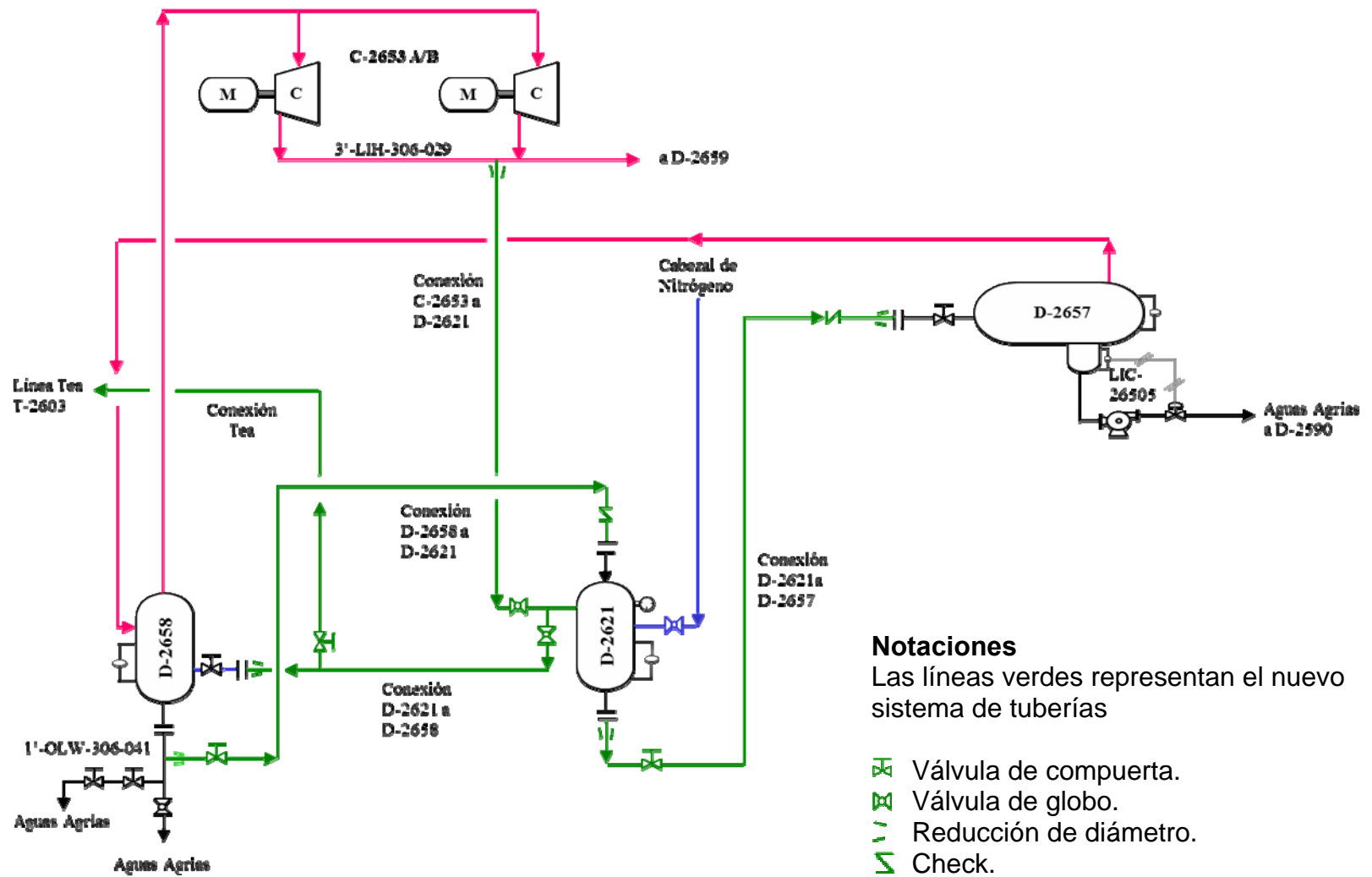
#### 1.4.4. Descripción del sistema de facilidades de circulación

La Figura 6 se detalla el diagrama de flujo de facilidades de circulación de la alternativa propuesta.

El tambor colector (D-2621) se adecuara con su respectivo indicador de presión (PI) y de nivel (LI). Este tambor operará a 0 psig para garantizar la entrada del condensado proveniente del tambor D-2658. Para ello, se aprovechara de la diferencial de presión que existirá entre estos dos equipos estáticos (Presión D-2658=10 psig; presión D-2621=0 psig, perdidas por tuberías y accesorios=5 psig),y así forzar el desplazamiento del efluente drenado hacia el D-2621.Esta acción se realizará de forma manual por el operador de planta cuando suene la alarma LI26522 del D-2658(ver Anexo 1). Una vez el condensado se encuentre almacenado en el tambor colector se procederá a enviarlo al tambor acumulador de cima (D-2657), presionándolo con gas proveniente de la descarga de los C-2653 A/B.Para garantizar que la presión de descarga de los compresores (presión de operación 70 – 80 psig) no afecte la integridad del tambor colector, se instalará una válvula de globo en la línea que conectará estos dos equipos para regular el flujo y la presión del gas;la cual podrá ser verificada por el PI local del D-2621(se tiene como otro factor de seguridad que la presión de diseño del D-2621 es de 150 psig).

Para evacuar el condensado del tambor colector hacia el tambor colector de cima,se requiere una presión  $\geq 28.45$  psig y de esta manera recircular los gases despojados a los compresores C-2653 A/B y el posterior envío del efluente a la unidad de PTAR.Para cumplir con este objetivo, se llevara a cabo la implementación de varias líneas de tuberías de acero inoxidable que se detallan a continuación.

**Figura 6.** Diagrama de flujo de facilidades de circulación de la alternativa propuesta



La primera de ellas, es una línea nueva de 1 in de diámetro que conectara la línea de descarga 1"-OLW-306-041 del tambor D-2658 con el tambor colector (D-2621). Esta línea contará con una válvula de bloque de 1 in de diámetro y un check de disco oscilante.

La segunda línea, será de 1in de diámetro que conectará el drenaje del tambor colector con la válvula de 1½ in de diámetro del tambor acumulador de cima (D-2657), esta línea nueva contará con un check de disco oscilante y una válvula de compuerta de 1in de diámetro.

La tercera línea, será 1in de diámetro que conecta la línea 3"-LIH-306-029 de la descarga de los compresores C-2653 A/B con el tambor colector, el propósito de esta línea es la de presionar el tambor colector para enviar el condensado al D-2657, dicha línea deberá tener una válvula de globo para garantizar un aumento de presión lento y seguro que se verificará por el PI local del tambor colector.

La cuarta línea, conectará el tambor colector con la válvula de 1½ in del D-2658 para el depresionamiento parcial del tambor acumulador (presión cuando se alcance el equilibrio entre estos dos equipos estáticos, 10psi), esta línea será de 1in de diámetro, la cual debe tener una válvula de globo y una T.

La quinta línea, será de 1in de diámetro que se conectará a la T de la línea anterior con la línea ¾" proveniente del drenaje del tambor colector que se encuentra en inmediaciones de la torre de lavado (T-2603), que enviara el gas remanente a la tea con el objetivo de que el tambor alcance una presión de 0 psig (presión requerida para iniciar el proceso de evacuación de condensado del D-2658 al tambor colector).

La sexta y última línea, conectará el cabezal de nitrógeno con el tambor colector (línea existente que interconecta a dicho equipo), cuya función será, ser la línea

backup de la descarga de los compresores C-2653 A/B, esta línea es de 1in y contara con una válvula de globo de 1in de diámetro.

#### **1.4.5. Esquema operacional**

Se deberán elaborar procedimientos tipo ATR (análisis de tareas de referencias) para adiestramiento y operación de las nuevas facilidades con participación del personal operativo del departamento de Refinación de Fondos. De igual manera se deberá realizar su divulgación como requisito previo a la puesta en servicio del sistema descrito en este proyecto como alternativa seleccionada.

En el Anexo 9 se adjunta el ATR preliminar de puesta en marcha.

## 2. ANÁLISIS Y RESULTADOS

La alternativa seleccionada para el diseño del sistema cerrado de minimización del impacto ambiental y eliminación de riesgo a exposición de H<sub>2</sub>S en el área del tambor D-2658 en la planta Unibón, se describe de la siguiente manera:

- Inspección, adecuación y puesta en funcionamiento del tambor D-2621 como tambor acumulador.
- Instalación de tramos de tuberías para la conexión de los equipos involucrados (D-2621, D-2657, D-2658 y C-2653).
- Aprovechamiento de la función del tambor acumulador de cima (D-2657) para recircular los gases que se despojan hacia los compresores C-2653 A/B evitando así la presencia de no condensados en el efluente a enviar a PTAR.
- Utilización de las bombas de aguas agrias (P-2669 A/B) para el envío a PTAR del efluente.
- Inspección de líneas existentes para envío de gas remanente a la tea con el propósito de garantizar una presión de 0 psig en el tambor acumulador (D-2621).

Esta propuesta se presenta en la Figura 6.

Las características del tambor requerido para almacenar el condensado drenado y el tambor D-2621 se compara a continuación en la Tabla 6

**Tabla 6.** Características tambor requerido vs D-2621

Característica	Tambor requerido	D-2621
----------------	------------------	--------

Característica	Tambor requerido	D-2621
Tipo de material	Acero Inoxidable	Acero Inoxidable
Capacidad (m <sup>3</sup> )	0,14	0,31
Atura (m)	0,91	1,58
Diámetro (m)	0,46	0,52
Presión de diseño (kPa)	66,29	113,55
Temperatura de diseño (°F)	232	450
Volumen a drenar por turno (época de verano) (m <sup>3</sup> )	0,06	0,06
Volumen a drenar por turno (época de invierno) (m <sup>3</sup> )	0,12	0,12
Presión mínima para envío de condensado a D-2657 (Kpa)	29,75	29,75

Fuente: el autor.

**Nota:**

- Presión de diseño del tambor requerida se estableció con la presión de diseño de los C-2653 A/B.
- Temperatura de diseño se estableció de acuerdo a la temperatura de diseño de la descarga de los C-2653 A/B.

La Tabla 6, evidencia que el tambor D-2621 supera todo los requerimientos mínimos de diseño del tambor colector (capacidad, diámetro, altura, material, etc.), además se tiene la ventaja de que al ser puesto nuevamente en servicio disminuye de forma considerable los costos del proyecto. En la Figura 5 se mostró los resultados obtenidos al aplicar el método modular de Guthrie para el cálculo del costo del tambor, con ella se puede concluir que al ser el tambor colector, el eje central del proyecto y la posible reutilización del D-2621 para que cumpla dicha función, ello equivale a decir un ahorro del 15 a 50% del costo total del proyecto

según la evaluación en base a uno o algunos de los componentes del proyecto. Representado esto un ahorro significativo y un uso eficiente de los recursos existentes del departamento.

Los arreglos recomendados para efectos de habilitar las nuevas facilidades de circulación del sistema cerrado propuesto que involucran los tambores D-2621/57/58 y C-2653 A/B presentados en la Figura 10 son:

- Línea conexión D-2658 a D-2621
  - a. Línea de circulación de acero inoxidable de Ø1in sch 80, con una longitud aproximada de 19000 mm, delimitada entre el drenaje D-2658 y la entrada superior del D-2621.
  - b. Una (1) Válvula de compuerta de Ø1in.
  - c. Un (1) check de disco oscilante.
  - d. Cuatro (4) codos de 90°.
  
- Línea conexión D-2621 a D-2657
  - a. Línea de acero inoxidable de Ø1insch 80, con una longitud aproximada de 19500mm, delimitada entre la descarga del tambor colector y la entrada lateral al drum separador (D-2657), delimitada por la válvula de compuerta de 1½”.
  - b. Dos (2) válvula de compuerta de Ø1y 1½ in.
  - c. Un (1) check de disco oscilante.
  - d. Ocho (8) codos de 90°.
  
- Línea conexión D-2621 a D-2658
  - a. Línea de acero inoxidable de Ø1in sch 80, con una longitud aproximada de 16000mm, delimitada entre la salida lateral del D-2621 y la válvula de compuerta de 1½” localizada en la parte inferior del D-2658.
  - b. Una (1) válvula de globo de Ø1 in.

- c. Una (1) válvula de compuerta de  $\varnothing$  1½ in.
  - d. Siete (6) codos de 90°
  - e. Una(1) Tee “T”  $\varnothing$  1½ in.
- Línea conexión C-2653 a D-2621
    - a. Línea de acero inoxidable de  $\varnothing$ 1in sch 80, con una longitud aproximada de 2300mm, delimitada entre la descargar de los C-2653 A/B y entrada lateral del drum acumulador.
    - b. Una (1) válvula de globo de  $\varnothing$ 1 in.
    - c. Tres (3) codos de 90°
  - Línea conexión cabezal de nitrógeno a D-2621
    - a. Línea de  $\varnothing$  ¾ in sch 40, con una longitud aproximada de 4000mm.
    - b. Una (1) válvula de globo de  $\varnothing$ 1 in.
    - c. Dos (2) codos de 90°.
  - Línea conexión tea
    - a. Línea de circulación de gas remanente de acero inoxidable de  $\varnothing$  ¾ in sch 40, con una longitud aproximada de 10000 mm, delimitada entre la “T” de la línea de conexión D-2621 a D-2658 y la línea de ¾ de in proveniente del drenaje del D-2601 que se encuentra en inmediaciones de la T-2603.
    - b. Cinco (5) codos de 90°.

## 2.1. Análisis de riesgo[6]

Identificación de Riesgo	Control Recomendado
Afectación a los procesos asociados a la alternativa de recobro de gases despojados a los C-2653 A/B y envío del efluente a PTAR.	Realizar estudio detallado de los procesos afectados por la implantación de la alternativa.
Insuficiente impacto de la alternativa implementada.	Realizar seguimiento al cumplimiento de las recomendaciones generadas.
Ineficiencia de la alternativa implementada por variación en la calidad del condensado originados a su vez por cambios en las condiciones de operación.	Efectuar el estudio de la variación histórica de las condiciones de operación de las plantas y relacionar los resultados con las alternativas propuestas.
Sobre costos por alcance de la alternativa.	Desarrollar una reevaluación de factores que pueden afectar los costos.

### 3. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

En la Tabla 7 se presenta los costos del proyecto

**Tabla 7. Costos**

Tubería	Schedule	Tramo	Valor línea x 6 m	Valor total
Ø 3/4 in	40	14000	93 098,64	217 230
Ø 1 in	80	56800	112 300	1063 106
			Total	1 280 336

Accesorios	Ø in	Cantidad	Valor Unitario	Valor total
Codos 90°	¾	7	6 036,71	42 256
	1	19	7000	133 000
Válvula de compuerta	1	2	47 718,66	95 436
Válvula de globo	¾	1	56 874,88	56 874
	1	2	65 968,05	131 936
Tee	1	1	1 120,56	1 120
			Total	460 622

Fuente: el autor.

Los precios de accesorios y tuberías se determinaron con ellipse.

El subtotal de la alternativa seleccionada es de \$1 740 958. Si se incluye un factor de 3.5 por concepto de montaje, arranque y demás no incluidos. Genera un total por la alternativa de: \$ 6 093 353.

## CONCLUSIONES

1. Se presenta como resultado final el esquema seleccionado después de la evaluación de las alternativas planteadas para el despojo de gases y envío de condensado del D-2658 de la planta Unibón.
2. Se plantean y se eligen alternativas que buscan al aprovechamiento de los recursos existentes en el departamento, buscando la reducción de costos al prescindir de la adquisición de nuevos equipos.
3. Se examinan los costos del proyecto con la comprar de un tambor colector nuevo, sea este, vertical u horizontal.

## RECOMENDACIONES

Se requiere la continuidad del desarrollo de las fases del modelo de maduración de proyectos para la aprobación del presupuesto requerido y en general las siguientes actividades:

1. Ejecución de la ingeniería básica (fase I ya desarrollada) y de detalle (fase II y Fase III) de la alternativa seleccionada.
2. Adecuaciones civiles y de tubería requerida para el montaje de los accesorios y equipos involucrados.
3. Incluir en el manual de entrenamiento del personal de operaciones de la planta Unibón el esquema operacional de sistema de facilidades de circulación.
4. Integrar al sistema de rondas del personal de operaciones, la inspección visual y verificación de datos (presiones, niveles, etc.) para evitar daños no solo al sistema descrito en este trabajo, sino a los demás procesos que interactúan con las facilidades de circulación y recobro de gases.

## BIBLIOGRAFÍA

1. CARLOS, García. Manual de operaciones departamento de refinación de fondos.
2. Nogué S, Sanz-Gallén P, Vilchez D y Fernández-Solá J. Secuelas neurológicas irreversibles causadas por una exposición al sulfuro de hidrógeno en un accidente laboral. [Versión Electrónica]. [Citado en junio 13 de 2011]. Disponible en internet: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=91924109>.
3. Vicepresidencia Refinación y Petroquímica Gerencia Complejo Barrancabermeja, Manual de especificaciones de equipos de la Unidad Unibón.
4. Bilurbina Alter, Luis Iribarren Laco, José Ignacio. Diseño de Equipos e Instalaciones. CPET, 2002. P. 63-71
5. BIEGLER, Lorenz T. GROSSMANN, Ignacio E. WESTERBERG, Arthur W. Systematic Methods of Chemical Process Design. Prentice Hall PTR, 1997. P. 110-138.
6. GUIDELINES FOR CONDUCTING HAZOP STUDIES. [Versión Electrónica]. [Citado en julio 1 de 2011]. Disponible en internet: <http://es.scribd.com/doc/37906836/HAZOP-Saudi-Aramco-HAZOP-Guidelines>
7. Valores de Índice de Costos de planta para Ingeniería Química CEPCI. [Versión Electrónica]. [Citado en julio 1 de 2011]. Disponible en internet: <http://www.ulrichvasudesign.com/CEPCI.pdf>

## ANEXOS

Anexo 1. Tabla de control del nivel del D-2658

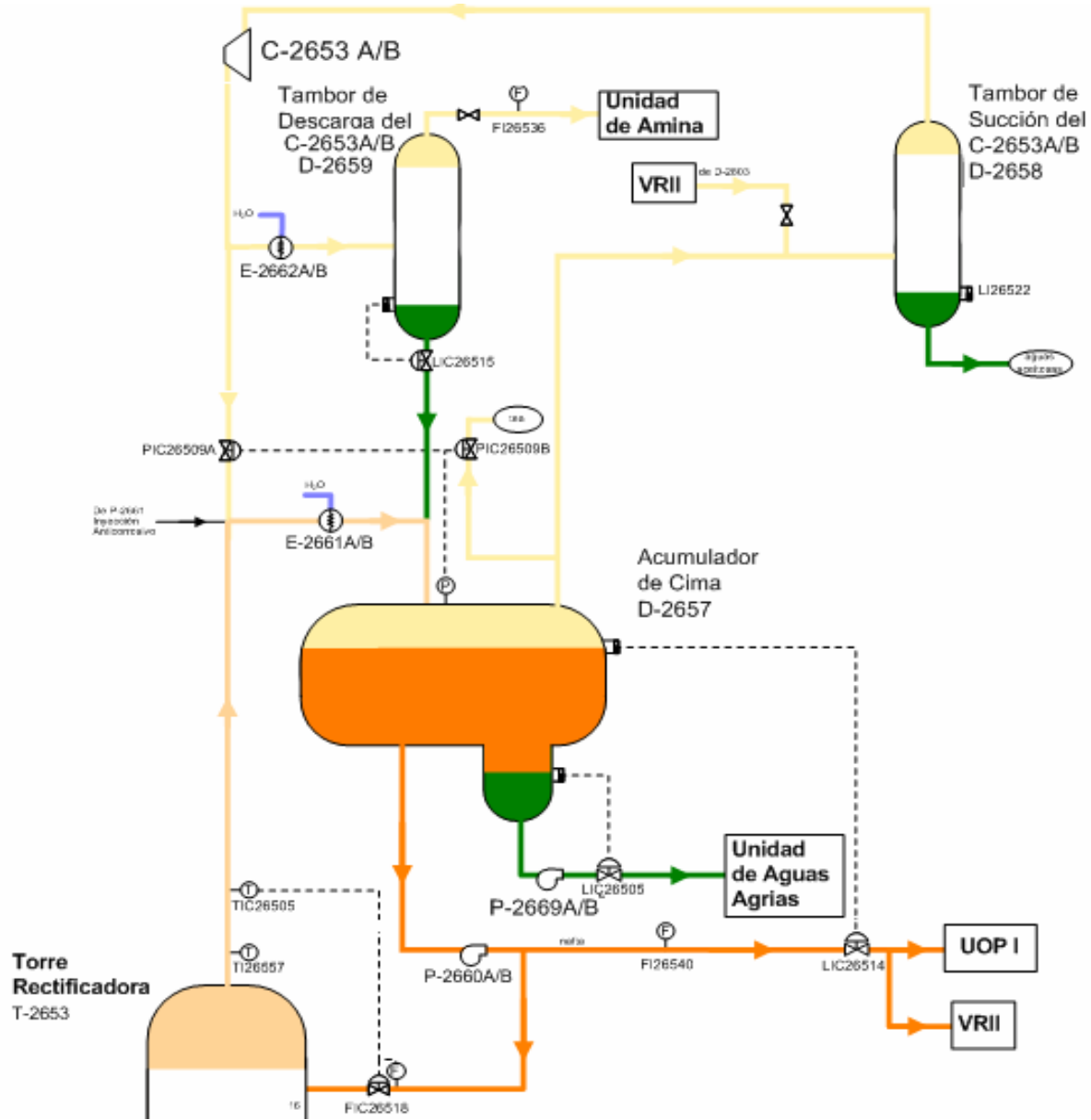
Número y Nombre de Etiqueta	Rango de Operación (Normal)	Objetivo del Control/Consecuencias de Desviación (Alta y Baja)
LI-26522 Nivel de Condensado de D-2658	0-20 %	Indica el nivel de condensado en el Tambor de Succión del C-2653, D-2658. <b>Alto Nivel:</b> Arrastre de líquido hacia la succión del compresor de gases, causando daños en las válvulas de compresión. Aumento del nivel de condensado en el tambor de descarga del compresor y arrastre de líquido con los gases hacia el sistema de amina en el bloque III. <b>Bajo Nivel:</b> Posible paso de gases hacia sistema de aguas aceitosas, causando peligro al personal y a los equipos.

Anexo 2. Condensado D-2658





### Anexo 3. Función del Tambor Acumulador de Cima D-2657



## Anexo 4. Especificaciones y curva de operación



**SISTEMAS Y EQUIPOS PARA EL MANEJO,  
AGITACION Y DOSIFICACION DE FLUIDOS**

1 (2)

NIT – 830.122.327- 8

Calle 69 No. 7D Bis-15 CALI – COLOMBIA PBX (572) 4184006 Fax. (572) 656 0052 - [novatec@novatecfs.com](mailto:novatec@novatecfs.com)  
Cra. 14 No. 76-25 BOGOTA – COLOMBIA Tel. PBX (571) 7432303 Fax. (571) 8050853 - [novatecfs@novatecfs.com](mailto:novatecfs@novatecfs.com)

Para: <b>ECOPETROL</b>	<b>COTIZACION No. C-0347-2011</b>
Atn.: Ing. Kennyher Caballero	Ciudad: Barrmcabermeja
Tel: <b>057 620 9184</b> Fax: ****	Fecha: Febrero 16 de 2011
Email <a href="mailto:kennyher.caballero@ecopetrol.com.co">kennyher.caballero@ecopetrol.com.co</a>	Solicitud: <b>Escrita Email</b>

**ASUNTO: OFERTA POR BOMBA NEUMATICA DE DOBLE DIAFRAGMA MARCA YAMADA**

Atendiendo a su amable solicitud , nos permitimos presentar a su consideración nuestra oferta en referencia, la cual, esperamos cumpla con todos sus requerimientos técnicos y de proceso.

**1. DATOS SUMINISTRADOS PARA LA SELECCIÓN DEL EQUIPO.**

Producto:	AGUAS AGRIAS CON ALTO CONTENIDO DE H2S, CO2 y HC
Concentración:	5000 a 11000 pm de H2S, 70% agua y el restante en HC
Flujo:	30 GPM
Presión de operación (PSI):	10
Temperatura de operación:	40° C

**NOTA IMPORTANTE**

Por favor tener en cuenta los requerimientos del proceso en flujo, presión, producto y viscosidad con respecto a las especificaciones de los equipos aquí ofertados; confirmar la compatibilidad química del producto a dosificar con el material de la bombas aquí ofertadas. Es responsabilidad del cliente confirmar que el equipo ofertado cumple con todos los criterios de funcionalidad y compatibilidad química.

ITEM	CANT	DESCRIPCION	VR UNIT.	VR TOTAL
1,1	1	<b>Bomba neumática de doble diafragma Marca: YAMADA</b> <b>Modelo: NDP-25BAT</b> Flujo máximo: 49 GPM @ Presión máxima: 100 Psi Válvulas tipo bolas. Partes en contacto con el producto: <b>Cámaras en Aluminio</b> . Diafragmas, bolas, en <b>TEFLON</b> . Conexiones de succión y descarga: 1" NPT Hembra. Entrada de aire: 3/8" NPT Hembra. Salida de aire: 3/4" NPT Hembra. Máximo tamaño de partículas 3/16" (4,8 mm). <b>Temperatura máxima del liquido en los diafragmas: 82° C.</b>	US\$ 1,300.00 	US\$ 1.300.00

<b>SUBTOTAL</b>	<b>US\$ 1.300.00</b>
<b>Descuento (5%)</b>	<b>US\$ 65.00</b>
<b>TOTAL</b>	<b>US\$ 1.235.00 x TRM + IVA</b>

- **NOTA:** Verificar que los equipos presentados en esta oferta cumplan con sus requerimientos técnicos y los de su proceso.



**2. CONDICIONES COMERCIALES**

Validez oferta:	30 Días
Plazo de entrega:	De 2 a 3 días después de la orden de compra. <b>(Sujeto a venta sin previo aviso)</b>
Forma de pago:	30 días fecha de facturación
TRM:	Tasa Representativa del Mercado al momento de la elaboración de la Orden De Compra y adicionar el IVA vigente
Sitio de entrega:	En sus instalaciones en Colombia.
Empaque:	Domestico
GARANTIA:	Los equipos YAMADA, tienen una garantía de seis (6) meses contra daños que puedan presentarse por defectos de fabricación tanto de materiales como de mano de obra. Daños por mala instalación, montaje o fallas eléctricas no están cubiertos por nuestra garantía
<b>Nuevo Régimen:</b>	Informamos a nuestros clientes que de acuerdo a la resolución No. 014097 del 30 de Diciembre de 2010, la Dirección General de Impuestos Nacionales (DIAN), nos ha catalogado como <b>GRANDES CONTRIBUYENTES.</b>

Esperamos que esta información cumpla con sus requerimientos y los de su proceso, cualquier duda o aclaración con gusto la atenderemos.

Cordialmente,



**Alexander Botina.**  
División Comercial  
Tel. 418 40 06 Ext. 105.  
Móvil 315 456 9345  
E-MAIL: [mailto:comercial2@novatecfs.com](mailto:mailto:comercial2@novatecfs.com)  
Cali – Colombia

**Juan B. Mejia**  
Asesor comercial  
316 478 2756

FILE: VENTAS 2011/COTIZACIONES 2011/ COTIZACIONES C-0347-2011

[Te invitamos a visitar nuestro pagina web  
www.novatecfs.com](http://www.novatecfs.com)



- SISTEMAS INTEGRALES DE DOSIFICACION
- AGITADORES MECANICOS
- SERVICIO DE ASISTENCIA TECNICA
- INSTRUMENTACION
- BOMBAS DOSIFICADORAS DE DIAFRAGMA Y PISTON
- BOMBAS CENTRIFUGAS CON SELLO Y SIN SELLO
- REPUESTOS Y ACCESORIOS

# Serie NDP-25

## Conexiones

### Succión y Descarga:

Polipropileno (PPG)	1" rosca hembra NPT
Kynar® (PVDF)	1" rosca hembra NPT
Aluminio (ADC-12)	1" rosca hembra NPT
Acero Inoxidable (316)	1" rosca hembra NPT
Hierro Fundido	1" rosca hembra NPT
Entrada de aire:	3/8" rosca hembra NPT (incl. válvula bola)
Salida de aire:	3/4" rosca hembra NPT (incl. silenciador)

Disponible con Bridas tipo ANSI. Consulte con Yamada.

### Temperatura Máxima del Líquido\*

Material del Diafragma	Temperatura
Neopreno, Buna N	82° C (180° F)
EPDM, Santopreno®, Teflón®	100° C (212° F)
Hytrel®, Viton®	120° C (248° F)

\* La temperatura máxima del líquido en bombas metálicas o de Kynar® se determina por el material de los diafragmas. Bombas en Polipropileno o Acetal soportan una temperatura máxima de 82°C (180°F) con cualquier diafragma.

### Rango Permissible de Presión de Aire

1.4 a 7 Kg/cm<sup>2</sup> (20 a 100 PSI)

### Volumen Desplazado por Ciclo

Diafragmas en Elastómeros: 0.833 L (0.22 gal.)  
Diafragmas en Teflón®: 0.787 L (0.21 gal.)

### Ciclos Máximos por Minuto

Diafragmas en Elastómeros: 210  
Diafragmas en Teflón®: 210

### Tamaño Máximo de Partículas: 4.8 mm (3/16")

### Altura Máxima de Succión

Bomba con diafragmas en elastómeros:  
5.5 m (18 pies)

### Cuerpo Central

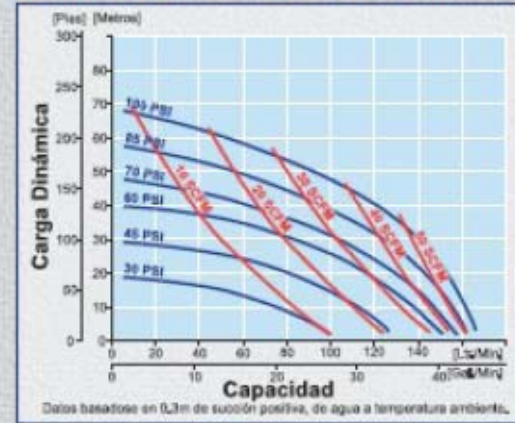
Aluminio en todas las bombas metálicas o Polipropileno con fibra de vidrio, en todas las bombas plásticas.

### Recubrimientos Opcionales

Epóxico, Teflón, E-Níquel, Aluminio y Polipropileno.

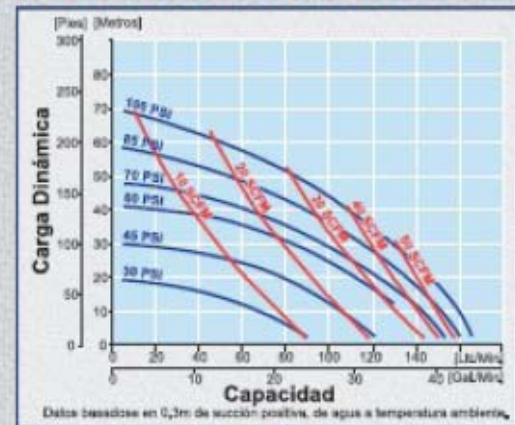
Todas las bombas en Polipropileno, Aluminio, Hierro y A. L. con diafragmas de Hytrel, tienen válvulas check y o-rings en Buna N. Cuando se colocan diafragmas en Santopreno, el material de las válvulas y o-rings es EPDM. Bombas en Kynar® con Santopreno, Hytrel® o Teflón® incluyen bolitas y o-rings en Teflón®. Construcciones en Kynar®/EPDM o Kynar®/Viton® tienen válvulas y o-rings en el mismo material que los diafragmas.

## Curva de Desempeño con Elastómeros

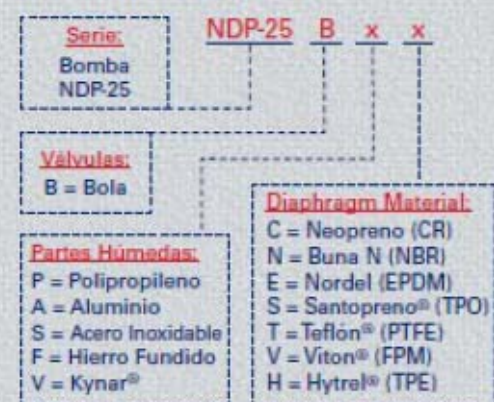


Para calcular el desempeño con Hytrel® o Santopreno, utilizar la curva de elastómeros Nomenclatura.

## Curva de Desempeño con Teflón®

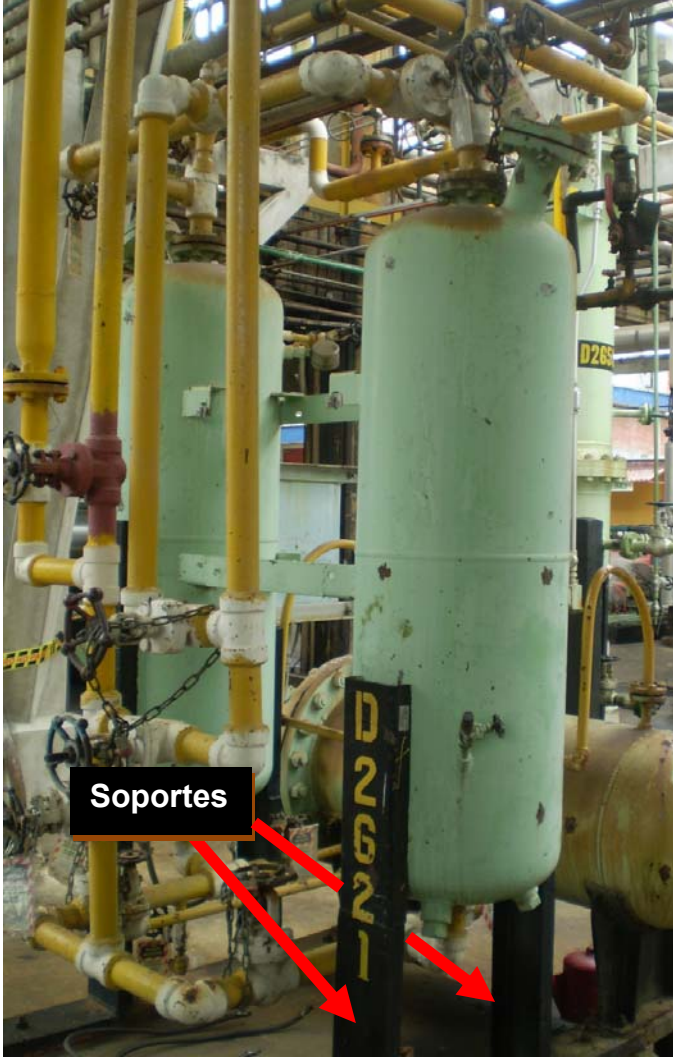


## Nomenclatura de la Serie

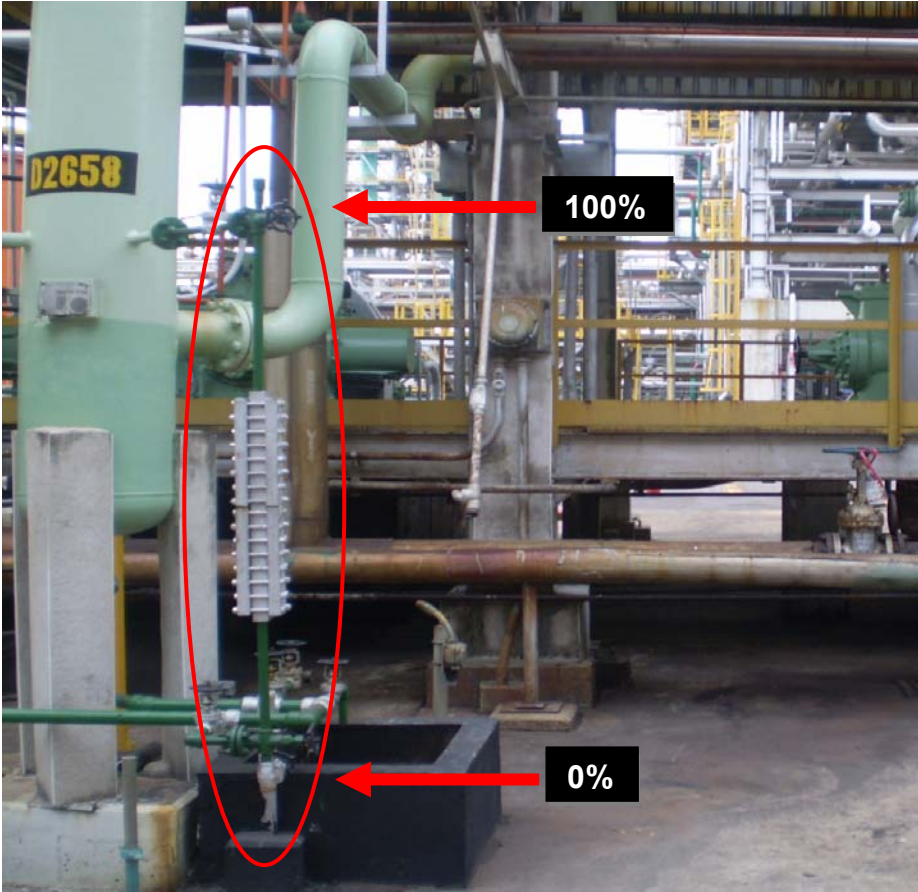


NOTA: Otras opciones - Ver pag. 28

Anexo5. Tambor D-2621 equipo estático a emplear como tambor colector del condensado drenado



Anexo6. Rango tomado para el cálculo del volumen drenado



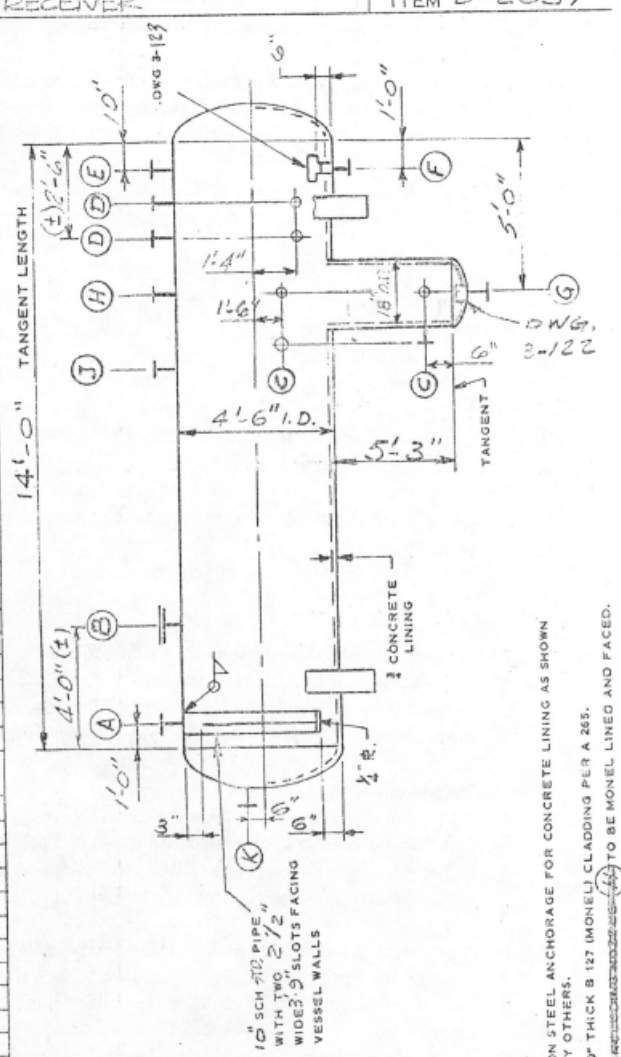
Anexo 7. Data sheet D-2657

**UOP**  
 Process Division  
 Universal Oil Products Company  
 20 UOP Plaza - Algonquin & Mt. Prospect Roads Des Plaines, Illinois 60016  
**project specification**

no. 6259-301-0 rev.  
 sheet 19 of  
 by *sc/b.w.* app'd  
 date

**VESSELS**

NAME OF VESSEL		SPLITTER RECEIVER	
DESIGN CONDITIONS		INT 50 PSI @ 250 °F	EXT PSI @ °F
RADIOGRAPH		M.R.	
POSTWELD HEAT TREAT		YES	
JOINT EFF. %		M.R.	
MATERIAL SPECIFICATIONS			
HEADS	KILLED STEEL		
SHELL	KILLED STEEL		
DROP LEG	KILLED STEEL		
D. L. HEAD	KILLED STEEL		
SHELL	THICKNESS REQ'D. BY CODE INCHES	CORROSION ALLOWANCE INCHES	
VESSEL	.10"	MIN.	
DROP LEG	.10"	MIN.	
HEADS			
VESSEL	.13"	MIN.	
DROP LEG	.10"	MIN.	
VESSEL HEADS M.R.			
ACCESSORIES APPLIED BY FABRICATOR			
LADDER & PLATFORM CLIPS	NO		
INSULATION CLIPS & RINGS	NO		
DAVIT SUPPORT	NO		
VESSEL SUPPORT	YES		
NOZZLES AND MANWAYS DWG. 3-101			
MARK NO.	SIZE	SERVICE	
A	8"	INLET	
B	20" <i>16"</i>	MANWAY	
C	4 2"	LC - LG	
D	4 2"	LC - LG	
E	1 6"	VENT/GAS OUT	
F	1 4"	LIQUID OUT	
G	1 3"	DRAIN	
H	1 2"	VENT	
J	1 1"	PEC	
K	1 1 1/2"	STEAMOUT	
RATING AND FACING 150# R.F.			
NORMAL LIQUID LEVEL		ABOVE/BELOW $\pm$	




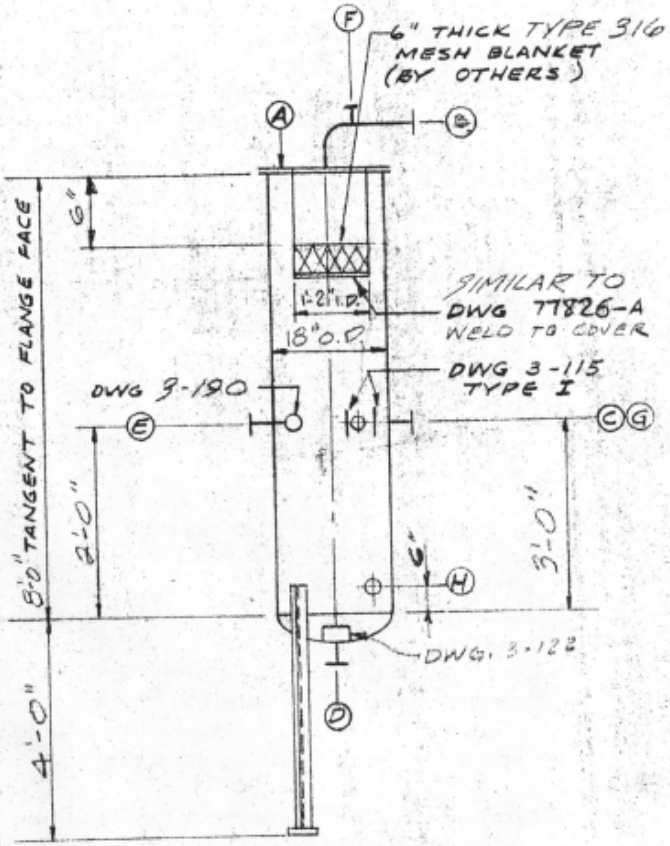
\* IF VESSEL IS MONEL LINED CORROSION ALLOWANCE TO BE 1/8" IN LINED PORTION OF VESSEL, AND CLADDING IS CORROSION ALLOWANCE

NOTES:  
 1. FINISH AND INSTALL CARBON STEEL ANCHORAGE FOR CONCRETE LINING AS SHOWN R SPEC. 321. CONCRETE BY OTHERS.  
 2. TERNATELY PROVIDE 0.100" THICK B 127 (MONEL) CLADDING PER A 265.  
 3. ZELLS IN LINED PORTION ARE TO BE MONEL LINED AND FACED.  
 4. OP LEG IS NOT LINED.


R-11

Anexo 8. Data Sheet D-2658

 <b>PROCESS</b> DIVISION 30 ALGONQUIN ROAD • DES PLAINES, ILLINOIS 60016		NO. 6259- 301 - 3 REV. SHEET 20 OF BY SC/S.W. APP'D DATE	
<b>PROJECT SPECIFICATION</b>			
<b>VESSELS</b>			
NAME OF VESSEL <i>SPLITTER OFF GAS COMPRESSOR SUCTION FROM ITEM D-2658</i>			
DESIGN CONDITIONS	INT 50 PSI @ 250 °F	EXT PSI @ °F	
RADIOGRAPH	M.R.		
POSTWELD HEAT TREAT	YES		
JOINT EFF.	M.R.		
MATERIAL SPECIFICATIONS			
BOTT. HD.	KILLED STEEL		
SHELL	KILLED STEEL		
SHELL	THICKNESS REQ'D. BY CODE INCHES	CORROSION ALLOWANCE INCHES	
VESSEL		.125" MIN.	
HEADS			
BOTTOM	.125" MIN.		
VESSEL HEADS TOP-FLANGED BOTTOM - M.R.			
ACCESSORIES APPLIED BY FABRICATOR			
LADDER & PLATFORM CLIPS	YES		
INSULATION CLIPS & RINGS	NO		
DAVIT SUPPORT	NO		
VESSEL SUPPORT	YES		
NOZZLES AND MANWAYS DWG. 3-101			
MARK	NO.	SIZE	SERVICE
A	1	18"	MANWAY
B	1	6"	OUTLET
C	1	1 1/2"	LG
D	1	1 1/2"	DRAIN
E	1	6"	INLET
F	1	1 1/2"	VENT
G	1	1"	LG
H	1	1 1/2"	STEAMOUT
RATING AND FACING 150# RF			
NORMAL LIQUID LEVEL ABOVE BOTTOM TANGENT			
SPECIFIC GRAVITY			

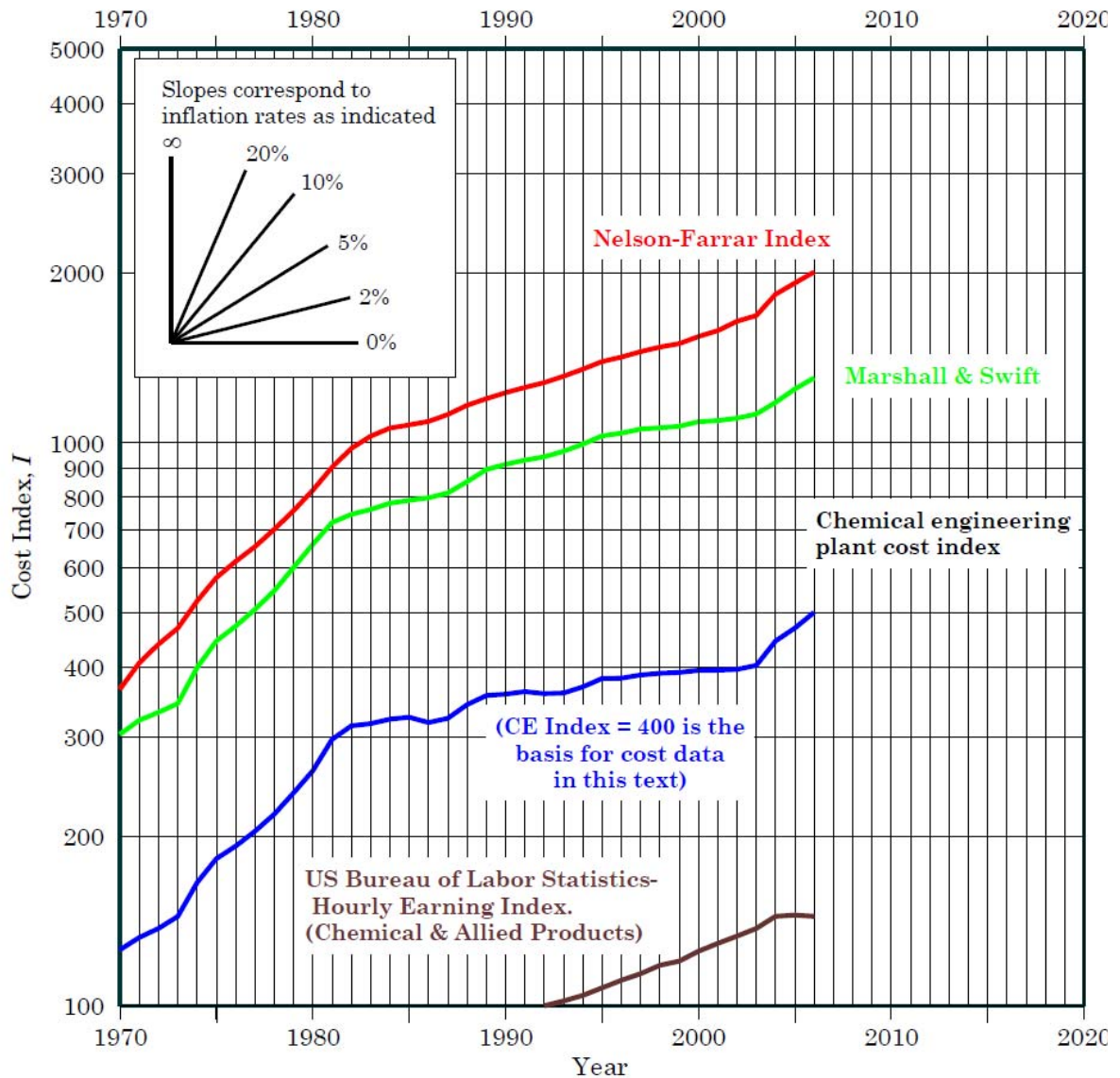
  


## Anexo 9. Procedimiento de puesta en marcha (ATR)

 VICEPRESIDENCIA DE REFINACIÓN Y PETROQUÍMICA Gerencia Refinería Barrancabermeja		Fecha de aprobación		
		Versión:		
DEPARTAMENTO DE REFINACION DE FONDOS				
<b>Unidad No.</b>	<b>Definición de la tarea</b>	<b>Precondiciones</b>		
	<b>PROCEDIMIENTO PARA EL DRENAJE DEL D-258B</b>	1 Disponibilidad de sistema de comunicación avanteles, telefonos en buen estado. 2 Operación estable en el liquido arrastrado por el D-2803 de la unidad 28000. 3 Personal capacitado para este tipo de tarea. 4 uso de elementos de protección personal. 5 Disponibilidad de herramientas utilizadas para manipular valvulas. 6 Alarma por aumento de nivel LI26522 en el D-2658.		
<b>PLAN:</b>	<b>Realice los pasos 1 al 7 progresivamente o simultaneamente</b>			
1	CHEQUEO DEL PI DEL D-2658B.			
2	REALICE DRENADO D-2658 AL D-2658B			
3	REALICE EL PRESIONAMIENTO DEL D-2658B CON LA DESCARGA DE LOS C-2653 A/B			
4	REALICE DRENADO DEL D-2658B AL D-2657			
5	REALICE DEPRESIONAMIENTO DEL D-2658B AL D-2658.			
6	ENVIAR REMANENTE DE GAS DEL D-2658B A LA TEA.			
7	CHEQUEO DEL PI DEL D-2658B (PRESION= 0 PSI).			
		<b>Equipo de protección personal diferente al estandar:</b>		
		NINGUNO		
Tarea		Quien	PELIGROS Tipo   RAM	Consecuencias
<b>CHEQUEO DEL PI DEL D-2658B.</b>				
<b>PLAN:</b> Realice del paso 1.1 al paso 1.6 en orden.				
1	1.1 Observar que todas las válvulas de conexión (válvulas de bloque y globo) hacia el D-2858B estén debidamente cerradas.	Operador patio		Presionamiento daño de equipos.
	1.2 Revisar que el PI del D-2658B sea igual a 0 psi para proceder al plan 2. Si no, revise literal 1,3 hasta 1,6.	Operador patio		Demora en proceso de drenado.
	1.3 Alinear la valvula de bloque que se encuentra en la tubería de conexión del D-2658B con el D-2658 para enviar el gas remanente hacia el D-2658 hasta alcanzar el equilibrio entre estos dos equipos estaticos.	Operador patio		Demora en proceso de drenado.
	1.4 cierre la valvula que se abrio en el literal 1,3; cuando el PI de los dos sistemas tengan la misma presion (aproximadamente ≤ 10 psi)	Operador patio		Daño en equipos y demora en proceso de drenado
	1.5 alinear valvula de bloque que se encuentra localizada en la tubería de conexión D-2658B hacia la tea para despresionar por completo el Drum.	Operador patio		Demora en proceso de drenado.
	1.6 Cerrar valvula de bloque alineada en el literal anterior cuando el PI del D-2658B indique una presion de 0 lbs.	Operador patio		envio de gas hacia la tea.
<b>REALICE DRENADO D-2658 AL D-2658B</b>				
<b>PLAN:</b> Realice del paso 2.1 al paso 2.2 en orden.				
2	2.1 Con los instrumentos adecuados alinear la valvula de bloque que se encuentra en la linea que conecta el D-2658 con el D-2658B.	Operador patio		valvula pegada.
	2.2 cerrar valvula de bloque alineada en el literal cuando el PI26522 indique un nivel de 0.	Operador patio		valvula pegada.

<b>REALICE EL PRESIONAMIENTO DEL D-2658B CON LA DESCARGA DE LOS C-2653 A</b>				
<b>PLAN:</b> Realice el paso 3.1				
3	3,1	Abrir lentamente la válvula de globo que conecta la descarga del C-2653 AB con el D-2658B, para presionar dicho drum hasta alcanzar una presión $\geq 28,45$ indicada por su PI.	Operador patio	Daño a equipos.
<b>REALICE DRENADO DEL D-2658B AL D-2657</b>				
<b>PLAN:</b> Realice del paso 4.1 al paso 4.2 en orden.				
4	4,1	Simultáneamente realizado el paso 3,1, alinear la válvula de bloque que conecta el D-2658B con el D-2657 para permitir el drenado del drum; esta ejecución simultánea de apertura de válvulas me garantizara que no quede liquido remanente en el D-2658B.	Operador patio	daño en válvula
	4,2	Cuando el LI del D-2658B indique un nivel de cero; cerrar válvula de bloque alineada en el literal anterior. Esto provocara que el D-2658B aumente su presión.	Operador patio	Daño a equipos
<b>REALICE DEPRESIONAMIENTO DEL D-2658B AL D-2658.</b>				
<b>PLAN:</b> Realice del paso 5.1 al paso 5.3 en orden.				
5	5,1	Alinear la válvula de bloque que se encuentra en la tubería de conexión del D-2658B con el D-2658 para enviar el gas remanente hacia el D-2658 hasta alcanzar el equilibrio entre estos dos equipos estaticos.	Operador patio	Daño a equipos
	5,2	cierra la válvula que se abrio en el literal 5,1; cuando el PI de los dos sistemas tengan la misma presión (aproximadamente $\leq 10$ psi)	Operador patio	Daño a equipos
<b>ENVIAR REMANENTE DE GAS DEL D-2658B A LA TEA.</b>				
<b>PLAN:</b> Realice del paso 6.1 al paso 6.2 en orden.				
6	6,1	alinear válvula de bloque que se encuentra localizada en la tubería de conexión D-2658B hacia la tea para despresionar por completo el Drum.	Operador patio	envio de gas hacia la tea.
	6,2	Cerrar válvula de bloque alineada en el literal anterior cuando el PI del D-2658B indique una presión de 0 lbs.	Operador patio	envio de gas hacia la tea.

Anexo 10. Valores del índice de costo de planta para Ingeniería Química CEPCI



©History of selected cost indices pertinent to chemical processing. All cost data in the text by Ulrich and Vasudevan<sup>1</sup> are based on the *Chemical Engineering Plant Cost Index* Value of 400.

<sup>1</sup>[Chemical Engineering Process Design and Economics – A Practical Guide© by Ulrich and Vasudevan](#)