

**DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN PARA EL
TRATAMIENTO CON DIETANOLAMINA-DEA DEL GLP PROVENIENTE DE LA
UNIDAD DE RUPTURA CATALÍTICA (URC) EN LA GERENCIA COMPLEJO
BARRANCABERMEJA**

JENNIFER MALDONADO GÓMEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA
2006**

**DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN PARA EL
TRATAMIENTO CON DIETANOLAMINA-DEA DEL GLP PROVENIENTE DE LA
UNIDAD DE RUPTURA CATALÍTICA (URC) EN LA GERENCIA COMPLEJO
BARRANCABERMEJA**

JENNIFER MALDONADO GÓMEZ

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera Química

**Director del Proyecto
JORGE LUIS GROSSO VARGAS
Ingeniero Químico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA
2006**

*A mis padres, Mauricio y Ligia por su apoyo incondicional.
A mi hermano, Andrés Mauricio.
A John, por su amor y ternura.
A toda mi familia.*

AGRADECIMIENTOS

A la empresa ECOPETROL S.A. por haberme brindado la posibilidad de realizar este proyecto.

Al director de proyecto, Jorge Luís Grosso Vargas, por su apoyo y orientación durante la elaboración de este proyecto.

Al Ingeniero, Jesús Ramírez Álvarez, por sus valiosos aportes y colaboración.

A la Universidad Industrial de Santander por los conocimientos adquiridos durante la carrera.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. GENERALIDADES	15
1.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO CON AMINA	15
1.1.1. Teoría del proceso	17
1.2 TEORÍA DE LA FILTRACIÓN	18
1.2.1. Mecanismos de filtración	19
1.2.2. Medios filtrantes	20
1.3 ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS DE FILTRACIÓN	21
1.3.1. Filtros de cartucho	21
1.3.2. Filtros de carbón activado	22
1.4 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN DE DIETANOLAMINA-DEA	22
1.4.1. Características físico-químicas	23
1.5 CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE FILTROS	25
2. VARIABLES DE DISEÑO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	27
2.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN DE DIETANOLAMINA-DEA PROPUESTO	27
2.2 DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES DE DISEÑO	27
2.2.1. Flujo	28
2.2.2. Temperatura	28
2.2.3. Presión	28
2.2.4. Concentración	29
2.2.5. Composición	31
2.2.6. Viscosidad	31
2.2.7. Densidad	32
2.2.8. Distribución de partículas	33
2.2.9. Concentración de sólidos	33
2.2.10. Caída de presión	33
2.3 ESTUDIO HIDRÁULICO	33
2.3.1. Sistema de baja presión	34
2.3.2. Sistema de alta presión	35
2.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS	36
3. SISTEMA DE FILTRACIÓN PROPUESTO	38

3.1	FILTROS MECÁNICOS	39
3.1.1.	Cartuchos de filtración	40
3.1.2.	Recipientes o carcazas	42
3.2	FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO	44
3.2.1.	Parámetros recomendados	45
3.3	SISTEMA DE BOMBEO	46
3.4	COSTOS	47
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
	BIBLIOGRAFIA	51
	ANEXOS	53

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Eficiencia de filtración	19
Tabla 2. Fuentes comunes para el anión	23
Tabla 3. Accesorios sistema de baja presión	33
Tabla 4. Parámetros generales sistema de baja presión	33
Tabla 5. Total de pérdidas de presión en sistema de baja presión	34
Tabla 6. Accesorios sistema de alta presión	34
Tabla 7. Parámetros generales sistema de alta presión	35
Tabla 8. Total de pérdidas de presión en sistema de alta presión	35
Tabla 9. Características de desempeño de la bomba del sistema	36
Tabla 10. Ventajas y desventajas del nuevo sistema de filtración	37
Tabla 11. Flujos recomendados y capacidad de adsorción de suciedades normales del sistema	40
Tabla 12. Dimensiones recipientes de filtrado	42
Tabla 13. Costos de equipos	46
Tabla 14. Inversión total de capital	46
Tabla 15. Beneficios económicos esperados	47

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Sistema de tratamiento con amina	15
Figura 2. Variación del flujo durante enero a diciembre de 2005	27
Figura 3. Variación de temperatura durante enero a diciembre de 2005	28
Figura 4. Concentración de DEA TOTAL en la DEA POBRE	29
Figura 5. Concentración de DEA LIBRE en la DEA POBRE	29
Figura 6. Concentración de DEA COMBINADA en la DEA POBRE	30
Figura 7. Composición de H ₂ S en partes por millón en la DEA POBRE	31
Figura 8. Composición de H ₂ S en mol de H ₂ S/mol DEA LIBRE en la DEA POBRE	31
Figura 9. Sistema de baja presión	33
Figura 10. Sistema de alta presión	34
Figura 11. Esquema general nuevo sistema de filtración	38
Figura 12. Diseño de pliegue radial	39
Figura 13. Cartucho de filtración	40
Figura 14. Dimensiones recipiente de filtrado (Vista lateral)	42
Figura 15. Dimensiones recipiente de filtrado (Vista frontal)	42
Figura 16. Esquema detallado filtro de carbón activado	44

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Hoja de especificación técnica de la bomba del sistema	53
Anexo B. Isométricos de tubería para el sistema de baja presión	57
Anexo C. Isométricos de tubería para el sistema de alta presión	59
Anexo D. Ecuaciones para calcular pérdidas en el sistema	60
Anexo E. Rugosidad relativa de los materiales de las tuberías	62
Anexo F. Hoja de especificación técnica de válvulas del sistema	63
Anexo G. Coeficientes característicos de válvulas del sistema	64
Anexo H. Diferenciales de presión del sistema	66
Anexo I. Potencia de freno, potencia hidráulica y relaciones de afinidad	68
Anexo J. Ecuaciones y cálculos de filtro de carbón activado	69
Anexo K. Cabeza total de la bomba del sistema	70
Anexo L. Cotización	71
Anexo M. Análisis de resultados estudiantes en práctica	74
Anexo N. Análisis de resultados estudiantes en práctica	75

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN PARA EL TRATAMIENTO CON DIETALONAMINA-DEA DEL GLP PROVENIENTE DE LA UNIDAD DE RUPTURA CATALÍTICA (URC) EN LA GERENCIA COMPLEJO BARRANCABERMEJA.*

AUTOR: JENNIFER MALDONADO GOMEZ.**

PALABRAS CLAVES: DISEÑO, FILTRACIÓN, DIETANOLAMINA, RUPTURA CATALÍTICA, MEDIOS FILTRANTES.

DESCRIPCIÓN:

Las aminas son derivados del amoníaco, al mezclarse con agua forman solventes capaces de remover gases ácidos de una corriente de hidrocarburo; en las unidades de tratamiento con amina se absorben gases ácidos como sulfuro de hidrógeno (H_2S) y dióxido de carbono (CO_2) del GLP. Estas unidades presentan problemas como corrosión ocasionada por altos contenidos de H_2S en la solución de DEA. Además se producen contaminantes en forma de sólidos suspendidos, sales estables al calor y productos de degradación.

Los sistemas de filtración eliminan los contaminantes y la suciedad del sistema. Algunos de ellos consisten en filtros de partículas para la remoción de sólidos y filtros de carbón activado para la eliminación de contaminantes líquidos solubles. La confiabilidad de un sistema de filtración depende en gran parte de los medios filtrantes, estos deben ser de un micraje adecuado para el tamaño de las partículas de contaminantes; además deben ser mecánicamente fuertes, resistentes a la acción corrosiva del fluido y ofrecer tan poca resistencia como sea posible al flujo de filtrado, de manera que cumplan la función de remover los contaminantes del fluido y lograr el nivel requerido de limpieza.

Como aporte a la solución de estos problemas se evaluó el sistema de filtración actual mediante un estudio hidráulico, análisis de laboratorio, consulta a proveedores de filtros y revisión de las mejores prácticas de amina planteadas por Shell Global Solutions en la Gerencia Complejo Barrancabermeja. Finalmente, el estudio realizado se convierte en una alternativa práctica que contribuirá a la solución de algunos de los actuales problemas encontrados en la unidad de amina y puede ser utilizado por la Gerencia Complejo Barrancabermeja como una ingeniería conceptual que facilite el desarrollo de las etapas de ingeniería básica y de detalle que se requiera para la implementación del nuevo sistema.

* Proyecto de grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química. Ingeniero Jorge Luis Grosso Vargas.

SUMMARY

TITLE: CONCEPTUAL DESIGN OF A FILTRATION SYSTEM FOR DIETHANOLAMINE (DEA)-BASED TREATMENT OF LIQUIFIED PETROLEUM GAS (LPG) FROM THE CATALYTIC RUPTURE UNIT (CRU) IN BARRANCABERMEJA-BASED COMPLEX MANAGEMENT.¹

AUTHOR: JENNIFER MALDONADO GÓMEZ**

KEYWORDS: DESIGN, FILTRATION, DIETHANOLAMINE, CATALYTIC RUPTURE, FILTERING MEANS

DESCRIPTION

Amines are organic compounds and a type of functional group that contain nitrogen as the key atom. Structurally amines resemble ammonia, derive from it, and form solvents able to remove acid gases from a hydrocarbon current when water-mixed; acid gases such as hydrogen sulphide (H₂S) and carbon dioxide (CO₂) from LPG are absorbed in treatment units using amines. These units experience problems e.g. corrosion induced by high contents of H₂S in the DEA solution. Moreover, pollutants as suspended solids, heat-stable salts and degrading products are produced.

Filtration systems eliminate the system's pollutants and dirtiness. Some of them consist of particle filters for solids removal and activated coal filters for eliminating soluble liquid pollutants. A filtration system reliability depends on the filtering means to a great extent, which should be a suitable micron-measured length consistent with the polluting particles' size; furthermore, they should be mechanically strong and resistant to the fluid's corrosive action and offer as little resistance to the filtering flow as possible, so that they accomplish the purpose of removing the fluid's pollutants achieving thus the required purity level.

The current filtration system was assessed by means of a hydraulics-based study, lab analysis, filter suppliers advice as well as an examination to the best trainings on amines set forth by Shell Global Solutions in Barrancabermeja's Complex Management as a contribution to the solution of such problems. As a conclusion, the study carried out becomes a practical alternative which will contribute to solve some of the present problems found in the amine unit and can be used by Barrancabermeja's Complex Management as conceptual engineering making possible the development of stages in basic and detailed engineering required for the new system's performance.

* Graduation Project.

** Faculty of Physicochemical Engineering. School of Chemical Engineering. Engineer Jorge Luis Grosso Vargas.

INTRODUCCIÓN

El uso de procesos regenerativos empleando alcanolaminas para la remoción de CO_2 y H_2S data desde los tempranos años 30. En estas unidades de tratamiento se realiza un lavado con amina a contracorriente ha manera de reducir el sulfuro de hidrógeno hasta concentraciones muy bajas, también es necesaria la eliminación de dióxido de carbono para aumentar el poder calorífico del gas y reducir los costos de transporte. Se utilizan aminas como MEA (Monoetanolamina), DEA (Dietanolamina), MDEA (Metildietanolamina), DGA (Diglicol amina), DIPA (Di-Isopropanolamina), pero las aminas más utilizadas son MEA Y DEA; esta última tiene la ventaja de ser menos corrosiva.

“Desde los inicios, se reconoció que la remoción de estos gases trae asociado un problema de corrosión. La amina en si misma no es culpable, pero si lo es el alto contenido de gas ácido que ésta ha absorbido”². Además, la corrosión produce contaminantes en forma de sólidos suspendidos, como óxido de hierro (Fe_2O_3), sulfuro de hierro (FeS), ácidos no volátiles, sales estables a temperaturas (formiato, acetato, sulfatos y tiosulfatos) y productos de degradación de la DEA.

Otra consecuencia de la presencia de contaminantes solubles como dióxido de carbono (CO_2) y sulfuro de hidrógeno (H_2S) en la amina, es la formación de espuma, pérdida de la capacidad de absorción y pérdidas de amina.

Es por ello que las unidades de amina poseen sistemas de filtración que eliminan los contaminantes y la suciedad del sistema. Algunos sistemas de filtración consisten en filtros de partículas que remueven las partículas sólidas y filtros de carbón que remueven contaminantes líquidos solubles en la amina.

La importancia de la filtración se debe a que extiende la corrida de las unidades, aumenta la vida útil de la amina, disminuye el tiempo requerido para la limpieza de algunos equipos, reduce la velocidad de acumulación de la suciedad y reduce la erosión y la corrosión. Además mejora el tratamiento de los gases asociados al

² DEPARTAMENTO DE CRACKING. Manual de operaciones unidad recuperadora de vapores. Barrancabermeja: Gerencia Complejo Barrancabermeja, 2000. p12.

GLP obteniéndose productos que cumplen las especificaciones y por lo tanto aumenta la eficiencia del proceso.

Con el fin de contribuir a la solución de estos problemas, se evaluará el sistema de filtración actual mediante un estudio hidráulico, una consulta a proveedores de filtros de amina y un análisis de laboratorio; además se realizará el diseño de un nuevo sistema que cuente con alternativas de filtración mecánica y de carbón activado, garantizando una filtración más confiable que mejore el tratamiento de los gases asociados al GLP.

El estudio que se realiza podrá ser utilizado por la Gerencia Complejo Barrancabermeja como una ingeniería conceptual y facilitará el desarrollo de las etapas de ingeniería básica y de detalle que se requiere para la implementación del nuevo sistema.

1. GENERALIDADES

1.1 DESCRIPCION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO CON AMINA

El sistema de tratamiento con DEA pertenece a la unidad recuperadora de vapores (V.R.U) en la cual se separan los gases provenientes de la Unidad de Cracking Catalítico Fluidizado, “con el fin de recuperar al máximo la gasolina liviana que no se pudo condensar en el tambor de cima de la fraccionadora principal de la Unidad de Cracking”³ y obtener la mayor cantidad de compuestos producidos por la reacción de craqueo catalítico como son: gasolina, propano, butano.

La mayor parte de la carga a la unidad de tratamiento con DEA proviene de la absorbedora esponja, en la sección caliente de V.R.U⁴. El gas pobre que sale por la cima de esta torre entra a la absorbedora por la parte inferior y sube a través de la sección empacada (sillas de polipropileno) donde es lavado por un chorro descendente de solución de Dietanolamina-DEA, en esta parte del proceso es donde se lleva a cabo la retención de sulfuro de hidrógeno y dióxido de carbono; para favorecer la reacción de absorción la temperatura de operación es de 120°F y la presión es de 150 psig. El gas libre de H₂S pasa por un eliminador de neblina y sale por la cima de la absorbedora para entrar al tambor separador, luego es lavado con soda y agua. (Figura 1).

La solución de DEA rica se acumula en el fondo de la torre y de allí se envía al tambor de desorción (o de flasheo) con el fin de eliminar los hidrocarburos líquidos y parte de los gases ácidos retenidos por la DEA que por efecto de presión se encuentran disueltos en esta solución.

El tambor de flasheo o tambor de carga a la reactivadora que opera a una presión de 80 psig, recibe dos corrientes de DEA filtradas; una de ellas, como ya se mencionó, proviene de la torre absorbedora de H₂S; la otra corriente proviene del tanque de mezcla de propano y DEA.

³ DEPARTAMENTO DE CRACKING. Manual cracking catalítico y unidades anexas de la gerencia complejo Barrancabermeja. Barrancabermeja: Gráficas San Gabriel Ltda, 2004. p.55.

⁴ Ibid., p.58.

y el dióxido de carbono. El gas ácido saturado con agua sale del domo de la torre regeneradora fluyendo hacia el enfriador donde se condensan los vapores de agua.

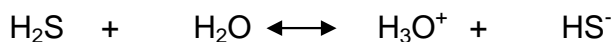
La mezcla de ácidos-agua condensada, entran al acumulador de reflujo de la torre regeneradora donde se lleva a cabo la separación de esta mezcla, los gases ácidos son enviados al quemador y el agua acumulada en este recipiente, se retorna al plato superior de la torre regeneradora en forma de reflujo siendo utilizado para determinar y eliminar el calor de la parte superior de la columna, para que se condensen los compuestos más pesados.

La solución de dietanolamina regenerada que sale por el fondo de la torre, entra al rehervidor; la solución es enviada al rehervidor con la finalidad de elevarle la temperatura produciéndose de esta manera los vapores necesarios para el agotamiento de los ácidos, el calor necesario para el despojo se obtiene con vapor saturado de 50 psi.

La DEA pobre o regenerada que sale de la torre, se enfría hasta 100 °F en un intercambiador de calor con agua industrial y luego es recibida por una bomba que inyecta la DEA al sistema de absorción y al tambor de mezcla propano-DEA completando el ciclo.

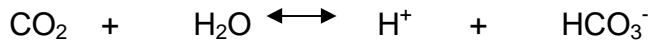
1.1.1. Teoría del proceso. “Por simplicidad, sólo se discutirá la química involucrada en la remoción de H₂S. Debe reportarse, sin embargo, que los demás gases ácidos (como CO₂) también experimentarán similares reacciones”⁵.

El sulfuro de hidrógeno, H₂S, o HSH, es un ácido débil y se ioniza en el agua para formar iones de hidrógeno e iones sulfuro:

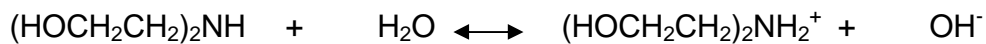


En razón de ser un ácido bastante débil, solo una fracción del H₂S se ionizará. Similar ionización ocurrirá con otros compuestos ácidos presentes, por ejemplo:

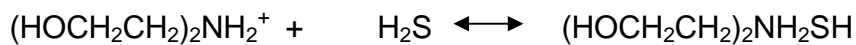
⁵ DEPARTAMENTO DE CRACKING. Manual de operaciones unidad recuperadora de vapores. Barrancabermeja: Gerencia Complejo Barrancabermeja, 2000. p.10.



Las aminas del etanol son bases débiles y se ionizan en el agua para formar iones de amina y también iones hidroxilos.



Cuando el H_2S se disuelve en la solución que contiene iones de amina, reaccionará para formar una sal débilmente enlazada a partir del ácido y la base.



El ion sulfuro es absorbido de esta manera por la solución de amina. Esta reacción de formación de sal no llega a completarse. La reacción total puede resumirse mediante las ecuaciones:



Las variables de operación se ajustan para favorecer la reacción hacia delante en la etapa de absorción del proceso, e inversamente, se ajustan para favorecer la reacción reversa en la etapa de regeneración de la amina (DEA). Es la reversibilidad de esta reacción lo que permite la regeneración del solvente y la remoción continua del H_2S mediante tratamiento con amina.

1.2 TEORIA DE LA FILTRACIÓN

Filtración es la separación de partículas sólidas a partir de un fluido haciendo pasar el fluido a través de un medio filtrante sobre el que se depositan los sólidos. A medida que transcurre el proceso, o bien disminuye la velocidad de flujo o aumenta la caída de presión. "En la filtración a presión constante la caída de presión permanece constante y la velocidad de flujo va disminuyendo con el

tiempo; menos frecuente es que la presión aumente progresivamente para dar lugar a la llamada filtración a velocidad constante”⁶.

En la filtración de torta el líquido pasa a través de dos resistencias en serie: la de la torta y la del medio filtrante. La resistencia de la torta es nula al principio y aumenta con el tiempo a medida que transcurre la filtración. La caída total de presión en un instante cualquiera es la suma de las caídas de presión en el medio filtrante y en la torta.

$$\Delta P = \Delta p_c + \Delta p_m$$

La caída de presión en el medio filtrante es proporcional a la resistencia del medio filtrante R_m , la cual varía con el tiempo y la limpieza del medio filtrante.

$$\Delta p_m = \frac{R_m * v * \mu}{g_c}$$

1.2.1. Mecanismos de filtración. La habilidad o eficiencia de un sistema de filtración para retener partículas se debe principalmente a fenómenos físicos, algunos son fenómenos mecánicos tales como el efecto tamiz y otros superficiales, como son el efecto por intercepción y el efecto inercial. No obstante algunos sistemas basan su eficiencia sobre fenómenos electrostáticos.

- **Intercepción directa:** mecanismo principal de filtración en líquidos. Es esencialmente un tamizado que retiene mecánicamente las partículas. Las partículas son removidas dentro de la estructura cuando la partícula es más grande que la trayectoria del medio poroso.

- **Impacto inercial:** las fuerzas inerciales provocan que las partículas se impacten al medio y sean retenidas mecánicamente o mediante fuerzas de adsorción a medida que el fluido cambia de dirección. El fluido tiene que seguir un camino

⁶ McCABE, Warren; SMITH, Julian y HARRIOTT, Peter. Operaciones unitarias en ingeniería Química. Sexta edición. Mexico, D.F: McGraw Hill, 1002. p.1085.

sinuoso cuando fluye a través del medio filtrante. Esto aumentará la efectividad de los mecanismos de filtración. Por este mecanismo, se retienen partículas menores al tamaño de poro debido a las interacciones de superficie (cargas opuestas) y a las fuerzas de Van der Waals.

- **Intercepción difusional:** las moléculas de gas se encuentran en un estado de movimiento aleatorio golpeando las pequeñas partículas suspendidas en este, las colisiones generan un movimiento Browniano, aumentando las posibilidades de que las partículas se impacten en el medio filtrante. Las partículas afectadas por el movimiento aleatorio de las moléculas de gas impactan el medio y son retenidas por fuerzas de adsorción.

En la Tabla 1 se muestra la correlación entre los diferentes efectos de filtración que están relacionados con: la velocidad de filtración, el tamaño de la partícula, el diámetro de las fibras y la densidad del medio filtrante.

Tabla 1. Eficiencia de filtración

Mecanismo	Velocidad	Tamaño de partícula	Diámetro de la fibra	Densidad del medio filtrante
Inercia	+	+	-	+
Intercepción	0	+	-	+
Difusión	-	-	-	+

Fuente: www.bvs.sld.cu/revistas/sint/vol4_2_98/sint5298.htm

- + La eficiencia aumenta con la velocidad, tamaño...
- La eficiencia disminuye
- 0 La eficiencia es independiente

1.2.2. Medios filtrantes. La elección de los medios de filtración es la consideración más importante para asegurar el funcionamiento satisfactorio de un filtro. Se debe escoger por su capacidad para retener los sólidos que se deben separar del fluido. “El medio filtrante debe ser mecánicamente fuerte, resistente a la acción corrosiva del fluido, y debe ofrecer tan poca resistencia como sea posible al flujo de filtrado”⁷. Normalmente se utilizan tejidos, pero los materiales granulares y los sólidos porosos resultan útiles para la filtración de líquidos corrosivos.

⁷ FOUST, Alan; WENZEL, Leonard y CLUMP, Curtis. Principios de operaciones unitarias. Segunda edición. Mexico, D.F: Compañía editorial continental S.A. ,2004. p.663 .

Entre los materiales utilizados para la fabricación de los medios filtrantes se encuentra los textiles tejidos de algodón o fibras sintéticas, así como telas metálicas de varios tipos de tejido en níquel, cobre, latón, bronce, acero, aluminio, monel y otras aleaciones. Para el caso de filtración de amina se utilizan medios filtrantes a base de microfibras de polipropileno.

1.3 ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS DE FILTRACIÓN

Las unidades de tratamiento con amina cuentan con un adecuado sistema de filtración el cual está conformado por filtros mecánicos y filtros de carbón activado. Los filtros mecánicos remueven sólidos que tiene el sistema como suciedad, óxido de hierro (Fe_2O_3) y sulfuro de hierro (FeS). Por otra parte los filtros de carbón activado remueven hidrocarburos, residuos producidos por los inhibidores de corrosión y antiespumantes, aceites de lubricación provenientes de compresores. Además, estos filtros reducen significativamente los costos en unidades de amina, evitan problemas operacionales, extienden la corrida de las unidades y aumentan la vida útil de la amina.

Actualmente la tecnología más utilizada para la retención de sólidos son los filtros de cartuchos y para la eliminación de contaminantes solubles son los lechos de carbón activado.

1.3.1. Filtros de cartucho. “Están compuestos por millones de fibras que han sido empacadas cuidadosamente en forma de mallas dentro de un espacio anular entre dos cilindros concéntricos”⁸. Se instalan vertical u horizontalmente y se agrupan para formar un área de paso.

Consiste en hacer circular el fluido por el interior de una carcasa en la que se encuentran situados los elementos filtrantes. El fluido atraviesa el elemento filtrante dejando las partículas retenidas en las fibras. Dependiendo de la aplicación, el flujo dirigirse de dentro hacia afuera o de afuera hacia adentro de los cartuchos. Los diversos tipos de filtros de cartucho que se encuentran en la industria son hilados, plegados, resinados, plegados de carbón y de polipropileno inyectado.

⁸ PERRY, Robert y GREEN, Don. Manual del ingeniero químico. Séptima edición. Madrid: McGraw Hill, 2001. p.18-127.

1.3.2. Filtros de carbón activado. Son lechos de carbón granular dentro de un recipiente en el que se instalan tamices a la entrada y la salida del filtro para prevenir la migración del carbón. Se usa para caudales pequeños.

“Funcionan por un proceso electro-químico conocido como adsorción, proceso por el cual las moléculas de determinadas impurezas se adhieren a la superficie del carbón activado. La efectividad del filtro de carbón activado dependerá del tipo y de la cantidad de partículas de carbón activo contenido en él”⁹. La sustancia adsorbida no penetra en la estructura cristalina del sólido y no se disuelve en él, sino que permanece sobre la superficie.

Para la obtención del carbón activado, el primer paso es la conversión de la materia prima (lignito, aserrín, madera o pulpa de madera) en carbón a temperaturas inferiores a 500°C. Después se aplica un tratamiento de activación por medio de aire, óxidos de carbono, vapor recalentado o mezclas de vapor aire. La activación es una combustión lenta bajo condiciones estrechamente controladas a una temperatura superior a 800°C.

Los carbones activados son blandos, negros y brillantes, se agrupan teniendo en cuenta su estructura física, sus propiedades y sus aplicaciones en cuatro grupos: carbones decolorantes, adsorbentes de gases, adsorbentes de metales y medicinales. Ninguno es universal, es decir no puede usarse para todos los fines.

1.4 DESCRIPCION DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN DE DIETANOLAMINA-DEA

El sistema actual de filtración de amina para el tratamiento de gases ácidos en la unidad recuperadora de vapores está conformado por cuatro filtros mecánicos para la retención de partículas sólidas ubicados en la línea de DEA RICA.

Dos de estos filtros, se encuentran ubicados en la línea de salida de amina de la torre absorbidora de H₂S circulando por ellos un flujo de 110 gpm que corresponden al 42% del flujo total, manejan una presión de 125 psig y una temperatura de 120°F.

⁹ CALGON CORPORATION. Evaluación de laboratorio de carbones activados granulados para aplicación en fases líquidas. Estados Unidos: División de carbón activado, 1991. p.2.

Los otros dos filtros se encuentran en la línea de salida del tanque de mezcla de propano y DEA circulando un flujo de 60 gpm que representa la totalidad de la corriente de amina; operan a una presión de 250 psig y a una temperatura de 120°F.

Cada par de filtros se encuentran en paralelo y solo opera uno, mientras el otro se encuentra en limpieza y mantenimiento. El material de construcción de la carcasa es acero al carbono, tienen un área de filtración de 4896 in², manejan una caída de presión de 3 psi cuando están limpios y de 15 psi cuando se encuentran saturados. Los filtros son tipo cartucho, están contruidos de cartón y cada uno opera con 18 cartuchos; se debe tener en cuenta que el material de los cartuchos no es el más adecuado ya que durante su funcionamiento pueden colapsar y contaminar la solución de amina.

El sistema no cuenta con indicadores de presión que midan el diferencial a través de los filtros y muestre en que momentos estos se ensucian para realizar el lavado del filtro y el cambio de los elementos filtrantes; debido a esto, a los filtros se les realiza mantenimiento cada vez que el supervisor de la planta lo considere necesario.

1.4.1. Características físico-químicas. Las principales características físico-químicas son las siguientes: densidad, viscosidad, distribución de tamaño de partícula, sales estables al calor, sólidos suspendidos, sólidos totales, inhibidores de corrosión y espuma.

- **Densidad.** “Esta propiedad se define como la masa por unidad de volumen. La densidad relativa de un líquido es la relación de su densidad a cierta temperatura, con respecto al agua a una temperatura normalizada”¹⁰. A menudo estas temperaturas son las mismas y se suele utilizar 60°F/60°F. Esta propiedad toma un valor de 1.05 para el solvente rico.

- **Viscosidad cinemática.** La viscosidad expresa la facilidad que tiene un fluido para fluir cuando se le aplica una fuerza externa. La viscosidad absoluta de un fluido, es una medida de su resistencia al deslizamiento o a sufrir deformaciones

¹⁰ PERRY, Robert y GREEN, Don. Manual del ingeniero químico. Séptima edición. Madrid: McGraw Hill, 2001. p. 19-12.

internas. La viscosidad cinemática es el cociente entre la viscosidad dinámica y la densidad. Par el caso de la amina rica este valor es de $1.3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

- **Distribución de tamaño de partícula.** “La mayor parte de los sistemas de partículas están formados por partículas de una amplia gama de tamaños siendo necesario poder dar una indicación cuantitativa del tamaño medio y de la distribución de tamaños”¹¹. Para obtener estas determinaciones se realiza un análisis granulométrico que muestra la porción de partículas comprendidas dentro de una pequeña gama de tamaños.

- **Sales estables al calor.** Aniones tales como formatos, oxalatos, tiosulfato, tiocianato y cloruros que están unidos a la amina y que no son despojados en la sección de despojo del regenerador de la planta se definen como sales estables al calor (HSS). “Las sales estables aumentan la corrosión de las soluciones de aminas. Por esta razón y debido a que las sales estables reducen la capacidad de absorción de gases ácidos, ellas deben ser minimizadas”¹². La tabla 2 indica las fuentes comunes que generan esos aniones y puede ser usada como una guía para minimizar su formación. Como una regla general, HSS no debe exceder el 10% de la concentración total de amina. Actualmente la DEA presenta valores del 3% en peso.

Tabla 2. Fuentes comunes para el anión

Anión	Fuente
Cloruros	Agua reposición/Gas de carga
Nitrato/Nitrito	Agua reposición/Inhibidores de corrosión
Sulfato/Sulfito/Tiosulfato	Productos de oxidación de especies de azufre/Componente en el gas
Formato/Oxalato/Acetato	Ácidos en el gas de carga/Degradación térmica/Degradación por oxígeno
Tiocianato	Productos de reacción de H ₂ S y cianuro
Fosfato	Inhibidores de corrosión/Ácido fosfórico formado en el carbón activado

Fuente: Degradation of DEA in Natural Gas Treating Service

¹¹ McCABE, Warren; SMITH, Julian y HARRIOTT, Peter. Operaciones unitarias en ingeniería Química. Sexta edición. Mexico, D.F: McGraw Hill, 1002. p.1020.

¹² DEPARTAMENTO DE CRACKING. Guías de la solución de problemas de las operaciones de los procesos. Barrancabermeja: Gerencia Complejo Barrancabermeja, 2000. p.17.

- **Sólidos totales.** Analíticamente se expresa como la cantidad de materia que permanece como residuo una vez se ha efectuado una evaporación entre 103 y 105°C. Los sólidos totales pueden clasificarse como sólidos suspendidos y sólidos disueltos. En el solvente rico o amina rica los sólidos totales constituyen el 3.7% en volumen.

- **Sólidos suspendidos.** Se determinan como la cantidad de material retenido después de realizar la filtración de un determinado volumen de muestra. Los sólidos que logran pasar a través del medio filtrante determinan los sólidos disueltos. En la DEA rica los sólidos suspendidos tienen una concentración de 575 ppm.

- **Inhibidores de corrosión.** La corrosión en las unidades de amina ha sido un problema por muchos años. Se han adelantado investigaciones para desarrollar inhibidores especialmente para sistemas de alta concentración de amina. Los inhibidores de corrosión basados en aminas filmicas se han empleado con acierto limitado debido a su tendencia a cubrir la corrosión general sin cubrir en forma adecuada otras formas de corrosión. Ellos son duros de mantener y si no son controlados apropiadamente pueden producir corrosión severa.

- **Espuma.** “La espuma puede reducir la cantidad de gas a tratar, incrementar las pérdidas de amina, hacer más difícil la operación de endulzamiento, causar corrosión y normalmente incrementar el consumo de energía de la unidad”¹³. Altas velocidades de gas o líquido a través de los equipos también pueden causar espumeo mecánico. El problema de espuma se controla reduciendo la circulación de amina y mediante una adecuada filtración que elimine los sólidos del sistema.

1.5 CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE FILTROS

La filtración industrial solo difiere de la filtración de laboratorio en el volumen de material maneja y en la necesidad de manejarlo a bajo costo. En la mayor parte de los casos en la industria química, lo que interesa son los sólidos, siendo sus propiedades físicas y tamaño de gran importancia. Los principales factores a considerar al diseñar y seleccionar el equipo son:

¹³ DEPARTAMENTO DE CRACKING. Guías de la solución de problemas de las operaciones de los procesos. Barrancabermeja: Gerencia Complejo Barrancabermeja, 2000. p.17.

- Separación o eficiencia de la filtración: depende de las características del filtro, de la distribución de partículas y de la naturaleza de los sólidos.

- Grado de eficiencia: es función del tamaño de partícula y de la curva de grado de eficiencia. Un 100% para partículas relativamente grandes y un 0% para partículas relativamente pequeñas. La curva de grado de eficiencia puede ser característica de cada filtro aunque depende de la naturaleza de los sólidos.

- Rata de filtración: el tamaño de partículas retenidas por el filtro se expresa en micrones. “Otros factores como el flujo, el fluido, la naturaleza y la distribución de tamaño de los sólidos y la concentración de sólidos tienen influencia sobre la rata de filtración”¹⁴.

- Capacidad y volumen potencial de sólidos retenidos: parámetro importante para filtros sin remoción continua de sólidos. “La capacidad de retención de sólidos, es la capacidad de sólidos que el filtro retiene en la caída de presión máxima recomendada para provocar recambio de los medio filtrantes”¹⁵. Se puede expresar en masa y en volumen, se espera que sea función del flujo y de propiedades de las partículas tales como permeabilidad.

- Área de filtración: el área efectiva de filtración se define como el área accesible para el flujo del fluido, esta área es difícil de cuantificar. El área superficial de un filtro promedio usado para filtración en flujo paralelo, es independiente de la porosidad del medio y del número de capas de éste.

- Tiempo de filtración: es el tiempo necesario para incrementar la caída de presión desde la caída de presión del sistema limpio hasta la caída de presión máxima recomendada para iniciar la limpieza y cambiar el medio filtrante.

¹⁴ SHELL GROUP. Filters for removing particles from hydroprocesser feeds - type selection and design rules. Shell Global Solutions International B.V. (Shell GSI), 2001. p.9

¹⁵ Ibid.,. p.16.

2. VARIABLES DE DISEÑO Y ANALISIS DE RESULTADOS

2.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN DE DIETANOLAMINA-DEA PROPUESTO

El nuevo sistema de filtración de amina para el tratamiento de gases ácidos en la unidad recuperadora de vapores estará conformado por dos filtros mecánicos para la retención de partículas sólidas y un filtro de carbón activado para la remoción de contaminantes líquidos como hidrocarburos, aceites, inhibidores de corrosión, antiespumantes y productos de degradación de la amina.

Los tres filtros se ubicarán en la línea de DEA POBRE en la descarga de la bomba circulando por ellos el flujo total de amina. La razón por la cual los filtros no se ubican en la línea de DEA RICA como se encuentra actualmente es porque el H₂S y el CO₂ se gasifican alrededor de los gránulos de carbón, impidiendo que éstos purifiquen la amina adecuadamente por lo cual se ocasionan graves problemas de operación; los tres filtros se debe instalar en serie y con un conjunto de válvulas y un by-pass para no ocasionar daños al sistema cuando alguno de los filtro se encuentre fuera de servicio por el cambio del medio filtrante.

El sistema debe contar con indicadores de presión para los filtros de partículas que midan el diferencial a través de estos y muestre en que momentos se ensucian para realizar el cambio de los elementos filtrantes; en el caso de los filtros de carbón deben contar con una facilidad para tomar muestras de la amina filtrada debido a que en los elementos deben ser remplazados cuando se deteriore la claridad de la amina o el análisis indique alto contenido de hidrocarburo.

2.2 DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES DE DISEÑO

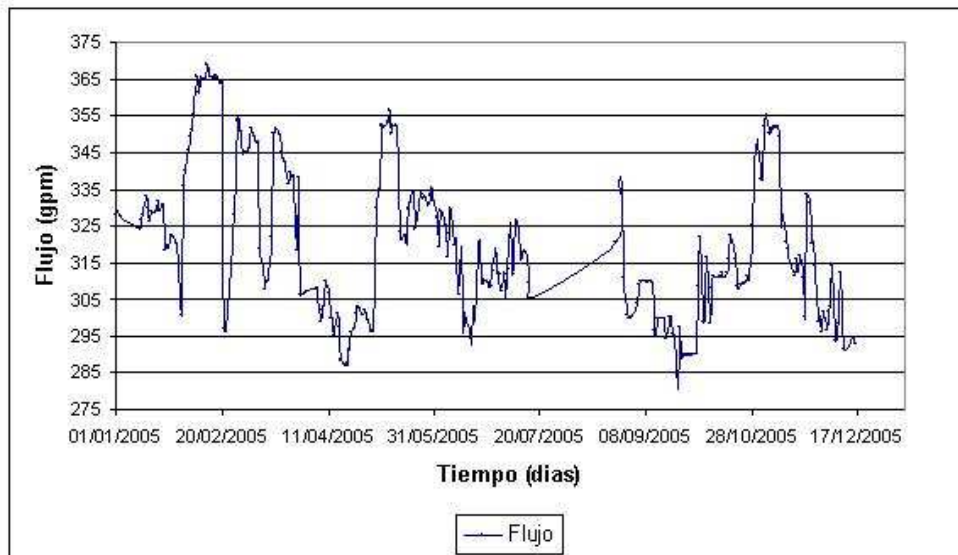
Todos los las pruebas y datos de campo se realizaron en el sistema de tratamiento con DEA perteneciente a la unidad recuperadora de vapores (V.R.U) de la Gerencia Complejo Barrancabermeja. Todas las condiciones y requerimientos que influyen en la elección de un tipo de filtro como flujo, temperatura, presión de operación, concentración; propiedades del fluido como composición, viscosidad, densidad; concentración de sólidos, distribución de partículas y caída de presión disponible en el sistema deben ser especificadas. Los principales datos definidos son los siguientes:

2.2.1. Flujo. La medición del flujo volumétrico total de solvente pobre se realizó por medio de los indicadores-controladores de flujo FIC-55017 y FIC-55018 ubicados en la línea de entrada de DEA POBRE al tambor de mezcla propano-DEA y en la línea de entrada de DEA POBRE a la torre absorbidora respectivamente; se tomó un promedio diario desde enero hasta diciembre de 2005, el valor promedio se encontró en un valor de 320 gpm. Se observa que en estos meses el flujo varía entre 280 y 370 gpm. (Figura 2).

2.2.2. Temperatura. La determinación de la temperatura de operación de los filtros se realizó por medio del indicador de temperatura TI-55035 ubicado en la línea de DEA POBRE a la descarga de la bomba. El valor promedio diario desde el mes de enero a diciembre de 2005 es de 100°F. La temperatura osciló entre 75 y 108°F. (Figura 3).

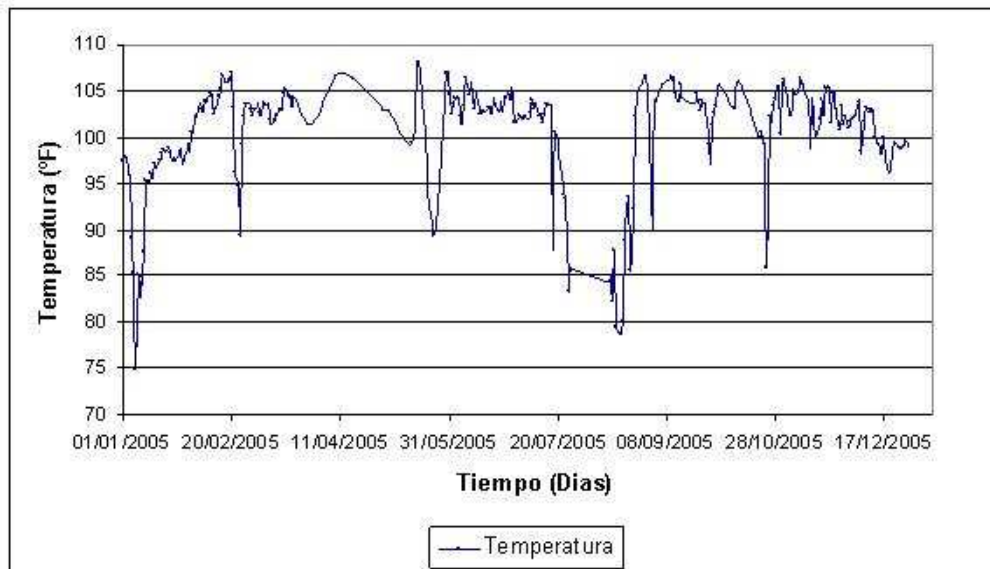
2.2.3. Presión. La presión de operación se obtuvo de la hoja de especificación técnica de la bomba del sistema. La curva característica de la bomba muestra una cabeza diferencial es de 770 ft, por lo tanto la presión de descarga de la bomba es de 344 psig que corresponde a la presión de operación del sistema de filtración. (Anexo A).

Figura 2. Variación del flujo durante enero a diciembre de 2005



Fuente: La autora

Figura 3. Variación de temperatura durante enero a diciembre de 2005



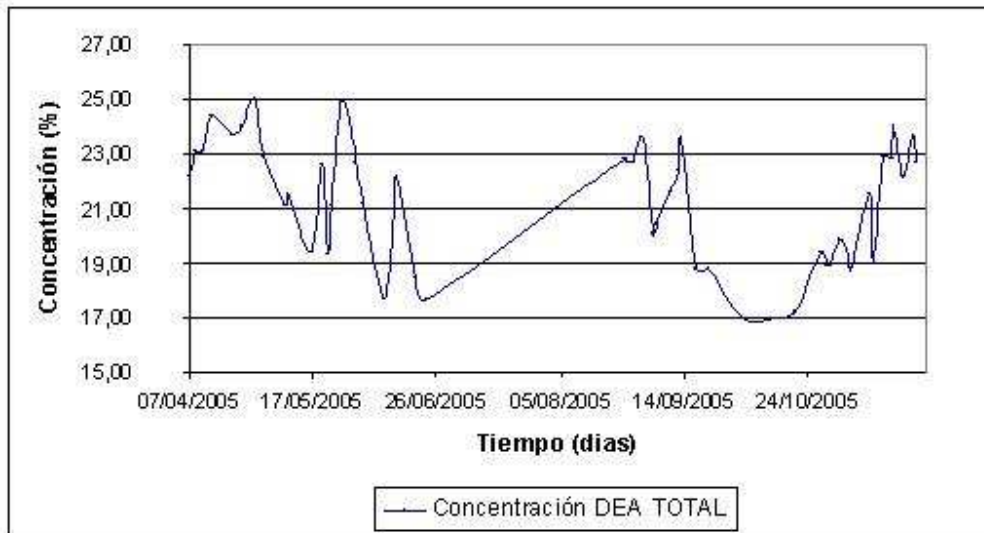
Fuente: La autora

2.2.4. Concentración. La concentración del solvente pobre es muy importante porque de esta variable depende la cantidad de amina que se puede regenerar. El sistema de tratamiento con amina opera con una solución acuosa del 25% en peso. Las concentraciones DEA TOTAL, DEA LIBRE y DEA COMBINADA fueron suministradas por la base de datos del laboratorio (CDLAB), debe entenderse que la DEA LIBRE es la cantidad de ella que se puede regenerar y la DEA COMBINADA es la diferencia entre la DEA TOTAL y la DEA LIBRE.

El porcentaje de DEA TOTAL en los meses de abril a noviembre de 2005 osciló entre 17 y 25%. En el caso de la DEA LIBRE este valor se mantuvo entre 15 y 23%. (Figura 4 y 5)

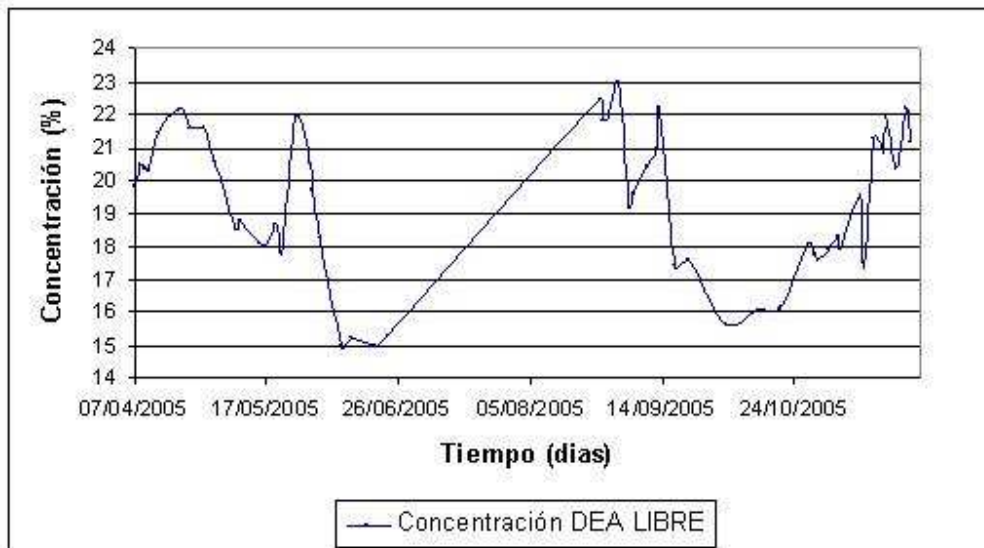
El porcentaje de DEA COMBINADA debe mantenerse por debajo del 3% para permitir la regeneración de una mayor cantidad de solvente. Se observa que en los meses de abril, mayo y junio este valor sobrepasó el 3% permitido en algunos casos, mientras que en los últimos meses este valor se ha mantenido controlado. En los meses de abril a noviembre este porcentaje varió entre 0.8 y 5%. (Figura 6).

Figura 4. Concentración de DEA TOTAL en la DEA POBRE



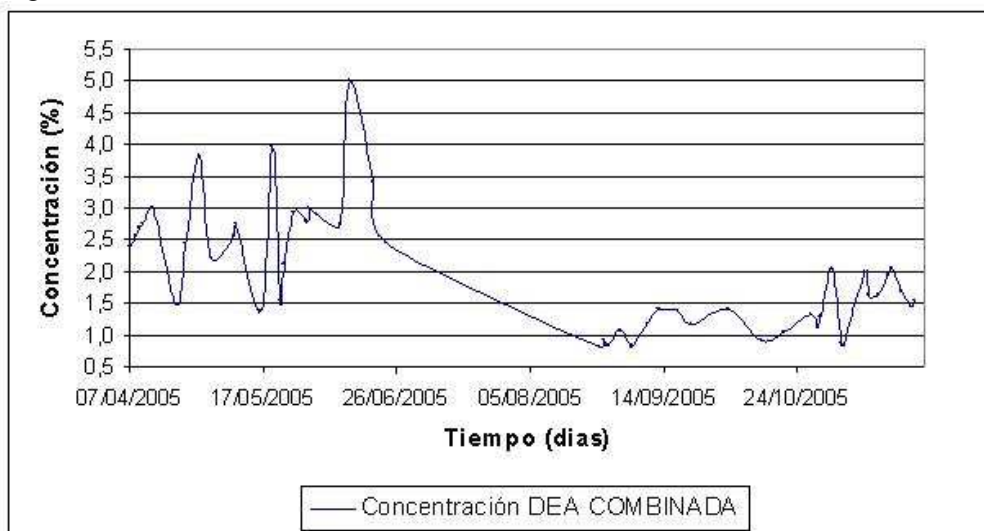
Fuente: La autora

Figura 5. Concentración de DEA LIBRE en la DEA POBRE



Fuente: La autora

Figura 6. Concentración de DEA COMBINADA en la DEA POBRE



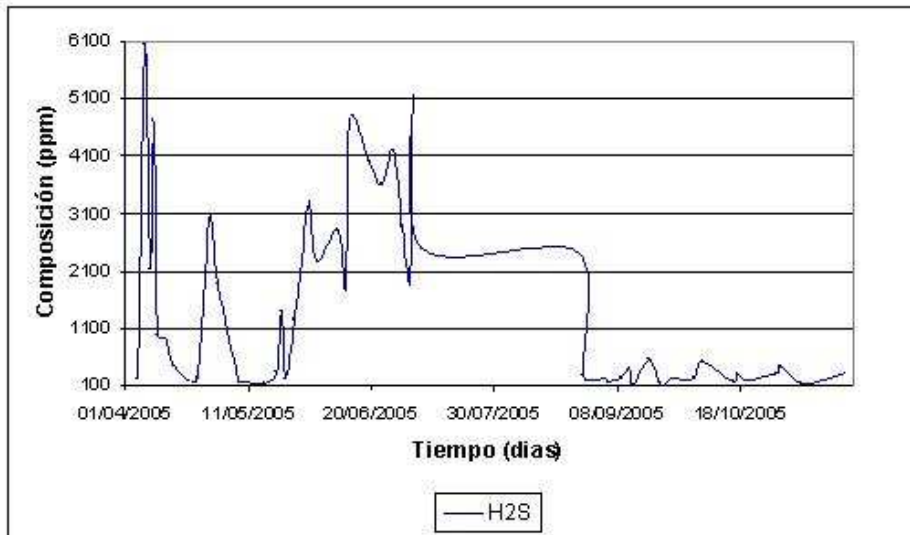
Fuente: La autora

2.2.5. Composición. La composición del solvente pobre se mide según la cantidad de gas ácido (H_2S) que contiene. Esta cantidad se puede expresar en partes por millón (ppm) o como una relación molar. La relación molar mide los moles de gas ácido por mol de DEA LIBRE. Es importante controlar la composición de H_2S en un valor máximo de 1600 ppm (0,02mol/mol) ya que de lo contrario, aumentaría la corrosión conllevando a la formación de sólidos del sistema.

Los datos fueron suministrados por la base de datos del laboratorio (CDLAB). Se observa que durante los meses de abril a agosto de 2005, la composición pasó el valor máximo y osciló entre 110 y 6000 ppm, a partir de septiembre se mantuvo estable variando entre 110 y 600 ppm sin sobrepasar el límite permitido. El mismo comportamiento se aprecia para el caso de las relaciones molares. (Figura 7 y 8).

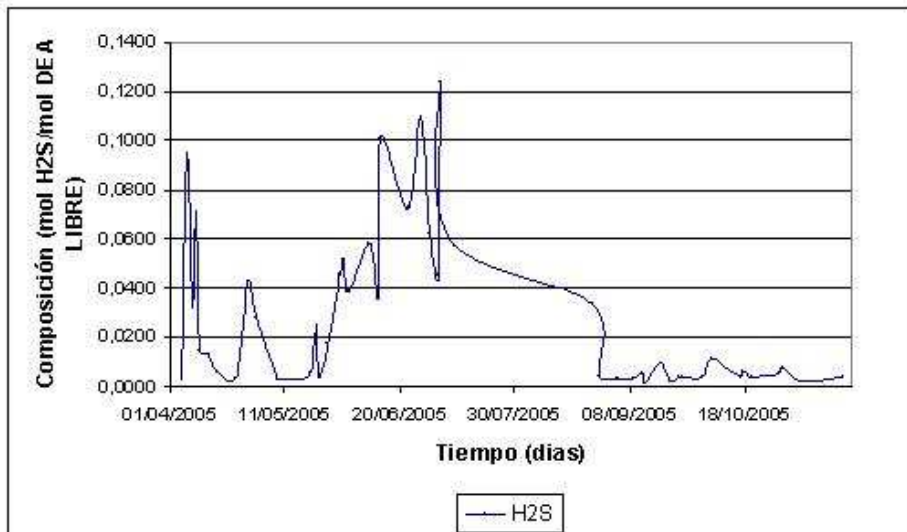
2.2.6. Viscosidad. Se realizaron pruebas de laboratorio para determinar la viscosidad cinemática a 40°C y 50°C. El análisis se hizo según la norma ASTM C D-445 (Standard Test Method for Kinematics Viscosity of Transparent and Opaque Liquids). Los resultados obtenidos fueron de 1,33 mm²/s a 40°C y 1,10mm²/s a 50°C.

Figura 7. Composición de H₂S en partes por millón en la DEA POBRE



Fuente: La autora

Figura 8. Composición de H₂S en mol de H₂S/mol DEA LIBRE en la DEA POBRE



Fuente: La autora

2.2.7. Densidad. El resultado obtenido del análisis de laboratorio para determinar la densidad a 15°C fue 1.04 g/mL. La prueba se realizó según la norma ASTM D-4052 (Standard Test Method for Density and Relative Density of Liquids by Digital Density Meter).

2.2.8. Distribución de partículas. El análisis de distribución de tamaño de partículas se realizó según la norma ASTM E-20 (Standard Test Method for Particulate Size Analysis of Particulate substances in the Range of 0.2 to 75 Micrometer by Optical Microscopy). La distribución de tamaño obtenida muestra que las partículas tienen tamaños desde 1.5 micras hasta 70 micras, de las cuales el 10% del total tienen un tamaño superior a 2 micras, el 50% tienen un tamaño superior a 5 micras y el 90% del total de partículas tienen un tamaño superior a 20 micras.

2.2.9. Concentración de sólidos. El análisis de laboratorio para determinar la cantidad de sólidos totales en aguas se realizó según la norma ASTM F-1888 (Standard Test Method for Particulate and Dissolved Matter, Solids in Water). La cantidad de sólidos encontrada en el solvente fue de 3,72 % peso/volumen.

2.2.10. Caída de presión. La caída de presión disponible en el sistema se determinó por medio de un análisis hidráulico. El análisis se realizó en la línea de DEA POBRE; se estudió un sistema de baja presión que comprende desde el enfriador hasta la entrada de la torre absorbidora y un sistema de alta presión que comprende desde el enfriador hasta la entrada del tambor de mezcla propano-DEA.

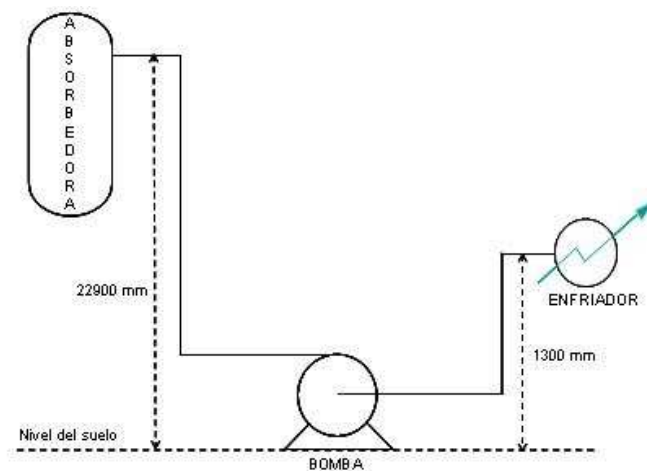
2.3 ESTUDIO HIDRÁULICO

El estudio hidráulico comprende la elaboración de isométricos de tubería, es decir, representaciones gráficas de las líneas de tubería que permite ver las dimensiones, desviaciones y características reales. Se calcularon las pérdidas por fricción teniendo en cuenta válvulas, codos, contracciones y expansiones encontradas en el sistema, cabeza para elevar el líquido y caída de presión asignado a la válvula de control. (Anexo B y C). Las ecuaciones utilizadas para calcular estas pérdidas se muestran en el anexo D.

El diferencial de presión a través de las válvulas de control se calculó con la ecuación del coeficiente característico de la válvula (C_v), teniendo en cuenta la hoja de especificación técnica y las tablas de coeficiente característico. Esta válvula es de tipo FISHER 667A. (Anexo F y G).

2.3.1. Sistema de baja presión. Como ya se mencionó, el sistema de baja presión que comprende desde el enfriador hasta la entrada de la torre absorbidora (Figura 9). Al elaborar el estudio hidráulico de este sistema se encontraron los siguientes resultados:

Figura 9. Sistema de baja presión



Fuente: La autora

Tabla 3. Accesorios sistema de baja presión

Accesorios	Número de accesorios	Coefficiente de resistencia (K)
Válvula de compuerta	2	8
Codos de 90°	19	30
Tee de flujo directo	2	20
Contracción de 4" a 2"	1	3,71

Fuente: La autora

Tabla 4. Parámetros generales sistema de baja presión

Parámetro	Valor
Velocidad, ft/s	8,17
Numero de reynolds promedio	$3,18 \times 10^5$
Rugosidad absoluta	$1,80 \times 10^{-3}$
Factor fricción promedio	$1,85 \times 10^{-2}$
Coefficiente resistencia K	3,29

Fuente: La autora

Tabla 5. Total de pérdidas de presión en sistema de baja presión

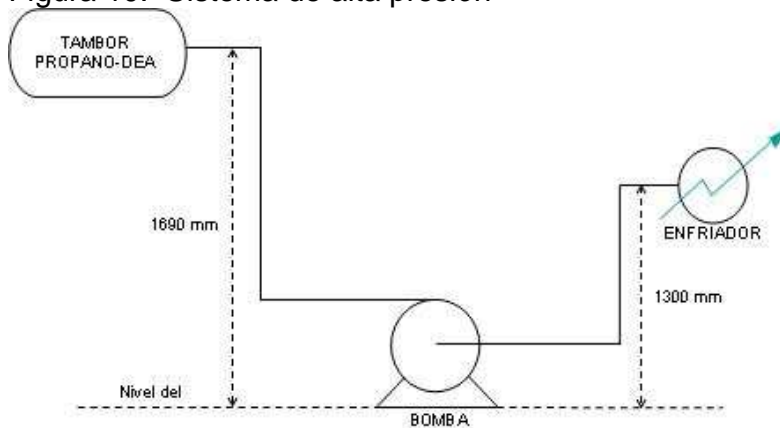
Pérdida de presión	Valor
Fricción, psi	7,88
Elevación, psi	30,86
Válvulas de control, psi	50,00
Total	88,74

Fuente: La autora

El diferencial de presión en el sistema de baja presión es de 135 psi, de los cuales 88,74 corresponden al total de pérdidas quedando así 46,26 disponibles. (Anexo H).

2.3.2. Sistema de alta presión. El sistema de alta presión que comprende desde el enfriador hasta la entrada del tambor de mezcla propano-DEA (Figura 10). En el estudio hidráulico de este sistema se encontraron los siguientes resultados:

Figura 10. Sistema de alta presión



Fuente: La autora

Tabla 6. Accesorios sistema de alta presión

Accesorios	Número de accesorios	Coefficiente de resistencia (K)
Válvula de compuerta	3	8
Codos de 90°	23	30
Tee de flujo directo	4	20

Fuente: La autora

Tabla 7. Parámetros generales sistema de alta presión

Parámetro	Valor
Velocidad, ft/s	4,43
Numero de reynolds promedio	$9,95 \times 10^4$
Rugosidad absoluta	$1,80 \times 10^{-3}$
Factor fricción promedio	$2,17 \times 10^{-2}$
Coefficiente resistencia K	12,26

Fuente: La autora

Tabla 8. Total de pérdidas de presión en sistema de alta presión

Pérdida de presión	Valor
Fricción, psi	4,41
Elevación, psi	2,42
Válvulas de control, psi	60,00
Total	66,83

Fuente: La autora

El diferencial de presión en el sistema de alta presión es de 235 psi, de los cuales 66,83 psi corresponden al total de pérdidas quedando así 168,17 psi disponibles. (Anexo H).

2.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El sistema actual de filtración de amina presenta contaminantes solubles como hidrocarburos líquidos, aceites, inhibidores de corrosión y antiespumantes que degradan la amina y disminuyen así su capacidad de absorción; para resolver este problema operacional es necesario un filtro de carbón activado.

La temperatura de la solución que se alimenta al filtro de carbón activado debe estar en el rango de 100-150°F, por debajo de este rango, la viscosidad de la amina afecta adversamente la eficiencia del carbón activado; por encima de 150°F, la capacidad de adsorción se reduce.

La DEA POBRE se encuentra bastante sucia y cargada de sólidos, por lo tanto se recomienda realizar una filtración gruesa con una malla de 20 micras seguida de una filtración con carbón activado y finalmente una filtración más fina con una

malla de 15 micras. Después de un tiempo, cuando el sistema se encuentre más limpio y la cantidad de partículas disminuya, se puede reemplazar la filtración de 20 micras por una de 15 y la de 15 micras por una de 10 micras para así cumplir con las recomendaciones realizadas por Shell Global Solutions.

Los materiales de los medios filtrantes como papel o cartón no son recomendables porque los filtros pueden colapsar y recontaminar la solución, mientras que el polipropileno es el material más adecuado ya que tiene alta resistencia superficial y alta resistencia química a la humedad y al calor sin deformarse, además tiene una amplia compatibilidad química con este tipo de solventes.

El nuevo sistema de filtración requiere un diferencial de presión de 90 psi y según el estudio hidráulico, el sistema de baja presión cuenta con un diferencial disponible de 46,26 psi, mientras que el sistema de alta presión tiene una disponibilidad de 168,17 psi. En conclusión, no existe disponibilidad de presión en el sistema para instalar los tres filtros, ya que el sistema de baja presión no cuenta con esa cantidad.

La cabeza diferencial actual de la bomba es 780 ft para un flujo de 278 gpm y la cabeza necesaria para instalar los filtros debe ser de 873 ft, la cual se calcula más adelante (ver sección 3.3); se sugiere cambiar el diámetro del impulsor de la bomba de $9\frac{9}{16}$ " a 11" (máximo diámetro), con el cual se conseguiría una cabeza diferencial de 1032 ft como se muestra en la tabla 9; de esta manera es posible alcanzar la cabeza diferencial necesaria para instalar el nuevo sistema de filtración.

Tabla 9. Características de desempeño de la bomba del sistema

Diámetro impulsor (in)	Q (gpm)	Cabeza (ft)	Eficiencia	WHP (hp)	BHP (hp)
$9\frac{9}{16}$	278	780	0,60	55,3	92,2
11	320	1032	0,62	76,3	123

Fuente: La autora

Las ecuaciones para calcular la potencia requerida por el motor (BHP) y potencia hidráulica (WHP), además de las relaciones de afinidad para los cambios de diámetro del impulsor se muestran en el Anexo I. Se concluye que al cambiar el diámetro del impulsor al máximo y operando con un flujo de 320 gpm se alcanza la cabeza diferencial necesaria para instalar los tres filtros.

3. SISTEMA DE FILTRACIÓN PROPUESTO

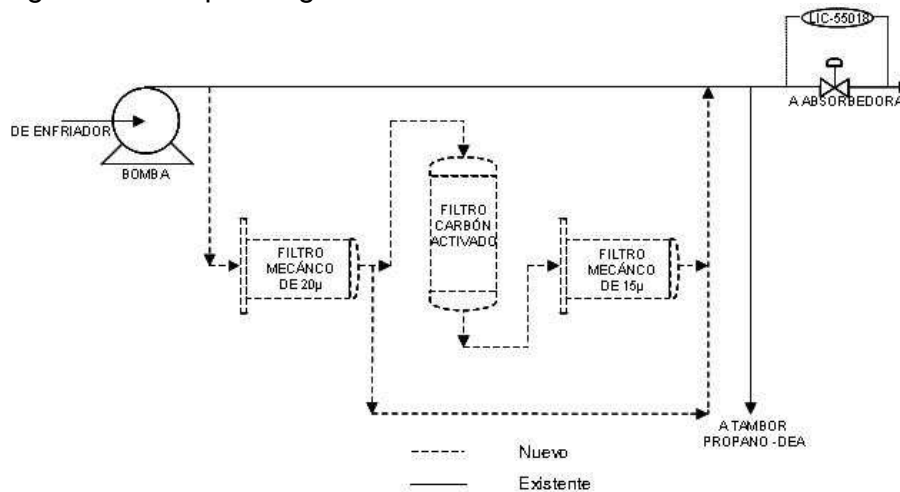
El nuevo sistema de filtración de amina para el tratamiento de gases ácidos estará conformado por dos filtros mecánicos y un filtro de carbón activado. En la tabla 10 se mencionan las ventajas y desventajas de este nuevo sistema. Los tres filtros estarán es serie y se ubicarán en la línea de DEA POBRE en la descarga de la bomba, la figura 11 muestra un esquema del nuevo sistema de filtración y se observa que por el filtro de carbón activado no circula el total del flujo de amina.

Tabla 10. Ventajas y desventajas del nuevo sistema de filtración

Ventajas	Desventajas
<p>Los filtros de carbón remueven hidrocarburos líquidos, aceites, inhibidores de corrosión y antiespumantes que ocasionan pérdidas de solvente y formación de espuma.</p> <p>Los filtros de carbón activado extienden la corrida de las unidades y aumentan la vida útil de la amina.</p> <p>Los medios filtrantes de polipropileno son más adecuados que los de cartón que tiene el actual sistema, ya que tienen alta resistencia superficial, alta resistencia química a la humedad y al calor sin deformarse y tienen una amplia compatibilidad química con este tipo de solventes.</p> <p>Los nuevos medios filtrantes por su adecuado micraje (20 y 15 μ) y por su elevada capacidad de adsorción de suciedad reducen la frecuencia de cambio de los cartuchos, reduciendo las compras de cartuchos y disminuyendo los costos.</p> <p>El diseño de los filtros mecánicos permite realizar los cambios de cartuchos en menos tiempo y con menos operadores.</p>	<p>El sistema no cuenta con otro filtro de carbón activado que opere mientras el filtro se encuentre fuera de servicio por el cambio de los elementos filtrantes.</p> <p>El reemplazo del carbón será frecuente entre 3 a 6 meses mientras la solución de amina se limpia debido a que la unidad nunca ha usado carbón.</p> <p>El nuevo sistema de filtración no puede ubicarse donde se encuentra actualmente debido a que el filtro de carbón activado no puede instalarse en la línea de DEA RICA porque el H₂S y el CO₂ se gasifican alrededor de los gránulos de carbón, impidiendo que éstos purifiquen la amina adecuadamente.</p>

Fuente: La autora

Figura 11. Esquema general nuevo sistema de filtración



Fuente: La autora

3.1 FILTROS MECÁNICOS

El primer filtro mecánico manejará un flujo de 320 gpm que corresponde al flujo total de DEA, la presión de operación es de 382 psig, dependiendo de la saturación de sólidos y contaminantes del medio filtrante, la caída de presión en el filtro variará, con lo que varía la presión de operación.

El segundo filtro mecánico operará con un flujo de 64 gpm que corresponde al 20% del flujo total de solvente, el cual filtrará solo el caudal de amina que circule por el filtro de carbón activado. La temperatura de operación es de 100°F y se mantiene constante durante esta etapa del tratamiento.

El tipo de filtro que se utiliza para la retención de sólidos es el filtro de cartucho, estos filtros son unidades que consisten en uno a o más cartuchos reemplazables o renovables que contienen el elemento activo de la filtración. La filtración tiene lugar mientras el flujo se encuentra en movimiento.

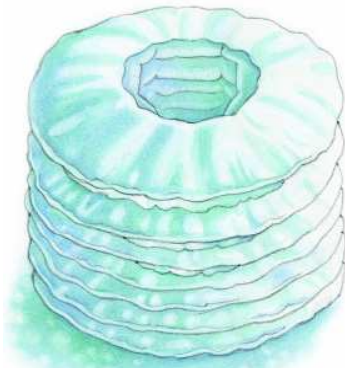
Mediante la elección adecuada de los cartuchos de cilindros múltiples o los cartuchos múltiples en paralelo, se puede obtener cualquier velocidad deseada de flujo con una caída razonable de presión, cuando la presión se eleva al máximo admisible, el filtro se debe abrir para reemplazar el elemento. Los elementos no se

pueden limpiar y tienen un precio que permite desecharlos o reemplazar el medio filtrante en forma económica.

3.1.1. Cartuchos de filtración. Los medios filtrantes son los cartuchos de filtración para instalaciones de tratamiento de líquidos que retienen partículas entre 2 a 70 μm , los cuales se ajustan a la necesidad para retener partículas de 20 y 15 μm .

Gracias a la técnica patentada de plegado radial, los cartuchos de filtración ofrecen una superficie de filtración particularmente amplia y eficaz. Algunos de las ventajas son: alta capacidad de retención de las impurezas, caudal elevado en cada filtro reduciendo el número de cartuchos por filtro así como la frecuencia de reemplazo de los cartuchos u filtración altamente eficaz.

Figura 12. Diseño de pliegue radial



Fuente: Sistemas de filtración para altos caudales 3M. Catálogo productos de filtrado

Gracias a que la superficie de filtración eficaz es muy elevada en relación con el volumen, los costos de eliminación y de tratamiento de los desechos son particularmente bajos.

Cada cartucho de filtrado contiene hasta 18 m^2 de área de alto rendimiento en una construcción de cartucho fácil de manejar que mide 17 centímetros de diámetro y 1 metro de longitud. Esta gran superficie proporciona un rendimiento y una capacidad de adsorción de suciedad muy elevada. Cada cartucho puede soportar hasta 10 kilogramos de suciedad antes de alcanzar la presión de recambio

recomendada. El número de cartuchos por filtro es determinado en función del caudal del líquido que hay que tratar.

Los filtros se fabrican ajustándose a especificaciones rigurosamente controladas de diámetro de fibra para lograr unos índices de retención micrométrica precisos. El resultado es una retención de partículas homogénea y una filtración de gran calidad duradera.

Tabla 11. Flujos recomendados y capacidad de adsorción de suciedades normales del sistema

Número de cartuchos	Flujo total recomendado (m ³ /h)	Diámetro del recipiente (cm)	Capacidad total de adsorción de suciedad (kg)
1	10	20	10
2	20	20	20
4	40	46	40
5	50	51	50
7	70	61	70
11	110	76	110
18	180	91	180
21	210	107	210
29	290	122	290

Fuente: Sistemas de filtración para altos caudales 3M. Catálogo productos de filtrado

Los cartuchos de filtración son fabricados con materiales que cumplen con las directivas de la FDA (*Oficina Americana de Control Farmacéutico y Alimentario*). El filtro está compuesto por microfibras no entrelazadas de polipropileno expandido y el núcleo, la envoltura externa y las cúpulas superior e inferior están constituidos de polipropileno aprobado por la FDA.

Figura 13. Cartucho de filtración



Fuente: Sistemas de filtración para altos caudales 3M. Catálogo productos de filtrado

Los filtros de cartucho proporcionan menor costo debido a la superficie de filtración y a la elevada capacidad de adsorción, menor costo de mano de obra debido a que los cambios se realizan más rápidamente y con menos operadores y menor costo energético.

Algunas de las especificaciones de los cartuchos de filtración son: diámetro exterior de 166 mm, diámetro interior de 39 mm y longitud de 995 mm. Las condiciones de funcionamiento son: temperatura máxima de 158°F, caudal máximo por cartucho de 57 gpm y caída de presión máxima desde la entrada hasta la salida del filtro de 34 psig.

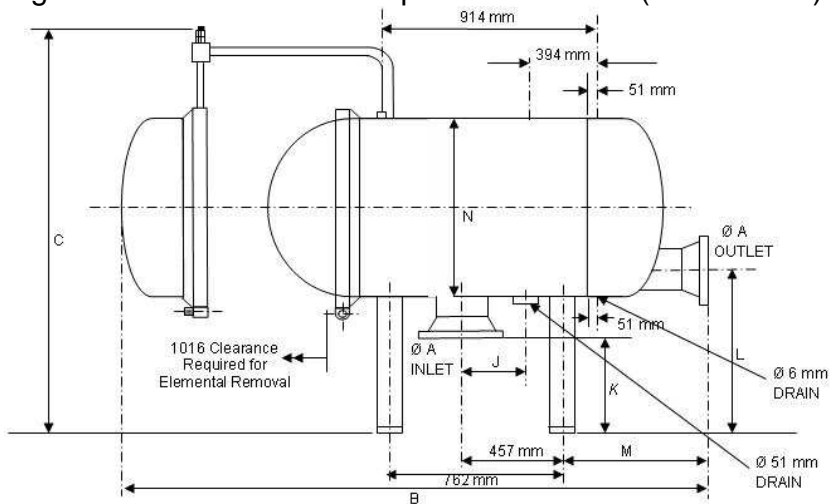
3.1.2. Recipientes o carcazas. Los recipientes se suministran en construcciones verticales y horizontales. Se ha diseñado una tapa en el extremo que permite una inserción y extracción rápidas y fáciles. Los cartuchos se insertan simplemente sobre un tubo guía incorporado. La colocación adecuada del cartucho es prácticamente automática de forma que un operador pueda instalar o retirar el juego completo de cartuchos rápida y fácilmente.

Los recipientes de construcción horizontal facilitan al máximo la operación mientras que los de construcción vertical contienen una gran superficie de filtración y ocupa muy poco espacio de apoyo en el suelo. Para la máxima facilidad de uso, el diseño horizontal de vaso es recomendado para servicio de amina. Esta configuración le permite a un operador sustituir filtros desde el nivel del suelo.

Capacidad de adsorción de suciedad muy alta, cambios de filtros rápidos y fáciles, tratamiento de mayores volúmenes por unidad de espacio; todas esas características dan como resultado un sistema de filtrado con un costo de funcionamiento muy bajo y un excelente ahorro de filtros.

Teniendo en cuenta los flujos que se manejan en el sistema y los flujos recomendados por el proveedor, el recipiente del primer filtro mecánico que maneja un flujo de 320 gpm deberá contener 11 cartuchos y el segundo filtro mecánico que maneja un flujo de 64 gpm contará con 2 cartuchos para un eficiente filtrado. El material de construcción de los recipientes es acero al carbón. Las dimensiones de los recipientes se muestran en la figuras 14 y 15.

Figura 14. Dimensiones recipiente de filtrado (Vista lateral)



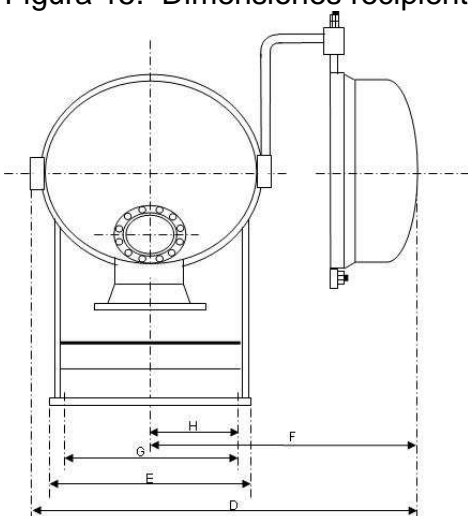
Fuente: Sistemas de filtración para altos caudales 3M y la autora

Tabla 12. Dimensiones recipientes de filtrado

Numero de cartuchos	A Inlet Outlet	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N
2	102	1648	1140	975	368	680	216	108	229	330	521	406	457
11	152	2159	1657	1784	610	1318	457	229	229	406	686	552	762

Fuente: Sistemas de filtración para altos caudales 3M

Figura 15. Dimensiones recipiente de filtrado (Vista frontal)



Fuente: Sistemas de filtración para altos caudales 3M y la autora

3.2 FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO

El filtro de carbón activado operará con un flujo de 64 gpm, que corresponde al 20% del flujo total de solvente. La temperatura de operación del filtro será la misma temperatura de operación del nuevo sistema de filtración, es decir 100°F ya que durante esta etapa del tratamiento la temperatura se mantiene constante.

Este filtro debe instalarse aguas abajo del filtro de partículas. A este filtro se le debe instalar con un conjunto de válvulas y un by-pass para no ocasionar daños al sistema cuando el filtro se encuentre fuera de servicio. El método para determinar el tiempo de reemplazo de los medios filtrantes es cuando se deteriora la claridad de la amina o el análisis indique alto contenido de hidrocarburo.

En estos filtros, el líquido entra por la cima del filtro y pasa a través del lecho. Los contaminantes líquidos se disuelven y se absorben en la capa de carbón activado. En la limpieza de estos lechos, el lavado con agua es normalmente el más efectivo. Los contaminantes sólidos se lavan y son recogidos en el vapor de lavado. Los contaminantes líquidos como aceites, inhibidores de la corrosión, deben ser vaporizados periódicamente para regenerar completamente el lecho.

La velocidad superficial es una variable importante. Al incrementarse, es necesario tener mayor altura de lecho disponible para proporcionar un tiempo de residencia adecuado (15-20 minutos). Cuando la velocidad superficial es baja, puede producirse canalización, en estos casos se recomienda emplear un distribuidor en la línea de entrada al filtro. "La velocidad disponible a través del lecho es máxima de 4 gpm/ft²"¹⁶.

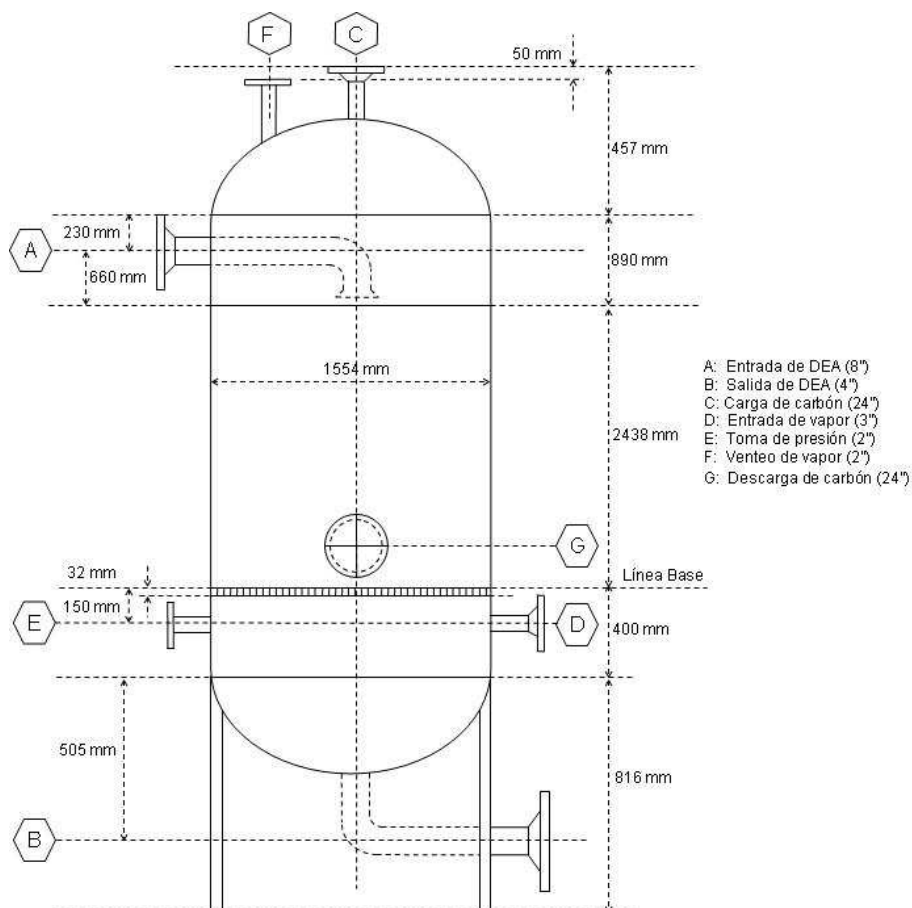
El filtro de carbón activado estará equipado con una línea de condensado para lavado en contracorriente, con el fin de remover el polvo formado durante el cargue del carbón. Como la unidad nunca ha usado carbón, el reemplazo de este será frecuente (3-6 meses) hasta tanto la solución de amina no se haya limpiado. El carbón debe ser cambiado o regenerado cuando la amina tome color oscuro. El lecho de carbón activado debe ser regenerado con vapor de 50 psig para remover los contaminantes

¹⁶ CALGON CORPORATION. Evaluación de laboratorio de carbones activados granulados para aplicación en fases líquidas. Estados Unidos: División de carbón activado, 1991. p.3.

3.2.1. Parámetros recomendados

Velocidad superficial: 4 gpm/ft²
Tiempo de residencia: 15 minutos
Flujo de retrolavado: 77 gpm(20% superior al flujo de servicio)
Tiempo de retrolavado: 5 minutos
Densidad aparente: 21,85 lb/ft³
Volumen de poro: 0,90 cm³/g
Diámetro de partícula: 0,595-2,000
Mesh: 8x30

Figura 16. Esquema detallado filtro de carbón activado



Fuente: Filtros de carbón activado Carbotecnia

Las ecuaciones que se utilizaron para calcular las dimensiones del lecho y algunas características del filtro se encuentran en el Anexo J. El lecho de carbón debe tener un área transversal de 16 ft^2 ($1,49 \times 10^6$), un diámetro de 4,5 ft (1372 mm), un volumen de 128,3 ft (39106 mm) y una altura de 8 ft (2438 mm). La cantidad de carbón que se requiere para este filtro es de 2804 lb.

Este filtro además de contar con tubería para la entrada y salida de DEA debe contar con líneas para carga de carbón cuando se requiera cambiar el medio filtrante, entrada de vapor para regenerar el carbón cuando se ha contaminado, toma de presión, venteo de vapor y descarga de carbón (Figura 16).

3.3 SISTEMA DE BOMBEO

Dado que en el sistema de tratamiento con amina la bomba actual no proporciona la cabeza total necesaria para instalar el nuevo sistema de filtración, se hace necesario cambiar el diámetro del impulsor de la bomba para satisfacer las nuevas condiciones del proceso. La bomba está situada después del enfriador y tiene como objeto conducir la DEA hacia el tambor de propano-DEA y hacia la torre absorbadora. El sistema de bombeo sobre el cual se realizan los cálculos se observa en la figura 10. Las especificaciones de la bomba son dadas en términos de cabeza total (H), potencia requerida por el motor (BHP) y potencia hidráulica (WHP).

Para calcular la cabeza total (H), hay que tener en cuenta los siguientes aspectos: el diferencial de presión, cabeza para elevar el líquido, pérdidas por fricción en la tubería incluyendo accesorios, caída de presión asignado a la válvula de control y caída de presión de los filtros (Anexo K).

Según los cálculos realizados, la cabeza total es de 873 ft que equivale a 382 psig; la potencia que se debe suministrar a la bomba desde una fuente externa es de 115 hp y la potencia hidráulica es de 71,3 hp. Esta bomba emplea el 3% de su capacidad en vencer la fricción de la tubería y los accesorios, el 9% para la elevación del fluido, el 29% en válvulas de control y el 24% en los filtros del nuevo sistema.

3.4 COSTOS

Los costos que se describen a continuación incluyen lo relacionado con el costo de los equipos y la inversión total de capital. Los costos presentados en la tabla 13 corresponden a valores cotizados (Anexo L).

Tabla 13. Costos de equipos

Unidad	Material de construcción	Valor (\$)
Filtro mecánico (20 micras)	Acero al carbón	32'480.000
Filtro carbón activado	Acero al carbón	39'568.000
Filtro mecánico (15 micras)	Acero al carbón	36'024.000
TOTAL		108'072.000

Fuente: La autora

Tabla 14. Inversión total de capital

Rubro	Costo (\$)
Costos directos	
Instalación del equipo	43'228.800
Instrumentación y controles	19'452.960
Cañerías y tuberías	48'632.400
Instalaciones eléctricas	15'130.080
Obras civiles	43'228.800
Mejoras al terreno	11'887.920
Instalación de servicios	43'228.800
Terreno	6'484.320
Total	231'274.080
Costos indirectos	
Ingeniería y supervisión	10'807.200
Gastos de construcción	45'390.240
Honorarios del contratista	7'565.040
Contingencia e imprevistos	44'309.520
Total	108'072.000
Costo de capital fijo (FIC)	339'346.080
Capital de trabajo	54'036.000
Costo puesta en marcha	32'421.600
Inversión total de capital	425'803.680

Fuente: La autora

La tasa de retorno se calculó utilizando la ecuación del valor presente neto (Anexo M), para determinar la tasa de retorno, se hizo un análisis del proyecto a 3 años

donde se tuvo en cuenta la inversión inicial de 425'803.680 (Tabla 14), el beneficio o ahorro de 442'000.000 (Tabla 15) y los costos de operación, mantenimiento y reparación de 264'717.100, la tasa de retorno obtenida es del 12% anual.

La razón beneficio/costo es de 1,04 y como esta es mayor que 1 indica que el proyecto evaluado económicamente es ventajoso y que los beneficios obtenidos al implementar el nuevo sistema de filtración justifican el valor de la inversión total.

Tabla 15. Beneficios Económicos esperados

Beneficio	Ahorro (\$ / año)
Disminución reposición de solvente	207'000.000
Ahorro de antiespumante	90'000.000
Disminución en recambios de medios filtrantes	70'000.000
Ahorro operadores para cambio de cartuchos	15'000.000
Disminución en corrosión	60'000.000
Total de ahorro	442'000.000

Fuente: La autora

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los altos niveles de corrosión presentes en la tubería del sistema de amina, son la causa de la elevada contaminación y los sólidos presentes en el sistema, por lo tanto es necesario contar con filtros de alta eficiencia.

El sistema de filtración actual no es adecuado porque los medios filtrantes son de cartón y estos colapsan recontaminando la solución, además presentan una saturación muy rápida y cada mes debe realizarse el cambio de los medios filtrantes, lo adecuado es que los medios filtrantes duren entre 3 a 4 meses.

El polipropileno es el material más adecuado para la filtración de DEA ya que tiene alta resistencia superficial y alta resistencia química a la humedad y al calor sin deformarse, además tiene una amplia compatibilidad química con este tipo de solventes.

Los contaminantes que se presentan en el actual sistema como hidrocarburos líquidos, aceites lubricantes, inhibidores de corrosión, antiespumantes, sales estables a temperaturas y productos de degradación de la amina ocasionan problemas operacionales como pérdidas de solvente, formación de espuma y pérdida de la capacidad de absorción de la amina como se observa en la figura 6 donde el porcentaje de DEA COMBINADA sobrepaso el límite de 3%; para resolver estos problemas son indispensables los filtros de carbón activado que adsorben estos contaminantes, los cuales no pueden eliminarse con los filtros que tiene actualmente la unidad.

Se recomienda instalar indicadores de presión a la entrada y salida de los filtros de partículas para determinar el diferencial a través de estos y así conocer en que momentos se ensucian para realizar el cambio de los elementos filtrantes; en el caso de los filtros de carbón se debe instalar una facilidad para tomar muestras de la amina filtrada debido a que en los elementos deben ser remplazados cuando se deteriore la claridad de la amina o el análisis indique alto contenido de hidrocarburo.

Se recomienda instalar el nuevo sistema de filtración a la descarga de la bomba por dos razones, la primera es porque en este punto se puede filtrar el flujo total de solvente y la segunda es porque es posible realizar todas las modificaciones

necesarias al sistema de bombeo para la instalación de los filtros. Una modificación es cambiar el diámetro del impulsor de la bomba por el máximo diámetro (11") con el fin de lograr la cabeza total necesaria para la instalación del sistema de filtración propuesto.

Según el análisis económico, la implementación del nuevo proyecto permite un ahorro de 442'000.000 anuales y la razón beneficio/costo es mayor de 1, lo cual indica que el proyecto evaluado económicamente es ventajoso y que los beneficios obtenidos al implementar el nuevo sistema de filtración justifican el valor de la inversión total.

Realizar con más frecuencia los análisis de laboratorio como distribución de tamaño de partícula, sales estables al calor, sólidos suspendidos totales para conocer el estado de contaminación del solvente y el efecto corrosivo de la amina sobre el sistema y así implementar las medidas correctivas a tiempo.

BIBLIOGRAFIA

FOUST, Alan; WENZEL, Leonard y CLUMP, Curtis. Principios de operaciones unitarias. Segunda edición. Mexico, D.F: Compañía editorial continental S.A., 2004. 654-655, 663-664 p.

CALGON CORPORATION. Evaluación de laboratorio de carbones activados granulados para aplicación en fases líquidas. Estados Unidos: División de carbón activado, 1991. 2-7 p.

DEPARTAMENTO DE CRACKING. Guías de la solución de problemas de las operaciones de los procesos. Barrancabermeja: Gerencia Complejo Barrancabermeja, 2000. 1-23 p.

_____. Manual cracking catalítico y unidades anexas de la gerencia complejo Barrancabermeja. Barrancabermeja: Gráficas San Gabriel Ltda, 2004. 20-59 p.

_____. Manual de operaciones unidad recuperadora de vapores. Barrancabermeja: Gerencia Complejo Barrancabermeja, 2000. 9-10, 12-13, 20-23 p.

DIVISION DE INGENIERIA CRANE. Flujo de fluidos en válvulas tuberías y accesorios. Buenos Aires: McGraw Hill, 1992. 1-7, 2-10, A-42, A-46, A-48 p.

3M. Sistemas de filtración para altos caudales. Catálogo productos de filtrado Bélgica: 3M, 1996. 1-8 p.

BLANK, Leland y TARQUIN, Anthony. Ingeniería económica. Cuarta edición. Bogotá: McGraw Hill, 2000. 202-225, 266-275 p.

McCABE, Warren; SMITH, Julian y HARRIOTT, Peter. Operaciones unitarias en ingeniería Química. Sexta edición. Mexico, D.F: McGraw Hill, 2002. 1019-1021, 1070-1072, 1084-1089 p.

PERRY, Robert y GREEN, Don. Manual del ingeniero químico. Séptima edición. Madrid: McGraw Hill, 2001. v.1, p.7-10. v.3, p.18-111, 18-12, 19-12.

POLDERMAN, L.D. Degradation of DEA in natural gas treating service. Oil & Gas Journal, 1995. 130-135 p.

SHELL GLOBAL SOLUTIONS. Mejores prácticas para amina. Barrancabermeja: Gerencia Complejo Barrancabermeja. 1-24 p.

SHELL GROUP. Glycol-type gas dehydration and hydrate inhibition systems. Shell Global Solutions International B.V. (Shell GSI), 1994. 79-84 p.

_____. Filters for removing particles from hydroprocesser feeds - type selection and design rules. Shell Global Solutions International B.V. (Shell GSI), 2001. 4-42 p.

WEBGRAFÍAS

www.bvs.sld.cu/revistas/sint/vol4_2_98/sint5298.htm

www.carbotecnia.info/carbon%20activado.htm

www.carbotecnia.info/quesoncarbonesespeciales.htm

www3.3m.com/catalog/cl/es002/products/-/node_JFFJNZKRCRbe/root_DTVNXCS7KFqv/vroot_JQ8HXMNDKWge/gvel_H6GQ16P9G0gl/theme_cl_productcatalog_3_0/command_AbcPageHandler/output.html

ANEXOS

Anexo A. Hoja de especificación técnica de la bomba del sistema

	GERENCIA COMPLEJO BARRANCABERMEJA DEPARTAMENTO APOYO TÉCNICO A LA PRODUCCIÓN Coordinación Proceso de Refinación y Cracking	CRACKING ORTHOFLOW	
	Informe de Práctica Industrial Ing. HERNANDO J. SALGADO GORDON	REV: H. RODRÍGUEZ	E-8822

P-557/A

Tipo: Ingersoll Rand 3 EGT
Servicio: Recirculación de DEA (DEA Regenerada a T-559)
Líquido: Solución de DEA

Análisis de concentración del fluido bombeado

Componente	Porcentaje en peso
DEA TOTAL	34.7000
CO ₂	1.8692
H ₂ S	0.0572
AGUA	63.3736

Promedio aproximado entre los meses de agosto y septiembre de 2001.

Condiciones de operación	Actual	Diseño
Flujo (GPM @ PT)	350	400
Presión de descarga (psig)	390	325.38
Presión de succión (psig)	13.8	0.38
Cabeza diferencial (ft)	877.8	743.3
NPSH disponible (ft)	66.4	>20
Rango de operación (GPM)	385-660	
Flujo continuo mínimo (GPM)	110	
Líquido	Actual	Diseño
Temperatura de bombeo o PT (°F)	125	100
Gravedad específica @ PT	0.989	1.010
Viscosidad @ PT (cSt)	0.567	<1
Desempeño	Actual	Diseño
Eficiencia (%)	60	65
NPSH requerida (ft)	ND	13.5
Cabeza total (ft)	780	745
Potencia (BHP)	110	117

	GERENCIA COMPLEJO BARRANCABERMEJA DEPARTAMENTO APOYO TÉCNICO A LA PRODUCCIÓN Coordinación Proceso de Refinación y Cracking	CRACKING ORTHOFLOW	
	Informe de Práctica Industrial Ing. HERNANDO J. SALGADO GORDON	REV: H. RODRÍGUEZ	E-8822

A diferencia de las otras bombas analizadas, las bombas P-557A y P-557B son accionadas ambas por motores eléctricos. Si bien, anteriormente el elemento impulsor de la bomba P-577A era una turbina **Terry Steam Turbines ZS1**, la cual era designada con NP-577A. Seguidamente se presentan los datos de dichos motores:

TAG: MP-577A (Principal)
Fabricante-Tipo: Siemens RGZ ZSD
Marco: 447 TS
Potencia: 200 hp – 3570 rpm
Volt/Fase/Ciclos: 440 V / 3 / 60 Hz
Amperaje: 220 A
Factor de Servicio: 1.0

TAG: MP-577B (Auxiliar)
Fabricante-Tipo: Siemens 1LA4 310
Marco: 447 TS
Potencia: 110 kW (147.5 hp) – 3580 rpm
Volt/Fase/Ciclos: 440 V / 3 / 60 Hz
Amperaje: 176 A
Factor de Servicio: 1.0

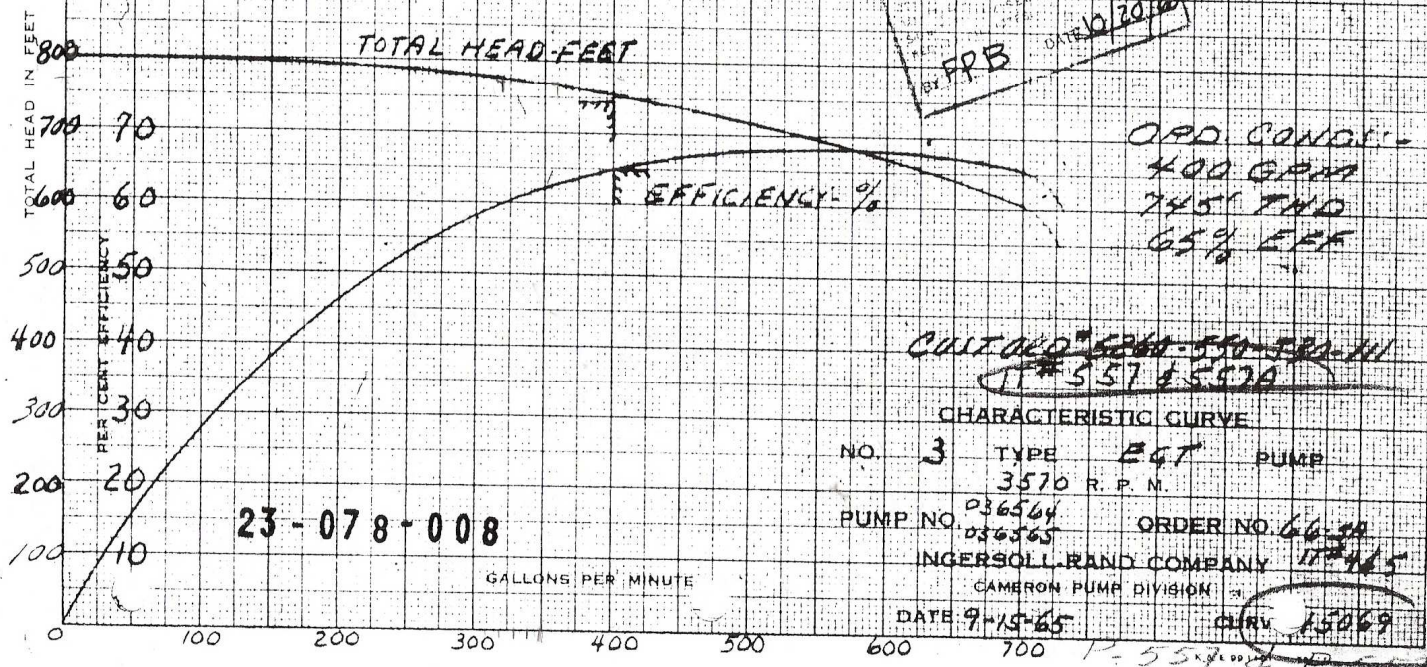
CURVE NO. 45069
DATE 9-15-65

CURVES ARE APPROXIMATE. PUMP GUARANTEED FOR ONE SET OF CONDITIONS CAPACITY, HEAD AND EFFICIENCY GUARANTEES ARE BASED ON SHORTEST AND WHEN HANDLING CLEAR, COLD, FRESH WATER AT A TEMPERATURE OF NOT OVER 85° F. AND NOT OVER 15 FOOT SUCTION LIFT.

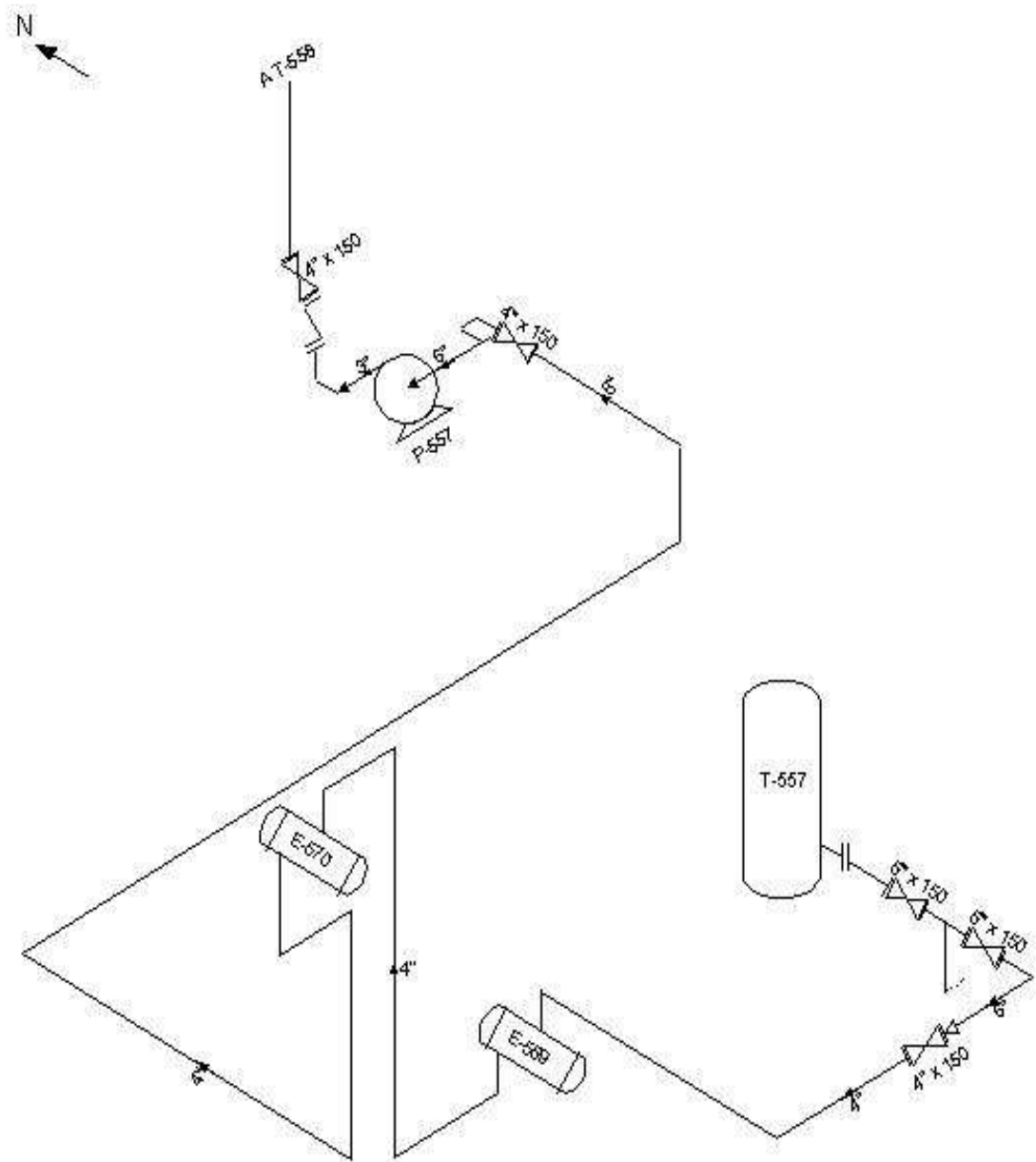
IMPELLER HATT. NO. 3EQTBA/B DIA. 9 3/16"
DIFFUSOR HATT. NO.

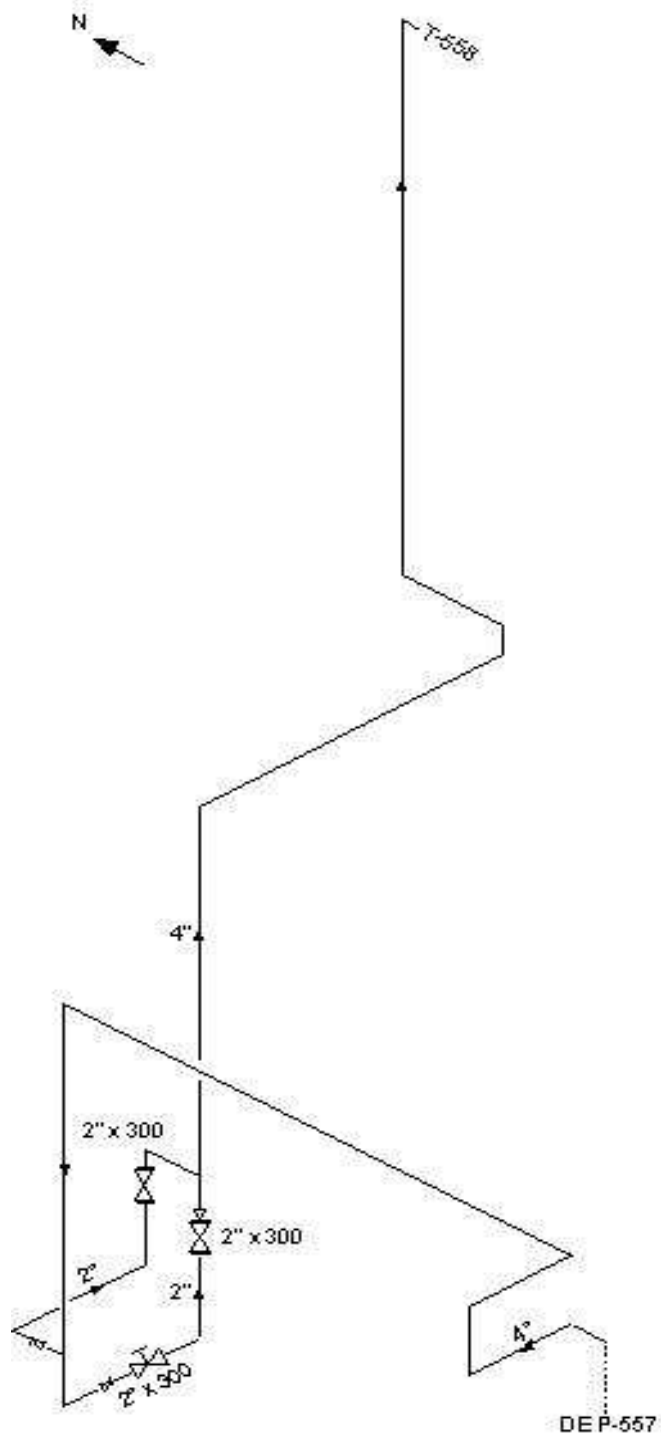
B.H.P. @ 101 SP. GR.

THE M. W. INGERSOLL COMPANY
EQUIPMENT DIVISION
COMMENT: NONE
DRAWN BY: J.P.B.
DATE: 10/20/65

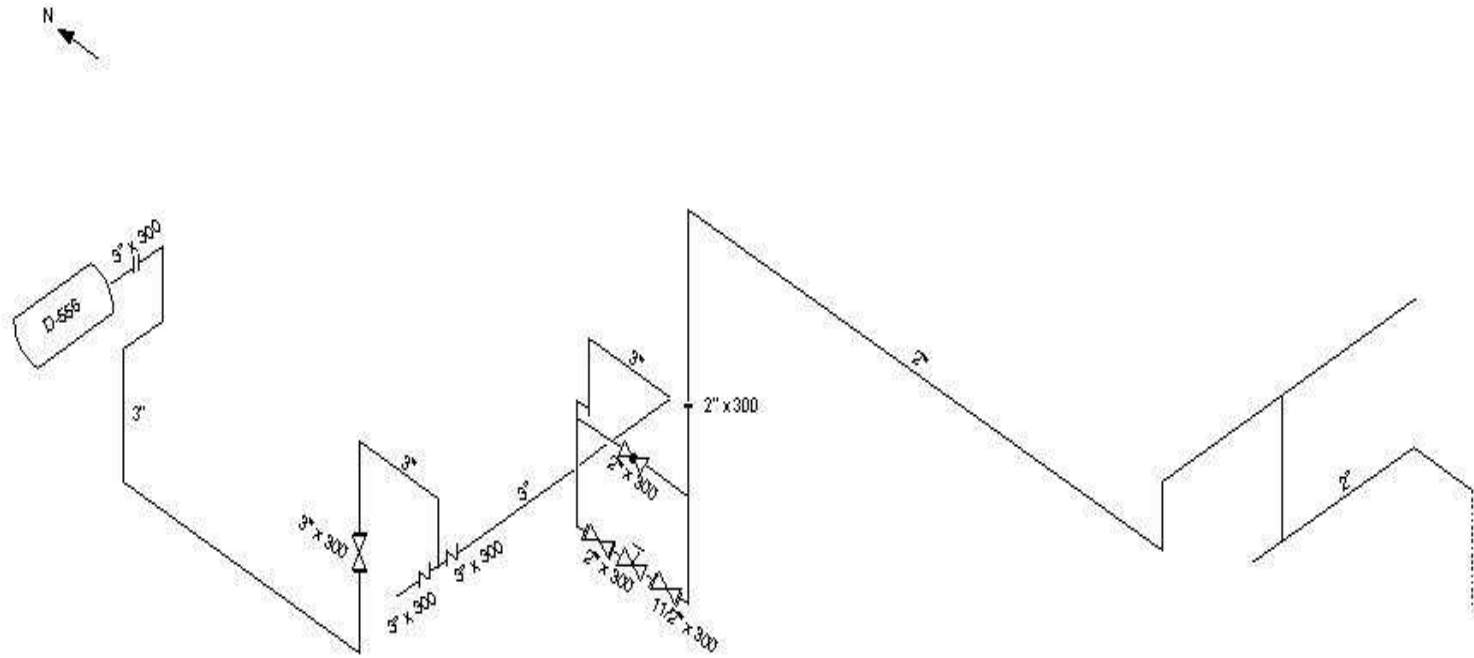


Anexo B. Isométricos de tubería para el sistema de baja presión





Anexo C. Isométricos de tubería para el sistema de alta presión



Anexo D. Ecuaciones para calcular pérdidas en el sistema

Velocidad

$$v = \frac{Q}{448,33 * A}$$

Donde

Q : Caudal (gpm)

A : Area (ft²)

Número de Reynolds

$$Re = \frac{1488,16 * vD\rho}{\mu}$$

Donde

D : Diámetro (ft)

ρ : Densidad (lb/ft³)

μ : Viscosidad (cp)

Rugosidad absoluta

La rugosidad absoluta (ϵ) se calcula con un gráfico que muestra la rugosidad relativa (ϵ/D) según el diámetro de la tubería y el tipo de material (Anexo E), después de leer la rugosidad relativa se calcula la rugosidad absoluta dividiendo esta en el diámetro.

Factor de fricción

$$fb = 1,6364 * \left[\ln \left(0,135 * \left(\frac{\epsilon}{D} \right) + \left(\frac{6,5}{Re} \right) \right) \right]^{-2}$$

Coefficiente de resistencia

$$K = \frac{fb * L}{D}$$

Donde

L: Longitud (ft)

Pérdida de presión

$$h_L = \frac{K * v^2}{2g}$$

$$\Delta P = 2,1584 \times 10^{-4} \rho * g * h$$

Donde

g: Gravedad (ft/s²)

h_L: Pérdida de presión (ft)

ΔP : Pérdida de presión (psi)

Coefficiente característico de válvulas

$$Q = C_v \sqrt{\frac{\Delta P}{ge}}$$

Donde

C_v: Coeficiente característico

ge: Gravedad específica

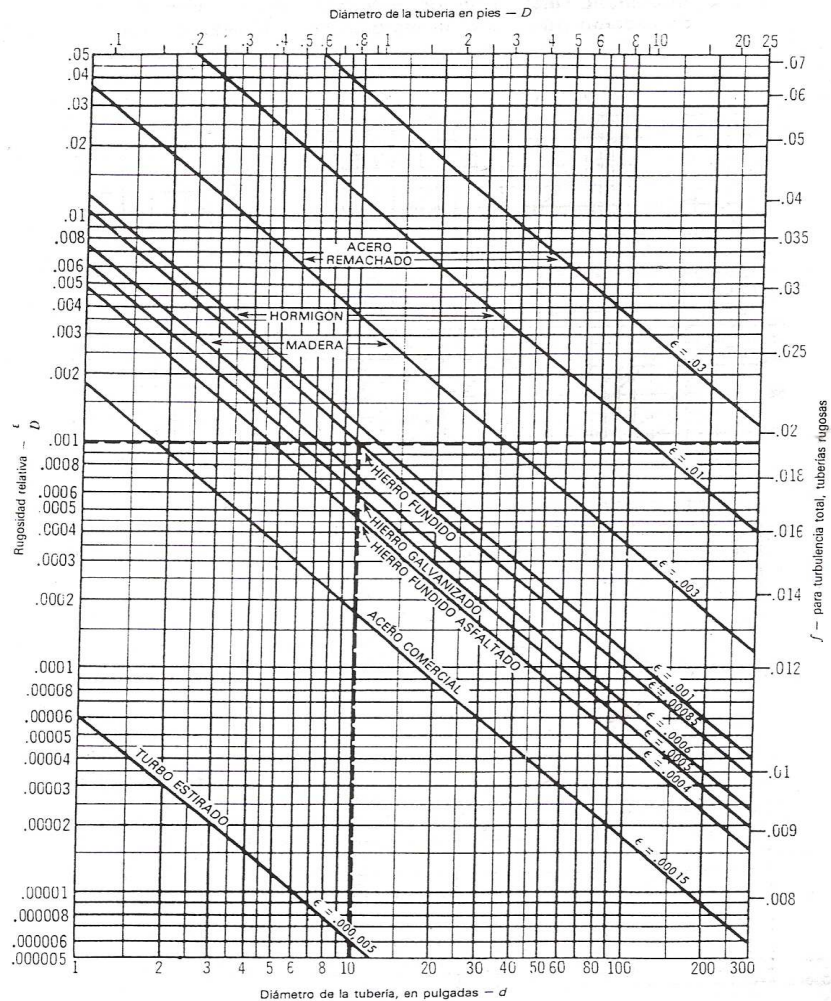
Anexo E. Rugosidad relativa de los materiales de las tuberías

A - 42

APÉNDICE A — PROPIEDADES FÍSICAS DE ALGUNOS FLUIDOS Y CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO EN VÁLVULAS, ACCESORIOS Y TUBERÍAS

CRANE


A-21b. Rugosidad relativa de los materiales de las tuberías y factor de fricción para flujo en régimen de turbulencia total



Adaptación de datos extraídos de la referencia 18 de la Bibliografía, con autorización.

Problema: Determinense las rugosidades absoluta y relativa y el factor de razonamiento para flujo en turbulencia total, en una tubería de hierro fundido de 10 pulg. de diámetro interior.
Solución: La rugosidad absoluta (ϵ) = 0.26... Rugosidad relativa (ϵ/D) = 0.001 ... Factor de fricción para flujo en régimen de turbulencia total (f) = 0.0196

Anexo F. Hoja de especificación técnica de válvulas del sistema


THE M. W. KELLOGG COMPANY
A Division of Pullman Incorporated

ENG INSTR 32 2-61

INSTRUMENT DATA SHEET

FOR EMPRESA COLOMBIANA DE PETROLEOS JOB NO. 5260P-550 SHEET NO. OV-5527

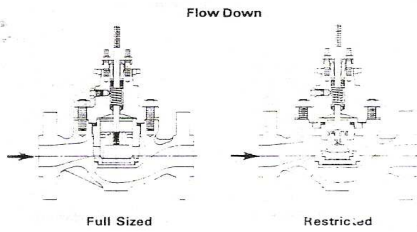
LOCATION BARRANCABERMEJA, COLOMBIA, S. A. DATE 3-9-65 REV. 1
7-8-65

AIR OPERATED CONTROL VALVES

DIAPHRAGM ~~STANDARD~~ ~~SPRING-OPPOSED~~

INSTRUMENT NUMBER		<u>FIC-5568</u>	<u>FIC-5569</u>	<u>FIC-5570</u>
LINE NO. & SIZE		<u>DEA-5505-2"</u>	<u>DEA-5507-4"</u>	
LINE SPECIFICATION		<u>3P7</u>	<u>3P7</u>	
BODY	SIZE, RATING, AND FACING	<u>1 1/2" TH'D</u>	<u>2"-300# R.F.</u>	
	TYPE (STRAIGHT THRU UNLESS OTHERWISE SPECIFIED)	<u>—</u>	<u>—</u>	
MATERIAL		<u>CARBON STEEL</u>	<u>CARBON STEEL</u>	
TRIM	PLUG TYPE	<u>D.S. LINEAR CONT.</u>	<u>D.S. LINEAR CONT.</u>	
	REDUCED PORT SIZE	<u>—</u>	<u>—</u>	
	MATERIAL (EXCEPTION TO PURCH. SPEC.)	<u>—</u>	<u>—</u>	
ACCESSORIES (CHECK WHEN REQUIRED)	VALVE POSITIONER	<u>FURNISH</u>	<u>FURNISH</u>	
	BONNET FINS	<u>—</u>	<u>—</u>	
	BONNET EXTENSION	<u>—</u>	<u>—</u>	
	HANDWHEEL	<u>FURNISH</u>	<u>—</u>	
ACTION ON AIR FAILURE		<u>CLOSES</u>	<u>CLOSES</u>	
OPERATING CONDITIONS	PROCESS FLUID	<u>DEA</u>	<u>DEA</u>	
	DESIGN FLOW GPM @ 60°F LBS/HR	<u>57 GPM</u>	<u>341 GPM</u>	
	OPERATING FLOW RANGE	<u>48 GPM</u>	<u>284 GPM</u>	
	UPSTREAM OPER. TEMP. °F	<u>100</u>	<u>100</u>	
	SG @ 60°F OR MW	<u>1.02</u>	<u>1.02</u>	
	EXP. FACTOR	<u>1.005</u>	<u>1.005</u>	
	VISC. CSTKS. @ OPER. TEMP.	<u>—</u>	<u>—</u>	
VAPORIZATION	DENSITY LBS/CU.FT. OPERATING CONDITIONS	<u>—</u>	<u>—</u>	
	UPSTREAM PRESSURE PSIG	<u>325</u>	<u>325</u>	<u>322</u>
	DIFF. PRESS. PSI (UPSTREAM-DOWNSTREAM PRESS.)	<u>16</u>	<u>16</u>	<u>148</u>
	UPSTREAM PERCENTAGE VAPOR BY WEIGHT			
DOWNSTREAM	LIQUID FLOW LBS/HR			
	LIQUID DENSITY LBS/CU.FT.			
	VAPOR FLOW LBS/HR			
	VAPOR DENSITY LBS/CU.FT.			
	OPER. TEMP. °F			
CALCULATED Cv DATA	Cv - LIQUID	<u>11.9</u>	<u>20.2</u>	<u>23.6</u>
	Cv - GAS	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>
	Cv - TOTAL	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>
	Cv - VALVE (MIN.)	<u>30</u>	<u>30</u>	<u>50</u>
	Cv/Cv	<u>0.4</u>	<u>0.67</u>	<u>0.47</u>
FISHER GOVERNOR TYPE NO.		<u>667A</u>	<u>667A</u>	
<u>DEA a D556 DEA a F558</u>				
FOR NOTES SEE DATA SHEETS <u>OV-5504</u>				
PURCHASING SPECIFICATION <u>040-1E3</u>		REQN. NO. <u>5260-550-M71-263</u>		BY <u>M.I.</u>

Anexo G. Coeficientes característicos de válvulas del sistema



Design ED
Classes 125 - 600
 Linear Cage

FLOW COEFFICIENTS

For additional body information
 see Bulletin 51.1-ED

Linear				Linear Characteristic											
Coefficients	Body Size, In.	Port Diameter, In.	Total Travel, In.	Valve Opening—Percent of Total Travel											K _m and C _v
				10	20	30	40	50	60	70	80	90	100		
C _v (Liquid)	1 & 1-1/4	1-5/16	3/4	3.21	5.50	8.18	10.9	13.2	15.0	16.9	18.6	19.9	20.6	.71	
	1-1/2	1-7/8	3/4	4.23	7.84	11.8	15.8	20.4	25.3	30.3	34.7	37.2	39.2	.68	
	2	2-5/16	1-1/8	7.87	16.0	24.9	33.4	42.1	51.8	62.0	68.1	70.6	72.9	.59	
	2-1/2	2-7/8	1-1/2	9.34	21.6	35.5	49.5	62.7	74.1	83.6	93.5	102	108	.66	
	3	3-7/16	1-1/2	14.5	32.9	52.1	70.4	88.5	105	118	133	142	148	.68	
	4	4-3/8	2	23.3	50.3	78.1	105	127	152	181	203	223	236	.67	
	6	7	2	46.3	107	171	228	279	327	387	402	420	433	.71	
	8†	8	2	60.2	129	206	285	363	444	526	581	640	688	.76	
	8	8	3	91.4	207	325	440	550	639	711	760	795	846	.75	
	1-1/2	1-5/16	3/4	2.92	5.70	9.05	12.5	15.6	18.5	21.1	23.9	26.8	29.2	.82	
	2	1-5/16	3/4	3.53	6.36	9.92	13.3	16.5	19.7	22.7	25.6	29.3	33.3	.75	
	2-1/2	1-7/8	3/4	4.10	8.09	12.3	16.7	21.1	26.8	33.7	41.3	49.2	57.0	.71	
3	2-5/16	1-1/8	8.06	16.9	26.7	37.5	49.0	61.4	73.8	85.3	94.7	102	.72		
4	2-7/8	1-1/2	9.77	22.6	37.2	51.8	65.7	77.5	87.5	97.9	107	113	.71		
6	4-3/8	2	16.7	38.6	65.4	93.7	123	156	194	244	290	322	.77		
C _g (Gas)	1 & 1-1/4	1-5/16	3/4	74.9	150	230	311	385	457	528	590	631	657	31.9	
	1-1/2	1-7/8	3/4	137	264	411	565	701	864	1020	1150	1230	1270	32.4	
	2	2-5/16	1-1/8	252	543	850	1170	1500	1800	2050	2210	2280	2330	32.0	
	2-1/2	2-7/8	1-1/2	308	702	1140	1620	2060	2490	2830	3100	3310	3460	32.0	
	3	3-7/16	1-1/2	475	1100	1740	2390	3030	3560	3970	4290	4510	4660	31.5	
	4	4-3/8	2	775	1700	2650	3590	4440	5290	6260	7090	7830	8300	33.2	
	6	7	2	1500	3650	5900	8060	10,000	11,700	13,000	14,000	14,800	14,900	34.4	
	8†	8	2	2020	4380	6880	9200	12,000	15,000	18,100	20,800	23,200	25,200	36.6	
	8	8	3	2950	6540	10,700	15,200	19,500	22,900	25,800	27,800	29,200	30,400	35.9	
	1-1/2	1-5/16	3/4	97.0	184	288	398	503	604	710	810	920	1000	34.3	
	2	1-5/16	3/4	93.2	185	294	406	516	627	744	871	999	1110	33.3	
	2-1/2	1-7/8	3/4	134	260	407	554	705	853	1110	1350	1610	1860	32.6	
3	2-5/16	1-1/8	248	550	869	1230	1610	2020	2460	2900	3250	3490	34.2		
4	2-7/8	1-1/2	376	857	1390	1970	2520	3040	3450	3790	4040	4220	37.4		
6	4-3/8	2	583	1290	2150	3100	4060	5070	6380	7910	9600	10,800	33.6		
C _s (Steam)	1 & 1-1/4	1-5/16	3/4	3.75	7.50	11.5	15.6	19.3	22.9	26.4	29.5	31.6	32.9	31.9	
	1-1/2	1-7/8	3/4	6.85	13.2	20.6	28.3	35.1	43.2	51.0	57.5	61.5	63.5	32.4	
	2	2-5/16	1-1/8	12.6	27.2	42.5	58.5	75.0	90.0	103	111	114	117	32.0	
	2-1/2	2-7/8	1-1/2	15.4	35.1	57.0	81.0	103	125	142	155	166	173	32.0	
	3	3-7/16	1-1/2	23.8	55.0	87.0	120	152	178	199	215	226	233	31.5	
	4	4-3/8	2	38.8	85.0	133	180	222	265	313	355	382	392	33.2	
	6	7	2	75.0	183	295	403	500	585	650	700	730	745	34.4	
	8†	8	2	101	219	334	460	600	750	905	1040	1160	1260	36.6	
	8	8	3	148	327	535	760	975	1150	1290	1390	1460	1520	35.9	
	1-1/2	1-5/16	3/4	4.85	9.20	14.4	19.9	25.2	30.2	35.5	40.5	46.0	50.0	34.3	
	2	1-5/16	3/4	4.66	9.85	14.7	20.3	25.6	31.4	37.2	43.6	50.0	55.5	33.3	
	2-1/2	1-7/8	3/4	6.70	13.0	20.4	27.7	35.3	44.7	55.5	67.5	80.5	93.0	32.6	
3	2-5/16	1-1/8	12.4	26.5	43.5	61.5	80.5	101	123	145	163	175	34.2		
4	2-7/8	1-1/2	18.8	42.9	69.5	98.5	126	152	173	190	202	211	37.4		
6	4-3/8	2	29.2	64.5	108	155	203	254	319	396	480	540	33.6		

* This column lists the K_m values for the C_v coefficients and the C_g values for the C_g and C_s coefficients at 100% travel.
 † If coefficients listed above for the 8" linear cage with 2" travel are not sufficient for your application, consider using the quick opening cage. The 8" quick opening cage with 2" travel has approximately a linear characteristic.
 Restricted Trim

Note: The coefficients shown on this page are also appropriate for the Designs EDR, ET and ETR.

Fisher, U.S.S. & Fisher Controls 1976, 1984. All Rights Reserved.

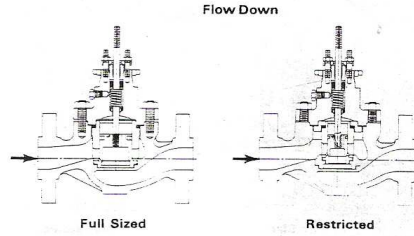


Catalog 10

July 1984

Page 1-77

Design ED
Classes 125 - 600
 Equal Percentage Cage



FLOW COEFFICIENTS

For additional body information
 see Bulletin 51.1:ED

Equal Percentage				Equal Percentage Characteristic											
Coefficients	Body Size, In.	Port Diameter, In.	Total Travel, In.	Valve Opening—Percent of Total Travel										K _v * and C _v	
				10	20	30	40	50	60	70	80	90	100		
C _v (Liquid)	1 & 1-1/4	1-5/16	3/4	.793	1.54	2.20	2.89	4.21	5.76	7.83	10.9	14.1	17.2	.77	
	1-1/2	1-7/8	3/4	1.52	2.63	3.87	5.41	7.45	11.2	17.4	24.5	30.8	35.8	.70	
	2	2-5/16	1-1/8	1.66	2.93	4.66	6.98	10.8	16.5	25.4	37.3	50.7	59.7	.72	
	2-1/2	2-7/8	1-1/2	3.43	7.13	10.8	15.1	22.4	33.7	49.2	71.1	89.5	99.4	.71	
	3	3-7/16	1-1/2	4.32	7.53	10.9	17.1	27.2	43.5	66.0	97.0	120	136	.68	
	4	4-3/8	2	5.85	11.6	18.3	30.2	49.7	79.7	125	171	205	224	.68	
	6	7	2	12.9	25.8	43.3	67.4	104	162	239	316	368	394	.73	
	8	8	2	18.5	38.0	58.4	86.7	130	189	268	371	476	567	.72	
	8	8	3	27.0	58.1	105	188	307	478	605	695	761	818	.74	
	1-1/2	1-5/16	3/4	1.12	1.56	2.22	3.10	4.27	6.17	9.01	13.1	18.2	23.1	.83	
	2-1/2	1-7/8	3/4	.923	1.42	2.09	2.84	4.11	5.83	8.58	12.8	18.5	24.3	.77	
	3	2-5/16	1-1/8	1.57	2.57	3.82	5.44	7.64	11.5	18.2	26.7	35.1	43.9	.79	
4	2-7/8	1-1/2	3.82	7.65	11.4	16.9	25.5	38.2	60.5	85.7	105	112	.79		
6	4-3/8	2	5.40	10.1	15.8	26.7	45.2	71.2	111	169	232	274	.78		
C _g (Gas)	1 & 1-1/4	1-5/16	3/4	31.2	48.3	67.4	94.4	138	191	270	380	483	562	32.7	
	1-1/2	1-7/8	3/4	53.7	90.2	131	183	256	382	578	811	1020	1180	33.0	
	2	2-5/16	1-1/8	60.4	107	164	238	358	546	851	1280	1680	1980	33.2	
	2-1/2	2-7/8	1-1/2	121	239	369	497	727	1090	1600	2320	2910	3230	32.5	
	3	3-7/16	1-1/2	152	253	360	545	854	1350	2150	3230	3930	4470	32.9	
	4	4-3/8	2	200	374	587	970	1580	2520	4100	5890	7040	7580	33.8	
	6	7	2	428	851	1430	2270	3480	5500	8200	10,900	13,000	13,900	35.3	
	8	8	2	631	1200	1810	2660	3960	5790	8300	11,600	15,600	19,300	34.0	
	8	8	3	867	1880	3350	5880	9850	15,000	20,600	25,000	27,300	29,400	35.9	
	1-1/2	1-5/16	3/4	40.6	58.0	80.4	104	145	206	294	419	587	773	33.4	
	2-1/2	1-7/8	3/4	32.5	49.0	72.0	95.5	139	197	290	410	583	783	32.2	
	3	2-5/16	1-1/8	56.2	89.4	129	179	246	377	577	851	1180	1480	33.7	
4	2-7/8	1-1/2	132	256	380	553	816	1210	1860	2750	3600	4040	36.0		
6	4-3/8	2	219	369	542	864	1430	2230	3480	5280	7360	9140	33.3		
C _s (Steam)	1 & 1-1/4	1-5/16	3/4	1.56	2.42	3.37	4.72	6.90	9.55	13.5	19.0	24.2	28.1	32.7	
	1-1/2	1-7/8	3/4	2.69	4.51	6.55	9.15	12.8	19.1	28.9	40.6	51.0	59.0	33.0	
	2	2-5/16	1-1/8	3.02	5.35	8.20	11.9	17.9	27.3	42.6	64.0	84.0	99.0	33.2	
	2-1/2	2-7/8	1-1/2	6.05	12.0	18.0	24.9	36.4	54.5	80.0	116	146	182	32.5	
	3	3-7/16	1-1/2	7.60	12.7	18.0	27.3	42.7	67.5	108	162	197	224	32.9	
	4	4-3/8	2	10.0	18.7	29.4	48.5	79.0	126	205	295	352	379	33.8	
	6	7	2	21.4	42.6	71.5	114	174	275	410	545	650	695	35.3	
	8	8	2	31.6	60.0	90.6	133	198	290	415	580	780	965	34.0	
	8	8	3	43.4	94.0	168	294	493	750	1030	1250	1370	1470	35.9	
	1-1/2	1-5/16	3/4	2.03	2.90	4.02	5.20	7.25	10.3	14.7	21.0	29.4	38.7	33.4	
	2-1/2	1-7/8	3/4	1.63	2.45	3.60	4.78	6.95	9.85	14.5	20.5	29.2	35.2	32.2	
	3	2-5/16	1-1/8	2.81	4.47	6.45	8.95	12.3	18.9	28.9	42.6	59.0	74.0	33.7	
4	2-7/8	1-1/2	6.60	12.8	19.0	27.7	40.8	60.5	93.0	137	180	202	36.0		
6	4-3/8	2	11.0	18.5	27.1	43.2	71.5	112	174	264	368	457	33.3		

*This column lists the K_v values for the C_v coefficients and the C_g values for the C_g and C_s coefficients at 100% travel. Restricted Trim.

Note: The coefficients shown on this page are also appropriate for the Designs EDR, ET and ETR.

Printed in U.S.A.
 © Ingersoll Rand, 1974

Catalog 10

Page 1-78

May 1974

Anexo H. Diferenciales de presión del sistema

Diferencial de presión sistema

$$\Delta P_s = P_2 - P_1$$

Donde

P_2 : Presión a la descarga (ft)

P_1 : Presión a la succión (ft)

Diferencial de presión disponible

$$\Delta P_d = \Delta P_s - (h_e + h_f + \Delta P_{v.c.})$$

Donde

h_e : Pérdidas por elevación (ft)

h_f : Pérdidas por fricción en tubería y accesorios (ft)

$\Delta P_{v.c.}$: Caída de presión en la válvula de control (ft)

Factor de conversión

$$ft = psi * \frac{2,31}{g.e}$$

Donde

$g.e$: Gravedad específica

Valores y resultados para el sistema de baja presión

Parámetro	Valor
P_2	150,00
P_1	15,00
ΔP_s	135,00
ΔP_d	46,26

Valores y resultados para el sistema de alta presión

Parámetro	Valor
P_2	250,00
P_1	15,00
ΔP_s	235,00
ΔP_d	168,17

Anexo I. Potencia de freno, potencia hidráulica y relaciones de afinidad

Potencia requerida por el motor o potencia de freno

$$bhp = \frac{Q * TDH * g.e}{3960 * \eta}$$

Donde

Q : Caudal (gpm)

TDH : Cabeza total o cabeza total dinámica (ft)

$g.e$: Gravedad específica

η : Eficiencia de la bomba

Potencia hidráulica

$$whp = \frac{Q * TDH * g.e}{3960}$$

Relaciones de afinidad para cambio de diámetro del impulsor

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{D_2}{D_1} \quad \frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 \quad \frac{whp_2}{whp_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3$$

Donde

D : Diámetro del impulsor

H : Cabeza total

Anexo J. Ecuaciones y cálculos de filtro de carbón activado

Área transversal

$$A = \frac{CH}{Q}$$

Donde

CH : Carga Hidráulica (gpm/ft²)

Q : Caudal (gpm)

Diámetro

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

Volumen del lecho

$$V = \frac{Q * \tau}{7,48052}$$

Donde

τ : Tiempo de residencia (minutos)

Altura del lecho

$$H = \frac{4V}{\pi * D^2}$$

Cantidad de carbón requerido

$$m = \rho * V$$

Donde

ρ : Densidad (lb/ft³)

Anexo K. Cabeza total de la bomba del sistema

Cabeza total

$$H = (P_2 - P_1) + (h_2 - h_1) + h_t + \Delta P_{v.c} + \Delta P_f$$

Donde

H : Cabeza total (ft)

$P_2 - P_1$: Presión diferencial (ft)

$h_2 - h_1$: Cabeza para elevar el líquido (ft)

h_t : Pérdidas por fricción en la tubería y accesorios (ft)

$\Delta P_{v.c}$: Caída de presión en la válvula de control (ft)

ΔP_f : Caída de presión en los filtros (ft)

Factor de conversión

$$ft = psi * \frac{2,31}{g.e}$$

Donde

$g.e$: Gravedad específica

Resultados

Parámetro	Valor
P_2 (ft)	560,0
P_1 (ft)	33,6
h_2 (ft)	5,6
h_1 (ft)	4,3
h_t (ft)	9,9
$\Delta P_{v.c}$ (ft)	134,2
ΔP_f (ft)	201,5
H (ft)	873,0
bhp (hp)	115,0
whp (hp)	71,3

Anexo L. Cotización

DE : ELSITIO C0

NO. DE FAX : 4137591

24 MAY. 2006 04:00PM P1



TECNOFILTRACION LTDA.
 Tv Central Metropolitana N°10-32 Bodega #2
 Telefonos 097-6374090- 6373097 6378564
 Telefax: 097-6816140
 Celulares: 315-8942739 311-6304272
tecnofiltracion@intercable.net.co
 BUCARAMANGA - COLOMBIA.



Bucaramanga, 24 de mayo de 2006.
 COT-TF-5644-06

Señores:
 Gerencia Complejo Barranca
 Atención: Ing Carlos Mario Gómez
 Fax: 097-6209993
 Email: carlos.gomez@ecapetrol.com.co
 Barrancabermeja

DISTRIBUIDOR

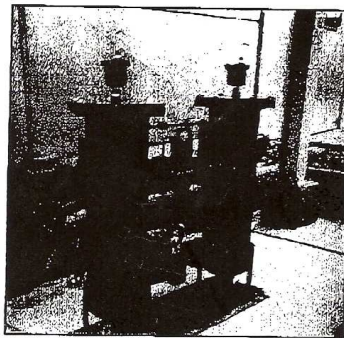


CHAODA VALVES



CODIGO N° 1407 - 1
 USUARIOS: FABRICACION, COMERCIO
 USUARIOS Y REPARACION DE RECI-
 PIENTES A PRESION APPLICADOS A
 FILTRACION Y TRANSFERENCIA PARA FIL-
 TROS LIQUIDOS Y GASEOSOS. Y EB-
 UROS TIPO BUNGELO. DISTRIBU-
 TION Y COMERCIALIZACION
 DE FILTROS PARA COMBUSTIBLE
 NTC - ISO 9001: 2000

Referencia : Cotización mejoras sistema de filtración Amina Cracking Orthoflow F-501 A-B-C-D.



ESTA FOTO CORRESPONDE A UN MODELO SIMILAR, EL OFRECIDO ES SEGUN LAS ESPECIFICACIONES ADJUNTAS

ITEM	CANT	DESCRIPCION	Vr Unitario	Vr Total
1	2	Carcaza Duplex Marca TFL Ref: TFK-12-300-3 Prefiltración con canasta y bolsa IN-OUT 3" 300#, drenaje limpio, pintura externa acrílica, sin pintura interna, tapa apertura rápida, con línea igualadora de presión de 1/4" npt.	\$ 32.480.000	\$64.960.000
2	2	Carcaza Duplex Marca TFL Ref: TFL-12-6AL3 Filtración con elementos CUNO IN-OUT 3" 300#, drenajes sucio limpio, pintura externa acrílica, sin pintura interna, tapa apertura rápida, con línea igualadora de presión de 1/4" npt. Incluyen: A.- PDI análogo local. B.- Postes acero inox, para soporte de elementos CUNO C.- Elementos CUNO Ref G78C8-3N de 10 micrones. D.- Patín en lámina Cold roll 3/16" pintura homeada. E.- Válvulas de mariposa 3", empaques Vitrón. F.- Tees bridadas de 3".	\$ 39.568.000	\$79.136.000

	SUB-TOTAL	\$ 144.096.000
	IVA 16%	\$ 23.055.360
	TOTAL	\$ 167.151.360

3.- CERTIFICADOS DE CALIDAD Y PRUEBAS DE LABORATORIO DE LOS MATERIALES ASI:

COMPONENTE	MATERIALES A UTILIZAR
3.01.-CUERPO	Acero al carbón, ASTM A-106 grado B Diámetro 12" SCH 40
3.02.-CAP	Acero al carbón, ASTM A-234 Diámetro 12" SCH 40
3.03.-TAPA	QUICK OPENING LOWNECKED FLANGED; 12" Acero carbón, ASTM A-105 ANSI 300-600
3.04.-O RING TAPA	Vitón 70 shore.
3.05.-BRIDAS IN - OUT	Slip-on - R.F. Acero carbón ASTM A-105 Diámetro 3-4" ANSI 300
3.06.-COUPLING NPT	3/4" vent. pdi y 1" drenaje inferior. Acero carbón ASTM A-105 x 3000 psi.
3.07.-CANASTAS	SS, AISI 304
3.08.-MALLAS	SS, AISI 304
3.09.-ESPARRAGOS	ASTM A - 193 Gr B7.
3.10.-TUERCAS	ASTM A - 194 Gr 2H.
3.11.-RECUB. INTERN	PRIMER CUERPO ZINC CATACOAT 302 H o SIMILAR PRIMER SOLDADURAS ZINC CATACOAT 303 H o SIMILAR BARRERA RESINA TIPO EPOXIPOLIAMIDA POLIAMIDA O SIMILAR

3.1.- GENERAL

3.1.01.- MARCA		TECNOFILTRACION
3.1.02.- CAPACIDAD		300 gpm
3.1.03.- FLUIDO		Amina
3.1.04.- PRESION DE TRABAJO	300 psi	PRESION DISEÑO 740 PSI
3.1.05.- TEMPERATURA DE TRABAJO		350°F
3.1.06.- ETAPAS		2 MESH/10 µ
3.1.07.- RECUBRIMIENTO EXTERNO	ESP. POR CAPA	3 - 4 MILS
3.1.08.- ESPESOR PRIMER		3-3.5 MILS
3.1.09.- BARRERA		3 - 4 MILS

3.2.- PRUEBAS

Prueba hidrostática	1080 PSI	ASME SECC V
Ensayo Rx 100%		ASME SECC V
Pintura		SSPC-PA2, AB - 1; VISI-89 o ICONTEC 811
Cálculos estructurales		ASME SECC VIII Div 1
Cálculos Coeficiente de Velocidad		Para etapas prefiltración y filtración

3.3.- TECNOFILTRACION LTDA ENTREGARA LOS SIGUIENTES CERTIFICADOS:

- 1.- De calidad de los materiales que se utilicen, adjuntando pruebas de laboratorio.
- 2.- Pruebas operarios soldadores que se utilicen.
- 3.- Procedimiento soldaduras.
- 4.- Calificación del procedimiento de soldaduras.
- 6.- Registro fotográfico de linternas penetrantes, con el correspondiente informe de todas y cada una de las pruebas..
- 7.- Registro fotográfico y certificación del procedimiento de pintura avalado por un Ingeniero especialista.
- 8.- Prueba hidrostática, curva de tendencia de variables presión-temperatura y certificado de manómetros.
- 9.- Pruebas radiográficas al 100% sobre juntas de acuerdo a requerimientos de ASME Sección VIII Div 1
- 10.- Cálculos estructurales se harán según ASME Sección VIII División 1.

4.- FACILIDADES:

- Pescante mecánico para la remoción de la tapa.
Tomas laterales para instalación de sistema de presión diferencial 1/2" NPT.
Tomas superiores para instalación de sistema de venteo manual 3/4 NPT.
Toma inferior en el centro del cup para drenaje 2"NPT.
Placa de identificación en acero inox con todos los datos sobre condiciones de diseño, operación, pruebas etc.

5.-CONTROL DE CALIDAD:

- 1.- Procedimientos de soldadura WPS, de acuerdo con ASME Secc IX.
- 2.- Calificación procedimientos de soldadura PQR, de acuerdo con ASME Secc IX.
- 3.- Procedimiento de calificación operario soldador WPO, de acuerdo con ASME Secc IX.
- 4.- Procedimientos de ensayos no destructivos, verificación según ASME Secc V.
- 5.- Tintas penetrantes a los pases de raíz de todos los cordones de soldaduras aplicadas, con registro fotográfico.
- 6.- Ensayo Rx: 100% de las soldaduras aplicadas en ángulos de 75°
- 7.- Certificación calidad de todos los materiales utilizados.
- 8.- Prueba hidrostática certificada, registro manual variables presión temp. al 1.25 veces la presión de diseño, por espacio de 4 horas, verificada y certificada por un Ingeniero Mecánico con matrícula profesional.

6.-PINTURA: Según norma SSPC (Surface Preparation Specification) SP1,2,3,4,5,6,7,10, SSPC-PA2, SSPC-AB-1, SSPC-VIS1-89. O en su defecto ICONTEC 811.

Procedimiento:

- 1.- Sand blasting con perfil de anclaje de 1.5 a 2.5 mils (1 mils=25 micras) según la Norma SIS 055900 SA3 (Swedish Standard) que exige metal blanco, ICONTEC 892.
- 2.- Primer inorgánico rico en zinc Catha coat 302H, con espesor de 3 a 3.5 mils en el cuerpo, en las soldaduras zinc epóxico Catha coat 303H, con espesor de 5 a 6.5 mils, con película de 10 cm de ancho o equivalente.
- 3.- Barrera, se aplicará una epoxipoliamina poliamida Devco coatings bar rust 236 con espesor de 3 a 4 mils con película seca por capa.
- 4.- Acabado, con poliuretano alifático Ref: DEVTHANE 379 de color Azul oscuro. Con espesor de 3 a 4 mils por capa.
- 5.- Control de calidad: Según norma SSPC-PA-2.
- 6.- Perfil de anclaje con cinta TEST, verificado con rugosímetro.
- 7.- Verificación de adherencia con termocupla de contacto a 500 psi y calibración de espesores certificados por un Ingeniero especialista del fabricante de pinturas Pintuco.

CONDICIONES:

- | | |
|---------------------------|-------------------------------------|
| 1.- VALIDEZ DE LA OFERTA: | 30 DIAS |
| 2.- PLAZO DE ENTREGA : | 45 DIAS CALENDARIO |
| 3.- LUGAR DE ENTREGA: | COMPLEJO INDUSTRIAL BARRANCABERMEJA |
| 4.- FORMA PAGO: | NETO 30 DIAS |

Atentamente,



Samuel Dueñas Bárcenas
Gerente.

ATENCIÓN AL CLIENTE
Email: samuelduenas@cable.net.co
Telefax: 091-6279263 - Celular 315-8942739

Anexo M. Ecuaciones de costos

Costo de capital fijo (FIC)

Costo de capital fijo = Costos directos + Costos indirectos

Inversión total

Inversión total = FIC + Capital de trabajo+ Costo puesta en marcha

Tasa interna de retorno

$$I = B * \left[\frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n * i} \right] - COM * \left[\frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n * i} \right]$$

Donde

I : Inversión inicial

i : Tasa interna de retorno

B : Beneficio

n : Periodo de tiempo

COM : Costos de operación, mantenimiento y reparación

Relación beneficio/costo

$$B/C = \frac{B}{CT}$$

Donde

CT : Costo total

Anexo N. Análisis de resultados estudiantes en práctica



ANÁLISIS DE RESULTADOS ESTUDIANTES EN PRÁCTICA

JENNIFER MALDONADO GOMEZ JESUS RAMIREZ ALVAREZ 232330

 NOMBRE DEL ESTUDIANTE NOMBRE DEL TUTOR DEPENDENCIA

PERIODO ANALIZADO DESDE: Agosto 1 de 2005 HASTA Enero 27 de 2006
 FECHA DE ELABORACIÓN Enero 27 de 2006

CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

Nº	OBJETIVOS	RESULTADOS	% DE CUMPLIMIENTO
1	Optimizar el sistema de filtración de las Unidades de tratamiento con amina de las URC UOP I, UOP II, Orthoflow y Modelo IV		
1.1	Calcular y diseñar filtros mecánicos de mejor eficiencia para los sistemas de tratamiento de las URC's	Calculados filtros mecánicos para las Unidades de Amina de URC UOP I, URC UOP II y URC Orthoflow	100%
1.2	Calcular y diseñar filtros de carbón activado para los sistemas de tratamiento de las URC's	Entregadas especificaciones del lecho y propiedades del carbón activado requeridas para cada sistema	100%
1.3	Elaborar ingeniería conceptual de las reformas a ejecutar para implementar un esquema eficiente de filtración en los sistemas de tratamiento con amina de las URC's	Entregada ingeniería conceptual para las reformas requeridas en planta	100%
2	Realizar estudio técnico - económico para selección de una amina secundaria ó terciaria para el sistema de tratamiento de UOP I en reemplazo de la MEA empleada actualmente.		
2.1	Revisar información existente del desempeño de la MEA en la URC UOP I	Efectuado análisis de cargas y productos en la URC UOP I para evaluar el desempeño de la MEA	100%

2.2	Revisar las mejores prácticas de amina planteadas por Shell Global Solutions en la GCB	Revisadas mejores prácticas para las Unidades de Amina según SGSI	100%
2.3	Efectuar consultas a proveedores de aminas sobre información técnica	Efectuada consulta a la firma BASF para utilización de nuevos solventes en las Unidades de Amina	100%
2.4	Preparar y entregar estudio técnico - económico	Incluidas recomendaciones en el informe final	100%
3	Simular el sistema de regeneración de amina de Orthoflow		
3.1	Recopilar información de proceso asociada a este circuito.	Estudio efectuado a cada sistema en las URC para definir el caso base	100%
3.2	Verificar información y datos mecánicos en planos de equipos de este sistema.	Efectuada revisión de data sheets mecánicos de los equipos a incluir en la simulación	100%
3.3	Simular y entregar informe con las condiciones óptimas de operación y las posibilidades de mejora al diseño de la torre despojadora.	Entregado cronograma y plan de actividades para efectuar la simulación de los sistemas de tratamiento con amina	100%

OBSERVACIONES:

A pesar del corto tiempo asignado para la realización de su práctica industrial, se logró cumplir con los objetivos propuestos en forma excelente y con resultados de muy buena calidad. Se destaca en ella su compromiso, respeto por las normas, responsabilidad, trabajo en equipo y liderazgo durante su estadía en la Empresa. Fruto de su trabajo quedan algunas recomendaciones y compromisos que deberán ser ejecutados en el transcurso de este año de parte nuestra.

ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTOS INDIVIDUALES OBSERVABLES

FACTORES	EXCELENTE	ALTO	ACEPTABLE	BAJO	DEFICIENTE
CONOCIMIENTOS: EL NIVEL DE CONOCIMIENTOS TÉCNICOS, PRÁCTICOS Y PROFESIONALES ES:	X				
HABILIDAD ADMINISTRATIVA: LAS APTITUDES PARA COORDINAR, INTEGRAR PLANEAR Y CONTROLAR LAS DIFERENTES ACTIVIDADES A SU CARGO SON:		X			
RELACIONES HUMANAS: LA CAPACIDAD PARA ESCUCHAR, COMPRENDER, INFLUIR Y MOTIVAR A OTROS, ASÍ COMO LA EFECTIVIDAD EN LAS RELACIONES DE TRABAJO, LA PARTICIPACIÓN, DISPOSICIÓN EN INTEGRACIÓN CON EL GRUPO ES:		X			
INICIATIVA: LA RECURSIVIDAD PARA PROPONER Y EMPRENDER DIFERENTES FORMAS DE TRABAJO, APORTAR IDEAS CONSTRUCTIVAS QUE CONTRIBUYAN A LA REALIZACIÓN EXITOSA DEL TRABAJO ES:	X				
CAPACIDAD DE ANÁLISIS: LA CAPACIDAD DE PENSAR, RAZONAR Y FORMULAR ESTRATEGIAS DE SOLUCIÓN EN EL MANEJO DE PROBLEMAS ES:	X				
CALIDAD DE TRABAJO: SU ACTIVIDAD PARA EVITAR ERRORES BRINDAN UNA MEJOR CALIDAD Y EFICIENCIA EN SU TRABAJO ES:	X				
ORIENTACIÓN DE RESULTADOS: EL TRABAJO REALIZADO SE ORIENTA HACIA LOS OBJETIVOS PLANTEADOS DE MANERA:	X				
DESARROLLO MORAL: EL INTERÉS Y LA DISPOSICIÓN PARA TRABAJAR Y ACTUAR ACORDE A LOS VALORES CORPORATIVOS DE LA EMPRESA SON:	X				
SEGURIDAD INDUSTRIAL: LA HABILIDAD PARA EVITAR ACTOS INSEGUROS Y PROMOVER LA SEGURIDAD ES:	X				


 TUTOR
 27592


 JEFE DE DEPARTAMENTO


 ESTUDIANTE