



**ALTERNATIVAS PARA LA REGULACIÓN DE LA ENTRADA DE
GAS ÁCIDO DESDE EL CABEZAL DE GAS ÁCIDO A LA PLANTA
DE AZUFRE II, CUANDO EL CABEZAL DE GAS ÁCIDO SE
ENCUENTRA EN FUNCIONAMIENTO.**

PABLO SIMON REQUENA PEREZ.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Facultad de Ingenierías Físicoquímicas.
Escuela de Ingeniería Química
Bucaramanga, 2009.**



**ALTERNATIVAS PARA LA REGULACIÓN DE LA ENTRADA DE
GAS ÁCIDO DESDE EL CABEZAL DE GAS ÁCIDO A LA PLANTA
DE AZUFRE II, CUANDO EL CABEZAL DE GAS ÁCIDO SE
ENCUENTRA EN FUNCIONAMIENTO.**

PABLO SIMON REQUENA PEREZ

**Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniero Químico.
Practica Industrial
Gerencia Refinería Barrancabermeja
GRB-ECOPETROL S.A.**

**Tutor.
Ing. Qco Cesar Morales.
Jefe Departamento de Cracking III
GRB- ECOPETROL S.A.**

**Director.
Ing. Qco M. Sc. CRISOSTOMO BARAJAS FERREIRA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Facultad de Ingenierías Físicoquímicas.
Escuela de Ingeniería Química
Bucaramanga, 2009.**

TABLA DE CONTENIDO.

| | Pagina. |
|---|----------------|
| INTRODUCCIÓN. | 1 |
| 1. CONCEPTOS TEORICOS. | 3 |
| 1.1 Válvula Mariposa. | 3 |
| 1.2 Posicionador. | 4 |
| 1.3 Ácido Sulfhídrico, H ₂ S. | 5 |
| 1.4 Cabezal de Gas Ácido. | 6 |
| 1.4.1 Objetivos del cabezal de gas acido. | 6 |
| 1.5 Reporte de Incidentes Ambientales por emisión de gases de azufre. | 7 |
| 1.6 Planta de Ácido. | 9 |
| 1.7 Planta de Azufre. | 9 |
| 1.8 Planta de Amina. | 9 |
| 1.9 Gas Ácido de Aguas Residuales (GADAR). | 9 |
| 1.10 HAZOP. | 9 |
| 1.11 Analizador de Demanda de Aire. | 10 |
| 1.12 Sellos Hidráulicos de Azufre. | 10 |
| 2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ACTUAL. | 11 |
| 3. ALTERNATIVAS. | 13 |
| 3.1 Alternativa número uno. Adaptar posicionador a la válvula UV-28851, para funcionamiento manual desde el cuarto de control. | 13 |



| | Pagina. |
|---|----------------|
| 3.1.1 Acciones recomendadas para la alternativa numero uno. | 15 |
| 3.2 Alternativa número dos. Adaptar posicionador a la válvula uv-28851, para funcionar en lazo cerrado con el controlador de presión del PIC-28810A. | 16 |
| 3.2.1 Acciones recomendadas para la alternativa número dos. | 19 |
| 3.3 Alternativa numero tres. Ubicación de una nueva válvula en el cabezal, en lazo de control con el PIC-28810A. | 19 |
| 3.3.1 Estrategia de compra de la válvula. | 21 |
| 3.3.1.1 Especialidad de Proceso. | 21 |
| 3.3.1.2 Especialidad de Control y Electrónica. | 22 |
| 3.3.1.3 Especialidad Eléctrica. | 23 |
| 4. ANÁLISIS ECONOMICO DE LAS ALTERNATIVAS. | 23 |
| 5. CONCLUSIONES. | 24 |
| 6. RECOMENDACIONES. | 25 |
| 7. BIBLIOGRAFIA. | 26 |



LISTA DE FIGURAS.

| | Pagina. |
|---|----------------|
| Figura 1. Posicionador y válvula mariposa excéntrica. | 4 |
| Figura 2. Diamante de seguridad del H ₂ S. | 5 |
| Figura 3. Fosa del Cabezal de Gas Ácido. | 7 |
| Figura 4. Cabezal de Gas Ácido en Azufre II. | 11 |
| Figura 5. Horno H2880. | 13 |
| Figura 6. Válvula UV-28851 del Cabezal de Gas Ácido. | 14 |
| Figura 7. Esquema de control Alternativa 2. | 17 |
| Figura 8. Grafico datos PI. | 18 |
| Figura 9. INPLANT, Caso 2. | VIII |

| | Pagina. |
|--|----------------|
| Tabla 3.2.2.2 Datos operacionales Amina Orthoflow. | V |
| Tabla 3.2.2.3 Datos operacionales Amina 2. | VI |
| Tabla 3.2.2.4 Datos operacionales Azufre 2. | VI |
| Tabla 3.2.2.5 Análisis Hidráulico caso 1. | VII |
| Tabla 3.2.2.6 Análisis Hidráulico caso 1. | VII |
| 3.2.3 Caso 2. | VIII |
| Tabla 3.2.3.1 Entrega Amina 3 y Amina 2, recibe planta de Azufre 2. | VIII |
| Tabla 3.2.3.2 Datos operacionales Amina 3 | IX |
| Tabla 3.2.3.3 Datos operacionales Amina 2 | IX |
| Tabla 3.2.3.4 Datos operacionales Azufre 2 | IX |
| Tabla 3.2.3.5 Análisis Hidráulico caso 2. | X |
| Tabla 3.2.3.6 Análisis Hidráulico caso 2. | X |
| 3.2.4 Caso 3. | XI |
| Tabla 3.2.4.1 Entregan Amina Orthoflow, Amina 2 y Amina 3 a Azufre 2. | XI |
| Tabla 3.2.4.2 Datos operacionales Amina Orthoflow. | XI |
| Tabla 3.2.4.3 Datos operacionales Amina 3. | XII |
| Tabla 3.2.4.4 Datos operacionales Amina 2. | XII |
| Tabla 3.2.4.5 Datos operacionales Azufre 2. | XII |
| Tabla 3.2.4.6 Análisis Hidráulico caso 3. | XIII |



| | Pagina. |
|---|----------------|
| Tabla 3.2.4.7 Análisis Hidráulico caso 3. | XIV |
| Tabla 4. Especificación para una nueva válvula. | XIV |
| 5. Simulación hidráulica con cambio de la válvula UV-28851. | XV |
| Tabla 5.1 Simulación hidráulica con cambio de la válvula UV-28851 y Amina 3 en 11 psig. | XV |
| Tabla 5.2 Simulación hidráulica con cambio de la válvula UV-28851 y Amina 3 en 12 psig. | XVI |
| Tabla 5.3 Simulación hidráulica con cambio de la válvula UV-28851 y Amina 3 en 12 psig. | XVII |
| Tabla 6. Presión de aire de instrumentos en las unidades de Balance. | XVIII |
| Tabla 7. Análisis económico de las alternativas. | XIX |



ANEXOS.

Anexo A. Esquema del cabezal de gas ácido.

Anexo B. Datasheet original de la válvula UV-28851 y numero de serie.

Anexo C. HAZOP válvula UV-28851 como proporcional.

Anexo D. Instructivo para la puesta en marcha del cabezal de gas ácido, Código OMC-EC-I30 (02) Subsistema 2.

Anexo E. Cotización del posicionador.

Anexo F. Cotización Caudalimetro Ultrasónico.



RESUMEN.

TITULO: ALTERNATIVAS PARA LA REGULACIÓN DE LA ENTRADA DE GAS ÁCIDO DESDE EL CABEZAL DE GAS ÁCIDO A LA PLANTA DE AZUFRE II, CUANDO EL CABEZAL DE GAS ÁCIDO SE ENCUENTRA EN FUNCIONAMIENTO.*

AUTOR: REQUENA PEREZ, Pablo Simón. **

PALABRAS CLAVES: Sulfuro de hidrogeno, Cabezal de Gas Ácido, Planta de Azufre, Válvula.

El sulfuro de hidrogeno H_2S es una sustancia altamente toxica para las personas y el medio ambiente. El H_2S se encuentra en altas concentraciones en el gas ácido producido en la refinación del petróleo, por lo que es necesario el aseguramiento de la confiabilidad de todos los sistemas en los que interviene el gas ácido en una refinería, como sucede con el cabezal de gas ácido de la Gerencia Refinería Barrancabermeja cuando se encuentra alineado hacia planta de azufre II.

En el siguiente trabajo se presentan los estudios realizados para asegurar el control del cabezal de gas ácido en la planta de azufre II, evitando problemas operacionales en las plantas asociadas, posibles salidas de operación de una de estas a causa de los disturbios y los consecuentes eventos ambientales ante la imposibilidad de las plantas de consumir gas ácido y enviarlo a quemar en los sistemas de teas.

Para la elaboración del estudio y la obtención de la mejor alternativa para control se utilizo el programa INPLANT en el que esta simulada la hidráulica del cabezal, así como el programa para el cálculo del coeficiente de válvula(C_v) del fabricante FISHER, todo con el fin de conocer los grados de apertura con los que trabaja la válvula de cada una de las alternativas planteadas según datos obtenidos por la simulación del cabezal, encontrando como una muy buena opción la implementación de una estrategia de control de presión que involucre al cabezal de gas ácido con la planta de azufre II.

*Trabajo de grado.

** Facultad de Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química.
Director M.Sc. Crisóstomo Barajas.



ABSTRACT.

TITLE: ALTERNATIVES TO THE REGULATION OF ENTRY OF ACID GAS FROM THE HEAD OF THE ACID GAS TO SULFUR PLANT II, WHEN THE HEAD OF THE ACID GAS IS IN OPERATION.*

AUTHOR: REQUENA PEREZ, Pablo Simón. **

KEY WORDS: hydrogen sulfide, head gas, Sulfur Plant, Valve.

Hydrogen sulfide H_2S is a substance highly toxic to humans and the environment. The H_2S is found in high concentrations in the acid gas produced in oil refining. For this reason it is necessary to ensure the reliability of all systems in which the acid gas is involved in a refinery, like the one in Barrancabermeja when the head gas acid is aligned to sulfur plant II.

The following project presents the results from different research techniques to ensure control of the head of gas at the sulfur plant II. This is to avoid operational problems associated with the plant, potential outputs of such an operation because of the riots and the resulting events environment of the inability of plants to consume gas and send it to burn in systems torches.

To obtain the best alternative to control program in this project the INPLANT program was used. This program simulated hydraulic head and calculated the valve coefficient (C_v) with the program of the manufacturer FISHER, in order to know the degree of openness with which the valve of each of the alternatives raised according to data obtained by the head simulation, finding a very good to implement a control strategy involving the head pressure of gas acid with sulfur plant.

*Internship project.

**Faculty of Physico-chemical. School of Chemical Engineering.
Director M.Sc. Crisóstomo Barajas.



INTRODUCCIÓN.

El cabezal de gas ácido (gas tóxico con alto contenido de sulfuro de hidrógeno, H_2S) es un sistema de tuberías diseñado para facilitar el transporte de este gas entre las unidades de amina de las unidades de reacción catalítica de la Gerencia Refinería Barrancabermeja GRB-ECOPETROL, las unidades recuperadoras de azufre II y III, y la unidad regeneradora de ácido sulfúrico (Anexo A, Esquema del cabezal).

Este sistema de tuberías funciona de forma permanente entre la unidad de amina de la Cracking Orthoflow y la planta regeneradora de ácido sulfúrico H_2SO_4 . Esta sección (fase 0) del cabezal se encuentra en funcionamiento desde el año 1982; la puesta en funcionamiento de la fase I (creada en el año 2003) que conecta a la planta de ácido con azufre III y la fase II (creada en el año 2006) que une a azufre III con azufre II, depende de la salida de servicio de alguna unidad recuperadora de azufre o la unidad de ácido sulfúrico, por lo que el estado normal de las fases I y II del cabezal de gas ácido es empacado con N_2 .

Es así como mediante el uso del cabezal se limitan los incidentes ambientales por quemaduras de gas ácido en las teas.

La carga de gas ácido de las plantas recuperadoras de azufre U2880 y U4360, proviene de las unidades de amina de las cracking UOP I y UOP II respectivamente. A su vez la U-2880 también puede recibir gas ácido de la unidad de aguas agrias U2590.



La operación del cabezal en la U2880 (azufre II) presenta deficiencias porque no se puede regular el flujo de entrada de gas ácido desde el cabezal a la unidad de azufre II ya que la válvula UV-28851 (Anexo B, Datasheet original y numero serie de la válvula UV-28851) de admisión de gas opera on/off, esta limitación en la regulación del flujo ha presentado en varias ocasiones problemas en la estabilidad de la presión de la unidad de azufre II y en la unidad de amina II. Esta dificultad también se debe a las diferencias entre las presiones de las unidades de amina conectadas al cabezal, ya que en muchas ocasiones al llegar el fluido a través del cabezal no posee la presión suficiente para ingresar con el gas ácido que proviene de amina II.

Cambios en la presión en la planta de azufre II ocasiona también problemas operacionales como el disparo de los sellos de azufre, por lo que se hace necesaria una estrategia de control para la presión.

El objetivo del estudio es plantear las mejores alternativas para la regulación del flujo de entrada de gas ácido para brindar confiabilidad a la utilización del cabezal cuando se encuentra alineado hacia la planta de Azufre II (U-2880).



1. CONCEPTOS TEÓRICOS

1.1 Válvula mariposa: Las válvulas de mariposa son usadas en la industria para el manejo de líquidos, gases y sólidos.

Aunque son excelentes válvulas de control, su uso más común es para cierre. El funcionamiento básico es sencillo pues sólo requiere una rotación de 90° del disco para abrirla por completo, esto ha incrementado bastante el empleo de estas válvulas con control automatizado remoto o local.

Debido a sus características de flujo rectilíneo con aperturas entre 20° y 70°, son adaptables para aplicaciones de control. La válvula de mariposa es ideal para aplicaciones de control en donde se necesita mínima pérdida de presión.

La válvula con revestimiento elástico tiene la ventaja de que aísla el fluido del proceso del cuerpo de la válvula. La camisa elástica se moldea con diversos tipos de elastómeros para que sea compatible con casi cualquier fluido de proceso. La válvula de mariposa con camisa es de cierre positivo. El sellamiento se obtiene al hacer penetrar el disco metálico en el asiento de elastómero hasta que se produce una presión unitaria en el elastómero mayor que la presión de diseño de la válvula.

Dado que el disco gira para asentar o separarse del elastómero es de auto limpieza y requiere poca o ninguna lubricación.

Una característica importante es que el disco sólo hace contacto con el asiento en unos cuantos grados de rotación durante el cierre de la válvula; esto reduce el desgaste del sello y evita su deformación permanente. Además, como el sello no tiene rozamiento contra el disco cuando la válvula está en posición de estrangulación, hay baja fricción y se requiere menor torsión (par) para su accionamiento. La válvula de

mariposa de disco excéntrico, igual que la de bola, tiene asientos de elastómero o de metal.

1.2 Posicionador (Controladores digitales de válvula):



Figura 1, Posicionador y válvula mariposa excéntrica.

Los controladores digitales de válvula son instrumentos de comunicación de corriente a neumático basados en microprocesador. Además de la tradicional función de convertir una señal de corriente de entrada en una presión de salida neumática, los controladores digitales de válvula se comunican mediante el protocolo HART.

Los controladores digitales de válvula usan una leva (diseñada para respuesta lineal) y un rodillo como mecanismo de realimentación.

1.3 Ácido Sulfhídrico, H₂S: El ácido sulfhídrico (H₂S) es un gas incoloro inflamable, de sabor algo dulce y olor a huevos podridos; en altas concentraciones puede ser venenoso. Otros nombres con los que se conoce incluyen ácido hidrosulfúrico, gas de alcantarilla y sulfuro de hidrógeno. Generalmente se puede detectar el olor a bajas concentraciones en el aire, entre 0.0005 y 0.3 partes por millón (ppm) (0.0005 a 0.3 partes de ácido sulfhídrico en 1 millón de partes de aire). Sin embargo, en altas concentraciones, una persona puede perder la capacidad para olerlo. Esto puede hacer al ácido sulfhídrico muy peligroso.

El ácido sulfhídrico es liberado principalmente en forma de gas y se dispersa al aire. Sin embargo, en algunas ocasiones, puede ser liberado en el residuo líquido de una industria o como resultado de un evento natural. Cuando se libera en forma de gas, permanece en la atmósfera durante un promedio de 18 horas. En este período, el ácido sulfhídrico puede transformarse a anhídrido sulfuroso y a ácido sulfúrico. El ácido sulfhídrico es soluble en agua, formando un ácido débil.

(Ver tabla 1, Efectos en la salud producidos por exposición al H₂S).

DIAMANTE DE SEGURIDAD DEL H₂S.



Figura 2, Diamante de seguridad del H₂S.



1.4 Cabezal de gas ácido: La Gerencia Refinería Barrancabermeja diseñó y construyó un sistema de tuberías que interconecta las unidades de amina productoras de gas ácido, pertenecientes a las plantas de Orthoflow, modelo IV (fuera de servicio), Cracking UOP I (Amina II) y Cracking UOP II (Amina III).

En ellas se genera gas rico en H_2S (65-80%), el cual es enviado a las plantas consumidoras de H_2S como son las unidades de azufre ó en la planta de ácido sulfúrico, asociadas a cada unidad de amina.

Este proyecto está enmarcado dentro de la Política Ambiental de ECO PETROL S.A. y el compromiso de la Empresa con las normas ambientales vigentes y aplicables a sus operaciones, en particular las relacionadas con las emisiones de SO_x a la atmósfera.

1.4.1 Objetivos del cabezal de gas ácido.

Flexibilizar la operación en caso de que alguna unidad consumidora de H_2S salga de servicio. El gas ácido que normalmente debería tratar esa planta ya no se enviaría totalmente a la tea, podría ser enviado a otra u otras plantas consumidoras.

Disminuir las emisiones de SO_x a la atmosfera, esto es consecuencia directa de la disminución en la cantidad de H_2S quemado en el sistema de tea.

Considerando la composición del gas ácido y con ocasión de una disminución de la temperatura, puede presentarse condensado del vapor de agua presente en el gas, por lo que se diseñó e instaló un calentamiento a través de un tracing eléctrico tipo piel, sin embargo en caso de que se presente condensado existen seis tambores ubicados en fosas, a lo largo del cabezal, para la recolección de estos líquidos y

con bombas de desplazamiento positivo enviarlos al sistema de aguas agrías.



Figura 3, Fosa del Cabezal de Gas Acido.

1.5 Reporte de incidente ambiental por emisión de gases de azufre:

1. La emisión se cuantifica como toneladas de SO_2 , porque es el parámetro definido en la norma de calidad de aire y emisiones (Decreto 02 de 1982).
2. Se definió que para las condiciones actuales la concentración de azufre en la carga de crudo y carga de gasóleos es 0,9%.
3. Con base en el punto 2, El valor objetivo para la emisión normal de SO_2 en las teas ácidas es:
 - Tea 2: 6 ton/día de SO_2
 - Tea 6: 2 ton/día de SO_2
 - Tea 7: 2 ton/día de SO_2

4. Niveles establecidos en la Hoja de vida del indicador de la Vicepresidencia de Refinación y Petroquímica, VRP:

- Nivel 2: Quema entre 1 - 2,5 veces la quema normal - no va al TBG (Tablero Balanceado de Gestión).
- Nivel 3: Quema entre 2,5 - 5 veces la quema normal - va al TBG
- Nivel 4: Quema entre 5 -10 veces la quema normal - va al TBG. Si esta condición continua más de un día se debe revisar la operación de la planta generadora de H₂S y tomar la decisión de apagar esta planta.

5. El valor "oficial" de la quema de H₂S y emisión de SO₂, lo calculará diariamente el departamento de apoyo técnico a la producción por balance másico de las cargas a las plantas de azufre y ácido y este valor irá a PI. La coordinación de higiene y seguridad será el veedor para que esto se lleve a cabo.

6. Si las condiciones de concentración cambian se aplicará el factor de conversión así:

Toneladas de SO₂/día x (concentración real de azufre en gasóleos / 0,9).

7. Con base en esto se revisarán los eventos ocurridos en el año y se aclarará si fue o no evento ambiental.



1.6 Planta de ácido: La unidad de regeneración de ácido sulfúrico, fue diseñada para producir 90 toneladas métricas por día de ácido sulfúrico del 98.5 % de concentración, a partir del gas proveniente del Horno de descomposición, mediante una combinación de ácido gastado al 90% de concentración y la combustión del gas ácido H_2S .

1.7 Planta de azufre: El propósito de las unidades recuperadoras de azufre es convertir el H_2S en azufre elemental. No se permite el venteo de los gases ácidos a la atmósfera dada su altísima toxicidad. Si se queman en el sistema de la tea los contaminantes excederían los estándares permitidos.

1.8 Planta de amina: La unidad de tratamiento con amina es un proceso continuo para el lavado de materiales ácidos tales como el sulfuro de hidrógeno (H_2S) de las corrientes de hidrocarburos. La sección de tratamiento de gases con amina absorbe gases ácidos como el H_2S y el CO_2 de mezclas gaseosas. El H_2S de la cima de la despojadora es enviado a la unidad de recobro de azufre.

1.9 Gas ácido de aguas residuales (GADAR): El Gas Ácido proveniente de la despojadora de Aguas Agrias (U-2590) a $185^{\circ}F$ y 12 PSIG.

1.10 HAZOP: Estudio de análisis de riesgos y operabilidad
(Hazard and Operability Study).

1.11 Analizador de demanda de aire: Para una recuperación óptima de azufre, la relación de H_2S/SO_2 en todos los puntos después del horno de reacción deberá ser exactamente de 2/1. Esta relación depende de la cantidad de aire suministrado al horno. Con el fin de controlar la cantidad adecuada de aire a la planta de azufre se utiliza una combinación de tipos de control por adelanto y por retroalimentación (feed forward y feed back, respectivamente).

Los caudales de los gases ácidos de amina (GAA), de la despojadora de Aguas Agrias (GADAR si lo hay) y el de gas combustible se miden y los diferentes requerimientos de aire por corriente se suman y se envía esta señal al controlador de relación el cual ajusta la cantidad de aire llamado “grueso”. El anterior control por adelanto permite a la planta de Azufre compensar el caudal de aire requerido para responder a los cambios en los caudales de GAA, GADAR y gas combustible. La relación de H_2S/SO_2 del gas de cola hacia el incinerador H-2881 se mide en forma continua por el analizador DuPont, cuya señal es utilizada para enviar el punto de ajuste al controlador de aire “fino” ofreciendo de esta forma un control por retroalimentación que le permite a la planta ajustarse a las variaciones en las composiciones, temperaturas, presiones de GAA, GADAR y gas combustible.

1.12 Sellos hidráulicos de azufre: Tubos concéntricos que utilizan la cabeza hidrostática de una columna de azufre líquido para prevenir el escape de los gases de proceso.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ACTUAL.

La planta U2880 o unidad recuperadora Azufre II, obtiene su carga de gas ácido de la planta de Amina II, en las unidades de Balance. Esta carga es regulada por el PIC-28702, ubicado a la salida del D2877 en la unidad de amina (ver figura 4), el cual controla la presión de la torre despojadora T-2874, dejando salir mayor o menor flujo hacia el horno H2880 de la unidad Azufre II.

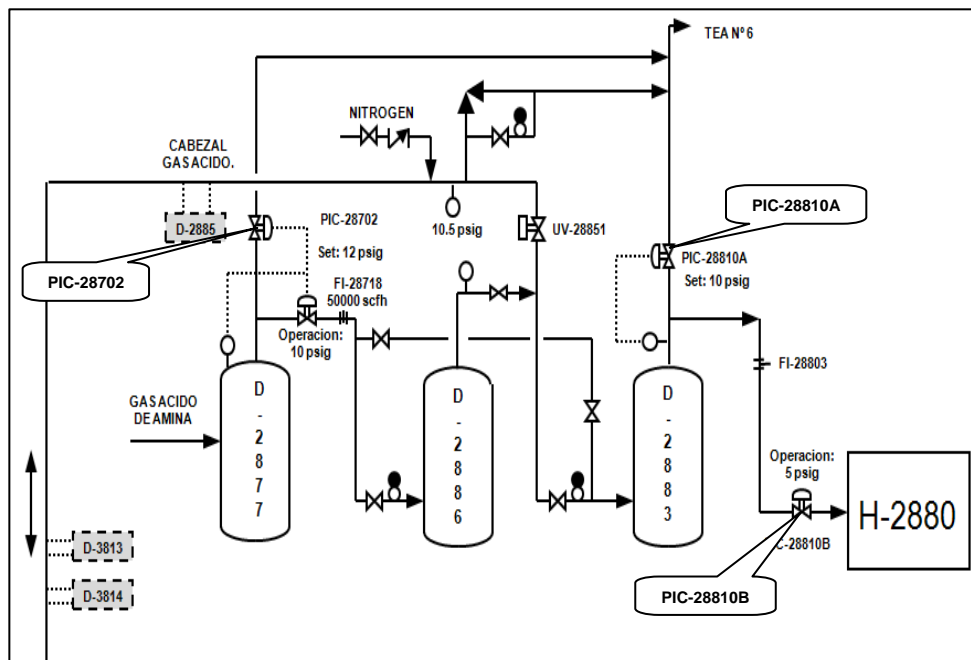


Figura 4, Cabezal en Azufre II.

El cabezal de gas ácido en la unidad U-2880 (Azufre II) es empleado para recibir la carga de planta de ácido o Azufre III, cuando estas unidades están en parada o para entregar el gas ácido de Amina II, cuando esta parada la unidad de Azufre II. Actualmente la operación del cabezal en la U-2880 (azufre II), se realiza abriendo la válvula UV-28851 de admisión de gas ácido (Anexo B, Datasheet de diseño y



numero de serie), la cual abre o cierra manualmente el operador desde el cuarto de control de la unidad (DCS).

Es así como el sistema al permitir el ingreso de todo el gas ácido desde el cabezal presenta dificultades porque ocurre un desbalance en las presiones del cabezal y la unidad de Amina II, que termina por afectar la operación de planta de Azufre II. Se ha presentado que parte del gas de Amina II se dirige hacia el cabezal cuando la presión en Amina II es mayor que la del cabezal en límites de la unidad de Azufre II. En caso de que la presión en el cabezal sea mayor que la de amina II al no haber control sobre su flujo de entrada también se ha presentado incrementos en la presión del horno H-2880 de la unidad de Azufre II (figura 5).

El controlador de presión de la torre despojadora de gas ácido de la unidad de Amina II, el PIC-28702 ubicado a la salida del D2877, de forma indirecta regula el flujo de carga de gas ácido desde amina U2870 al horno H-2880 de la planta de Azufre II, este PIC-28702 está ubicado antes del D2883, tambor que recibe el gas ácido del cabezal, por lo tanto no se puede regular el flujo de gas proveniente desde el cabezal. Adelante del D2883 se cuenta con el PIC-28810B diseñado para controlar la carga al horno, y que se encuentra en operación normal 100% abierto, esto debido a que la unidad de azufre esta implementada para que reciba todo el gas ácido de Amina II, el cual viene controlado por el PIC-28702, por lo tanto con este instrumento no se ejerce control.

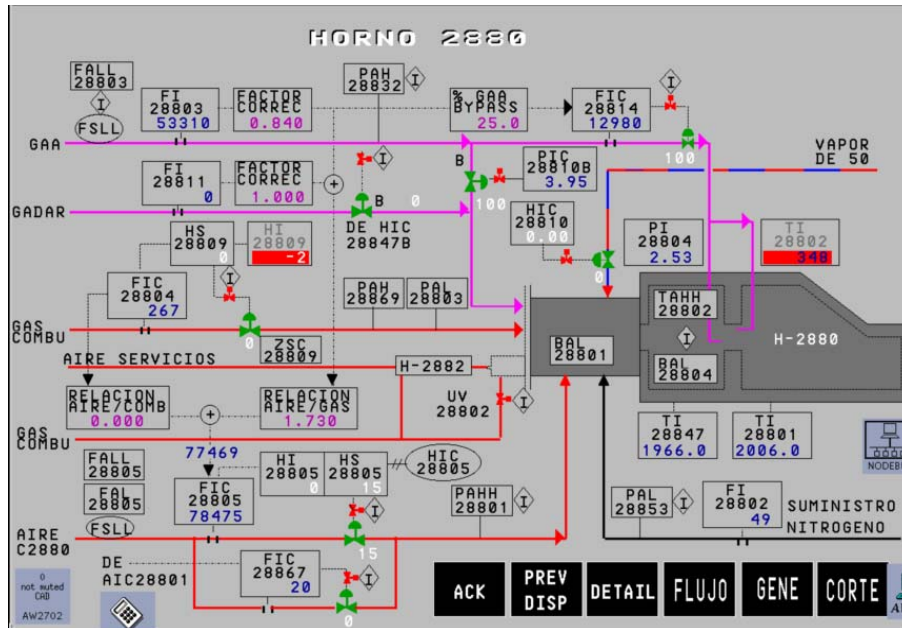


Figura 5, Horno H-2880.

3. ALTERNATIVAS.

3.1 Alternativa número uno.

Adaptar posicionador a la válvula UV-28851, para funcionamiento manual desde el cuarto de control.

Según lo anterior, se hace necesario implementar una estrategia para asegurar el control de la presión del horno de la planta de Azufre II que permita regular el flujo de entrada de gas ácido desde el cabezal a la unidad de Azufre II, para esto se decide revisar la viabilidad del cambio de función de la válvula UV-28851, ***“válvula de corte de emergencia para aislar el sistema del cabezal de gas ácido por incendio o ruptura de la línea y es operada desde el DCS, independiente del Emergency Shut Down de la unidad de Azufre II”***



Para determinar la modificación propuesta en el control de la válvula UV-28851 con ayuda de la simulación de la hidráulica del cabezal realizada por el Instituto Colombiano de Petróleos ICP con el programa INPLANT (ver Tabla 3), se obtuvieron las caídas de presión del sistema para los diferentes casos operacionales del cabezal y de esta forma saber cuáles serán las caídas de presión que debe asumir nuestra válvula y poder especificarla, para luego con la ayuda del programa FIRSVUE de FISHER calcular los coeficientes de la válvula y su apertura según la norma ANSI/ISA-75.01.01-2002.

La curva característica de la válvula UV-28851 del cabezal hacia U-2880 (azufre II) consultada con PUFFER COLOMBIA distribuidor de FISHER (fabricante de la válvula) indica valores pequeños de apertura, lo recomendado por el fabricante es que la válvula trabaje en un valor de apertura de 20-70%, evitando de esta forma problemas de control y erosión en los internos de la válvula, sin embargo dada la condición de evitar actividades intrusivas en la línea, se podría utilizar la UV-28851 no solo como *On/Off* sino también usarla como válvula reguladora de flujo con la sola adaptación de un posicionador(ver anexo C HAZOP válvula UV-28851 como proporcional).

3.1.1 Acciones recomendadas para la alternativa numero uno.

- Comprar e instalar el posicionador FISHER tipo DVC6020/DVC6000 FIELDVUE a la válvula UV-28851 marca FISHER 8560 tipo mariposa de control de disco excéntrico (Anexo E, Cotización del posicionador).
- Llevar la señal análoga de comando de la válvula (4-20 mA) desde el DCS hasta el posicionador de la válvula en campo; se



debe verificar puntos disponibles en cajas de conexión de señales análogas cercanas para usar preferiblemente uno de estos, pues en su defecto se tendría que tender cableado desde el cuarto satélite hasta la válvula.

- Configurar en el DCS el control de la válvula UV28851, conservando el corte que funciona actualmente mediante señal a solenoide que corta el aire de suministro a la válvula.

3.2 Alternativa número dos.

Adaptar posicionador a la válvula UV-28851, para funcionar en lazo cerrado con el controlador de presión PIC-28810A.

La unidad cuenta con el D-2883 ubicado antes del horno H-2880, el cual es un tambor utilizado para recolectar los líquidos que se condensan del gas ácido y enviarlos al sistema de aguas agrias de la refinería.

Este tambor posee control de presión, con el PIC-28810A, enviando el gas hacia la tea número 6 al alcanzar 10 psig de presión, de esta forma se evita que se eleve demasiado la presión en la planta Azufre II.

Una alternativa viable para brindar confiabilidad a la planta Azufre II cuando el cabezal de gas ácido se encuentra alineado es la de crear un lazo de control entre el controlador de presión del PIC-28810A y la válvula UV-28851.

Este controlador permitiría abrir la válvula para consumir mayor gas ácido del cabezal cuando el tambor D-2883 se encuentre a una presión entre 5 y 8 psig, presión a la que la válvula deberá comenzar a cerrar el paso de gas ácido desde el cabezal, ya que el set del PIC-28810A a la

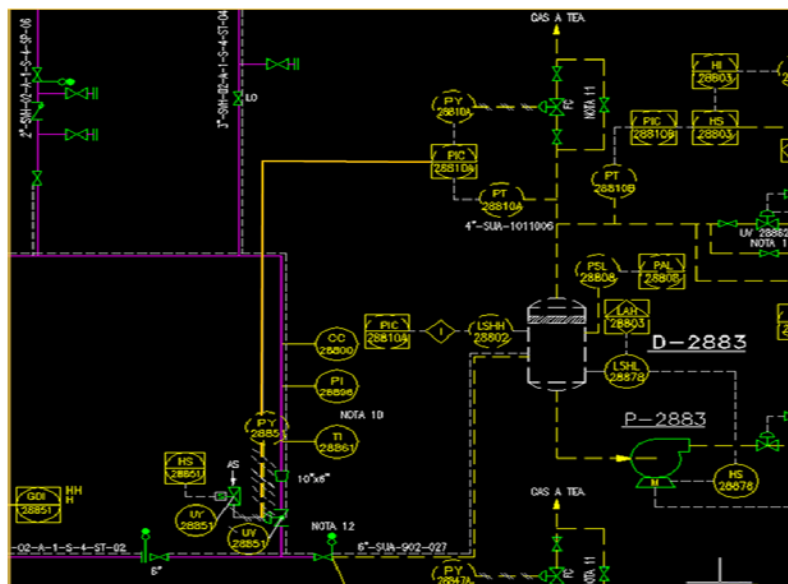
tea es de 10 psig. Para esta alternativa es necesario configurar alarma en el DCS para una alta presión (9 psig) del D-2886.

Para la operación del sistema es importante conocer el flujo volumétrico de gas ácido que ingresa a la unidad a través del cabezal, para esta medida se puede utilizar la diferencia entre la medición del flujo del FI-28718 y el FI-28803 ubicados en la unidad de amina y en la unidad de azufre II, respectivamente (ver figura 4). Se plantea esta opción de medición ya que no se encontró en el mercado un sistema de medición no intrusivo, apto para gases.

Para poder utilizar esta diferencia en la indicación del flujo es necesario revisar y asegurar previamente la indicación del flujo de estas platinas de orificio.

En la figura 7 se muestra el esquema de control actual y futuro del sistema respectivamente.

Figura 7.



Nota: en color amarillo el lazo actual y en naranja el lazo propuesto.

Si se decidiera implementar esta alternativa se recomienda tener en cuenta la siguiente corrección para la medición de los flujos del FI-28718 y el FI-28803 (Ver Tabla 2).

Flujo corregido en FI-28803= Flujo Indicado FI-28803 + (-1,362*FI28803 + 80738) [ft³/ hr @ 60 °F y 14,7 psia]

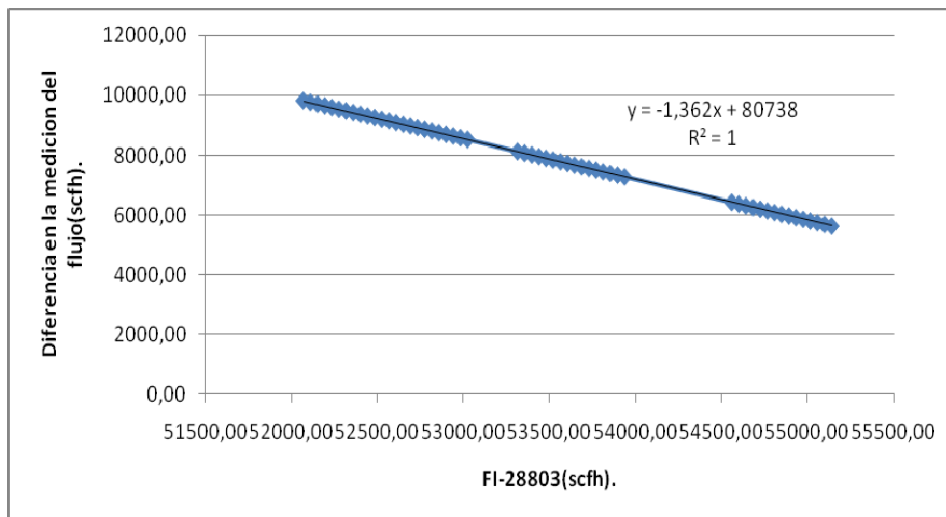


Figura 8, Grafico datos PI.

En los momentos en que el cabezal se encuentre alineado la ecuacion seria la siguiente:

Flujo CGA= Flujo Indicado FI-28803 + (-1,362*FI28803 + 80738) - flujo del FI-28718 [ft³/ hr @ 60 °F y 14,7 psia]



3.2.1 Acciones recomendadas para la alternativa dos.

- Comprar e instalar el posicionador FISHER tipo DVC6020/DVC6000 FIELDVUE a la válvula UV-28851 marca FISHER 8560 tipo mariposa de control de disco excéntrico.
- Llevar la señal análoga de comando de la válvula (4-20 mA) desde el DCS hasta el posicionador de la válvula en campo; se debe verificar puntos disponibles en cajas de conexión de señales análogas cercanas para usar preferiblemente uno de estos, pues en su defecto se tendría que tender cableado desde el cuarto satélite hasta la válvula.
- Configurar en el DCS el lazo existente PIC-28810A, para controlar la válvula UV-28851, manteniendo el corte ON/OFF que funciona actualmente mediante señal a solenoide que corta el aire de suministro a esta válvula.

3.3 Alternativa numero tres.

Ubicación de una nueva válvula en el cabezal, en lazo de control con el PIC-28810A.

Para evitar los problemas ocasionados al trabajar una válvula con porcentajes de apertura más bajos de lo normal, se recomienda instalar una válvula nueva para el sistema ubicándola en lugar de la actual UV-28851 y enlazar el posicionador de esta nueva válvula con el PIC-28810A ubicado sobre el D2883, así como se recomendó en la alternativa 2.

Se recomienda que la nueva válvula sea de mariposa excéntrica.



Según lo revisado para una válvula mariposa, la nueva válvula tendría un diámetro de 3 in (Tabla 5, simulación hidráulica con cambio de la válvula UV-28851), y funcionaría para el control de gas ácido del cabezal hacia la unidad según los valores especificados en un rango de apertura entre 22 y 55 %, esto sin tener problemas para que la unidad de amina II entregue gas ácido hacia el cabezal, abriendo toda la válvula, según lo revisado con la simulación.

Para la implementación de esta alternativa se requiere intervenir el cabezal, por lo tanto junto con el cambio de la válvula se recomienda instalar un instrumento para la medición directa del flujo proveniente del cabezal de gas ácido, para lo que se tiene disponible 11 metros después de la válvula hacia la planta. Es necesario un instrumento que brinde una alta confiabilidad en la medición, una muy pequeña caída en la presión del fluido e indique el paso de flujo en ambas direcciones en la línea. Un instrumento que cumple con estas condiciones es el medidor de caudal ultrasónico, el inconveniente de este tipo de instrumentos está en que tienen un mayor costo en comparación con las platinas de orificio, en anexo se encuentra cotización del equipo (Anexo F Cotización caudalímetro ultrasónico).



Estrategia de compra de la válvula.

El proveedor deberá:

- Ofrecer la mejor alternativa según los últimos desarrollos de la industria para accesorios de válvulas de control (Ej. Accesorios anticavitación, antiruido), de tal manera que mejore el desempeño del control del proceso.
- Suministrar el posicionador del mismo fabricante de la válvula.
- Verificar y presentar los cálculos de capacidad para todas las condiciones de operación (Según ecuaciones de flujo para dimensionar válvulas de control ISA S75.01).
- Proponer el coeficiente de flujo C_v de la válvula para la condición de máxima apertura.
- Informar sobre irregularidades encontradas en la requisición presentada.

El proveedor es responsable por el posicionador y accesorios requeridos para el buen funcionamiento de la válvula.

3.3.1.1 Especialidad de Proceso.

El alcance de proceso incluye las condiciones de operación actuales de entrada y salida de gas ácido que por su condición actual de operación requiere cambio en el diseño (Tabla 4, Especificación para una nueva válvula).

En la tabla 6 se presentan las condiciones del aire de instrumentos disponible en cada uno de los bloques de las unidades de balance, para



la selección de la válvula se debe tener en cuenta la presión mínima en cada bloque.

3.3.1.2 Especialidad Control y Electrónica.

El sistema de control de este documento deberá ser especificado por fabricantes reconocidos y de amplia experiencia en la industria del petróleo y especialmente usados en la GRB-ECOPETROL. La selección de tipos y modelos deberá hacerse con un criterio de mínima diversidad, con miras a facilitar su compra y minimizar la variedad de partes de repuesto.

Para la válvula de control:

- Actuador neumático de diafragma o pistón cumpliendo siempre con especificaciones para los rangos disponibles en el sistema de aire de instrumentos, ver tabla 6.
- El posicionador electro neumático de la válvula de control debe ser inteligente, con funciones de auto-diagnóstico, con señal de entrada análoga de 4 - 20 mA y protocolo HART superpuesto.
- El posicionador deberá contar con manómetro para indicar el suministro de presión, la señal de aire de control y la presión de salida del posicionador.
- La inexactitud total máxima de la conversión de señal en los posicionadores a consecuencia de cualquier limitación como: resolución, histéresis, etc. deberá ser menos de 2%.

- El conjunto actuador-posicionador de una válvula de control debe operar en un rango de señal neumática de 3 - 15 psi para producir el desplazamiento total de la válvula.
- La válvula de control y corte deberá ser suministrada con regulador de aire, ubicado antes del posicionador.
- La válvula deberá ser provista de un indicador local de posición, ubicado sobre el vástago. La posición deberá estar en una escala reversible con graduaciones a intervalos de 25% e indicar claramente la posición de abierta y cerrada.
- La válvula deberá poseer una placa con la identificación (TAG) del equipo. Estas deberán estar sujetas de manera permanente al cuerpo de la válvula.

3.3.1.3 Especialidad Eléctrica.

La selección de la válvula de control debe tener en cuenta la clasificación de las áreas de proceso de las unidades de Balance, tomando como referencia la clasificación actual de la válvula UV-28851.

4. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LAS ALTERNATIVAS (Tabla 7).

Se encontró que la alternativa económicamente más viable es la número uno.

5. CONCLUSIONES.

- De las alternativas planteadas la más efectiva es la número tres, que consiste en el cambio de la válvula UV-28851, establecer lazo de control entre la nueva válvula y el PIC-28810A e instalar un sistema de medición del caudal.
- De la simulación de la hidráulica del cabezal, realizada con el programa INPLANT para los diferentes escenarios posibles de operación del cabezal, se concluye que el operar la nueva válvula con posicionamiento no afectaría de forma significativa las presiones en las plantas de amina aportantes de gas ácido al cabezal (ver tabla 5, resultados de la simulación de la hidráulica con válvulas de menor tamaño).
- La utilización de la actual válvula UV-28851 presenta inconvenientes, al operar en porcentajes de apertura menores a los recomendados por el fabricante afectando la integridad mecánica de la válvula, por lo tanto la alternativa uno puede servir como solución temporal debido a que la intervención del cabezal para la ubicación de una nueva válvula es una obra que presenta un alto riesgo, además de requerir la salida de servicio de la fase II del cabezal.



6. RECOMENDACIONES.

- Llevar la indicación de presión del cabezal de gas ácido, ubicada en la fosa (D-2885) con un transmisor de presión PT, aprovechando la facilidad disponible en el actual PI y la disponibilidad de puntos en la caja de interconexión (junction box) del D-2885, quedando el sistema con indicación local de presión PI e indicación en el DCS.
- Configurar alarma en el DCS para una alta presión (9 psig) del D-2883.



7. BIBLIOGRAFIA.

- GRB-ECOPETROL. Manual planta de Azufre II. (1999).
- GRB-ECOPETROL. Manual planta de Ácido. (2003).
- GRB-ECOPETROL. Manual puesta en marcha Cabezal de Gas Ácido. (2005).
- RICHARD W. GREENE. Válvulas, selección, uso y mantenimiento, McGraw-Hill. (1992).
- FISHER. Manual posicionador Fieldvue. (2007).
- OTEPI INGENIERIA. P&ID's Cabezal de Gas Ácido fase II. (2005).



TABLAS.

Tabla 1. Efectos en la salud producidos por el H₂S.

| CONCENTRACIÓN (ppm, partes por millón) | EFFECTOS DEL H ₂ S |
|---|---|
| 1 ppm | Olor a huevos podridos. |
| 10 ppm | TLV (valores límite umbral) permisible por 8 horas de exposición. |
| 20 ppm | Se debe usar equipo de aire auto contenido. |
| 100 ppm | Pérdida lenta de la sensación de olor y leve quemadura de la garganta. |
| 200 ppm | Pérdida inmediata de la sensación de olor, puede quemar la garganta, dolor de cabeza y náuseas. |
| 500 ppm | Pérdida de la razón y del balance respiratorio. |
| 700 ppm | Inconsciencia inmediata, pérdida del control del aparato digestivo y respiratorio, muerte probable si no es reanimado inmediatamente. |
| 1000 ppm | Inconsciencia inmediata y muerte si no se rescata y reanima inmediatamente. |

Tabla 2. Corrección para la medición de los flujos del FI28718 y el FI28803.

| Gas ácido de Amina II | Gas ácido al H-2880 | Diferencia en la medición. | Aplicando el uso de la corrección. |
|------------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------------------|
| U2870-FI_28718 [SCFH]* | U2880-FI_28803 [SCFH] | [SCFH] | [SCFH] |
| 60776,95** | 55139,97 | 5636,98 | 60777,33131 |
| 60791,96 | 55098,50 | 5693,47 | 60792,34441 |
| 60806,98 | 55057,02 | 5749,96 | 60807,35893 |
| 60821,99 | 55015,55 | 5806,45 | 60822,37203 |
| 60837,00 | 54974,07 | 5862,93 | 60837,38513 |
| 60852,02 | 54932,60 | 5919,41 | 60852,39823 |
| 60867,03 | 54891,13 | 5975,91 | 60867,41275 |
| 60882,04 | 54849,65 | 6032,39 | 60882,42585 |
| 60897,06 | 54808,18 | 6088,88 | 60897,43895 |
| 60912,07 | 54766,71 | 6145,36 | 60912,45205 |
| 60927,08 | 54725,23 | 6201,85 | 60927,46516 |
| 60942,10 | 54683,76 | 6258,34 | 60942,47967 |
| 60957,11 | 54642,29 | 6314,82 | 60957,49277 |
| 60972,13 | 54600,81 | 6371,31 | 60972,50588 |
| 60987,14 | 54559,34 | 6427,80 | 60987,51898 |
| 61212,34 | 53937,24 | 7275,10 | 61212,71974 |
| 61227,35 | 53895,76 | 7331,59 | 61227,73426 |
| 61242,36 | 53854,29 | 7388,07 | 61242,74736 |
| 61257,38 | 53812,82 | 7444,56 | 61257,76046 |
| 61272,39 | 53771,34 | 7501,05 | 61272,77356 |
| 61287,40 | 53729,87 | 7557,54 | 61287,78808 |

*[SCFH]: ft³/hr @ 60 °F y 14.7 psia

**Fuente: Datos históricos PI enero 2007 a marzo 2008. Tag PI: FI28718; FI28803.



Tabla 3. Tablas Simulación Hidráulica del Cabezal de Gas Ácido.

Con el apoyo de la evaluación hidráulica del cabezal de gas ácido, se revisa la caída de presión necesaria en la válvula, analizando a su vez los escenarios de operación de diseño y los datos de la operación del cabezal.

3.1 Puesta en operación del cabezal de gas ácido en sus fases 1 y 2.

A continuación se presentan datos encontrados para casos típicos de la operación del cabezal en planta de Azufre II, Según los reportes encontrados en el sistema RIS, para los Shutdown de la planta y los reportes del supervisor de turno:

- **Tabla 3.1.1 Envío de gas ácido de la Amina de Orthoflow y Amina 2 hacia Azufre 2 (fecha 17/10/2008).**

| CORRIENTE | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| SERVICIO | GAS ÁCIDO DE AMINA 1 | GAS ÁCIDO DE AMINA 2 | CABEZAL DE GAS ÁCIDO. | GAS ÁCIDO A AZUFRE 2. |
| FASE | VAPOR | VAPOR | VAPOR | VAPOR |
| FLUJO VOLUM. (SCFH) | 20000 | 46000 | 20000 | 66000 |
| FLUJO VOLUM. A TEA(Scfh) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PRESIÓN(PSIG) | 10,5 | 10 | 10 | 5 |

• **Tabla 3.1.2 Envío de gas ácido desde Amina 1, 2 y 3 hacia planta de Azufre 2.**

•

| CORRIENTE | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| SERVICIO | GAS ÁCIDO DE AMINA 1 | GAS ÁCIDO DE AMINA 2 | GAS ÁCIDO DE AMINA 3 | CABEZAL DE GAS ÁCIDO. | GAS ÁCIDO A AZUFRE 2. |
| FASE | VAPOR | VAPOR | VAPOR | VAPOR | VAPOR |
| FLUJO VOLUM. (SCFH) | 21000 | 46000 | 5000 | 26000 | 72000 |
| FLUJO VOLUM. A TEA (SCFH) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PRESIÓN(PSIG) | 10,5 | 10 | 11 | 10 | 7,1 |

3.2 Casos revisados con la simulación.

A continuación se presentan los posibles casos operacionales del cabezal de gas ácido alineado hacia Azufre II, los cuales fueron simulados en la simulación de la hidráulica del cabezal realizada con el programa INPLANT.

La composición utilizada para la evaluación hidráulica del cabezal de gas ácido es:

Tabla 3.2.1 (% molar).

| | |
|------|--------|
| H2: | 0.0611 |
| CO: | 0.0040 |
| CO2: | 33.48 |
| H2S: | 57.17 |
| C1: | 0.0379 |
| C2: | 0.0295 |
| C3: | 0.0500 |
| C4: | 0.0014 |
| C5+: | 0.0000 |
| H2O: | 9.1600 |



(Dato suministrado por resultado de simulación para evaluación de unidad de Amina III en la UOP-II.)

Correlación utilizada para el cálculo de la caída de presión: **BBM Beggs & Brill – Moody.**

3.2.2 Caso 1.

Tabla 3.2.2.1 Entrega Amina de Orthoflow y Amina 2 (UOP I), recibe planta de Azufre 2.

| FUERA DE SERVICIO. | ENTREGA: | RECIBE: | PLANTAS OK. |
|--------------------|--|-----------|-------------|
| PLANTA DE ÁCIDO | AMINA ORTHOFLOW (ENTREGA POR EL CABEZAL). | AZUFRE II | AZUFRE III |
| | AMINA II | | AMINA III |

Datos operacionales.

Tabla 3.2.2.2 Datos operacionales Amina Orthoflow.

| | Unidad | Max. Flujo | Flujo Normal | Min. Flujo |
|--------------------------------------|--------|------------|--------------|------------|
| Flujo volumétrico | SCFH | 25000 | 20000 | 17000 |
| Presión Entrada | PSIG | 13 | 11 | 10 |
| Temperatura | °F | 136 | 136 | 136 |
| Spec. Wt / Spec. Grav.@ T&P / Mol Wt | | - / 34,68 | - / 34,68 | - / 34,68 |
| Compresibilidad | cp. | 0,13 | 0,13 | 0,13 |

Tabla 3.2.2.3 Datos operacionales Amina 2.

| | Unidad | Max. Flujo | Flujo Normal | Min. Flujo |
|--------------------------------------|---------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| Flujo volumétrico | SCFH | 65000 | 55000 | 30000 |
| Presión Entrada | PSIG | 13 | 12 | 11 |
| Temperatura | °F | 136 | 136 | 136 |
| Spec. Wt / Spec. Grav.@ T&P / Mol Wt | | -/-/34,68 | -/-/34,68 | -/-/34,68 |
| Compresibilidad | Cp. | 0,13 | 0,13 | 0,13 |

Tabla 3.2.2.4 Datos operacionales Azufre 2.

| | Unidad | Max. Flujo | Flujo Normal | Min. Flujo |
|--------------------------------------|---------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| Flujo volumétrico | SCFH | 70000 | 60000 | 30000 |
| Presión Entrada | PSIG | 9 | 8 | 6 |
| Temperatura | °F | 136 | 136 | 136 |
| Spec. Wt / Spec. Grav.@ T&P / Mol Wt | | -/-/34,68 | -/-/34,68 | -/-/34,68 |
| Compresibilidad | cp. | 0,13 | 0,13 | 0,13 |

Tabla 3.2.2.5 Análisis Hidráulico caso 1.

| | | FLUJO MAXIMO POR EL CABEZAL. | FLUJO NORMAL POR EL CABEZAL | FLUJO MINIMO POR EL CABEZAL |
|---------------------------------|---------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| FLUJO VOLUMETRICO. [SCFH] | AMOF | 25000 | 10000 | 5000 |
| | AM II | 45000 | 60000 | 65000 |
| | AZ II | 70000 | 70000 | 70000 |
| PRESIÓN. [PSIG] | AMOF | 13 | 12 | 11 |
| | AM II | 11 | 11 | 10 |
| | AZ II | 8 | 8 | 8 |
| ΔP [PSIG] | ΔP CIRCUITO | 2,7 | 2,2 | 1,7 |
| | ΔP DISPONIBLE. | 5 | 4 | 3 |
| | ΔP VALVULA | 2,3 | 1,8 | 1,3 |

Tabla 3.2.2.6 Análisis Hidráulico caso 1.

| | | FLUJO MAXIMO POR EL CABEZAL. | FLUJO NORMAL POR EL CABEZAL | FLUJO MINIMO POR EL CABEZAL |
|---------------------------------|--------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| FLUJO VOLUMETRICO. [SCFH] | AMOF | 25000 | 10000 | 5000 |
| | AM II | 45000 | 60000 | 65000 |
| | AZ II | 70000 | 70000 | 70000 |
| PRESIÓN [PSIG] | AMOF | 13 | 12 | 11 |
| | AM II | 11 | 11 | 10 |
| | AZ II | 6 | 6 | 6 |
| ΔP [PSIG] | ΔP CIRCUITO | 2,7 | 2,2 | 1,7 |
| | ΔP DISPONIBLE | 7 | 6 | 5 |
| | ΔP VALVULA | 4,3 | 4,8 | 2,3 |

DATOS OPERACIONALES.

Tabla 3.2.3.2 Datos operacionales Amina 3.

| | Unidad | Max. Flujo | Flujo Normal | Min. Flujo |
|--------------------------------------|--------|------------|--------------|--------------|
| Flujo volumétrico | SCFH | 45000 | 35000 | 26000 |
| Presión Entrada | PSIG | 12 | 11 | 10 |
| Temperatura | °F | 136 | 136 | 136 |
| Spec. Wt / Spec. Grav.@ T&P / Mol Wt | | -/-/34,68 | -/-/34,68 | -/ /34,68 |
| Compresibilidad | cp. | 0,13 | 0,13 | 0,13 |

Tabla 3.2.3.3 Datos operacionales Amina 2.

| | Unidad | Max. Flujo | Flujo Normal | Min. Flujo |
|--------------------------------------|--------|------------|--------------|--------------|
| Flujo volumétrico | SCFH | 70000 | 55000 | 30000 |
| Presión Entrada | PSIG | 13 | 11 | 10 |
| Temperatura | °F | 136 | 136 | 136 |
| Spec. Wt / Spec. Grav.@ T&P / Mol Wt | | -/-/34,68 | -/-/34,68 | -/ /34,68 |
| Compresibilidad | cp. | 0,13 | 0,13 | 0,13 |

Tabla 3.2.3.4 Datos operacionales Azufre 2.

| | Unidad | Max. Flujo | Flujo Normal | Min. Flujo |
|--------------------------------------|--------|------------|--------------|--------------|
| Flujo volumétrico | SCFH | 70000 | 55000 | 30000 |
| Presión Entrada | PSIG | 9 | 8 | 6 |
| Temperatura | °F | 136 | 136 | 136 |
| Spec. Wt / Spec. Grav.@ T&P / Mol Wt | | -/-/34,68 | -/-/34,68 | -/ /34,68 |
| Compresibilidad | cp. | 0,13 | 0,13 | 0,13 |

Análisis Hidráulico caso 2.

Tabla 3.2.3.5 Análisis Hidráulico caso 2.

| | | FLUJO MAXIMO POR EL CABEZAL. | FLUJO NORMAL POR EL CABEZAL | FLUJO MINIMO POR EL CABEZAL |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| FLUJO VOLUMETRICO [SCFH] | AMIII | 25000 | 10000 | 5000 |
| | AM II | 45000 | 60000 | 65000 |
| | AZ II | 70000 | 70000 | 70000 |
| PRESION [PSIG] | AMIII | 12 | 11 | 10 |
| | AM II | 11 | 11 | 10 |
| | AZ II | 8 | 8 | 8 |
| ΔP [PSIG] | ΔP CIRCUITO | 2,5 | 1,7 | 1,3 |
| | ΔP DISPONIBLE | 4 | 3 | 2 |
| | ΔP VALVULA | 1,5 | 1,3 | 0,7 |

Tabla 3.2.3.6 Análisis Hidráulico caso 2.

| | | FLUJO MAXIMO POR EL CABEZAL. | FLUJO NORMAL POR EL CABEZAL | FLUJO MINIMO POR EL CABEZAL |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| FLUJO VOLUMETRICO [SCFH] | AMIII | 25000 | 10000 | 5000 |
| | AM II | 45000 | 60000 | 65000 |
| | AZ II | 70000 | 70000 | 70000 |
| PRESION [PSIG] | AMIII | 12 | 11 | 10 |
| | AM II | 11 | 11 | 10 |
| | AZ II | 6 | 6 | 6 |
| ΔP [PSIG] | ΔP CIRCUITO | 2,5 | 1,7 | 1,3 |
| | ΔP DISPONIBLE | 6 | 5 | 4 |
| | ΔP VALVULA | 3,5 | 2,3 | 2,7 |

3.2.4 Caso 3.

Tabla 3.2.4.1 Entregan Amina Orthoflow, Amina 2 y Amina 3 a Azufre 2.

| FUERA DE SERVICIO. | ENTREGA: | RECIBE: | PLANTAS OK. |
|----------------------|---------------------------------------|-----------|-------------|
| PLANTA DE AZUFRE III | AMINA OFLOW (ENTREGA POR EL CABEZAL). | AZUFRE II | ----- |
| PLANTA DE ÁCIDO | AMINA III (ENTREGA POR EL CABEZAL). | ----- | ----- |
| ----- | AMINA II. | ----- | ----- |

DATOS OPERACIONALES.

Tabla 3.2.4.2 Datos operacionales Amina Orthoflow.

| | Unidad | Max. Flujo | Flujo Normal | Min. Flujo |
|--------------------------------------|--------|------------|--------------|------------|
| Flujo volumétrico | SCFH | 25000 | 20000 | 17000 |
| Presión Entrada | PSIG | 13 | 11 | 10 |
| Temperatura | °F | 136 | 136 | 136 |
| Spec. Wt / Spec. Grav.@ T&P / Mol Wt | | -/-/34,68 | -/-/34,68 | -/- |
| Compresibilidad | cp. | 0,13 | 0,13 | 0,13 |

Tabla 3.2.4.3 Datos operacionales Amina 3.

| | Unidad | Max. Flujo | Flujo Normal | Min. Flujo |
|--------------------------------------|--------|------------|--------------|------------|
| Flujo volumétrico | SCFH | 45000 | 35000 | 26000 |
| Presión Entrada | PSIG | 12 | 11 | 10 |
| Temperatura | °F | 136 | 136 | 136 |
| Spec. Wt / Spec. Grav.@ T&P / Mol Wt | | -/-/34,68 | -/-/34,68 | -/-/34,68 |
| Compresibilidad | cp. | 0,13 | 0,13 | 0,13 |

Tabla 3.2.4.4 Datos operacionales Amina 2.

| | Unidad | Max. Flujo | Flujo Normal | Min. Flujo |
|--------------------------------------|--------|------------|--------------|------------|
| Flujo volumétrico | SCFH | 70000 | 55000 | 30000 |
| Presión Entrada | PSIG | 13 | 11 | 10 |
| Temperatura | °F | 136 | 136 | 136 |
| Spec. Wt / Spec. Grav.@ T&P / Mol Wt | | -/-/34,68 | -/-/34,68 | -/-/34,68 |
| Compresibilidad | cp. | 0,13 | 0,13 | 0,13 |

Tabla 3.2.4.5 Datos operacionales Azufre 2.

| | Unidad | Max. Flujo | Flujo Normal | Min. Flujo |
|--------------------------------------|--------|------------|--------------|------------|
| Flujo volumétrico | SCFH | 65000 | 60000 | 30000 |
| Presión Entrada | PSIG | 9 | 8 | 6 |
| Temperatura | °F | 136 | 136 | 136 |
| Spec. Wt / Spec. Grav.@ T&P / Mol Wt | | -/-/34,68 | -/-/34,68 | -/-/34,68 |
| Compresibilidad | cp. | 0,13 | 0,13 | 0,13 |

Análisis Hidráulico caso 3.

Tabla 3.2.4.6 Análisis Hidráulico caso 3.

| | | FLUJO MAXIMO POR EL CABEZAL. | FLUJO NORMAL POR EL CABEZAL. | FLUJO MINIMO POR EL CABEZAL. |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| FLUJO VOLUMETRICO [SCFH] | AMOF | 20000 | 5000 | 2500 |
| | AMIII | 5000 | 5000 | 2500 |
| | AM II | 45000 | 60000 | 65000 |
| | AZ II | 70000 | 70000 | 70000 |
| PRESIÓN [PSIG] | AMOF | 13 | 11 | 10 |
| | AMIII | 12 | 11 | 10 |
| | AM II | 10 | 10 | 10 |
| | AZ II | 8 | 8 | 8 |
| ΔP [PSIG] | ΔP CIRCUITO | 3 | 2.4 | 1.2 |
| | ΔP DISPONIBLE | 4 | 3 | 2 |
| | ΔP VALVULA | 1 | 0,6 | 0,8 |

Tabla 3.2.4.7 Análisis Hidráulico caso 3.

| | | FLUJO MAXIMO POR EL CABEZAL. | FLUJO NORMAL POR EL CABEZAL. | FLUJO MINIMO POR EL CABEZAL. |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| FLUJO VOLUMETRICO [SCFH] | AMOF | 20000 | 5000 | 2500 |
| | AMIII | 5000 | 5000 | 2500 |
| | AM II | 45000 | 60000 | 65000 |
| | AZ II | 70000 | 70000 | 70000 |
| PRESIÓN [PSIG] | AMOF | 13 | 11 | 10 |
| | AMIII | 12 | 11 | 10 |
| | AM II | 10 | 10 | 10 |
| | AZ II | 6 | 6 | 6 |
| ΔP [SCFH] | ΔP CIRCUITO | 3 | 2,4 | 1,2 |
| | ΔP DISPONIBLE | 6 | 5 | 4 |
| | ΔP VALVULA | 3 | 2,6 | 2,8 |

Tabla 4. Especificación para una nueva válvula.

| | UNIDAD | FLUJO MAX. | FLUJO NORMAL. | FLUJO MIN. |
|----------------------------|--------|---------------|------------------|---------------|
| FLUJO VOLUMETRICO. | SCFH | 35000 | 15000 | 5000 |
| PRESIÓN DE ENTRADA. | PSIG | 13 | 11 | 10 |
| PRESIÓN DE SALIDA. | PSIG | 8 | 7 | 6 |
| TEMPERATURA DE ENTRADA. | °F | 140 | 140 | 140 |
| PESO MOLECULAR. | | 34,68 | 34,68 | 34,68 |
| VISCOSIDAD. | cp | 0,13 | 0,13 | 0,13 |

5. Simulación hidráulica con cambio de la válvula UV-28851.

Las tablas 5.1 a 5.3 presenta datos obtenidos por la simulación para distintas restricciones en la tubería en donde se observa que dadas las condiciones del proceso no existen inconvenientes con el recibo de gas ácido del cabezal al utilizar válvulas de menor tamaño que la línea de 6 pulgadas.

CASO DE ESTUDIO: ENTREGA AMINA III Y AMINA II (UOP I), RECIBE PLANTA DE AZUFRE II.

Tabla 5.1 Simulación hidráulica con cambio de la válvula UV-28851 y Amina 3 en 11 psig.

| | Reducción (in) | Entrada del cabezal en AMINA 3 | Antes de la válvula | Después de la válvula | AMINA 2 | AZUFRE 2 |
|-------------------|----------------|--------------------------------|---------------------|-----------------------|---------|----------|
| PRESION (psig) | 1 | 11 | 10,16 | 9,779 | 10 | 8,578 |
| F. VOLUMEN (scfh) | | 7300 | | | 64200 | 71600 |
| F. MASICO (lb/hr) | | 728,3 | | | 6369,9 | 7098,2 |
| TEMPERATURA (°F) | | 130 | | | 130 | 124,6 |
| PRESION (psig) | 1,5 | 11 | 10,26 | 9,818 | 10 | 8,647 |
| F. VOLUMEN (scfh) | | 13800 | | | 57800 | 71600 |
| F. MASICO (lb/hr) | | 1419,5 | | | 5732,6 | 7098,2 |
| TEMPERATURA (°F) | | 130 | | | 130 | 130 |
| PRESION (psig) | 2 | 11 | 10,26 | 9,867 | 10 | 8,713 |
| F. VOLUMEN (scfh) | | 22900 | | | 48600 | 71600 |
| F. MASICO (lb/hr) | | 2276,1 | | | 4822,2 | 7098,2 |
| TEMPERATURA (°F) | | 130 | | | 130 | 130 |
| PRESION (psig) | 2,5 | 11 | 10,18 | 9,908 | 10 | 8,764 |
| F. VOLUMEN (scfh) | | 32100 | | | 39400 | 71600 |
| F. MASICO (lb/hr) | | 3186,5 | | | 3911,8 | 7098,2 |
| TEMPERATURA (°F) | | 130 | | | 130 | 130 |

| | | | | | | |
|-------------------|-----|--------|-------|-------|--------|--------|
| PRESION (psig) | 3 | 11 | 9,859 | 9,954 | 10 | 8,819 |
| F. VOLUMEN (scfh) | | 45900 | | | 25700 | 71600 |
| F. MASICO (lb/hr) | | 4552,1 | | | 2546,1 | 7098,2 |
| TEMPERATURA (°F) | | 130 | | | 130 | 130 |
| PRESION (psig) | 3,5 | 11 | 9,58 | 9,965 | 10 | 8,834 |
| F. VOLUMEN (scfh) | | 50500 | | | 21100 | 71600 |
| F. MASICO (lb/hr) | | 5007,3 | | | 2090,9 | 7098,2 |
| TEMPERATURA (°F) | | 130 | | | 130 | 130 |

Tabla 5.2 Simulación hidráulica con cambio de la válvula UV-28851 y Amina 3 en 12 psig.

| | Reducción (in) | Entrada del cabezal en AMINA 3 | Antes de la válvula | Después de la válvula | AMINA 2 | AZUFRE 2 |
|-------------------|----------------|--------------------------------|---------------------|-----------------------|---------|----------|
| PRESION (psig) | 1 | 12 | 11,19 | 9,802 | 10 | 8,623 |
| F. VOLUMEN (scfh) | | 11000 | | | 60600 | 71600 |
| F. MASICO (lb/hr) | | 1092,5 | | | 6005,7 | 7098,2 |
| TEMPERATURA (°F) | | | | | | |
| PRESION (psig) | 1,5 | 12 | 11,22 | 9,867 | 10 | 8,718 |
| F. VOLUMEN (scfh) | | 22900 | | | 48600 | 71600 |
| F. MASICO (lb/hr) | | 2276,1 | | | 4822,2 | 7098,2 |
| TEMPERATURA (°F) | | | | | | |
| PRESION (psig) | 2 | 12 | 11,09 | 9,925 | 10 | 8,792 |
| F. VOLUMEN (scfh) | | 36700 | | | 34800 | 71600 |
| F. MASICO (lb/hr) | | 3641,7 | | | 3456,6 | 7098,2 |
| TEMPERATURA (°F) | | | | | 130 | 120,9 |
| PRESION (psig) | 2,5 | 12 | 10,84 | 9,954 | 10 | 8,829 |
| F. VOLUMEN (scfh) | | 45900 | | | 25700 | 71600 |
| F. MASICO (lb/hr) | | 4552,1 | | | 2546,1 | 7098,2 |
| TEMPERATURA (°F) | | 130 | | | 130 | 120,4 |

| | | | | | | |
|-------------------|-----|--------|-------|-------|--------|--------|
| PRESION (psig) | 3 | 12 | 10,24 | 9,975 | 10 | 8,856 |
| F. VOLUMEN (scfh) | | 55100 | | | 16500 | 71600 |
| F. MASICO (lb/hr) | | 5462,5 | | | 1635,7 | 7098,2 |
| TEMPERATURA (°F) | | 130 | | | | |
| PRESION (psig) | 3,5 | 12 | 10,12 | 9,982 | 10 | 8,865 |
| F. VOLUMEN (scfh) | | 59700 | | | 11900 | 71600 |
| F. MASICO (lb/hr) | | 5917,7 | | | 1180,5 | 7098,2 |
| TEMPERATURA (°F) | | | | | | |
| PRESION (psig) | 4 | 12 | 9,983 | 9,987 | 10 | 8,873 |
| F. VOLUMEN (scfh) | | 64300 | | | 7300 | 71600 |
| F. MASICO (lb/hr) | | 6372,9 | | | 725,3 | 7098,2 |
| TEMPERATURA (°F) | | | | | | |
| TEMPERATURA (°F) | | | | | | |

Tabla 5.3 Simulación hidráulica con cambio de la válvula UV-28851 y Amina 3 a 12 psig.

| | Reducción (in) | Entrada del cabezal en AMINA 3 | Antes de la válvula | Después de la válvula | AMINA 2 | AZUFRE 2 |
|-------------------|----------------|--------------------------------|---------------------|-----------------------|---------|----------|
| PRESION (psig) | 4,5 | 12 | 9,705 | 9,989 | 10 | 8,875 |
| F. VOLUMEN (scfh) | | 66100 | | | 5500 | 71600 |
| F. MASICO (lb/hr) | | 6555 | | | 543,2 | 7098,2 |
| TEMPERATURA (°F) | | | | | | |
| PRESION (psig) | 5 | 12 | 9,9641 | 9,989 | 10 | 8,876 |
| F. VOLUMEN (scfh) | | 67000 | | | 4600 | 71600 |
| F. MASICO (lb/hr) | | 6646,1 | | | 452,2 | 7098,2 |
| TEMPERATURA (°F) | | | | | | |

Tabla 6. Presión de aire de instrumentos en las unidades de Balance.

| | Promedio (Psig) | Rango operación (Psig)** |
|---------------------------------------|-----------------|--------------------------|
| Bloque I (Demex - VRII) | 63 | 50 – 72 |
| Bloque II (Unibon – Generación de H2) | 67 | 55 – 75 |
| Bloque III | 64 | 56 – 75 |
| Bloque IV (UOPI) | 64 | 55 – 75 |
| Bloque V (Servicios Industriales) | 69 | 58 – 77 |

**Fuente: Datos históricos PI enero 2007 a marzo 2008. Tag PI: U2800-PI28014; U2650-PI26521; U2950-PI_29526; U2700-PI_27063; U2870-PI_28718

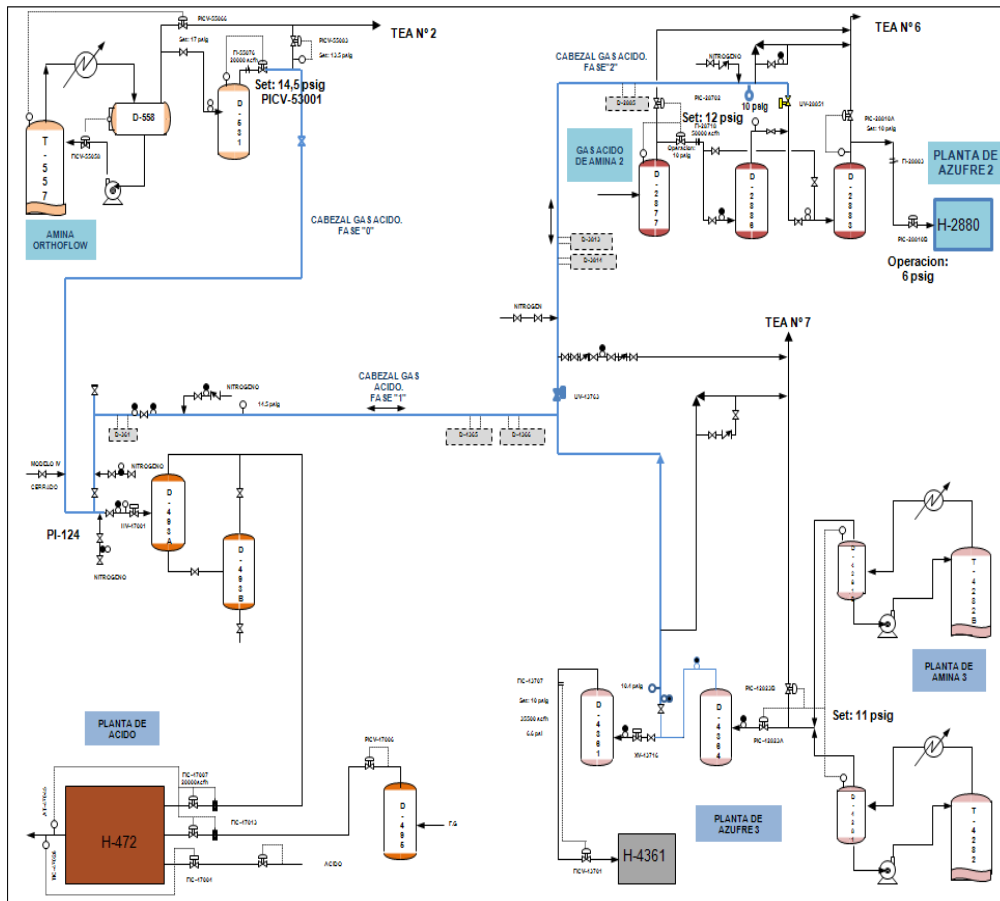
TABLA 7. Análisis económico de las alternativas.

| | ALTERNATIVA 1 (\$ Dólares USA). | ALTERNATIVA 2 (\$ Dólares USA). | ALTERNATIVA 3 (\$ Dólares USA). |
|-------------------------------|--|--|--|
| COSTO EQUIPOS GRB. | \$ 5.000 | \$ 5.000 | \$ 36.000 |
| MONTAJE. | \$ 2.500 | \$ 2.500 | \$20.000 |
| INGENIERIAS, ESTUDIOS. | \$ 2.500 | \$2 .500 | \$ 3.500 |
| OTROS. | \$2.500 | \$2.500 | \$ 3.500 |
| TOTAL COSTOS. | \$12.500 | \$12.500 | \$63.000 |



ANEXOS.

Anexo A. Esquema del cabezal de gas ácido.



Anexo B. Datasheet original de la válvula UV-28851 y numero de serie.

| CONTROL VALVE DATA SHEET | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|-------------------|--|
| Tag N° UV-28851 P&ID 1703-003-00-19-0-PL-002 | | | | Manufacturer & Model : | | | |
| Service : | | | | Serial : | | | |
| 1 Fluid : ACID GAS (H2S) | | Units | | Max. Flow | | Crit. Press. PC : | |
| 2 Flow Rate | | SCFH | | 35000 | | 26000 13000 | |
| 3 Inlet Pressure | | PSIG | | 10 | | 9 4 | |
| 4 Outlet Pressure | | PSIG | | 9 | | 8 3 | |
| 5 Inlet Temperature | | °F | | 140 | | 136 136 | |
| 6 Spec. Wt / Spec. Grav. @ T&P / Mol Wt | | | | -/-34,68 | | -/-34,68 -/-34,68 | |
| 7 Viscosity @ T&P / Spec. Heats Ratio | | cP | | 0,13 | | 0,13 0,13 | |
| 8 Compressibility Factor / K Value | | | | | | | |
| 9 * Required C _v | | | | | | | |
| 10 * Travel | | % | | | | | |
| 11 Allowable / *Predicted SPL | | dBA | | | | | |
| 12 | | | | | | | |
| 13 LINE | | Pipe Line Size In 6" SCH 40 | | 53 * Type SPRING - DIAPHRAGM | | | |
| 14 | | Pipe Line Schedule Out 6" SCH 40 | | 54 * Mfr & Model | | | |
| 15 | | Pipe Line Insulation : YES | | 55 * Size Eff Area | | | |
| 16 | | * Type BUTTERFLY | | 56 On / Off YES Modulating | | | |
| 17 | | * Size 6" ANSI Class 150 | | 57 Spring Action Open / Close | | | |
| 18 | | Max. Press/Temp. 50 psig / 200°F | | 58 * Max Allowable Pressure | | | |
| 19 | | * MFR & Model | | 59 * Min Required Pressure | | | |
| 20 | | * Body/Bonnet Matl. KILLED C.S. / 316 SS | | 60 Available Air Supply Pressure 45 PSIG | | | |
| 21 | | * Liner material / ID | | 61 Max. Min. | | | |
| 22 | | End In 6" RF FLANGES | | 62 * Bench Range / | | | |
| 23 | | Connection Out 6" RF FLANGES | | 63 Actuator Orientation | | | |
| 24 | | Flg Face Finish RF | | 64 HandWheel NO | | | |
| 25 | | End Ext / Matl. | | 65 Air Failure Valve Set at 20-25 PSIG | | | |
| 26 | | * Flow Direction | | 66 Fail position CLOSE | | | |
| 27 | | * Type of Bonnet STANDARD | | 67 Input Signal | | | |
| 28 | | Lub & Iso Valve NO Lube NO | | 68 * Type | | | |
| 29 | | * Packing Material A351 GR CF8M (316 SS) | | 69 * Mfr & Model | | | |
| 30 | | * Packing Type TFE / ARAMID | | 70 * On Incr. Signal Output Incr./Decr. | | | |
| 31 | | | | 71 Gauges By-pass | | | |
| 32 | | | | 72 * Cam Characteristics | | | |
| 33 | | * Type FULL AREA Rated Travel | | 73 | | | |
| 34 | | * Characteristic | | 74 Type | | | |
| 35 | | * Balanced / Unbalanced | | 75 * Mfr & Model | | | |
| 36 | | * Rated C _v F _L X _T | | 76 Contacts / Rating | | | |
| 37 | | * Plug / Ball / Disk material 316 SS | | 77 Actuation Points | | | |
| 38 | | * Seat Material 316 SS | | 78 | | | |
| 39 | | * Cage / Guide Material 304 SSS | | 79 * Mfr & Model | | | |
| 40 | | * Steam Material A479 TYPE 316 | | 80 * Set Pressure YES | | | |
| 41 | | | | 81 Filter YES Gauge YES | | | |
| 42 | | | | 82 | | | |
| 43 | | NEC Class 1 Group C/D Div. 2 | | 83 * Hydro Pressure YES | | | |
| 44 | | Low Powered Solenoid Valve: 3-way | | 84 ANSI / FCI Leakage Class IV | | | |
| 45 | | Power Supply 24 VDC | | 85 | | | |
| 46 | | Class 1, Div 2, Gr C/D | | 86 | | | |
| 47 | | | | Notes : | | | |
| 48 | | | | The manufacturer shall be supply calculation sheet of the control valve. | | | |
| 49 | | | | ACCEPTED MARKS : MASONELAN, FISHER, VALTEK, HONEYWELL | | | |
| 50 | | | | SAMSON, FOXBORO | | | |
| 51 | | | | | | | |
| 52 | | | | | | | |

| | | | | | | | |
|--------------|-------------------------|--|------------|-----------------------------------|-------------|---------|--------|
| | | CONTRATO YRP-015-2003 CONSULTORIA PARA EL DESARROLLO DE INGENIERIAS CONCEPTUALES, BASICAS, DETALLADAS, GESTION DE COMPRAS, ASISTENCIA TECNICA E INTERVENTORIAS DE LOS PROYECTOS DE LA GCB | | | | | |
| DOCUMENTO: | 1703-003-00-19-0-HD-007 | REV 2 | 13/09/2004 | EMISION FINAL | MLL | MAD | CDL |
| | | REV 1 | 26/08/2004 | EMISION FINAL | MLL | MAD | CDL |
| REQUISICIÓN: | | REV 0 | 24/06/2004 | EMISION FINAL | MLL | MAD | CDL |
| ELABORÓ: | | REV B | 15/06/2004 | EMISION SIN COMENTARIOS ECOPETROL | MLL | MAD | CDL |
| REVISÓ: | | REV A | 02/06/2004 | EMISION PARA COMENTARIOS ECP | MLL | MAD | CDL |
| APROBÓ: | | REV 3 | 11/10/2004 | REVISION INTERNA - EMISION FINAL | MLL | MAD | CDL |
| FECHA: | 11/10/2004 | HOJA 5 DE 16 | No | FECHA | DESCRIPCIÓN | ELABORÓ | REVISÓ |
| | | | | | | | APROBÓ |



```

BKZHEBHQ0JKGWYWN9K--
B                                                                 1
  FS1051K-224A
  TYPE 1051 DIAPHRAGM ACTUATOR SIZE 40, CAST IRON HOUSING, SPG 1L217327042
  RATE=335LB/IN SPG SEAT 12A9446X012, 90 DEG ROTATION 3 1/2 TRAVEL, 3/4
  SHAFT DIAMETER SYTLE F MTG, LUB-1,SEAL-5 FMS 27D1, NITRILE STD
DIAPHRAGM,
  ALUMINUM COVER, RH MTG STYLE A,CW TO CLOSE,PUSH DOWN TO OPEN, MTG
  POSITION 1, AIR TO DIAPH 0-33 PSIG
  1051X1-A5-B35-C5-D23-E21-F3-G5-H43-J1-L9-M2-N3-P1-9A5-9B1-9C2-9E1
  GBKDGVCA-----WA----
C                                                                 1
  *EF8314G300/DC
      1   EA   15A6012X492           SOLV,ASCO,3-WAY
  DAAB-----
D                                                                 1
  *MTGS ASCO
      1   EA   23B8363X022           MTG ASSY
  DAAN-----
E                                                                 1
  FS67CFR-225/C3
  PRESSURE REGULATOR 1/4, TYPES 67CF, 67CFR 1/4 ALUM BODY W/BRASS DRAIN,
40
  MICRON CELL FILTER, VALVE ASSY, NITRILE/NITRILE/BRASS, NITRILE DIAPH W/
  RELIEF, STD BONNET, SQ HD ADJ SCREW, 0-60 PSI SPRING,BLUE STRIPE,
  0-60PSIG/0-.4MPA/0-4BAR STD GAUGE, INSTRUCTION MANUAL, TYPE 67CFR, REGAL
  GRAY, VENT OVER INLET, DRAIN PLUG UNDER INLET
  67CX3-A1-B1-C1-D2-E1-F1-G2-J2-K1-9A2-9B1-9C1-9D1
  CCJB-----
F                                                                 1
  FSMTG67CF-A1
  PRESSURE REGULATOR 1/4, TYPES 67CF, 67CFR YOKE MOUNTED, WITH BRASS BLEED
  RESTRICTION, 3/8 COPPER TUBING/BRASS CPRSN -ALIGN FITTINGS
  67CX3-L1-N1-9F1
  CBMT-----
  *****
  ***** NamePlate 12B6400X0A2           Comp A   ***
  SERIAL NO
  SIZE 6 TYPE 8560
  RATING CL150
  BODY STL BALL/DISC SST
  SHAFT SST SEAT COMP
  *****
  ***** NamePlate 12B6401X0A2           Comp B   ***
  SERIAL NO           TYPE 1051
  PRESS UNITS PSI SIZE 40
  INITIAL SETTING N/A OPER RANGE 0-33
  ACTION PDTO ROTATION 90 DEG
  *****
  ***** NamePlate 18B9855X0A2           Comp B   ***
  CASING/CYLINDER MAX PRESS 75 PRESS UNITS PSI

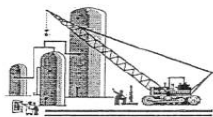
```



Anexo C. HAZOP válvula UV-28851 como proporcional.

| Departamento Cracking I | | | | | |
|--|--|---|-----|--|---|
| ANÁLISIS DE RIESGOS PARA LA OPERACIÓN DE LA VALVULA ON/OFF UV-28851 DEL CGA COMO PROPORCIONAL. | | | | | |
| Noviembre 13 de 2008 | | | | | |
| Desviación | Causas | Consecuencias | RAM | Salvaguardas | Recomendaciones |
| ALTA PRESION | INCREMENTO DEL FLUJO EN EL CABEZAL POR PROBLEMAS OPERACIONALES EN LAS PLANTAS APORTANTES DE GAS ACIDO. | DISPARO DE LOS SELLOS DE AZUFRE II, POR INCREMENTO DEL FLUJO DE ENTRADA DE GAS ACIDO A ESTA UNIDAD, OCASIONANDO PARADA DE LA PLANTA, QUEMA DE H2S EN LA TEA, FUGA DE H2S A LA ATMOSFERA POR LOS SELLOS. | H | ALARMA POR ALTA PRESIÓN EN EL HORNO H2880. | VERIFICAR QUE LOS RANGOS DE OPERACIÓN DEL % DE APERTURA DE LA VALVULA UV28851 CUANDO TRABAJE PROPORCIONAL SEAN BAJOS PARA EVITAR INCREMENTOS FUERTES DE FLUJO POR INCREMENTO DE LA PRESIÓN EN EL CABEZAL. |
| | | PERDIDA DE LA CONVERSION DE LA UNIDAD POR DESBALANCEO EN LA RELACION CARGA-AIRE DE ENTRADA AL H2880, A SU VEZ SE OCASIONARÍA MAYOR QUEMA DE H2S EN EL INCINERADOR, ESTO ES MAYORES EMISIONES DE SOX A LA ATMOSFERA POR LA CHIMENEA DEL H2881. | H | LAZO CONTROL EN AUTOMATICO DE LA RELACION H2S-SO2 EN EL INCINERADOR H2881, PARA MANIPULAR EL FLUJO DE AIRE DE CARGA A LA UNIDAD. | ASEGURAR LA OPERACIÓN EN AUTOMATICO DEL LAZO DE CONTROL ADA AIC28801. |
| MENOS PRESION | LAS UNIDADES APORTANTES DE GAS ACIDO AL CABEZAL DEJAN DE ENVIARLO. | PERDIDA DE LA CONVERSION DE LA UNIDAD POR DESBALANCEO EN LA RELACION CARGA-AIRE DE ENTRADA AL H2880, A SU VEZ SE OCASIONARÍA MAYOR QUEMA DE H2S EN EL INCINERADOR, ESTO ES MAYORES EMISIONES DE SOX A LA ATMOSFERA POR LA CHIMENEA DEL H2881. | H | LAZO CONTROL EN AUTOMATICO DE LA RELACION H2S-SO2 EN EL INCINERADOR H2881, PARA MANIPULAR EL FLUJO DE AIRE DE CARGA A LA UNIDAD. | ASEGURAR LA OPERACIÓN EN AUTOMATICO DEL LAZO DE CONTROL ADA AIC28801. |
| MAYOR FLUJO. | INCREMENTO DEL FLUJO EN EL CABEZAL POR PROBLEMAS OPERACIONALES EN LAS PLANTAS APORTANTES DE GAS ACIDO. | DISPARO DE LOS SELLOS DE AZUFRE II, POR INCREMENTO DEL FLUJO DE ENTRADA DE GAS ACIDO A ESTA UNIDAD, OCASIONANDO PARADA DE LA PLANTA, QUEMA DE H2S EN LA TEA, FUGA DE H2S A LA ATMOSFERA POR LOS SELLOS. | H | ALARMA POR ALTA PRESIÓN EN EL HORNO H2880. | VERIFICAR QUE LOS RANGOS DE OPERACIÓN DEL % DE APERTURA DE LA VALVULA UV28851 CUANDO TRABAJE EN MANUAL SEAN BAJOS PARA EVITAR INCREMENTOS FUERTES DE FLUJO POR INCREMENTO DE LA PRESIÓN EN EL CABEZAL. |
| | | PERDIDA DE LA CONVERSION DE LA UNIDAD POR DESBALANCEO EN LA RELACION CARGA-AIRE DE ENTRADA AL H2880, A SU VEZ SE OCASIONARÍA MAYOR QUEMA DE H2S EN EL INCINERADOR, ESTO ES MAYORES EMISIONES DE SOX A LA ATMOSFERA POR LA CHIMENEA DEL H2881. | H | LAZO CONTROL EN AUTOMATICO DE LA RELACION H2S-SO2 EN EL INCINERADOR H2881, PARA MANIPULAR EL FLUJO DE AIRE DE CARGA A LA UNIDAD. | ASEGURAR LA OPERACIÓN EN AUTOMATICO DEL LAZO DE CONTROL ADA AIC28801. |
| MENOR FLUJO | LAS UNIDADES APORTANTES DE GAS ACIDO AL CABEZAL DEJAN DE ENVIARLO. | PERDIDA DE LA CONVERSION DE LA UNIDAD POR DESBALANCEO EN LA RELACION CARGA-AIRE DE ENTRADA AL H2880, A SU VEZ SE OCASIONARÍA MAYOR QUEMA DE H2S EN EL INCINERADOR, ESTO ES MAYORES EMISIONES DE SOX A LA ATMOSFERA POR LA CHIMENEA DEL H2881. | H | LAZO CONTROL EN AUTOMATICO DE LA RELACION H2S-SO2 EN EL INCINERADOR H2881, PARA MANIPULAR EL FLUJO DE AIRE DE CARGA A LA UNIDAD. | ASEGURAR LA OPERACIÓN EN AUTOMATICO DEL LAZO DE CONTROL ADA AIC28801. |
| | | SALIDA DE LA UNIDAD DE AZUFRE II POR NO DISPONIBILIDAD DE CARGA CUANDO ES ALIMENTADO SÓLO CON LA CARGA DEL CABEZAL. | H | CORTES DE LA UNIDAD POR BAJO FLUJO(22000 scfh). | ASEGURAR QUE TODOS LOS CORTES DE LA UNIDAD DE AZUFRE II POR BAJO FLUJO SE ENCUENTREN CONFIABLES Y EN SERVICIO. |
| PÉRDIDA DE CONTENCIÓN | QUE EL CABEZAL SE ENCUENTRE PRESIONADO CON N2 Y LA VALVULA UV28851 SE ABRA PERMITIENDO ENTRADA DE N2. | SE AFECTARÍA LA REACCIÓN DE COMBUSTIÓN DEL H2880 Y DEPENDIENDO DE LA CANTIDAD DE ENTRADA DE N2 SE PODRÍA DISPARAR EL H2880 PARANDO LA UNIDAD. | H | TENER DISPONIBLE EL BY PASS DE GAS ACIDO DESDE EL D2877 AL D2883. | HABILITAR EL BYPASS DE GAS ACIDO DE AMINA DESDE EL D2877 AL D2883 Y BLOQUEAR LA LINEA DE CARGA DESDE EL D2886 AL D2883. |
| +/- TEMPERATURA | NO AFECTA DE FORMA SIGNIFICATIVA LA OPERACIÓN DE LA UNIDAD DE AZUFRE II. | | N | | |

Anexo D. Instructivo para la puesta en marcha del cabezal de gas ácido, Código OMC-EC-I30 (02) Subsistema 2.

| | | |
|---|---|-----------------------------|
|  | INSTRUCTIVO PARA LA PUESTA EN MARCHA | Código: OMC-EC-I-30 (02) |
| | | Página 15 de 37 |

| | | | | |
|------------|-------------------------|--------------------------------------|--------|---|
| TI-14 y 15 | 1703-003-00-19-0-PL-002 | 8 ^o -SUA-02-A-1-S-4-ST-35 | UOP-II | Gas ácido línea existente Anima 3 / Nueva URC |
|------------|-------------------------|--------------------------------------|--------|---|

Incluye el cuadro de control RO-43702, el cual controla y registra la presión , UV43763, esta última que regula la entrada de gas ácido al Cabezal (Subsistema 2)

7.2 SUBSISTEMA 2

Subsistema de Transferencia o Cabezal Gas Acido entre Plantas

El Cabezal de Gas Ácido 10^o-SUA-02-A-1-S-4-ST-03 en su recorrido tiene tres (3) válvulas de corte de emergencia para aislar el sistema por incendio o ruptura de la línea y son operadas desde el DCS. Estas válvulas están localizadas en los siguientes puntos: UV-43763 localizada en el área del Bloque B de la NURC cerca a los Tie-In 14 y 15, UV 28854 en el área de Cracking UOP 1 en la conexión de gas ácido desde / hacia nueva Amina 5 futura en Bloque 3 de UBAL y la UV-28851 en el área de Cracking UOP1 en la conexión del cabezal de gas ácido con la interconexión del D-2886 y el D-2883.

A lo largo de su recorrido contará con tres entradas correspondiente a los Subprocesos de Recolección de Condensado y respectivo manejo mediante Tambores y Bombas de desplazamiento positivo que desalojarán el líquido hacia el Sistema de Aguas Agrias (D2812, D3813 y D31814).

Estas estaciones de recolección de Condensados son los Subsistemas 2, 3 y 4

7.3 SUBSISTEMA 3, 4 y 5

Subsistemas o Nodos de Control de los Tambores Recolectores de Condensado, D-2812 / 3813 / 3814

El tambor D-2812 reportará sus señales de instrumentos al DCS de la Unidad de Balance UOP1 y los tambores D-3813 / 3814 reportarán sus señales de instrumentos al DCS de casa de bombas No. 8. Cada uno de estos tambores contará con los siguientes instrumentos y reportarán al DCS respectivo:

Para los respectivos números de identificación de la instrumentación que aplican para cada tambor recolector ver P&ID 1703-003-00-19-0-PL-002

- Transmisor de nivel de tipo Desplazamiento "top mounted" con indicación de nivel local, de tipo electrónico y con indicación y alarmas por nivel **bajo, alto y alto-alto** en el DCS de la sala de control respectiva (Casa de Bombas No. 8 - Unidad de Balance o UOP2). Este cuadro de control será configurado en el DCS de la Unidad que corresponda.



Anexo E. Cotización del posicionador.

| | | | | | | | | | | | |
|--|--------------|---|--|--|--|----------------|----------|------------------|--------|--|--------------|
| | | CONDICIONES COMERCIALES | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| Cliente: ECOPETROL S.A Atn.: ING. RODRIGO CARRILLO C.C.: Fax: e-mail: Rodrigo.Carrillo@ecopetrol.com.co | | Fecha: SEPTIEMBRE 4 DE 2008 LILIANA PÉREZ Ing. Ventas | | Oferta No.: 08A9C171246 | | | | | | | |
| REFERENCIA: SOLICITUD COTIZACIÓN DVC FIELDVUE 6000 | | | | | | | | | | | |
| <table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 70%;">TOTAL MATERIAL</td> <td style="text-align: right;">2.357,00</td> </tr> <tr> <td>IMPOVENTAS (16%)</td> <td style="text-align: right;">377,12</td> </tr> <tr> <td>TOTAL MATERIAL DDP, BARRANCABERMEJA</td> <td style="text-align: right; border-top: 1px solid black;">2.734</td> </tr> </table> | | | | | | TOTAL MATERIAL | 2.357,00 | IMPOVENTAS (16%) | 377,12 | TOTAL MATERIAL DDP, BARRANCABERMEJA | 2.734 |
| TOTAL MATERIAL | 2.357,00 | | | | | | | | | | |
| IMPOVENTAS (16%) | 377,12 | | | | | | | | | | |
| TOTAL MATERIAL DDP, BARRANCABERMEJA | 2.734 | | | | | | | | | | |
| <u>VALIDEZ:</u> | | 30 días a partir de la fecha de esta oferta. | | | | | | | | | |
| <u>PRECIOS:</u> | | En US dólares DDP, Barrancabermeja cambio a pesos a la TRM de la fecha de facturación. | | | | | | | | | |
| <u>ENTREGA:</u> | | Su Planta: 5 - 7 semanas después de recibir su orden de compra. | | | | | | | | | |
| <u>TERMINOS:</u> | | Pago neto 30 días a partir de la fecha de facturación a favor de PUFFER COLOMBIA | | | | | | | | | |
| <u>GARANTÍA:</u> | | 12 meses después del arranque del equipo o 18 meses después de salir el equipo de fábrica, lo que ocurra primero. Esta garantía cubre lo referente al desempeño general del equipo, como es su dimensionamiento, configuración y calibración y no a su compatibilidad del material de construcción del equipo con el fluido | | | | | | | | | |
| <u>CANCELACION Y/O CAMBIO</u> | | Cualquier cancelación y/o cambio parcial o total de la orden de compra, una vez esta haya sido colocada en fabricación, causará el cobro hasta del 20% del valor de la porción cancelada. | | | | | | | | | |

OBSERVACIONES:

- Se cotizó DVC FIELDVUE 6000 con señal 4-20 mA protocolo HART.

Cordialmente,

LILIANA PÉREZ
Ing. Ventas

| Quotation Summary | | | | | | | |
|--|-----|-----|-------------------------------|--|-----------------------------|-----------|--|
| Contact: RFQ: Project: PUFFER COLOMBIA NUESTRA OFERTA N° 08A9C171246 | | | | Contact: Quote: LPECO05 Rev: 00 Date: 03 SEP 08 | | | |
| Item | Rev | Qty | Description/Tags | Price Each U.S. Dollars | Total Price U.S. Dollars | Est. Del. | |
| 001 | | 1 | Type DVC6020;DVC6000 FIELDVUE | 2,357.00 | 2,357.00 | | |
| Total Base Bid: | | | | | 2,357.00 | | |
| All Prices are in: U.S. Dollars | | | | | | | |

Anexo F. Cotización Caudalimetro Ultrasónico.



S
H
O
R
T

F
O
R
M

B
U
D
G
E
T

P
R
O
P
O
S
A
L

KROHNE Oil & Gas

Ultrasonic Gas Flowmeter – OPTISONIC 7060

| | |
|--------------------------|--------------------------------------|
| Client | : ECOPETROL S.A. GRB |
| Client enquiry no. | : - |
| Address | : GERENCIA REFINERIA BARRANCABERMEJA |
| Telephone no. | : - |
| For the attention of | : RODRIGO CARRILLO |
| Date | : Monday, 25 August 2008 |
| ECI – INTERNAL REFERENCE | : C12DIC-08-1748 |

ECI SALES ENGINEER
JOHANN F. PACHON P.
Tel. : 571 - 3275151
E-mai: jpachon@eci.com.co

| | | | | |
|-----------|-----------------------|---------------|----------------|---|
| Project : | OPTISONIC 7060 2-path | Client Ref. : | | |
| Client : | ECOPETROL S.A. GRB | Our Ref No.: | C12DIC-08-1748 | 1 |

**Asunto: OPTISONIC 7060 2-path Ultrasonic Gas Flowmeter**

Bogotá, 25 August 2008

Project Name: H2S Application
Project Consultant: -
ECI Reference: C12DIC-08-1748

Estimado Ingeniero,

Respecto a nuestra mas reciente correspondencia tenemos el placer de someter a su consideración nuestra oferta presupuestal por el proyecto del asunto.

BASE:

Precio presupuestal para ECOPETROL S.A. GRB FCA

| Item | Descripción | Cant | Precio unit [EUR] | Total [EUR] |
|------|--|-------|-----------------------|-------------|
| 1. | OPTISONIC 7060 2-beam flanged ultrasonic gas flowmeter (consisting of UFS+UFC, power supply 24 Vdc), size 8" ASME 150lbs RF, material carbon steel, NACE MR01-75 incl. standard factory test | 1 ea | 14.343.75 | 14.343.75 |
| 2. | Project Management, Document Control, packing, handling | 1 lot | 3.243.75 | 3.243.75 |
| | | | Total EXW price EURO: | 17.587.00 |
| | | | Total FCA price EURO: | 17.687.00 |

Por favor refiérase a las siguientes páginas para revisar los detalles

Estamos seguros que hemos incluido los detalles adecuados para permitir a usted el estudio de nuestra oferta, por favor no dude en consultarnos ante cualquier inquietud.

Cordialmente

Johann F. Pachón P.
Director de cuenta
División Energía
Equipos y Controles Industriales S.A.
Tv. 18 bis No 38-41
Bogota, Colombia
TEL: 57-1-327 5151
Fax: 57-1 2885589

| | | | | |
|-----------|-----------------------|---------------|----------------|---|
| Project : | OPTISONIC 7060 2-path | Client Ref. : | | |
| Client : | ECOPETROL S.A. GRB | Our Ref No.: | C12DIC-08-1748 | 2 |

1 Introducción

La siguiente propuesta provee un breve vistazo de materiales y servicios que ofrece ECI para el proyecto del asunto.

2 Descripción de actividades:

Servicios incluidos:

- Diseño, ingeniería, procura, manufactura, ensamblaje, QA/QC
- Pruebas de aceptación en Fábrica y documentación Standard.

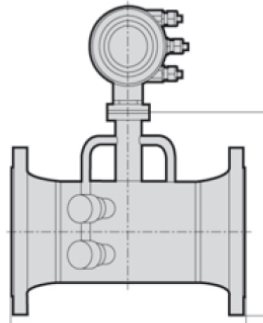
3 Datos de proceso

El sistema de medida ha sido diseñado y estimado basado en los detalles abajo.

| Product (Hydrogen Sulphide 97%) | Tag no. (...) | |
|---------------------------------|----------------|--------------------|
| Water content | N/A | % |
| Density | 1.4334 | kg/m ³ |
| Viscosity | 0.012 | cP |
| Product operating temperature | 60 * | °F |
| Product operating pressure | 11 ~ 17 | psi(g) |
| Ambient temperature | * | °C |
| Flow nominal | 61,169 | ft ³ /h |
| Flow maximum | * | ft ³ /h |
| Calibrated range | N/A | m ³ /h |
| Flow direction | Unidirectional | |

(*) Provide further data if available.

4 Alcance de suministro



1. 1 OPTISONIC 7060 2-path size 8" / 150lbs
2. Documentación
3. Empaque

| | | | |
|-----------|-----------------------|---------------|-------------------------|
| Project : | OPTISONIC 7060 2-path | Client Ref. : | |
| Client : | ECOPETROL S.A. GRB | Our Ref No.: | C12DIC-08-1748 3 |



5 Materiales, Diseño, soldadura y pintura

El material del elemento sensor de flujo es Carbon Steel como es standard en Krohne.

Todos los materiales de tubería adyacente son en Carbon Steel, se puede ofrecer otro tipo de material bajo pedido:

- Pip : ASTM A106 Gr.6 NACE MR01-75 latest
- Fla : ASTM A105 schedule to NACE MR01-75 latest
- Des : ASME B31.3
- Welding : Per approved workshop procedures complying with ASME
- NDT : Per KOG standard workshop procedure available on request
- Painting : Per KOG standard paint system for onshore conditions, procedures available on request.

6 Aclaraciones

1. Esta oferta esta basada en condiciones de fluido en una sola fase, fluido limpio y libre de turbulencia.
2. El cableado entre el medidor de flujo y el gabinete no esta incluido de esta oferta.
3. La precisión ofrecida con el OPTISONIC 7060 2-path es de $\pm 1\%$, documentación bajo pedido.
4. El OPTISONIC 7060 debe ser instalado con un mínimo de $10 \times D_N$ de tubería recta aguas arriba y $5 \times D_N$ de tubería recta aguas abajo.
5. Documentación adicional, calibración en sitio, otros costos directos o indirectos no están incluidos en esta oferta pueden ser ofrecidos bajo pedido.

7 Tiempo de entrega

El tiempo de entrega esperado FCA incluyendo calibración es de 8 a 10 semanas. Calibración opcional requiere una semana adicional pero depende de disponibilidad. El tiempo total por la orden será confirmado al recibir la orden de compra y la informaron técnica relevante.

8 Terminos

Por favor tenga en cuenta que la oferta presupuestal es una guía para estudio conceptual.

ECl S.A esta dispuesto a ofrecer una oferta co precio fijo una vez recibida información técnica detallada sobre el proceso.

| | | | | |
|-----------|-----------------------|---------------|----------------|---|
| Project : | OPTISONIC 7060 2-path | Client Ref. : | | |
| Client : | ECOPETROL S.A. GRB | Our Ref No.: | C12DIC-08-1748 | 4 |