

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
ÁREAS ESPECIALES DE GRADO



ANÁLISIS DE LOS CRITERIOS DE CONTROL DE UN PROCESO DE
ENDULZAMIENTO DE GAS NATURAL CON AMINAS A TRAVÉS DE DIAGRAMAS
DE FLUJO

Presentado por:

CECCONELLO LEOPARDI, LAURA DESIRÉE

SALAZAR SIFONTES, ADRIANA CAROLINA

Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como requisito
parcial para optar por el título de:

INGENIERO QUÍMICO

Puerto La Cruz, Agosto de 2011

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
ÁREAS ESPECIALES DE GRADO



ANÁLISIS DE LOS CRITERIOS DE CONTROL DE UN PROCESO DE
ENDULZAMIENTO DE GAS NATURAL CON AMINAS A TRAVÉS DE DIAGRAMAS
DE FLUJO

Ing. Químico Ivelia Avendaño
Asesor Académico

Puerto La Cruz, Agosto de 2011

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
ÁREAS ESPECIALES DE GRADO



ANÁLISIS DE LOS CRITERIOS DE CONTROL DE UN PROCESO DE
ENDULZAMIENTO DE GAS NATURAL CON AMINAS A TRAVÉS DE DIAGRAMAS
DE FLUJO

Ing. Quim. Alexis Cova, M. Sc.
Jurado Principal

Ing. Quim. Yraima Salas, M. Sc.
Jurado Principal

Puerto La Cruz, Agosto de 2011

RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de Trabajo de Grado:

“LOS TRABAJOS DE GRADO SON DE EXCLUSIVA PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE Y SÓLO PODRÁN SER UTILIZADOS A OTROS FINES CON EL CONSENTIMIENTO DEL CONSEJO DE NÚCLEO RESPECTIVO, QUIEN LO PARTICIPARA AL CONSEJO UNIVERSITARIO”

AGRADECIMIENTOS

A la madre por todos los regalos recibidos.

A mis padres Lourdes Leopardi y Edoardo Cecconello por todo su apoyo y comprensión.

A mi hermana Ana Cecconello por ser mi roca.

A Adolfo Rodríguez por estar allí sin condiciones.

A Adriana Salazar por ser la mejor compañera de todas.

A Luis Pimentel por ser más que un transporte.

A todos mis compañeros de estudio y travesuras por cada uno de sus aportes.

A la profesora Isvelia Avendaño por su ayuda y dedicación.

Al personal de PDVSA por todo su apoyo y recibimiento.

A todos muchas gracias.

Laura Cecconello

AGRADECIMIENTOS

Adriana Salazar

RESUMEN

Se analizaron los criterios de control de un proceso de endulzamiento de gas natural con aminas a través de la construcción de diagramas de flujo. Se describió con detalles el proceso de endulzamiento con aminas, para luego identificar los criterios de control definiendo la lógica de control de forma específica en cada etapa del proceso y, en función de esto se explicaron los posibles problemas operacionales que ocurren durante el proceso de endulzamiento de gas natural con aminas, con el fin de obtener la información necesaria para construir diagramas de flujo del proceso, resaltar su importancia como herramienta de trabajo y realizar un análisis del mismo, de manera que se realizaron propuestas de reingeniería para aumentar la eficiencia y mejorar el proceso en su totalidad

Palabras clave: Diagramas, endulzamiento, aminas, control, gas natural.

TABLA DE CONTENIDO

RESOLUCIÓN	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
RESUMEN.....	VII
TABLA DE CONTENIDO	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
CAPÍTULO I Introducción	1
1.1 Planteamiento del Problema	XIII
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo General.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos.....	2
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	3
2.1 Antecedentes	3
2.2 Bases Teórica	3
2.2.1. Composición del gas ante el proceso de endulzamiento	4
2.2.1.1 Condiciones de entrada y salida del gas natural al proceso de endulzamiento	5
2.2.1.2 Especificaciones del gas residual.....	5
2.2.1.3 Características del gas a tratar.....	6
2.2.2. Tipos de procesos que se utilizan para el endulzamiento del gas natural ..	7
2.2.2.1 Procesos de absorción química	7
2.2.3. Fundamentos básicos del criterio de control.....	9
2.2.3.1 Conceptos y definiciones básicas	9
2.2.3.2 Clasificaciones de los Instrumentos	12
2.2.4. Variables tomadas en cuenta en los criterios de control existentes en la actualidad	14
2.2.5. Criterios requeridos para la construcción de un diagrama de flujo	16
2.2.5.1 Diagrama de flujo	16
2.2.5.2 Uso de los diagramas de flujo	16
2.2.5.3 Metodología para preparar un diagrama de flujo	18

2.2.5.4 Símbolos especializados utilizados para elaborar diagramas de flujo.....	19
2.2.5.5 Construcción e interpretación de diagrama de flujo	20
2.2.5.6 Aplicación en la industria.....	21
2.2.5.8 Formato recomendado para la construcción de diagramas	25
2.2.5.9 Información contenida dentro de un PDF comercial.....	25
CAPÍTULO III DESARROLLO DEL PROYECTO.....	27
3.1 Descripción del proceso de endulzamiento de gas natural con aminas.....	27
3.2. Criterios de control aplicados a un sistema de endulzamiento de gas con aminas	32
3.3 Definición de la lógica de control del proceso de endulzamiento de gas natural con aminas.....	35
3.3.1 Sección de Absorción de gas ácido	36
3.3.2 Sección de Regeneración de Amina.....	39
3.4 Problemas operacionales del proceso de endulzamiento de gas natural con aminas.	46
3.4.1 Ineficiencia de un subsistema (efecto en cadena)	47
3.4.2 Contaminación de la solución absorbedora con agentes externos.....	48
3.4.3 Contaminación de la amina con aceite de calentamiento	48
3.4.4 Presencia de hidrocarburos en la amina.....	48
3.4.5 Formación de espuma	49
3.4.6 Problemas durante la regeneración de la amina	49
3.4.7 Valor de la concentración de la amina fuera del rango de diseño	50
3.4.8 Aumento de los diferenciales de presión en los contactores	50
3.4.9 Taponamiento del intercambiador amina-amina por incrustaciones de sales estables	51
3.4.10 Taponamiento de válvulas	51
3.4.11 Corrosión de equipos y tuberías	51
3.5 Diagramas de procesos e instrumentación del proceso de endulzamiento del Gas Natural con Aminas	52
CAPÍTULO IV DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53

4.1	Discusión de Resultados.....	53
4.1.1	Descripción del proceso de endulzamiento del gas natural como base para la elaboración de diagramas de flujo	53
4.1.2	Efecto de las variables operacionales en el control del proceso de endulzamiento del gas natural	54
4.1.3	Puntos críticos de la lógica de control de las etapas del proceso de endulzamiento del gas natural	56
4.1.3.1	Sección de absorción del gas ácido	56
4.1.3.2	Sección de regeneración de la amina	57
4.1.4	Reingeniería del proceso de endulzamiento del gas natural en función a los problemas operacionales.....	58
4.1.5	Los diagramas de flujo como herramienta de trabajo fundamental dentro de la ingeniería	61
4.2	Conclusiones.....	64
4.3	Recomendaciones	65
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
	METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Composición del gas natural.....	4
Tabla 2.2 Símbolos para la elaboración de diagramas de flujo	19

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Tecnologías y porcentaje de utilización	15
Figura 2.2 Símbolos utilizados para elaborar un PDF.....	20
Figura 2.3 Diagrama de bloque de un proceso	22
Figura 2.4 Diagrama de equipo simplificado de un proceso	23
Figura 2.5 Diagrama detallado de equipos de un proceso.....	24
Figura 2.6 Diagrama de Instrumentación y tuberías (P&ID) de un proceso.....	25
Figura 3.1 Diagrama de bloque del proceso de endulzamiento de gas natural con aminas	27
Figura 3.2 Diagrama de equipos simple del proceso de endulzamiento del gas natural con aminas	29
Figura 3.3 Controles implementados en el depurador de gas	36
Figura 3.4 Controles implementados en la torre contactora de amina.....	37
Figura 3.5 Controles implementados en el recuperador de amina.....	38
Figura 3.6 Controles implementados en el separador trifásico.	39
Figura 3.8 Controles implementados en la torre regeneradora.....	41
Figura 3.9 Controles implementados en el condensador.....	42
Figura 3.10 Controles implementados en el sistema de reflujo a la torre regeneradora.....	43
Figura 3.11 Controles implementados en el tanque de mezcla de aminas y gasificador.....	44
Figura 3.12 Controles implementados en las bombas.	44
Figura 3.13 Controles implementados en los filtros	45
Figura 3.14 Controles implementados en el enfriador de aminas y las bombas de alta	46
Figura 4.1 Diagrama de equipos simples del proceso de endulzamiento del Gas Natural con Aminas con propuestas de instalación de nuevos equipo.....	60

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El gas natural es una mezcla de diversos hidrocarburos gaseosos que se encuentran en el subsuelo. Primordialmente está compuesto de metano, etano, propano y butano, además de componentes más pesados en menores proporciones. Es posible conseguir en el gas natural cantidades variables de otros gases no hidrocarburos, como dióxido de carbono, sulfuro de hidrogeno, nitrógeno, helio, vapor de agua, etc.; y estos compuestos deben ser retirados.

La industria venezolana a través de los años ha ido evolucionando en todos los aspectos, pero cuando se trata de remover impurezas del gas, más específicamente de remover los gases ácidos, actualmente se utiliza un proceso llamado endulzamiento del gas natural, el cual permite llevar la composición del gas a los niveles permitidos, en cuanto a éstos gases contaminantes se refiere.

Todo proceso industrial tiene su grado de complejidad, incluyendo el proceso de endulzamiento, el cual está constituido por diferentes etapas y equipos involucrados. A través del uso de herramientas como los diagramas de flujo, los cuales son representaciones gráficas de un proceso, se puede recrear de manera relativamente sencilla como funciona realmente el proceso, además de que pueden ser identificadas las posibles fallas que puede presentar el proceso, donde y que medidas pueden tomarse para evitarlas. Un diagrama de flujo también puede ser utilizado para el entrenamiento de personal, lo que resalta como esta herramienta es multifuncional y de gran provecho.

Debido a la complejidad del proceso de endulzamiento, éste se describirá a detalle, se definirá la lógica de control para cada una de sus etapas, y se explicará

los posibles problemas operacionales que ocurren durante el endulzamiento, lo que permitirá elaborar diagramas de flujo del proceso.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Analizar los criterios de control de un proceso de endulzamiento de gas natural con aminas a través de la construcción de diagramas de flujo.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Describir el proceso de endulzamiento del gas natural con aminas.
2. Definir la lógica de control para cada etapa del proceso de endulzamiento del gas natural con aminas.
3. Explicar los posibles problemas operacionales que ocurren durante el proceso de endulzamiento de gas natural con aminas.
4. Construir diagramas de flujo para el proceso de endulzamiento de gas natural con aminas.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

Llera y col, en el año 2004 elaboraron un diagrama de flujo para el diseño de un sistema de control de calidad para el proceso de elaboración de vino blanco, a través de el se conoció la lógica del proceso de elaboración, se realizó un diagnóstico del proceso y se detectaron los puntos críticos de control que pudieron provocar el deterioro en la calidad del producto o del ambiente. (Llera, 2004)

Kooy, en el año 1996 describió los pasos de la producción de metanol y gasolina para su uso como combustible, en las plantas de Methanex ubicadas en Kapuni y Maui (Hawai, Estados Unidos), utilizando diferentes diagramas de flujo de acuerdo a la etapa descrita. (Kooy, 1996)

Hsu y col, en el año 1980 elaboraron un diagrama de flujo para obtener y presentar las soluciones de su propuesta del uso de membranas selectivas para la ultrafiltración de materiales de diferente tamaño molecular, se realizó el diagnóstico del proceso en base a la recuperación del 96% de producto, se mostraron solo las soluciones óptimas. (Hsu, 1980)

En la Universidad de Oriente no existen trabajos de investigación, que se hayan realizado en el área de control, que estén orientados hacia el tema de los diagramas de flujo, por lo que cabe destacar que es un tópico sin desarrollar, y que el presente proyecto servirá como referencia para futuras investigaciones.

2.2 BASES TEÓRICA

2.2.1. Composición del gas ante el proceso de endulzamiento

No existe una composición o mezcla que se pueda tomar para generalizar la composición del gas natural. Cada gas tiene su propia composición, de hecho, dos pozos de un mismo yacimiento puede tener una composición diferente entre si. También la composición del gas varía conforme el yacimiento va siendo explotado, es por eso que se deberá hacer un análisis periódico al gas que es extraído, para adecuar los equipos de explotación a la nueva composición y evitar problemas operacionales.

El gas natural como producto comercializable es básicamente metano, tiene una gravedad específica mucho menor con relación al aire, razón por lo cual, presenta esta característica básica de menor peso que el aire, por lo que en la atmósfera se dispersa rápidamente. Es el más ligero de los hidrocarburos. También se encuentran cantidades menores de etano, propano y butano. Además puede contener porcentajes muy pequeños de compuestos más pesados. El gas natural puede obtenerse como tal en yacimientos de gas libre o asociado en yacimientos de petróleo y de condensado.

La composición de una mezcla de gas es expresada tanto en fracción molar, fracción volumen o fracción peso de sus componentes, aunque también puede ser expresada en porcentaje molar, en porcentaje volumen o porcentaje en peso, como se muestra en la tabla 2.1

Tabla 2.1 Composición del gas natural

Componente	Estado	Fórmula Química	Variación de Porcentaje Molecular
Metano	Gas	CH ₄	55,00 - 98,00
Etano	Gas	C ₂ H ₆	0,10 - 20,00
Propano	Gas	C ₃ H ₈	0,05 - 12,00

n-Butano	gas	C ₄ H ₁₀	0,05 - 3,00
Iso-Butano	gas	C ₄ H ₁₀	0,02 - 2,00
n-Pentano	líquido	C ₅ H ₁₂	0,01 - 0,80
Iso-Pentano	líquido	C ₅ H ₁₂	0,01 - 0,80
Hexano	líquido	C ₆ H ₁₄	0,01 - 0,50
Heptano	líquido	C ₇ H ₁₆	0,01 - 0,40
Nitrógeno	gas	N ₂	0,10 - 0,50
Dióxido de Carbono	gas	CO ₂	0,20 - 30,00
Oxígeno	gas	O ₂	0,09 - 0,30
Sulfuro de Hidrógeno	gas	H ₂ S	Trazas - 28,00
Helio	gas	He	Trazas - 4,00

2.2.1.1 Condiciones de entrada y salida del gas natural al proceso de endulzamiento

Aunque existen muchos procesos de endulzamiento, para un caso particular dado los procesos aplicables se reducen a 3 ó 4 si se analizan los siguientes aspectos:

- Especificaciones del gas residual
- Composición del gas de entrada
- Consideraciones del proceso
- Disposición final del gas ácido
- Costos

2.2.1.2 Especificaciones del gas residual

Dependiendo de los contenidos de contaminantes permitidos en el gas de salida del proceso habrá procesos que no podrán llevar las concentraciones a tales niveles y por tanto serán eliminados. En algunos casos se requieren procesos selectivos porque, por ejemplo, hay veces que es necesario dejar el CO₂ en el gas de salida con el fin de controlar su poder calorífico. La selectividad también es importante en casos en que la relación CO₂/H₂S sea alta y se requiera hacer pasar el gas ácido por una unidad recuperadora de azufre; la presencia de CO₂ afecta el

desempeño de la unidad. El contenido de H_2S es un factor importante, quizás el mas, en el gas de salida.

El contenido de azufre total en el gas residual se refiere a la combinación de H_2S , COS , CS_2 y RSR . Lo ideal es remover todo el azufre del gas porque estos compuestos de azufre tienden a concentrarse en los líquidos obtenidos en la planta de gas, lo cual podría implicar tratamiento de estos líquidos.

2.2.1.3 Características del gas a tratar

Este factor es determinante en el diseño del proceso de endulzamiento, algunos procesos tienen desempeños muy pobres con algunos gases de entrada y deben ser eliminados en la selección. En cuanto a la composición del gas el área de mayor importancia es la cantidad relativa de hidrocarburos pesados recuperables; algunos procesos tienen tendencia a absorber hidrocarburos, y esta tendencia es mayor mientras más pesados sean los hidrocarburos, los cuales no solo crean problemas de espumas sino que también afectan el proceso de recuperación de azufre.

La presión del gas de entrada también es un factor importante en la selección del proceso. Los procesos con carbonato y los de absorción física requieren presiones de al menos unas 400 Lpc, normalmente de 800 Lpc, por lo tanto estos procesos no se podrán aplicar cuando se va a trabajar a presiones bajas.

La temperatura del gas también es importante porque define la temperatura de la solución absorbidora; una buena recomendación es que la temperatura de la solución sea unos 15 – 20 °F por encima de la del gas de entrada; pues si el solvente está más frío que el gas de entrada habrá condensación y los siguientes problemas de formación de espumas.

La cantidad de gas a tratar define el tamaño del equipo y posiblemente el número de plantas en paralelo cuando se manejan volúmenes grandes de gas.

2.2.2. Tipos de procesos que se utilizan para el endulzamiento del gas natural

Los procesos que se aplican para remover H_2S y CO_2 se pueden agrupar en cinco categorías de acuerdo a su tipo y pueden ser desde demasiado sencillos hasta complejos dependiendo de si es necesario recuperar o no los gases removidos y el material usado para removerlos. En algunos casos no hay regeneración con recobro de azufre y en otros si. Las cinco categorías son:

- Absorción química (procesos con aminas y carbonato de potasio). La regeneración se hace con incremento de temperatura y decremento de presión.
- Absorción Física. La regeneración no requiere calor.
- Híbridos. Utiliza una mezcla de solventes químicos y físicos. El objetivo es aprovechar las ventajas de los absorbentes químicos en cuanto a capacidad para remover los gases ácidos y de los absorbentes físicos en cuanto a bajos requerimientos de calor para regeneración.
 - Procesos de conversión directa. El H_2S es convertido directamente a azufre.
 - Procesos de lecho seco. El gas agrio se pone en contacto con un sólido que tiene afinidad por los gases ácidos. Se conocen también como procesos de adsorción.

Aunque son muchos los criterios a tener en cuenta para establecer cual categoría puede ser mejor que otra, uno de estos criterios y quizás el más importante desde el punto de vista de capacidad para remover el H_2S es su presión parcial.

2.2.2.1 Procesos de absorción química

Estos procesos se caracterizan porque el gas agrio se pone en contacto en contracorriente con una solución en la cual hay una substancia que reacciona con los gases ácidos. El contacto se realiza en una torre contactora en la cual la solución entra por la parte superior y el gas entra por la parte inferior. Las reacciones que se presentan entre la solución y los gases ácidos son reversibles y por lo tanto la solución al salir de la torre se envía a regeneración. Los procesos con aminas son los más conocidos de esta categoría y luego los procesos con carbonato.

El punto clave en los procesos de absorción química es que la contactora sea operada a condiciones que fuercen la reacción entre los componentes ácidos del gas y la solución absorbedora (bajas temperaturas y altas presiones), y que el regenerador sea operado a condiciones que fuercen la reacción para liberar los gases ácidos (bajas presiones y altas temperaturas).

Procesos con aminas

Los procesos con aminas son los más usados, consisten en la absorción selectiva de los contaminantes, principalmente H_2S y CO_2 , mediante una solución acuosa a base de una formulación de amina, la cual circula en un circuito cerrado donde es regenerada para su continua utilización. Las alcanolaminas más usadas son: monoetanolamina (MEA), dietanolamina (DEA), diglicolamina (DGA), diisopropanolamina (DIPA) y metildietanolamina (MDEA).

Los procesos con aminas son aplicables cuando los gases ácidos tienen baja presión parcial y se requieren bajas concentraciones del gas ácido en el gas de salida (gas residual).

Ventajas del proceso con aminas

- Proceso conocido y abierto.
- Amplio rango de presión y temperatura en el gas de entrada y salida.
- Remueve CO_2 y H_2S hasta los rangos permisibles.
- Flexibilidad en el diseño y operación.
- Bajo costo.

Desventajas del proceso con aminas

- Altos requerimientos de energía.
- Implica el uso de múltiples equipos.
- Problemas por corrosión.
- Degradación de la solución absorbedora.
- Formación de espuma.

2.2.3. Fundamentos básicos del criterio de control

La instrumentación y control, como especialidad de Ingeniería, es aquella parte de la ingeniería que es responsable de definir el nivel de automatización de cualquier planta de proceso e instalación industrial, la instrumentación de campo y el sistema de control para un buen funcionamiento del proceso, dentro de la seguridad para los equipos y personas, de acuerdo a la planificación y dentro de los costos establecidos y manteniendo la calidad.

Otro concepto más técnico, diría que la instrumentación y control son aquellos dispositivos que permiten:

- Capturar variables de los procesos.
- Analizar las variables de los procesos.
- Modificar las variables de los procesos.
- Controlar los procesos.
- Traducir los procesos a unidades de ingeniería.

Los procesos industriales exigen el control de la fabricación de los diversos productos obtenidos. Los procesos son muy variados y abarcan muchos tipos de productos como pueden ser derivados del petróleo, agua, vapor, gases, ácidos, pasta para producir papel, etc. teniendo todos ellos la necesidad de ser medidos y controlados, así como se deben mantener unas constantes dentro de unos márgenes establecidos.

2.2.3.1 Conceptos y definiciones básicas

Con el fin de que se puedan entender mejor los conceptos, a continuación se definen algunos términos:

- Automatización: acción por la cual se ejecuta un proceso de producción sin la intervención del operador de forma permanente.
- Control Avanzado: técnicas que se apartan del control convencional PID y que se aplican en procesos muy complejos, no lineales, con retardos importantes y

acoplamiento entre las variables. Se emplean en general para mejorar el rendimiento económico del proceso.

- Control Distribuido: control digital realizado “distribuyendo” el riesgo del control único por ordenador en varios controladores o tarjetas de control de tipo universal con algoritmos de control seleccionables por software. Los transmisores electrónicos de campo, las tarjetas de control y la estación del operador están unidos mediante una red de comunicaciones y cada componente se ubica en el lugar más idóneo de la planta.

- Control en Lazo Cerrado: la variable controlada se mide constantemente y se compara con el valor de referencia. Si se produce desviación entre ambos valores se aplica una acción correctora al elemento final de control para retornar la variable controlada al valor deseado. Equivale a mantener el controlador en modo automático.

- Control Manual: el operador mantiene la variable controlada en su valor de referencia modificando directamente el valor de la variable manipulada.

- Control Todo-Nada: la salida del controlador se conmuta de abierta a cerrada cuando la señal de error pasa por cero. Es la forma más simple de control, donde el elemento final de control solo puede ocupar una de las dos posiciones posibles.

- Controlador: instrumento o función de software que compara la variable controlada con un valor deseado y ejerce automáticamente una acción de corrección de acuerdo con la desviación.

- Controlador programable: Instrumento basado en microordenador que realiza funciones de secuencia y enclavamiento de circuitos y, como complemento, funciones de control PID.

- Deriva: desviación permanente de una señal que se produce de forma muy lenta a lo largo de un cierto periodo de tiempo.

- Elemento Final de Control: recibe la señal del controlador y modifica el caudal del fluido o agente de control. La válvula de control es el elemento final típico.

- Estabilidad: capacidad de un instrumento para mantener su comportamiento durante su vida útil y de almacenamiento especificadas.

- Multiplexión: selección en secuencia automática de una señal entre un grupo de señales. La señal seleccionada se transmite a través de un canal único para todas ellas.

- Precisión: es el grado de repetición de valores obtenidos al medir la misma cantidad. No significa necesariamente que las medias realizadas sean exactas.

- Proceso Continuo: proceso en el cual entran componentes y salen productos en caudales sin restringir y durante largos periodos de tiempo. Por ejemplo, un proceso de destilación en una refinería.

- Proceso Discontinuo: proceso que se lleva a cabo con una cantidad dada de material dentro de un equipo o sistema sin que se añada material adicional durante la operación. Por ejemplo un proceso del sector farmacéutico utilizando un reactor.

- Proceso: desde el punto de vista de operación es un lugar donde materia, y muy a menudo energía, son tratados para dar como resultado un producto deseado o establecido. Desde el punto de vista de control es un bloque con una o varias variables de salida que ha de ser controladas actuando sobre las variables de entrada manipuladas.

- Punto de Consigna: variable de entrada en el controlador que fija el valor deseado de la variable controlada. Puede fijarse manual o automáticamente, o bien programarse.

- Rango o campo de medida: conjunto de valores de la variable medida comprendidos dentro de los límites superior e inferior del campo de medición de un instrumento. Siempre viene establecido con los dos valores extremos, como por ejemplo, 0-50°C, 0-220 bar(g), 20-80 Kg/h, 0-0,5 µS/cm.

- Repetitividad: capacidad de reproducción de los valores de salida del instrumento al medir repetidamente valores idénticos de la variable en las mismas condiciones de servicio y en el mismo sentido de variación recorriendo todo el campo. Viene expresada en tanto por ciento del rango. Ejemplo: $\pm 0,1\%$ de 150o C = $\pm 0,15$ o C (campo- 50 a 100°C)

- Sensibilidad: razón entre el incremento de la lectura y el incremento de la variable que lo ocasiona después de haberse alcanzado el estado de reposo. Viene

dada en tanto por ciento del rango de la medida. Ejemplo: $\pm 0,05$ por ciento de 200°C = $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ (campo $100 - 300^{\circ}\text{C}$)

- Sensor: convierte una variable física (presión, temperatura, caudal, etc.), en otra señal compatible con el sistema de medida o control.

- Señal de Salida: señal producida por un instrumento que es función de la variable medida.

- Transmisor: capta la variable de proceso a través del elemento primario y la convierte a una señal de transmisión estándar.

- Variable Controlada: dentro del bucle de control es la variable que se capta a través del transmisor y que origina una señal de realimentación.

- Variable Manipulada: cantidad o condición del proceso variada por el elemento o elementos finales de control.

2.2.3.2 Clasificaciones de los Instrumentos

Los instrumentos por tipo de función pueden subdividirse en los siguientes tipos:

Elementos Primarios

Son aquellos instrumentos que están en contacto con el fluido o variable, utilizando o absorbiendo energía del medio controlado para dar al sistema de medición una indicación en respuesta a la variación de la variable controlada. Los ejemplos más típicos son las placas de orificio y los elementos de temperatura (termopares o termorresistencias). Cabe indicar que a los instrumentos compactos como manómetros, termómetros, transmisores de presión, etc. ya se supone que el elemento primario está incluido dentro del propio instrumento.

Transmisores

Son aquellos instrumentos que captan la variable de proceso, generalmente puede ser a través de un elemento primario, y la transmiten a distancia en forma de señal neumática (3-15 psi), electrónica (4-20 mA), pulsos, protocolarizada (hart) o bus de campo (Fieldbus Foundation, Profibus, etc.). Estos instrumentos dan una

señal continua de la variable de proceso. Dentro de los transmisores están los ciegos (sin indicador local) y con indicador local incorporado.

Indicadores Locales

Son aquellos instrumentos que captan la variable de proceso y la muestran en una escala visible localmente. Los indicadores locales más utilizados son los manómetros (presión), termómetros (temperatura), rotámetros (caudal), etc. Normalmente estos instrumentos no llevan electrónica asociada, aunque también se consideran indicadores locales a los indicadores electrónicos conectados a los transmisores. Estos últimos pueden ser analógicos o digitales.

Interruptores

Son aquellos instrumentos que captan la variable de proceso, y para un valor establecido actúan sobre un interruptor. Es decir, cambian de estado de reposo a activado cuando el proceso llega a un valor predeterminado. Es un instrumento todo-nada. Los instrumentos más habituales son los presostatos (presión), termostatos (temperatura), interruptores de nivel, flujostatos (caudal), etc.

Convertidores

Son aquellos instrumentos que reciben un tipo de señal de un instrumento y la modifican a otro tipo de señal. Pueden ser convertidores de señal neumática a electrónica, de mV a mA, de señal continua a tipo contacto, etc. Se usan habitualmente por necesidades de los sistemas de control de homogeneización.

Elementos finales de control

Son aquellos instrumentos que reciben un tipo de señal procedente de un controlador y modifica el caudal del fluido o agente de control. Los más habituales son las válvulas de control, servomotor o variador de frecuencia. Otros tipos de instrumentos cada vez menos utilizados son los registradores y controladores locales.

2.2.4. Variables tomadas en cuenta en los criterios de control existentes en la actualidad

Medidas de Presión

La medición de presión, junto a la de temperatura y nivel, son las variables de proceso más utilizadas en los procesos industriales. Las medidas de presión comúnmente utilizadas en la industria son:

- Presión relativa o manométrica.
- Presión absoluta.
- Presión diferencial.

En cuanto a las unidades utilizadas para las presiones, las más utilizadas son “bar”, “kg/cm²”, “mm.c.a”, para la mayoría de los proyectos. En proyectos americanos la unidad de presión por excelencia es el “psi”.

Medidas de Caudal

Las medidas de caudal tienen una gran importancia dentro de los procesos ya que se utilizan habitualmente para control del proceso y para medidas de contabilidad (facturación, importación/exportación de productos, etc.), por lo que la selección de la mejor tecnología tiene una gran implicación.

Así por ejemplo, los caudalímetros se utilizan para contabilizar productos dentro de la propia planta, con el exterior, etc. En cuanto al control de procesos, la medición de caudal es imprescindible para poder realizar control automático, así como para optimizar rendimientos en las unidades de producción aplicando balances de materia.

A continuación se muestra en la Figura 2.1, una gráfica representativa de las diferentes tecnologías y su porcentaje de utilización:

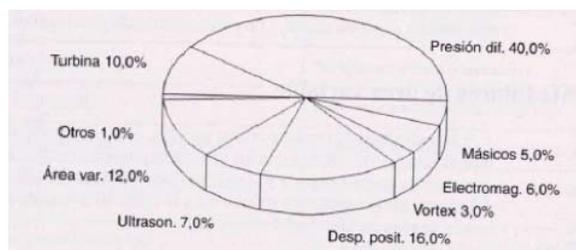


Figura 2.1 Tecnologías y porcentaje de utilización

Hay muchas formas de diferenciar los diferentes tipos de mediciones de caudal, siendo una de ellas la siguiente:

- Medidores Deprimógenos
- Medidores de Área Variable.
- Medidores de Desplazamiento Positivo.
- Medidores Másicos.

Medidas de Temperatura

Al igual que las medidas de presión y nivel, la medida de temperatura es una de las variables de proceso más utilizadas en los procesos industriales. Al igual que casi todas las variables de proceso, las limitaciones de las diferentes tecnologías de medición dependen de la precisión requerida, velocidad de respuesta, condiciones del proceso, etc. A diferencia de otras mediciones, cabe mencionar que las medidas de temperatura, en general, tienen una inercia bastante más elevada que otras variables de proceso como la presión o caudal (casi instantáneas).

Medidas de Nivel

La medición de nivel quizás sea la que más tecnologías disponen para su medición, y al contrario que el resto de las variables de proceso, existen en el mercado diversos sistemas de medición para las mismas aplicaciones. Es por ello que también la complicación que tienen los usuarios finales para poder seleccionar un sistema de medición. La forma de seleccionar la tecnología casi siempre depende de dos factores como son el precio y la precisión requerida, aparte de la validez de la tecnología para nuestro proceso. En el pasado, las tecnologías de medición estaban

basadas principalmente en métodos mecánicos y neumáticos, hasta la llegada de la tecnología electrónica. A continuación se da una ligera visión de una selección representativa de las técnicas de medición de nivel más comúnmente utilizadas.

2.2.5. Criterios requeridos para la construcción de un diagrama de flujo

En instrumentación y control, se emplea un sistema especial de símbolos con el objeto de transmitir de una forma más fácil y específica la información. Esto es indispensable en el diseño, selección, operación y mantenimiento de los sistemas de control.

2.2.5.1 Diagrama de flujo

Representación pictórica de los pasos en un proceso, útil para determinar como funciona realmente el proceso para producir un resultado. El resultado puede ser un producto, un servicio información o una combinación de los tres. Al examinar como los diferentes pasos de un proceso se relacionan entre si, se pueden descubrir con frecuencia las fuentes de problemas potenciales. Los diagramas de flujo se pueden aplicar a cualquier aspecto del proceso desde el flujo de materiales hasta los pasos para hacer la venta u ofrecer un producto. Los diagramas de flujo detallados describen la mayoría de los pasos de un proceso. Con frecuencia este nivel de detalles no es necesario, pero cuando se necesita, el equipo completo normalmente desarrollará una versión de arriba hacia abajo; luego grupos de trabajo más pequeño pueden agregar niveles de detalle según sea necesario durante el proyecto.

2.2.5.2 Uso de los diagramas de flujo

Los diagrama de flujo son utilizados cuando se necesita que un equipo conozca como funciona un proceso en su totalidad, este esfuerzo revela con frecuencia problemas potenciales tales como cuellos de botella en el sistema, pasos innecesarios y círculos de duplicación de trabajo. Algunas aplicaciones comunes son **(Sociedad Latinoamericana para la calidad, 2000):**

Definición de proyectos:

- Identificar oportunidades de cambios en el proceso

- Desarrollar estimados de costo de mala calidad
 - Identificar organizaciones que deben estar representadas en el equipo
 - Desarrollar una base común de conocimiento para los nuevos miembros del equipo
- Involucrar a trabajadores en los esfuerzos de resolución de problemas para reducir la resistencia futura al cambio.

Identificación de las causas principales:

- Desarrollar planes para reunir datos
 - Generar teorías sobre causas principales
 - Discutir las formas de estratificar los datos para el análisis para identificar las causas principales
- Examinar el tiempo requerido para las diferentes vías del proceso.

Diseño de soluciones:

- Describir los cambios potenciales en el proceso y sus efectos potenciales
- Identificar las organizaciones que serán afectadas por los cambios propuestos

Aplicación de soluciones:

- Explicar a otros el proceso actual y la solución propuesta
- Superar la resistencia al cambio demostrando como los cambios propuestos simplificarán el proceso.

Control (Retener las ganancias)

- Revisar y establecer controles y monitorias al proceso
- Auditar el proceso periódicamente para asegurar que se están siguiendo los nuevos procedimientos.
- Entrenar a nuevos empleados.

2.2.5.3 Metodología para preparar un diagrama de flujo

1. Propósito: Analizar como se pretende utilizar el diagrama de flujo. Exhibir esta hoja en la pared y consultarla en cualquier momento para verificar que su diagrama de flujo es apropiado para las aplicaciones que se pretenden.

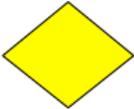
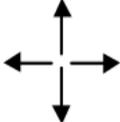
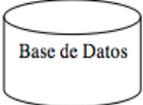
(Sociedad Latinoamericana para la calidad, 2000)

2. Determinar el nivel de detalle requerido
3. Definir los límites, después de establecer los límites del proceso, enumerar los resultados y los clientes en el extremo derecho del diagrama.
4. Utilizar símbolos apropiados: utilizando los símbolos apropiados para el diagrama, presentar las respuestas como los primeros pasos del diagrama.
5. Hacer preguntas para cada imputo, como por ejemplo que recibe cada imputo o que es lo primero que hace cada imputo.
6. Documentar cada paso de la secuencia, empezando con el primer (o último) paso. Para cada paso, hacer preguntas como:
 - ¿Qué produce este paso?
 - ¿Quién recibe este resultado?
 - ¿Qué pasa después?
 - ¿Alguno de los pasos requiere de imputo que actualmente no se muestran?
7. Complementar, continuar con la construcción del diagrama hasta que se conecten todos los resultados definidos en el extremo derecho del diagrama. Si se encuentra un segmento del proceso que es extraño para todos en el salón, se deberá tomar notas y continuar haciendo el diagrama.
8. Revisar:
 - ¿Todos los flujos de información encajan en los imputo y resultados del procesos?
 - ¿El diagrama muestra la naturaleza serial y paralela de los pasos?
 - ¿El diagrama capta de forma exacta lo que realmente ocurrió, a diferencia de la forma como se piensa que las cosas deberían pasar o como fueron diseñadas originalmente?
9. Determinar oportunidades

2.2.5.4 Símbolos especializados utilizados para elaborar diagramas de flujo

Los símbolos especializados utilizados para elaborar diagramas de flujo (**Sociedad Latinoamericana para la calidad, 2000**) se muestran a continuación en la Tabla 2.2

Tabla 2.2 Símbolos para la elaboración de diagramas de flujo

	Un paso o tarea del proceso. Una descripción breve del paso se presenta dentro del símbolo.
	Punto de verificación o de decisión. Este diamante indica un punto de la rama en el proceso. La descripción está escrita dentro del símbolo, generalmente en la forma de una pregunta. La respuesta a la pregunta determina el camino que debe tomarse desde el símbolo de decisión. Cada camino está identificado para que corresponda a una respuesta.
	Cola o punto de espera.
	Punto de Almacenamiento.
	Sub-proceso.
	Las "Líneas de flujo" son utilizadas para representar el progreso de los pasos en la secuencia. La punta de la flecha indica la dirección del flujo del proceso.
Otros dos símbolos que no son utilizados tan comúnmente y que pueden ser útiles son:	
	* El "símbolo del documento" representa la información escrita pertinente al proceso.
	* El "símbolo de la base de datos" representa información almacenada electrónicamente con respecto al proceso.

*En estos dos, el título o la descripción aparece dentro del símbolo.

En la Figura 2.2 se muestra los símbolos utilizados para la elaboración de diagramas de flujo de procesos.

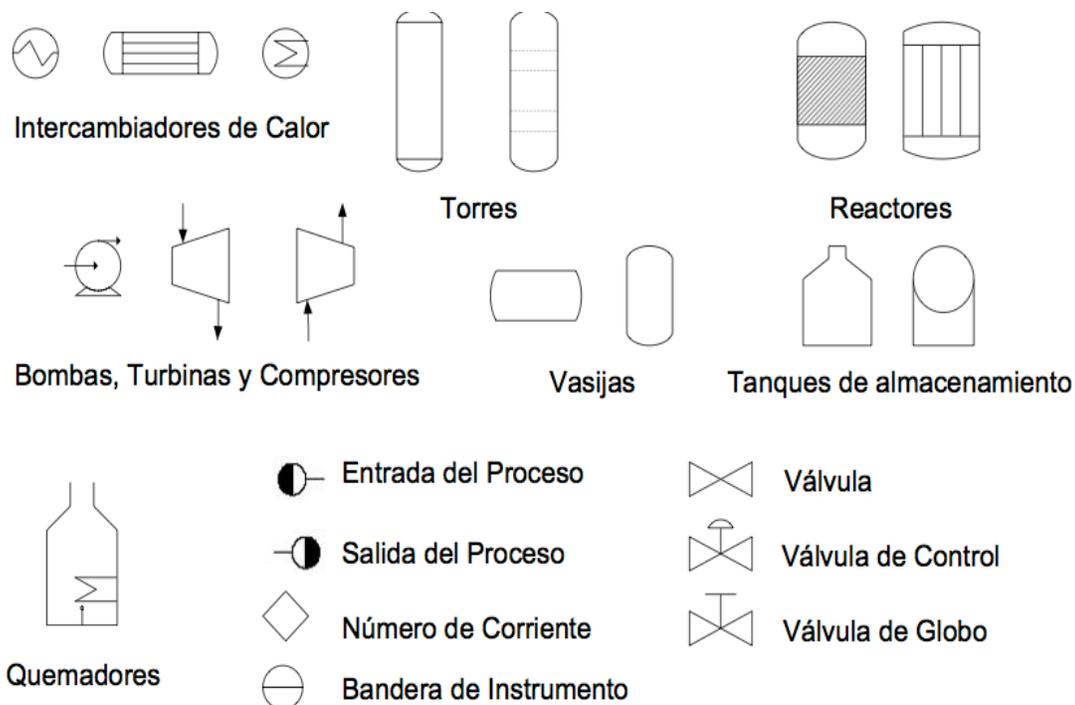


Figura 2.2 Símbolos utilizados para elaborar un PDF

2.2.5.5 Construcción e interpretación de diagrama de flujo

Si un diagrama de flujo se construye de manera apropiada y refleja el proceso de la forma que realmente opera todos los miembros del equipo poseerán un conocimiento común, exacto del funcionamiento del proceso. Adicionalmente, el equipo no necesita invertir el tiempo y la energía en observar el proceso físicamente cada vez que se quiera identificar problemas para trabajar, discutir teorías sobre las causas principales, examinar el impacto de las soluciones propuestas o discutir las formas para mantener las formas para mantener las mejoras.

Los diagramas de flujo pueden ayudar a un equipo en su tarea de diagnóstico para lograr las mejoras. Uno de sus usos es el de ayudar a un equipo a generar teorías sobre las posibles causas principales del problema. El diagrama de flujo se dibuja en una pared de la sala de reuniones. El equipo que investiga un problema

redacta una descripción del problema en un pedazo pequeño de papel y lo pega en el diagrama de flujo en el punto en el proceso donde el problema se ha detectado. El equipo luego discute cada uno de los pasos del proceso antes del punto donde se ha detectado el problema y se produce teorías sobre las cosas que podrían salir mal en el paso que causa el problema. El diagrama de flujo ayuda al equipo a examinar cada paso del proceso de forma sistemática a medida que producen teorías sobre las posibles causas principales del problema.

Otro uso de un diagrama de flujo es el de ayudar a un equipo a identificar las formas apropiadas para separar los datos para su análisis.

2.2.5.6 Aplicación en la industria

Los diagramas son convenientes para su uso en la ingeniería química, ingeniería de petróleo, generación de poder, aire acondicionado, refinación de metales, y otros numerosos procesos industriales. También son útiles en ciertos campos, como la astronomía, navegación, y medicina, que usan instrumentos muy especializados, diferentes a los instrumentos de procesos industriales convencionales.

El simbolismo y métodos de identificación proporcionados por los diagramas son aplicables a todas las clases de medida del proceso e instrumentación de control. Ellos no sólo son aplicables a la descripción discreta de instrumentos y sus funciones, pero también para describir las funciones análogas de sistemas que son "despliegue compartido," "control compartido", "control distribuido" y "control por computadora".

Diagramas de flujo utilizados en ingeniería química

Existen variados tipos de diagramas de flujo, que reflejan un grado creciente de precisión (o disminución de la incertidumbre), necesario a lo largo de un proyecto. Se clasifican bajo distintos nombres, según sea la fuente de información, y su estructura se basa en símbolos que no han sido del todo estandarizados (en concreto, cada

biblioteca de símbolos suele ser única y reflejan, de la mejor forma posible, el equipo físico de cada caso). Hablaremos aquí de:

- Diagramas en bloques
- Diagramas simplificados del equipo
- Diagramas detallados del equipo
- Diagramas de instrumentación y Diagramas auxiliares

Diagrama de Bloques

Los diagramas en bloques son, prácticamente, ideogramas de proceso, en términos principalmente fundamentales. Es decir, si se desea separar un compuesto "A" de una solución, simplemente se dispondrá una caja negra que corresponde a un proceso de separación, que tal proceso sea factible y que exista la tecnología necesaria es asunto de etapas posteriores. En cuanto la factibilidad se resuelve, la caja es reemplazada por un equipo concreto, en un tipo de diagrama posterior, así como se muestra en la Figura 2.3

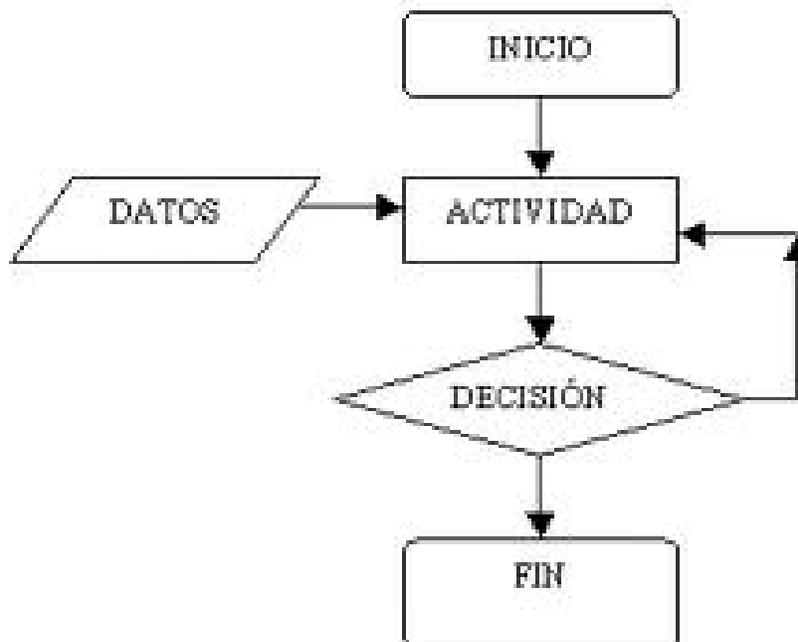


Figura 2.3 Diagrama de bloque de un proceso

Diagramas simplificados del equipo

Es el diagrama de ingeniería más simple (es decir, no es de carácter fundamental), donde se muestran (en forma de iconos) los equipos necesarios para una planta de proceso y la interconexión entre ellos se representa por líneas que enlazan un equipo con otro (Figura 2.4). Este diagrama es apenas un pequeño paso más detallado que el diagrama de flujo conceptual, consistente de simples cajas de funcionalidad, en este diagrama de los equipos del proceso se captura, sin embargo, cada equipo necesario para cumplir la funcionalidad de la caja negra y los sistemas de transporte, al menos de materiales. En cada equipo se especifican los grados de conversión, las eficiencias y otros parámetros gruesos que reflejan el requisito de diseño de cada uno. El ingeniero que desarrolla este diagrama sabe, previamente, que los equipos que ha puesto en el diagrama existen o que se les puede construir; sin embargo, no han realizado cálculos precisos de las dimensiones, materiales de construcción, costos detallados, etc.

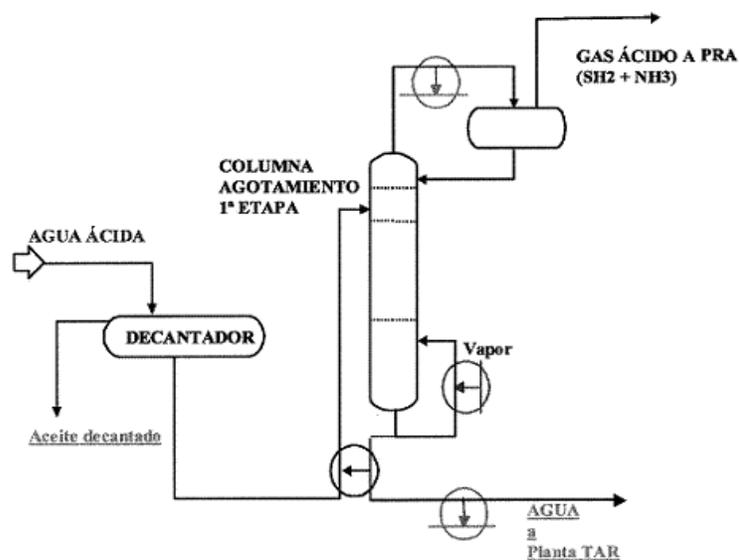


Figura 2.4 Diagrama de equipo simplificado de un proceso

Diagramas detallados de equipos

Este diagrama incluye las tuberías del proceso, las válvulas, los desagües, las desviaciones, las ventilaciones y todos los equipos de proceso (Figura 2.5). El diagrama detallado no suele ser necesario para la estimación inicial de costos; su

aporte es valioso, más bien, en el cálculo afinado de costos de la planta. En este nivel de detalle, los costos se estiman por coeficientes globales, nacidos de la empírica. Por ejemplo, conocida la inversión en los equipos principales (desde el punto de vista de la inversión, es decir, los más grandes y costosos), se estiman los costos de: instalaciones eléctricas; instrumentación; servicios de calor y frío; canalizaciones, operación; de mantención; etc. mediante coeficientes (15%, 20%, 5%, etc.)

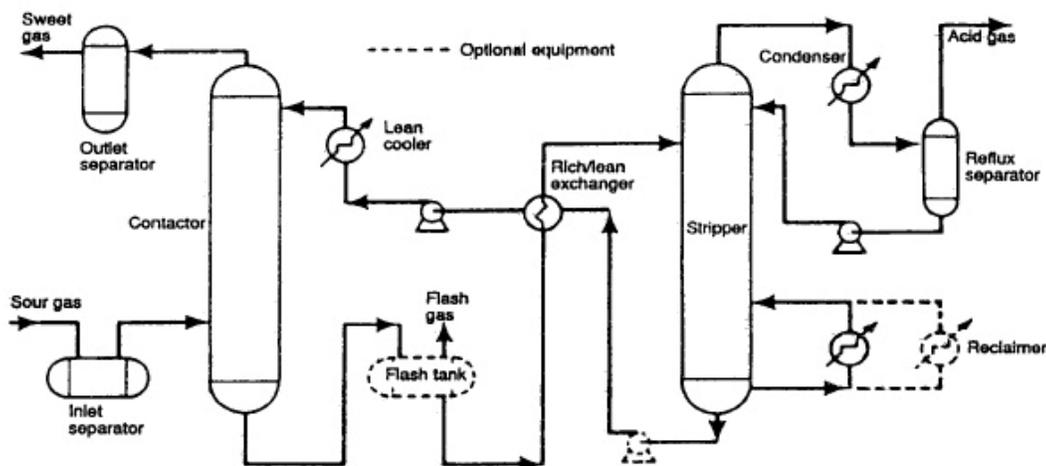


Figura 2.5 Diagrama detallado de equipos de un proceso

Diagramas de Instrumentación y Diagramas auxiliares

Este diagrama especifica tanto la conexión hidráulica de un equipo con otro en forma precisa (diámetro y longitud de cañerías o canaletas, pérdidas de carga asociadas a singularidades, etc.) como los aparatos que permiten el manejo concreto del proceso. En muchos casos se pueden indicar los requisitos de instrumentación en los propios diagramas simplificados, pero, si la instrumentación es compleja, resulta necesario desarrollar un diagrama más detallado, destacando todos los reguladores e instrumentos.

El diagrama de instrumentación que se muestra en la Figura 2.6, recibe el nombre de Diagrama de Instrumentación y tuberías, referido habitualmente como el P&ID, representando la abreviación de Piping and Instrumentation Diagram.

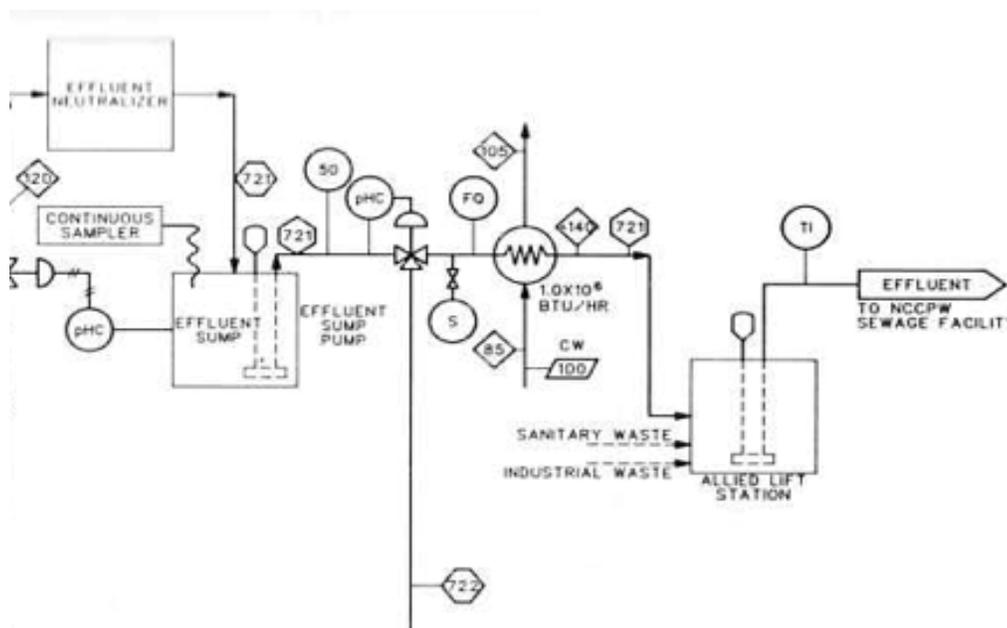


Figura 2.6 Diagrama de Instrumentación y tuberías (P&ID) de un proceso

2.2.5.8 Formato recomendado para la construcción de diagramas

- Las operaciones se muestran mediante bloques. (Sociedad Latinoamericana para la calidad, 2000):
- La mayoría de las líneas de flujo se representan con flechas que van en dirección del flujo.
- La dirección del flujo es de izquierda a derecha mientras sea posible.
- Las corrientes ligeras (gases) van por el tope mientras que las corrientes pesadas (líquidos y sólidos) van por el fondo.
- Se suministra únicamente información crítica del proceso.
- Si las líneas se cruzan, la línea horizontal es continua y la vertical se corta.

2.2.5.9 Información contenida dentro de un PDF comercial

- Todos los equipos principales en el proceso se presentarán en el diagrama con una descripción de este, cada equipo tendrá asignado un número único y un nombre descriptivo. **(Sociedad Latinoamericana para la sociedad)**
- Las corrientes de flujo de proceso están representadas por un número, se incluye una descripción de las condiciones de proceso y la composición química de

cada corriente, estos datos se presentan directamente en el PFD o se incluyen en una tabla adicional.

- Se muestran todas las corrientes de servicios que se suministran a los equipos principales o que brindan una función en el proceso.

- Lazos de control básicos, que ilustren la estrategia de control usada para que el proceso opere dentro de condiciones normales.

CAPÍTULO III DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ENDULZAMIENTO DE GAS NATURAL CON AMINAS

El proceso de endulzamiento del gas natural con aminas, es esencialmente un proceso de absorción, basado en la transferencia de masa desde una corriente saturada de un compuesto específico, en este caso H_2S y CO_2 , hacia una corriente que tiene la propiedad de saturarse en esos compuestos. La corriente de gas ácido entra a un proceso de separación, posteriormente pasa a un proceso de absorción, en el cual se obtiene el gas dulce, la corriente rica en compuestos ácidos pasa al proceso de regeneración, almacenamiento, filtración, enfriamiento y bombeo de amina respectivamente, para ser introducida nuevamente al proceso de absorción de gases ácidos (figura 3.1)

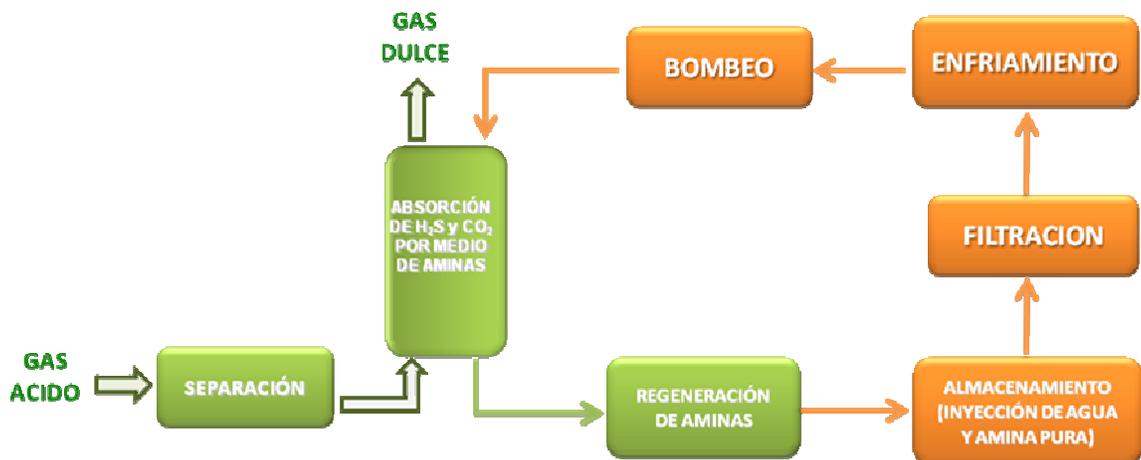


Figura 3.1 Diagrama de bloque del proceso de endulzamiento de gas natural con aminas

La corriente del gas ácido se divide en dos corrientes para entrar a un proceso conformado por dos trenes de producción (figura 3.2), pasa a través de los separadores de entrada (A y B, para el tren 1 y 2 respectivamente), donde se extraen los líquidos asociados (condensado de hidrocarburo y agua). Desde los separadores, las corrientes de gas entran por el fondo de los contactores con una concentración de 40 ppm de H_2S , donde se pone en contracorriente con el flujo de la solución de amina (Metildietanolamina 50% p/p) que entra por el tope de las columnas, fluye hacia arriba por los orificios de cada uno de los platos colocados en el interior del absorbedor en

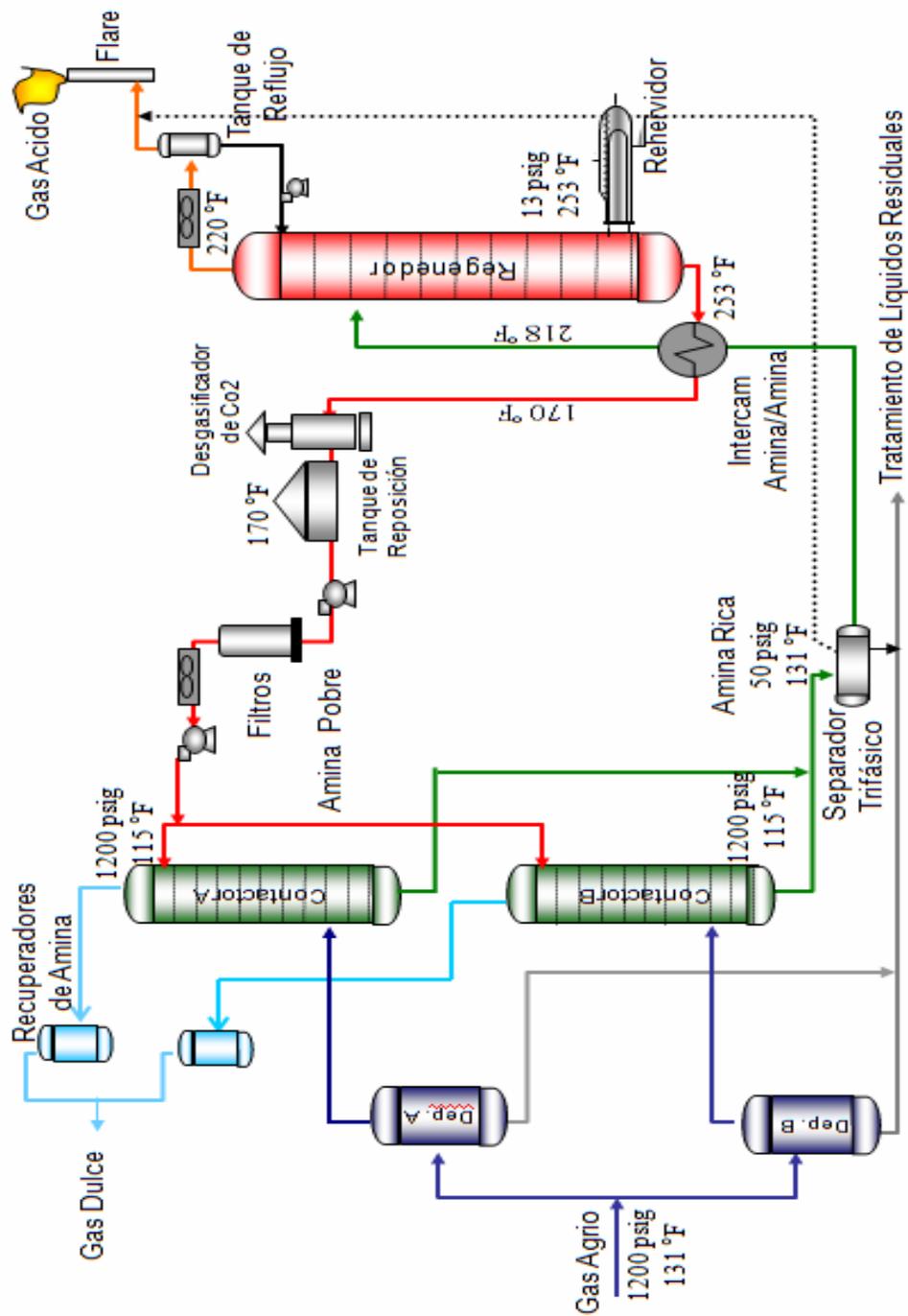


Figura 3.2 Diagrama de equipos simple del proceso de endulzamiento del gas natural con aminas

cuestión, obligándolo a tener contacto con la amina. El efecto de este flujo cruzado es la remoción de los agentes contaminantes. Las bandejas de los contactores están diseñadas para realizar una efectiva separación de los contaminantes que quedan disueltos en la amina y salen por el fondo de los contactores. A su vez el gas deja el tope de los absorbedores pasando primero a través de una malla anti neblina para retener cualquier cantidad de solución que éste lleve con una concentración de aproximadamente 0 ppm de H₂S, y ambas corrientes van a un recuperador o separador para eliminar parte de la amina que pudo haber sido arrastrada. La solución de amina rica de cada tren que abandona el absorbedor fluye a través de un separador trifásico para remover los hidrocarburos absorbidos. Desde el separador trifásico, la solución rica pasa a través de un intercambiador de calor de láminas amina rica/pobre donde el calor es absorbido desde la solución pobre, para efectos de precalentamiento.

La amina rica entra al regenerador donde fluye hacia abajo por la columna, siendo despojada del H₂S y del CO₂ por acción térmica del gas caliente que fluye a contracorriente desde el rehervidor. El calor que se requiere para eliminar los gases ácidos de la amina proviene del aceite caliente que fluye a través de los tubos del rehervidor. La temperatura de diseño del fondo de la torre es 245 °F y esta se mantiene mediante el control de flujo de aceite caliente a 350 °F a través de los tubos del rehervidor. A la altura del nivel normal de operación de la torre, sale una corriente de Amina, gases ácidos y vapor de agua hacia la carcasa del rehervidor y recibe un flujo de vapor proveniente del vaporizador que hará la reposición normal y conservará el calor; en este ciclo de calentamiento con la Amina se logra una temperatura de equilibrio en el fondo de la torre de 245 °F con la finalidad de obtener la mayor cantidad de gases ácidos.

La solución de amina deja el fondo del absorbedor como una solución pobre, es decir, baja en concentraciones de H_2S y CO_2 . Esta solución pobre pasa a través del intercambiador de calor de láminas amina rica/amina pobre cediendo parte del calor con el que sale del regenerador, luego pasa al tanque de mezclado y abastecimiento donde se combina con agua y amina fresca para compensar las pérdidas y así mantener su concentración en los niveles adecuados.

Luego una pequeña corriente de amina es bombeada a 300 libra a través de los filtros de elementos y filtros de carbón activado para remover las sales y otras impurezas que contenga, de allí envían la amina pobre a través de un enfriador con el resto de la corriente para reducir la temperatura aproximadamente a sólo $10^{\circ}F$ por encima de temperatura del gas de alimentación. Después del enfriamiento la solución de amina pobre pasa a un sistema de bombeo a 1300 libras para ser retornada a las torres de absorción y repetir el ciclo.

El gas ácido despojado por la amina sale por el tope de la torre regeneradora, pasa a través de un condensador y luego por un separador para enfriar la corriente y recuperar el agua. El agua recobrada usualmente se retorna como reflujo al regenerador. El gas ácido que sale del acumulador de reflujo es dependiendo de su composición, venteado, incinerado o enviado a las instalaciones para el recobro de azufre, a partir de procesos como el Claus o bien comprimido para la venta. Para este caso en particular, este gas es incinerado, para ello la corriente proveniente del tanque de reflujo es enviada al flare o incinerador, donde los gases ácidos son quemados completamente y los gases producto de la incineración son enviados a la atmósfera. La figura 3.2 muestra el proceso completo.

3.2. CRITERIOS DE CONTROL APLICADOS A UN SISTEMA DE ENDULZAMIENTO DE GAS CON AMINAS

VARIABLES QUE AFECTAN EL CONTROL DE OPERACIÓN EN UNA PLANTA DE AMINA

Tasa de circulación de la solución de amina

Durante la operación de las plantas de endulzamiento es posible que el caudal de gas a tratar varíe con el tiempo, al igual que la concentración de gases ácidos presentes en él, en función a esto la tasa de circulación puede ser ajustada para compensar un aumento o disminución tanto del caudal de gas a tratar como de los gases ácidos presentes, de manera de garantizar un funcionamiento adecuado de todas las etapas del proceso. Mantener la tasa de circulación de la amina en un rango adecuado se verá directamente reflejado en la eficiencia del proceso de endulzamiento, ya que para la remoción de gases ácidos por absorción, la cantidad de la solución de amina, es decir la cantidad de solución absorbidora es esencial.

Carga del gas ácido

Se sabe que cada solución absorbidora (dependiendo del tipo de amina a utilizar) debe tener una carga óptima de gas ácido, esto es en la solución rica y en la pobre, y es de vital importancia conocer bien estos valores, ya que están relacionados con una gran cantidad de variables. La mayoría de las soluciones de amina requieren un mol de amina pobre por cada 0,05 a 0,08 moles de gas ácido total a tratar para satisfacer las especificaciones del gas dulce de acuerdo a las normas PDVSA (**PDVSA, 2008**), cantidades mayores pueden ocasionar disminución de la eficiencia del proceso de endulzamiento, corrosión y aumento de costos energéticos.

El equipo que se utiliza para determinar la carga ácida es de gran importancia, ya que en vista de la carga ácida se hace la selección de la amina a utilizar y la tasa a la que la solución va a circular por el proceso, lo

que significa que los datos del analizador deben utilizarse para controlar en forma automática estos parámetros, para que el proceso transcurra lo más eficientemente posible.

Concentración de la solución de amina

En el proceso de endulzamiento las aminas de mayor uso son la MEA, DEA y MDEA. La concentración en %P/P varía entre 10 y 20 para la MEA, mientras que para la DEA la variación es entre 20 y 30 %P/P, y la MDEA varía entre 35 y 50%P/P en muchos casos, para disminuir la corrosión se trabaja en el punto más bajo posible de concentración de la solución de la amina en la solución absorbadora, pero esto ocasiona que la remoción de los gases ácidos sea menor, porque la solución de aminas no tendrá la capacidad de retirar en su totalidad la cantidad de gases ácidos presentes en la corriente de gas. En general se debe de tener cuidado en determinar en forma regular la concentración de solución de amina y mantenerla en un nivel apropiado, de tal forma que el proceso se realice en forma eficiente.

Reflujo

El vapor que sale por el tope de la columna de regeneración junto con los gases ácidos, es condensado y devuelto al regenerador en forma de reflujo, en este caso debe tomarse en cuenta la razón entre los moles de agua que regresan al regenerador entre los moles de gas ácido que salen de la planta. La determinación de este parámetro es de gran importancia para el diseño y operación de la torre, además que es un indicador de la cantidad de vapor que debe de ser utilizado en el rehervidor. La razón de reflujo determina la cantidad de gas ácido residual en la amina pobre y, ello determina la eficiencia del endulzamiento. El valor típico de esta razón varía entre 1,5/1 y 4/1 moles de agua/moles de gas ácido absorbidos, valores que

dependen del número de platos que tenga la torre y de otras variables operacionales.

Recuperación de potencia

La torre absorbedora trabaja a una alta presión, por lo que se puede utilizar una turbina en la salida de la torre, para recuperar la energía potencial contenida en el líquido (solución de amina rica) que sale a una alta presión. Una turbina hidráulica convierte la presión alta del líquido en energía mecánica, la cual puede ser utilizada para mover otras bombas en el sistema de endulzamiento. En caso, de no recuperar esta energía contenida en el líquido, esta se desperdicia al despresurizar el sistema en el separador trifásico o en la torre regeneradora.

Intercambiador de calor

El calor que no se recupera en los intercambiadores amina-amina, representa una carga adicional para el rehervidor, mientras más se precalienta la amina rica mediante la recuperación del calor de la amina pobre, es menor la cantidad de calor que se debe de agregar al rehervidor en el proceso de regeneración de la amina. El intercambiador debe de ser diseñado para una temperatura de operación entre 30°F a 40°F (Pino, 2005).

Utilización de separador trifásico como tanque de venteo

El separador debe instalarse para la amina rica, entre el recuperador de amina y el intercambiador amina-amina, se justifica la instalación de este equipo, en vista que los hidrocarburos que se disuelven en la solución absorbedora deben ser removidos para prevenir la formación de espuma y el ensuciamiento de la amina, además estos hidrocarburos pueden ser utilizados en el separador como gas combustible.

Pérdidas de amina

Las pérdidas de amina representan un grave problema operacional, la amina que se va absorbida en el gas tratado (gas dulce) o que se pierde en el separador trifásico, representa un consumo en exceso innecesario, además de costoso de la amina utilizada para la formación de la solución absorbadora, también puede ocasionar aguas abajo la contaminación del glicol o los desecantes sólidos utilizados en la planta de deshidratación, proceso que ocurre justo después del endulzamiento.

La cantidad de amina que se usa debe de ser registrada de manera precisa, para evitar los problemas antes mencionados. Es fácil mantener el control sobre el gasto de amina, ya que el gas tratado (gas dulce) se debe de analizar para propósitos de venta.

Las principales causas de pérdidas son:

Degradación de la solución de amina

Escapes de la amina

Formación de espuma

Presencia de impurezas y contaminantes

Vaporización y salida de la amina por el fondo del recuperador

Se considera que una de las principales causas que ocasionan las pérdidas de solución de amina, es la degradación de la misma, en vista que las aminas tienden a oxidarse en presencia de oxígeno, ocurre una degradación de la amina y la formación se sales termoestables.

3.3 DEFINICIÓN DE LA LÓGICA DE CONTROL DEL PROCESO DE ENDULZAMIENTO DE GAS NATURAL CON AMINAS

3.3.1 Sección de Absorción de gas ácido

En esta sección se utiliza un control en cascada, se encuentran indicadores y transmisores de presión, (PI11012) y (PIT11011) respectivamente, que envían una señal eléctrica al controlador de presión (PIC11013), éste comunica al controlador indicador de flujo (FIC11011) que emite una señal eléctrica al convertidor (FY11012) el cual envía la señal neumática a la válvula de falla cerrada en la entrada de la planta para mantener el gas de entrada en el valor establecido en el diseño. El proceso se inicia con la entrada de gas ácido al depurador, donde se encuentran indicadores de alto nivel (LIH11013) y bajo nivel (LILL11016) con sus respectivas alarmas (LAH11012 y LALL11017). Además se implementa un sistema de control de tipo integral, un medidor transmisor de nivel (LT11014) emite la señal eléctrica al controlador indicador de nivel (LIC11018) que envía la señal al convertidor (LY11019) y este por medio de una señal neumática acciona la válvula controladora de nivel del líquido (LCV110110). Ver figura 3.3

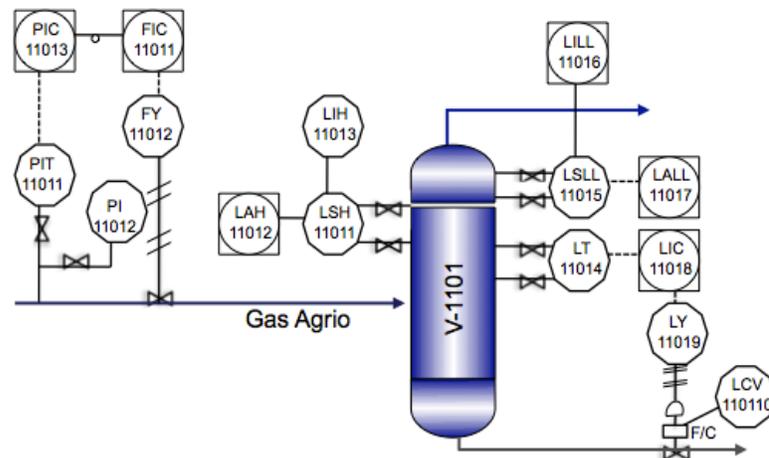


Figura 3.3 Controles implementados en el depurador de gas

Del depurador, el gas pasa al contactor de Amina, dentro de esta torre hay indicadores de presión (PI11021) y temperatura (TI11021), y un sensor de presión diferencial (PDT11022) para controlar el diferencial de presión entre la amina y el gas de entrada, el cual no debe sobre pasar el valor establecido en el diseño (aproximadamente 5 psi); se utiliza también un sistema de control de tipo integral, donde un transmisor (LT11021) emite una señal eléctrica al indicador controlador de nivel (LIC11022) que regula el nivel de amina dentro de la torre, accionando una válvula de falla cerrada (LCV11024) por medio del convertidor (LY11023) que le envía una señal neumática. Esta válvula se encuentra en la corriente de amina rica a la salida de la torre contactora. Ver figura 3.4

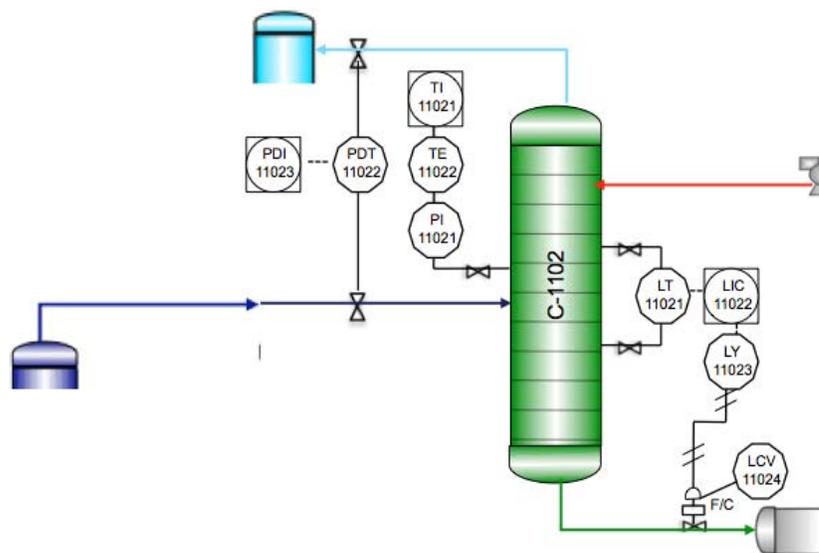


Figura 3.4 Controles implementados en la torre contactora de amina

El gas dulce sale por el tope y fluye hacia los recuperadores de Amina. En este separador se controla el nivel de solución absorbidora mediante un sistema de control integral, donde la válvula de falla cerrada (LCV11034) en la corriente de fondo, es accionada por medio de una señal neumática enviada desde el convertidor (LY11033), el cual recibe la señal eléctrica del

controlador indicador de nivel del separador (LIC11032). La presión máxima de operación del proceso se controla mediante una válvula de seguridad (PSV11031). En la corriente de gas dulce que sale del tope del separador recuperador de amina se controla la presión mediante un sistema de control integral, una válvula de control de falla cerrada (PCV11036) es accionada mediante una señal neumática proveniente del convertidor (PY11035) que recibe la señal eléctrica del controlador de presión (PIC11034) y este a su vez es accionado por la señal eléctrica enviada por el transmisor (PT11033) e indicador de presión (PI11032). Ver figura 3.5

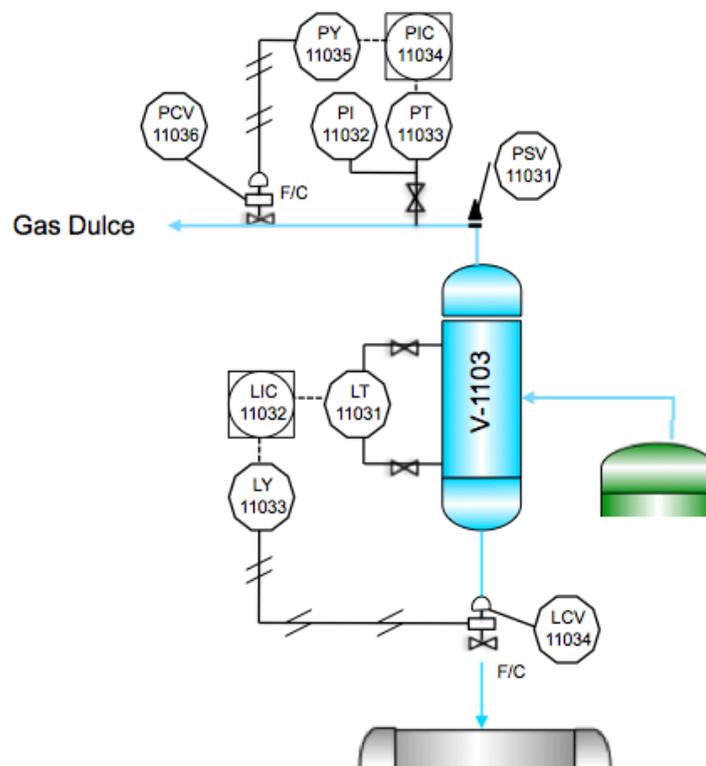


Figura 3.5 Controles implementados en el recuperador de amina

3.3.2 Sección de Regeneración de Amina

La Amina rica (en componentes contaminantes) proveniente del fondo del contactor, se mezcla con la amina rica del recuperador de amina y disminuye la presión desde 1200psia hasta 50psia gracias a la acción de un tubo choque colocado antes del separador trifásico, donde se encuentra un controlador indicador de nivel de liquido (LIC11046), el cual envía una señal eléctrica al convertidor (LY11047) y este envía la señal neumática a la válvula controladora de nivel (LCV11048), éstos elementos conforman el sistema de control integral implementado. También se controla la presión del separador mediante una válvula (PCV11044) en la salida de la corriente de gas, accionada por una señal enviada desde el controlador indicador de presión (PIC11042). Además se encuentra un transmisor de nivel (LT11041) que envía una señal eléctrica al controlador de nivel de la corriente de entrada del tope de la torre regeneradora de aminas. Ver figura 3.6

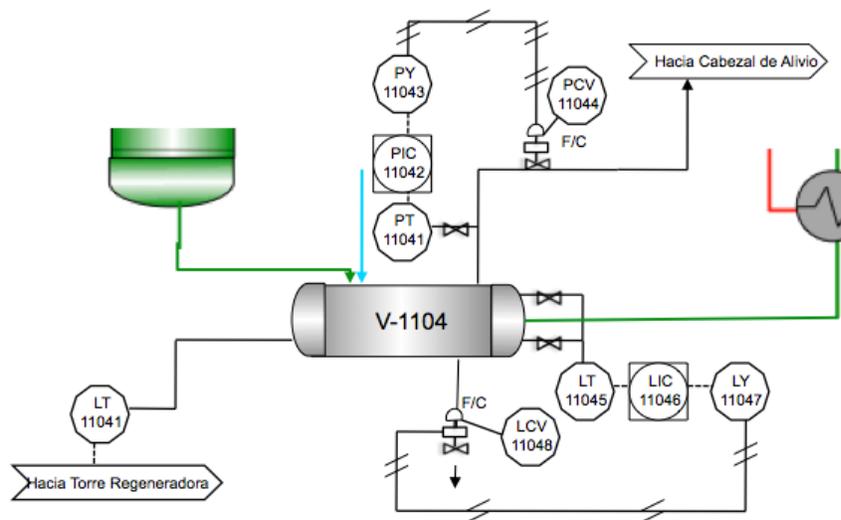


Figura 3.6 Controles implementados en el separador trifásico.

La solución de amina sale de este separador y es presurizada a través de las láminas del intercambiador de calor amina rica-amina pobre; en este

intercambiador se encuentran indicadores de temperatura (TI11053) y presión (PI11052) en la corriente de entrada de amina rica, y de igual manera en la corriente de salida del intercambiador (TI11054 y PI11053), para mostrar el diferencial de temperatura y presión. Así mismo, hay indicadores de temperatura (TI11052) y presión (PI11051) en la corriente de amina pobre de entrada al intercambiador. Ver figura 3.7

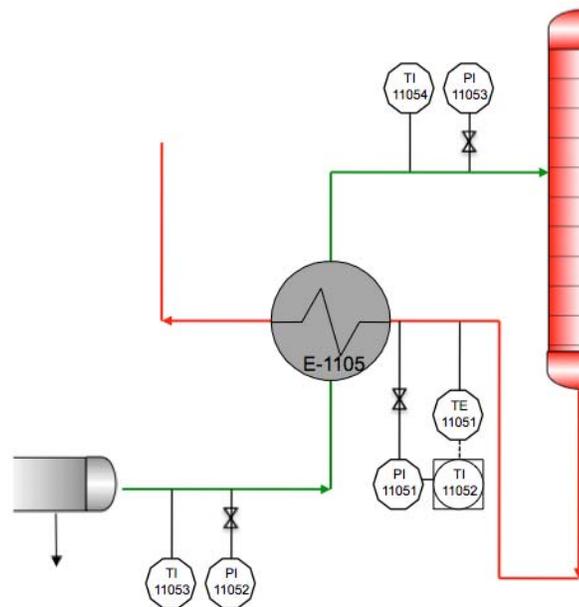


Figura 3.7 Controles implementados en el intercambiador amina-amina.

La amina rica entra al regenerador y fluye hacia abajo a través de los platos de la torre, antes controlada por un sistema de control anticipado, donde la válvula (LCV11044) la cual es activada por una señal emitida por el controlador indicador de nivel (LIC11042) que recibe la señal del transmisor de nivel (LT11041) del tanque trifásico. La torre regeneradora tiene un control de nivel de amina (LIC11067) que acciona una válvula de falla cerrada (LCV11069) por medio de una señal neumática emitida por el convertidor (LY11068); ubicada en la corriente de salida del fondo del regenerador. De igual manera se encuentra un indicador de nivel (LI11061) dentro de la torre con alarmas para nivel bajo (LAL11065) y nivel alto (LAH11063). En el fondo

de la torre regeneradora se encuentran indicadores de presión (PI11063) y temperatura (TI11065).

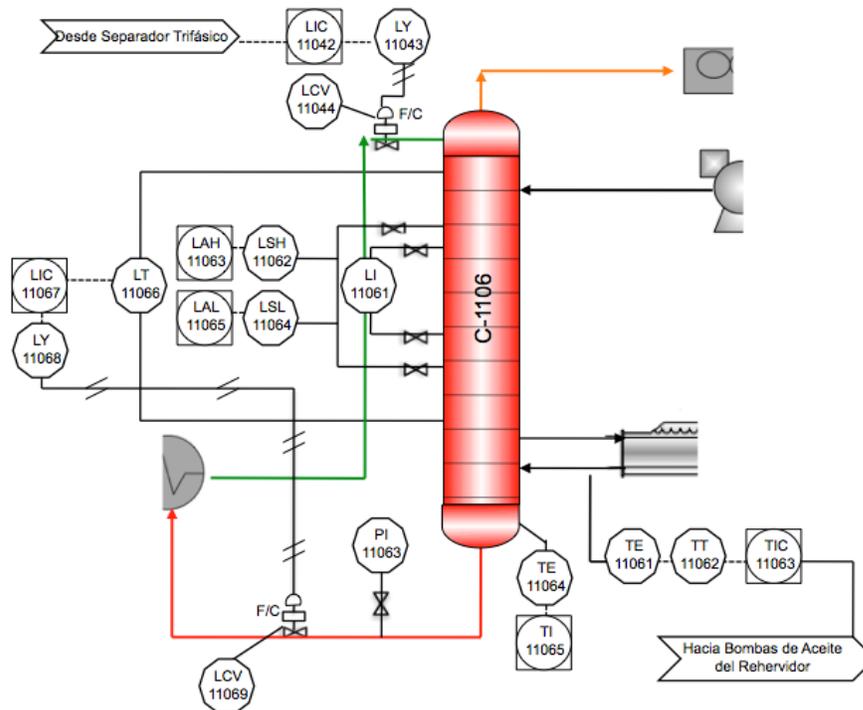


Figura 3.8 Controles implementados en la torre regeneradora

El calor que se requiere para eliminar los gases ácidos de la amina proviene del aceite caliente que fluye a través de los tubos del rehervidor. Para mantener la temperatura de diseño del fondo de la torre se coloca un transmisor de temperatura (TT11062) que emite una señal eléctrica al indicador controlador de temperatura (TIC11063) para regular el flujo de las bombas de aceite caliente hacia los tubos del rehervidor. Ver figura 3.8

El gas ácido y el vapor de agua salen por la parte superior de la torre regeneradora y son enfriados en el condensador de Amina, el cual tiene indicadores de presión (PI11072 y PI11071) y temperatura (TI11072 y TI11071) antes y después del mismo. Ver figura 3.9

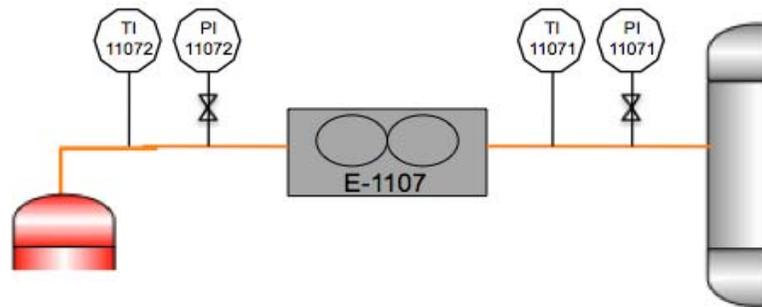


Figura 3.9 Controles implementados en el condensador.

Los gases ácidos y el líquido condensado provenientes del condensador de amina, son separados en el acumulador de reflujo, en donde se emplea un sistema de control integral, donde un indicador controlador de nivel (LIC11087) envía una señal al convertidor (LY11088) y acciona una válvula de falla cerrada (LCV11089) ubicada en la corriente de reflujo a la torre regeneradora; además dentro del acumulador se encuentran indicadores de nivel bajo (LIL11085) y nivel alto (LI11083) con sus respectivas alarmas (LAL11086 y LAH11084), así mismo hay otro sistema de control integral, donde un indicador controlador de presión (PIC11083) manipulado por un indicador (PI11081) y transmisor (PT11082) de presión, acciona una válvula de falla cerrada (PCV11084) de la corriente de gas ácido que sale del acumulador hacia el flare. En la corriente de líquido que sale del fondo del acumulador hay un indicador de flujo bajo (FIL11081) con su respectiva alarma (FAL11082) y un controlador de presión (PIC11087) que regula el flujo de entrada a la bomba.

La corriente proveniente del sistema de reflujo de amina entra a la torre regeneradora por la parte superior, donde hay un indicador de presión

(PI11091) después de la bomba que acciona una válvula antes de la entrada a la torre regeneradora. Ver figura 3.10

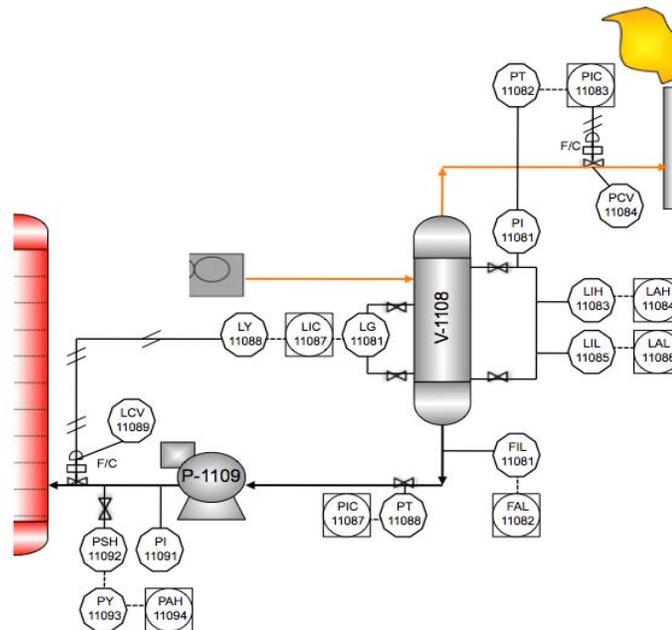


Figura 3.10 Controles implementados en el sistema de refugio a la torre regeneradora.

La Amina del fondo del regenerador es presurizada a través de la carcasa del intercambiador de amina rica-amina pobre y pasa luego a un desgasificador que tiene un indicador de nivel (LG11111). Ahora la corriente de amina es enviada al tanque de mezcla. En dicho tanque se coloca un indicador (LI11122) y transmisor de nivel de aminas (LT11123), además indicadores de nivel bajo (LIL11126) y nivel alto (LIH11124) con sus respectivas alarmas (LAL11127 y LAH11125). Ver figura 3.11

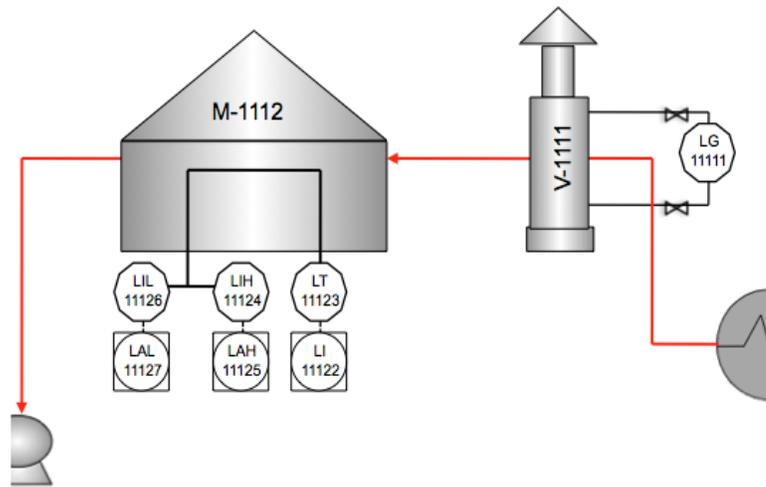


Figura 3.11 Controles implementados en el tanque de mezcla de aminas y gasificador

A la salida del tanque se encuentra una bomba que impulsa a la Amina a través de los filtros de elementos y filtros de carbón activado para remover las sales y otras impurezas que contenga. Antes y después de la bomba hay indicadores de presión (PI11132 y PI11131). Ver figura 3.12

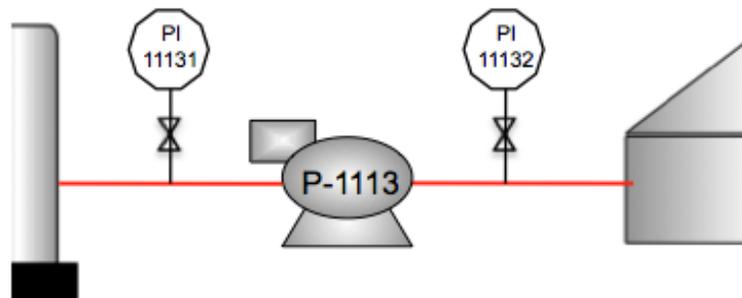


Figura 3.12 Controles implementados en las bombas.

En los filtros antes mencionados se encuentran sistemas de control integral donde indicadores de presión (PI11141 y PI11151) y controladores

de flujo de entrada (FIC11141 y FIC11153) accionan válvulas de control para mantener la presión estable dentro de ellos. Ver figura 3.13

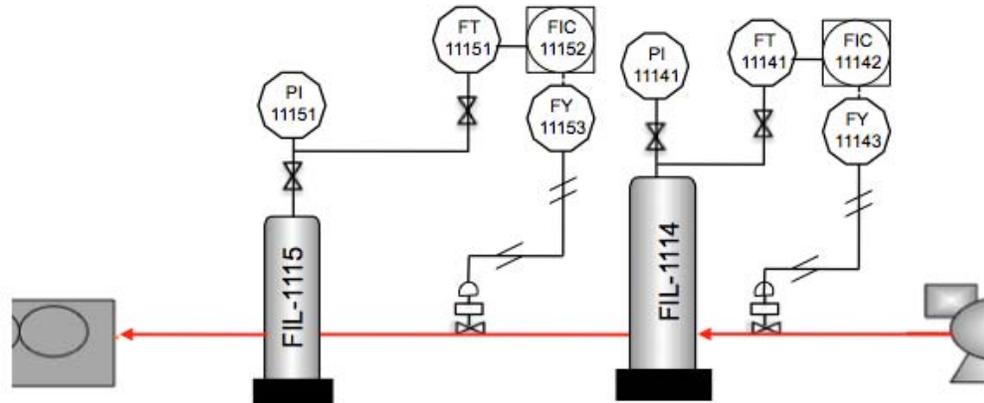


Figura 3.13 Controles implementados en los filtros

De allí se envía la amina pobre a través del enfriador de amina, donde se conoce que desciende la temperatura gracias a la acción de los indicadores de temperatura (TI11171 y TI11172); para luego pasar a la succión de las bombas de alta presión que descargan la Amina pobre en la parte superior del contactor completando así el ciclo. El flujo de esta corriente es controlado antes de entrar a la torre contactora por una válvula de falla cerrada (FCV11185) activada por una señal enviada desde el indicador controlador de flujo (FIC11183). En la entrada y la salida de la bomba se encuentran indicadores controladores de presión (PIC11182 y PIC11185) que mantiene estable el funcionamiento de la misma; de igual manera es medida la temperatura a la salida de la bomba (TE11188) y controlada por un indicador controlador de temperatura (TIC11186), el cual comunica su señal con un indicador controlador (TIC11183) en la entrada de la bomba; que envía una señal eléctrica al convertidor (TY11184), este activa una válvula a la entrada de la bomba por medio de una señal neumática. Ver figura 3.14

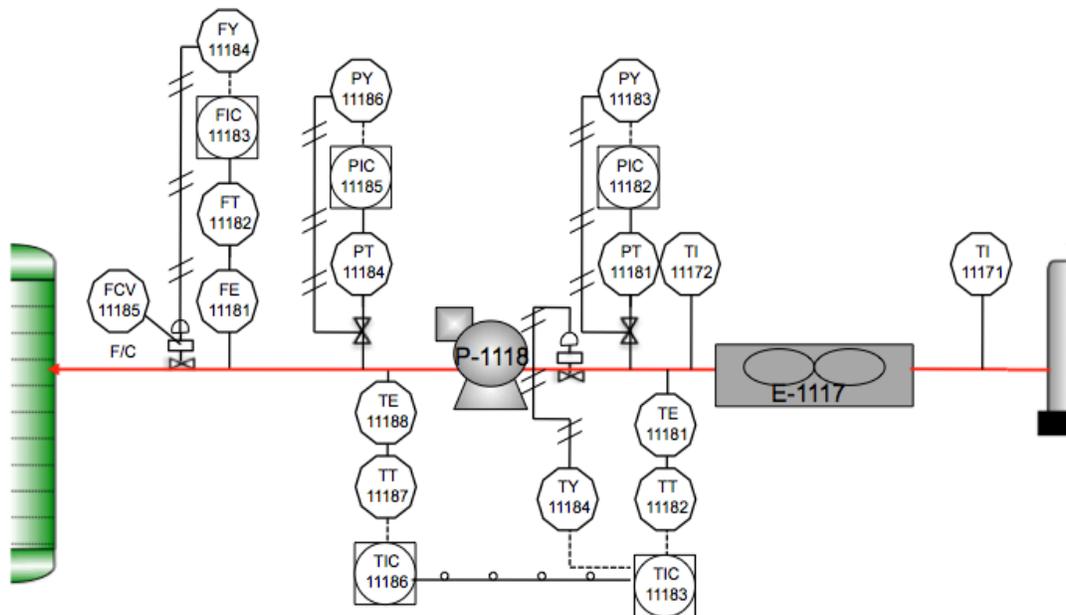


Figura 3.14 Controles implementados en el enfriador de aminas y las bombas de alta

A fin de controlar el porcentaje de H_2S y CO_2 retirado del gas natural mediante el proceso de endulzamiento, se toman muestras de forma periódica de la corriente de salida del tanque de reflujo, las cuales son analizadas para determinar que dicha corriente se mantenga en los niveles permisibles de gases ácidos para ser incinerados por el flare o incinerador, ser enviados al ambiente y que el proceso esté funcionando de forma eficiente.

3.4 PROBLEMAS OPERACIONALES DEL PROCESO DE ENDULZAMIENTO DE GAS NATURAL CON AMINAS.

En todo proceso industrial, pueden ocurrir desviaciones de los valores de ciertas variables fijados durante el diseño, las cuales si el sistema de control llegase a fallar o no estuviese implementado de la manera adecuada,

podría acarrear problemas operacionales; el proceso de endulzamiento del gas natural no es la excepción.

Durante el proceso de endulzamiento del gas natural pueden ocurrir las siguientes situaciones operacionales:

Ineficiencia de un subsistema (efecto en cadena)

Contaminación de la solución absorbidora con agentes externos.

Contaminación de la amina con aceite de calentamiento.

Presencia de hidrocarburos en la amina.

Formación de espuma.

Problemas durante la regeneración de la amina.

Valor de la concentración de la amina fuera del rango de diseño.

Aumento de los diferenciales de presión en los contactores.

Taponamiento del intercambiador amina-amina por incrustaciones de sales estables.

Taponamiento de válvulas.

Corrosión de equipos y tuberías

3.4.1 Ineficiencia de un subsistema (efecto en cadena)

Debido a la complejidad del proceso, y al hecho de que todas las etapas del mismo estén interconectadas y relacionadas entre ellas, es decir dependan una de las otras, cuando una parte del proceso o un subsistema, se ve afectado de alguna forma es decir, esté operando fuera de sus condiciones de diseño, comenzará por generar problemas operacionales en la etapa que se esté produciendo, pero terminará por perjudicar el proceso en su totalidad.

3.4.2 Contaminación de la solución absorbedora con agentes externos

Durante el proceso de absorción, la amina se pone en contacto con una corriente de gas, la cual a parte de los gases ácidos (H_2S y CO_2) puede poseer otros contaminantes como nitrógeno (N_2) o helio (He), los cuales pueden contaminar la solución absorbedora o amina pobre; y debido a que el proceso de regeneración de amina no está diseñado para eliminar dichos contaminantes, estos quedarán en la solución de amina que regresa al proceso de endulzamiento contaminándola.

3.4.3 Contaminación de la amina con aceite de calentamiento

Durante el proceso de regeneración de la amina, ésta pasa por un intercambiador de calor de tubo y coraza (rehervidor), el cual trabaja con aceite caliente para hacer el calentamiento, si dentro de este sistema (intercambiador amina-aceite), hubiese alguna fuga del aceite de calentamiento, éste inevitablemente contaminaría la amina que está siendo regenerada para ser retornada al proceso.

3.4.4 Presencia de hidrocarburos en la amina

Dentro de la torre regeneradora, es necesario mantener la temperatura de operación, ya que de ello depende que de la amina, sean removidos los gases ácidos e hidrocarburos que hayan podido ser arrastrados durante el proceso de absorción de H_2S y CO_2 , para obtener así una amina pobre limpia, la cual será reintegrada al proceso de endulzamiento. De igual manera, controlar el nivel de líquido en la torre absorbedora y mantener la máxima operación del tanque trifásico es preciso para evitar el arrastre de dichos hidrocarburos.

3.4.5 Formación de espuma

El flujo turbulento del líquido dentro del proceso genera la formación de espuma. Esta espuma impide el contacto íntimo entre la amina y el gas en la torre contactora ya que modifica el coeficiente de transferencia de masa entre la fase gas del H_2S y la fase líquida de la solución de aminas. Por naturaleza las aminas no tienen tendencia a espumar, sin embargo, debido a la presencia de hidrocarburos, sólidos y contaminantes se puede formar espumas aguas abajo del proceso, ya que estos modifican la tensión superficial de la solución absorbadora.

La formación de sales termoestables de amina (amine heat stable salts: HSS) en la torre regeneradora ($N + HCOOH \Rightarrow R_3NH^+ + HCOO^-$), puede formar espuma, también dentro de los separadores; este fenómeno tiene como consecuencia la separación incompleta gas-líquido que se espera del separador trifásico

La mayoría de los tratamientos dependen en gran medida de la filtración con carbón activado y la adición de agentes anti-espuma para las soluciones de circulación. Por desgracia, la mayoría de los agentes antiespumantes son tenso activos, y son eliminados por el carbón activado. Muy a menudo, después de una breve mejora el problema se agrava. Los antiespumantes más usados son las siliconas, en especial la PDMS o polidimetilsiloxano que incrementa la tensión superficial desestabilizando la espuma.

3.4.6 Problemas durante la regeneración de la amina

La torre regeneradora opera gracias al gradiente de temperatura que debe mantenerse dentro ella, cuando este falla debido a problemas internos de la torre, la regeneración de la amina es incompleta, es decir no serán

removidos en su totalidad los gases ácidos presentes en la amina rica devolviendo al proceso, una amina pobre que no podrá absorber suficiente gases ácidos en la contactora, disminuyendo así la eficiencia del proceso.

3.4.7 Valor de la concentración de la amina fuera del rango de diseño

Al ocurrir problemas operacionales tales como: fallas durante la regeneración de aminas, contaminación de la amina con agentes externos o aceite de calentamiento y presencia de hidrocarburos, los cuales fueron mencionados anteriormente, tienen como consecuencia directa otro problema operacional como la variación de la concentración de la solución de amina.

En los cálculos de diseño se especifica un rango de concentración de amina para el flujo de gas a tratar, y si esta concentración disminuye por debajo del rango afectará la eficiencia del endulzamiento, y si aumenta por encima del rango ocasiona corrosión en las tuberías. Por eso se debe agregar solución preparada y agua, con el fin de mantener el nivel de la concentración y el caudal. No siempre, se actualizan las pruebas para medir concentración, razón por la cual esta fluctúa. Otras veces, las pruebas de laboratorio no reflejan la concentración correcta. Esta falta de cuidado puede aumentar de manera notoria la corrosión y el costo de la energía, tanto si la concentración está por encima, como si es más baja de lo esperado.

3.4.8 Aumento de los diferenciales de presión en los contactores

El gas enviado a endulzamiento puede contener partículas sólidas, las cuales pueden ocasionar el taponamiento de los platos del absorbedor, lo cual produce el aumento de los diferenciales de presión dentro del equipo; otra razón para este problema operacional, es la formación de espuma dentro del absorbedor debido a la contaminación de la solución de amina con

hidrocarburos, los cuales no fueron removidos durante la regeneración de la solución. Este aumento en el diferencial de presión disminuye el contacto entre la amina y el gas a tratar, reduciendo la eficiencia del endulzamiento.

3.4.9 Taponamiento del intercambiador amina-amina por incrustaciones de sales estables

Debido a las propiedades de las aminas de formar sales estables en presencia de altas temperaturas se genera un problema operacional de taponamiento del intercambiador amina-amina, por lo que generalmente se realiza un mantenimiento constante con un sistema de lavado periódico para disolver estas sales formadas.

3.4.10 Taponamiento de válvulas

El taponamiento es uno de los problemas operacionales más comunes en las plantas de procesos, específicamente para el proceso de endulzamiento pueden generarse debido al mal funcionamiento de los filtros de gas de entrada al proceso, al arrastre de partículas sólidas formadas durante el proceso tales como las sales termoestables y, al arrastre de partículas que puedan desprenderse del filtro de carbón activado colocado después del tanque de mezcla de amina.

3.4.11 Corrosión de equipos y tuberías

El tipo de solución absorbidora que se utiliza y la concentración de esta solución tienen un fuerte impacto en la tasa de corrosión. Un incremento en la corrosión puede esperarse con soluciones más fuertes y con cargas más grandes de gas ácido.

En general, las velocidades de diseño en la tubería de la solución rica deben ser menores de aquellas velocidades que se utilizarían para fluidos

dulces. Debido a la relación entre la temperatura y la corrosión, el rehervidor, el lado de la amina rica del intercambiador amina rica / amina pobre y el condensador del regenerador tienden a experimentar altas tasas de corrosión.

3.5 DIAGRAMAS DE PROCESOS E INSTRUMENTACIÓN DEL PROCESO DE ENDULZAMIENTO DEL GAS NATURAL CON AMINAS

Tomando en cuenta el diagrama de equipos simples del proceso de Endulzamiento del Gas Natural con Aminas, y los controles establecidos en cada una de las etapas del que este está compuesto, fueron elaborados 5 diagramas de procesos e instrumentación, los cuales se presentan a continuación.

Diagrama de equipos detallado, hoja 1 (figura 3.15)

Diagrama de equipos detallado, hoja 2. (figura 3.16)

Diagrama del proceso de Amina rica. (figura 3.17)

Diagrama del proceso de Amina pobre. (figura 3.18.)

Diagrama del proceso de formación de Amina. (figura 3.19)

CAPÍTULO IV DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1.1 Descripción del proceso de endulzamiento del gas natural como base para la elaboración de diagramas de flujo

El análisis de los criterios de control que se establecen para un proceso determinado, tiene su origen en la construcción de diagramas de flujo, ya que éstos permiten visualizar de manera organizada y lógica las etapas del proceso a analizar a fin de establecer las variables adecuadas a controlar, de manera tal que se garantice un diseño y operación adecuadas a las condiciones específicas que se estén presentando, así como también la mayor eficiencia posible.

Es importante una descripción adecuada y completa del proceso sobre el cual se está haciendo el análisis, ya que de esto depende la comprensión real de todos los detalles que dan forma al proceso en si, ésto permitirá que durante las distintas etapas de ingeniería se obtengan los mejores resultados posibles y es por ello que los diagramas de flujo se presentan como una herramienta de trabajo tan completa y adecuada para la labor que se desea realizar, ya que a través de ellos es posible compilar en un solo documento la descripción completa realizada sobre el proceso.

4.1.2 Efecto de las variables operacionales en el control del proceso de endulzamiento del gas natural

Al considerar las variables tomadas en cuenta para la elaboración de la lógica de control del proceso de endulzamiento con aminas, pueden diferenciarse dos grupos, en primera instancia la tasa de circulación de la amina, la carga del gas ácido y las pérdidas de aminas, definen el diseño del proceso y la magnitud de las instalaciones, por otro lado variables como el reflujo, la recuperación de potencia, el uso del separador trifásico y de los intercambiadores de calor definen la eficiencia del proceso; si bien cada grupo de variables tiene su impacto en áreas específicas y bien diferenciadas, cada una de ellas influyen de forma directa en los lazos de control que son implementados para controlar el proceso, por lo que el conocimiento del impacto de cada variable de forma individual permite tomar decisiones de ingeniería y de optimización del proceso.

La tasa de circulación de la amina, afecta de forma directa los controles de nivel de las torres contactora y regeneradora, además del control de nivel dentro del separador trifásico; asimismo dependiendo de la tasa de circulación de amina y la carga ácida del gas a tratar, el perfil de temperatura dentro de la torre regeneradora será diferente para cada escenario en particular, por lo que los indicadores de temperatura tanto de la torre regeneradora como del rehervidor se verán afectados por el cambio de alguna de estas variables, lo que a su vez afectará el reflujo, otra variable importante para el funcionamiento de la torre regeneradora.

En el caso de la concentración de la solución de amina, cuando ésta es muy elevada puede causar corrosión dentro de los equipos, lo cual no solo afecta la integridad del equipo como tal, sino que además puede comprometer el funcionamiento adecuado de los indicadores de los

diferentes sistemas de control presentes en cualquiera de los equipos, debido al desgaste físico de los instrumentos que implica la corrosión de los mismos; y específicamente dentro del intercambiador de calor amina-amina por efecto de la temperatura, se formarán sales termoestables, que al causar taponamientos afectan de manera directa a los indicadores de presión dentro del intercambiador, así como también los controles de presión en los equipos adyacentes.

En cuanto a las pérdidas de la solución de aminas, que se ve evidenciada de manera más visible en el separador trifásico, esto no solo ocurre si el tanque no fue dimensionado para el flujo con el cual está trabajando, sino que además ocurre si el control de nivel dentro del tanque no está funcionando de manera adecuada, entonces la eficiencia del tanque disminuye drásticamente causando las pérdidas de la solución de aminas.

Conocer el impacto que una variable puede tener sobre otra también es de vital importancia, ya que en muchos casos, especialmente cuando se trata de las variables que de alguna forma dependen de la amina o la cantidad de contaminantes del gas a tratar, estas variables estarán interrelacionadas y si una no está dentro del rango apropiado, afectará a las demás variables y por lo tanto a los equipos donde puedan tomar relevancia, y cuando esto ocurre los sistemas de control en conjunto se verán afectados de alguna manera, debido a que las irregularidades que puedan estar ocurriendo afectan el sistema que deben controlar.

Es importante resaltar que la implementación de sistemas de control, es necesario para garantizar el debido control operacional, la seguridad de las instalaciones y del personal que la maneja y la calidad de los productos que se ofrecen al público especializado; pero también es de gran significancia

que por lo general, la compra e instalación de los sistemas de control, desde los equipos hasta la sala de control como tal, implica altas inversiones por lo que es necesario establecer criterios y determinar cuales son las variables más importantes del proceso, de manera tal que se pueda decidir de forma adecuada e informada al momento de hacer la compra de estos sistemas, por lo que el uso de herramientas como los diagramas de flujo para visualizar toda la información, sobre los criterios establecidos y como puede afectar una o un conjunto de variables, a un subsistema o al proceso en su totalidad es de gran utilidad, ya que facilita la comprensión de todos estos detalles.

4.1.3 Puntos críticos de la lógica de control de las etapas del proceso de endulzamiento del gas natural

4.1.3.1 Sección de absorción del gas ácido

El flujo de gas a tratar que es enviado a los depuradores de entrada al proceso, afectan de forma directa el nivel dentro del equipo, la cual será la variable crítica a controlar ya que el valor de esta variable debe mantenerse dentro del rango adecuado, para garantizar que el gas que es endulzado tenga la menor cantidad de impurezas posibles, además que un aumento del flujo de gas a tratar ocasiona un aumento del diferencial de presión dentro de la torre contactora.

Dentro de la torre contactora, la variable crítica a controlar será la presión diferencial, debido a que es vital para el proceso evitar la presurización de la torre, ya que si esto sucediera no ocurrirá el contacto íntimo necesario para que los gases ácidos sean absorbidos por la corriente de aminas y el gas a tratar sea endulzado hasta los niveles requeridos para su posterior venta o tratamiento.

4.1.3.2 Sección de regeneración de la amina

Enfocado dentro del tanque recuperador de amina y el tanque trifásico, la variable crítica a controlar es el nivel en ambos equipos, ya que de esto depende que ocurra la separación completa entre la fase gaseosa y la líquida y por lo tanto no haya pérdidas en la solución de aminas ni ocurran arrastres de hidrocarburos en la corriente de amina rica. Por otro lado cuando se trata del intercambiador amina-amina la variable crítica a controlar es la presión ya que es la mejor forma de saber si el intercambiador está taponado, ya sea por la formación de sales o acumulación de impurezas, lo que deriva en el funcionamiento inadecuado del intercambiador, el cual realiza un trabajo vital tanto para la torre regeneradora como finalmente para la torre contactora, equipo que aunque se encuentra aguas arriba del proceso, es el que completa el ciclo de regeneración de la amina.

Dentro de la torre regeneradora es necesario mantener el perfil de temperatura dentro de la misma, ya que esta es esencialmente una torre de destilación, por lo que la variable crítica a controlar será la temperatura, ya que de esto depende que los gases ácidos sean retirados en su totalidad de la corriente de amina que regresa al proceso, de lo contrario la eficiencia del endulzamiento del gas a tratar se verá comprometido una vez que esta corriente llegue a la torre contactora.

Otra de las variables críticas del proceso es la presión dentro de los filtros, ya que la acumulación de residuos e impurezas taponan los filtros causando aumentos en la presión dentro del equipo, por lo que es de suma importancia controlar esta variable.

4.1.4 Reingeniería del proceso de endulzamiento del gas natural en función a los problemas operacionales

A partir de la información que se encuentra plasmada en los diagramas del proceso, se pueden hacer propuestas de reingeniería y recomendaciones para un mejor funcionamiento del mismo. Estas se muestran a continuación para cada problema operacional descrito en capítulo III.

La ineficiencia de un subsistema puede causar problemas en la etapa en la que esté ocurriendo, pero terminará por afectar el proceso en su totalidad. Por lo que se recomienda evaluar los sistemas de control para mejorar la operatividad de la planta.

El arrastre de contaminantes en la corriente de gas puede dañar la solución de amina, y para esto se recomienda evaluar los depuradores de entrada a la planta y se propone la instalación de filtros coalescedores a la salida de los separadores para garantizar la calidad de la alimentación a la torre contactora.

Para el taponamiento de los intercambiadores amina-amina se recomienda implementar un sistema de lavado que logre bajar el tiempo de mantenimiento. Así mismo se propone instalar manómetros y termómetros en las líneas de entrada y salida de las corrientes para realizar un seguimiento a la efectividad del equipo y planificar su mantenimiento. También se puede estudiar la posibilidad de colocar otro tipo de intercambiador como por ejemplo de tubo y coraza o filtros a la entrada de los mismos.

Las válvulas son piezas fundamentales en este proceso, y el taponamiento de estas es un problema operacional muy común. Esto puede ser debido al mal funcionamiento de los filtros, por lo que se recomienda la

instalación de filtros mecánicos aguas abajo del filtro de carbón, ya que estos retienen los sólidos que se arrastran del filtro de carbón. Así mismo se propone igualmente el reemplazo del carbón activado en un rango corto de tiempo, aproximadamente de 6 meses

Debido a altas temperaturas en el rehervidor o baja presión en la torre regeneradora, se pueden presentar pérdidas de amina por evaporación y/o arrastre en dicha torre por un alto caudal de gas ácido. En función de esto se recomienda establecer y mantener una temperatura de operación mediante un sistema de control altamente eficiente.

En este proceso de endulzamiento también se presentan daños en las tuberías por la contaminación de la amina. Se propone hacer un tratamiento térmico a todas las soldaduras y minimizar los sólidos o productos de degradación en el sistema utilizando una operación de recuperación o una filtración efectiva, que mantiene el sistema libre de oxígeno suministrando una pequeña capa superior de gas en todos los tanques de abastecimiento y manteniendo una presión positiva en la solución de todas las bombas. En la figura 4.1 que se presenta a continuación se ilustran los equipos propuestos anteriormente.

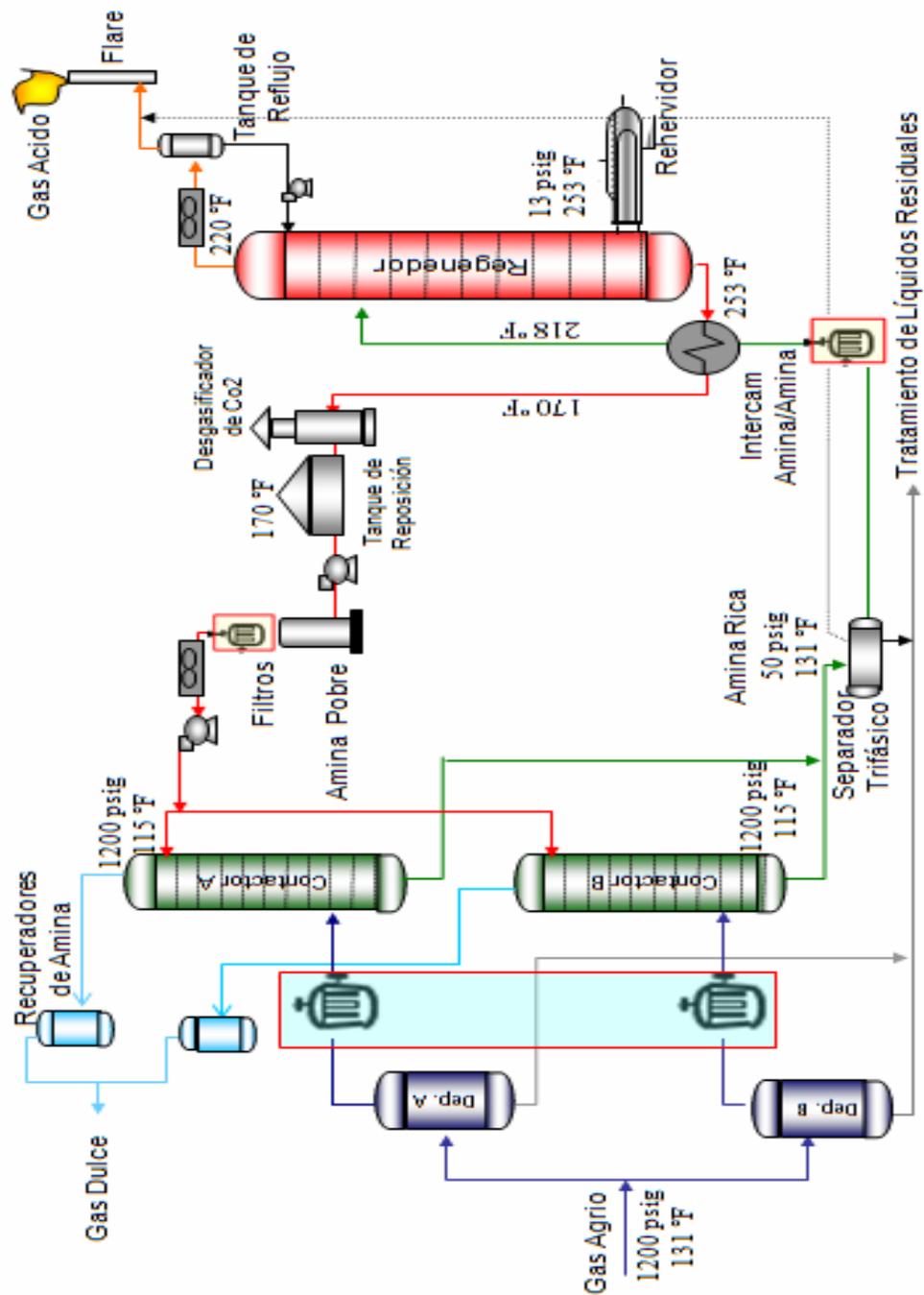


Figura 4.1 Diagrama de equipos simples del proceso de endulzamiento del Gas Natural con Aminas con propuestas de instalación de nuevos equipo

4.1.5 Los diagramas de flujo como herramienta de trabajo fundamental dentro de la ingeniería

Una vez descrito el proceso de endulzamiento de gas natural con aminas, apoyado en el diagrama de bloques y el diagrama de flujo de equipos simple del proceso, fueron establecidas las variables de control que son tomadas en cuenta para la elaboración de los lazos de control en cada etapa, en base a ello se elaboró y describió la lógica de control del proceso, para posteriormente explicar los posibles problemas operacionales que pueden ocurrir en el proceso de endulzamiento del gas natural con aminas, todo esto realizado para obtener del proceso diagramas de equipos detallados y diagramas de proceso e instrumentación del mismo.

Los diagramas de proceso detallado (figuras 3.15 y 3.16) y los diagramas de proceso e instrumentación (figuras 3.17, 3.18 y 3.19) elaborados en capítulo III, representan una forma de ampliar y especificar la información presentada en el diagrama de equipo simple (figura 3.2), ya que se agrega información valiosa sobre el endulzamiento con aminas, que necesitan conocer los operadores y todo el personal relacionado con la inspección y mantenimiento del proceso, para poder garantizar el funcionamiento óptimo de la planta de endulzamiento.

La elaboración de los diagramas de equipos detallado y de proceso e instrumentación permiten desarrollar una base común de conocimiento, en relación a los demás procesos que se realizan en la industria del gas, por lo que se puede decir que es una manera de estandarizar la forma en que se presenta la información sobre un proceso en particular, en pocas palabras permite que en la industria del gas se hable en el mismo idioma, además esta base común de conocimiento puede ser utilizada para la formación de nuevos operadores u otros miembros del equipo de operación de la planta.

De manera general estos diagramas también son utilizados para la recolección y presentación de datos importantes del proceso, como nombre de los equipos, de las corrientes del proceso, temperaturas, presiones de operación entre otros, para la identificación oportunidades de cambios que puedan beneficiar a la eficiencia del proceso, describirlos y presentarlo antes las personas adecuadas y, auditar de manera periódica el proceso para asegurar que se estén cumpliendo los parámetros de operación establecidos.

Una vez establecidos los criterios que deben ser considerados para elaborar los lazos de control, haciendo uso de los diagramas elaborados (figuras 3.17, 3.18 y 3.19) se puede observar a que etapa o equipo está afectando directamente y en base a ello fijar las variables a controlar, está aplicación de los diagramas de proceso e instrumentación toma relevancia, cuando durante la operación del proceso de endulzamiento, se presente la necesidad de restablecer los criterios de control y por lo tanto habrá que observar el efecto que tendrá el cambio propuesto y que variables pueden y deben ser controladas en función a los proyectos de cambios que se vayan a realizar.

Enfocado hacia la instrumentación del proceso de endulzamiento de gas natural con aminas, las figuras 3.17, 3.18 y 3.19 fueron utilizadas para presentar en diagramas más completos los lazos de control descritos de forma individual para cada equipo o etapa en el capítulo III. Esto permitió visualizar los lazos de control que fueron desarrollados de manera individual, presentados como un todo integrado, además se observan los equipos que se encuentran antes y después de cada lazo de control de manera que se aprecie como esto afecta a la etapa en cuestión y al proceso en su totalidad.

Cuando se observa un proceso como un ente global que se ve afectado completamente cuando ocurren fallas en una de las etapas que lo

conforman, y se tienen claras las bases teóricas bajo las cuales éste funciona, utilizando los diagramas de proceso e instrumentación (para el proceso de endulzamiento de gas con aminas véase las figuras 3.17, 3.18 y 3.19), es posible observar de manera clara los posibles problemas operacionales que pueden presentarse durante la operación y así tomar las prevenciones necesarias para garantizar la eficiencia del proceso, o en caso de que el proceso se encuentre en funcionamiento, tomar las acciones correctivas pertinentes.

4.2 CONCLUSIONES

Se describió a detalle el proceso de endulzamiento del Gas Natural con Aminas

La lógica de control fue definida a partir de la elaboración de diagramas de proceso e instrumentación.

Fueron explicados los problemas operacionales de cada una de las etapas del proceso de endulzamiento de Gas Natural con Aminas.

Las propuestas de reingeniería fueron realizadas a partir de la información obtenida del análisis de los diagramas de proceso e instrumentación.

Fueron evaluados los sistemas de control del proceso para proponer mejoras de la operatividad de la planta de endulzamiento de gas natural con aminas

Los depuradores de gas de entrada al proceso fueron evaluados para proponer cambios que garanticen la calidad de la alimentación a la torre de absorbedora.

El intercambiador amina-amina fue analizado para proponer cambios para mejorar su eficiencia

Se analizó el funcionamiento de los filtros para proponer soluciones para mejorar su efectividad y evitar el taponamiento de válvulas

Altas temperaturas en el rehervidor y bajas presiones en la torre regeneradora, ocasionan corrosión en las tuberías

El arrastre de hidrocarburos y sólido en la corriente de amina rica generan la formación de espumas

4.3 RECOMENDACIONES

Se recomienda un análisis constante, para revisar los sistemas de control

Revisar periódicamente las válvulas y tuberías del proceso para evitar taponamientos

Acondicionar el fluido de entrada a la torre contactora para evitar un diferencial de presión elevado dentro de ella.

Se recomienda un dimensionamiento adecuado del separador trifásico para minimizar las pérdidas de aminas.

Filtrar la solución de amina antes de la entrada al intercambiador amina-amina para evitar la obstrucción dentro del equipos

Utilizar una turbina en la salida de la torre contactora, para recuperar la energía potencial contenida en el líquido (solución de amina rica) que sale a una alta presión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arias G. F. El Proyecto De Investigación. Guía para su Elaboración, 1999 Caracas: Episteme.

Calderón y col. Guía para la elaboración de Diagramas de Flujo [En línea] Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica de Costa Rica, 2009 [Fecha de consulta 3 de Junio de 2011]. Disponible en <<http://es.scribd.com/doc/54964098/Guia-Para-Elaborar-Diagramas-de-Flujo>>

Colaboradores de fcfm. Diagramas de Flujo en Ingeniería Química [En línea] Escuela de Ingeniería de Chile, 2008 [Fecha de consulta 3 de Junio de 2011]. Disponible en <http://www.ing.uchile.cl/~iq54a/apuntes/02_diags/02_diags.html>

Colaboradores de GPA. Espumas en Sistemas de Hidrocarburos [En línea] GPA estudios y servicios petroleros, 2010 [Fecha de consulta 4 de Agosto de 2011]. Disponible en <http://www.oilproduction.net/files/NOTA_TECNICA_33.pdf>

Colaboradores de la Sociedad Latinoamericana para la calidad. Diagramas de Flujo [En línea] Sociedad Latinoamericana para la Calidad, 2000 [Fecha de consulta 3 de Junio de 2011]. Disponible en <www.camposc.net/dm/flujo.pdf>

Colaboradores de PDVSA. Preparación de diagramas de procesos. [En línea] Manual de ingeniería de diseño. Procedimientos de ingeniería PDVSA,

2009. [Fecha de consulta 17 de julio de 2011]. Disponible en <<http://es.scribd.com>>

Colaboradores de PEMEX. Procesos Industriales [En línea] PEMEX Gas y Petroquímica Básica, 2008 [Fecha de consulta 3 de Junio de 2011]. Disponible en <<http://www.gas.pemex.com>>

Colabores de UDLAP. Proceso de Endulzamiento del Gas Natural [En línea] UDLAP la mejor información, 2001 [Fecha de consulta 3 de Junio de 2011]. Disponible en <<http://udlap.com.mx/>>

Cruz y col. Procesamiento del Gas Natural, [En línea] Universidad Simón Bolívar, 2010 [Fecha de consulta 3 de Junio de 2011]. Disponible en <https://asignaturas.usb.ve/osmosis/dokeos/PS6215/work/4b844d99c60a6Presentation_Gas_Natural_Sai_en_DPF.pdf>

Hsu y col. Optimización del diseño de un proceso de ultrafiltración [En línea]. Publicaciones ACS, 1980 [Fecha de consulta 26 de Mayo de 2011]. Disponible en <<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/bk-1980-0124.ch026>>

Kooy. Producción de Metanol y Gasolina [En línea]. Instituto de Química de Nueva Zelanda, 1996 [Fechas de consulta 26 de Mayo de 2011]. Disponible en <<http://nzic.org.nz/ChemProcesses/energy/7D.pdf>>

Llera y col. Diagramas de flujo para el diseño de un sistema de control de calidad del proceso de elaboración de vino blanco [En línea]. Revista de la facultad de Ciencias Agrarias, 2004 [Fecha de consulta 26 de Mayo de 2011]. Disponible en <http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/162/lleraAgrarias1-04.PDF>

Ortega y Mundaray. Análisis del Impacto de la Carga del Gas Ácido sobre el calor de absorción del H₂S y el CO₂ en la Solubilidad del VOC/BTEX en Soluciones de Amina en PE-01 (Planta de Endulzamiento-01) [En línea] Universidad de Oriente, 2007 [Fecha de Consulta 28 de Julio de 2011]. Disponible en <<http://ri.biblioteca.udo.edu.ve/>>

Pino, F. Endulzamiento del Gas Natural [En línea]. Universidad de Oriente, 1997 [Fecha de consulta 3 de Junio de 2001]. Disponible en <<http://es.scribd.com/doc/47333961/Endulzamiento-de-gas-natural>>

Wilder, J. Tratamiento y Procesamiento del Crudo y del Gas Natural [En línea] Universidad del Mar, 2006 [Fecha de consulta 28 de Julio de 2011]. Disponible en <<http://es.scribd.com/doc/59019998/Espuma-en-Plantas-de-Aminas>>

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y
ASCENSO**

TÍTULO	“Análisis de los Criterios de Control de un Proceso de Endulzamiento de Gas Natural con Aminas a Través de Diagramas de Flujo”
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CVLAC / E MAIL
Cecconello Leopardi Laura Desirée	CVLAC: 18.267.275 EMAIL: laurad05@gmail.com
Salazar Sifontes Adriana Carolina	CVLAC: 17.421.645 EMAIL: adrianacaro04@gmail.com

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Diagramas

Endulzamiento

Aminas

Control

Gas Natural

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÁREA	SUB ÁREA
Ingeniería y Ciencias	Ingeniería Química

RESUMEN (ABSTRACT):

Se analizaron los criterios de control de un proceso de endulzamiento de gas natural con aminas a través de la construcción de diagramas de flujo. Se describió con detalles el proceso de endulzamiento con aminas, para luego identificar los criterios de control definiendo la lógica de control de forma específica en cada etapa del proceso y, en función de esto se explicaron los posibles problemas operacionales que ocurren durante el proceso de endulzamiento de gas natural con aminas, con el fin de obtener la información necesaria para construir diagramas de flujo del proceso, resaltar su importancia como herramienta de trabajo y realizar un análisis del mismo, de manera que se realizaron propuestas de reingeniería para aumentar la eficiencia y mejorar el proceso en su totalidad

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**CONTRIBUIDORES:**

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
	ROL	CA	AS(X)	TU	JU
Avendaño, Isvelia	ROL	CA	AS(X)	TU	JU
	CVLAC:	V-8.024.2558			
	E_MAIL	isveliaudo@gmail.com			
	E_MAIL				
Yraima, Salas	ROL	CA	AS	TU	JU(X)
	CVLAC:	V- 8.478.649			
	E_MAIL	yrasal57@yahoo.es			
	E_MAIL				
Cova, Alexis	ROL	CA	AS	TU	JU(X)
	CVLAC:	V-11.905.328			
	E_MAIL	alexiscovab@gmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:	V-			
	E_MAIL				
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2011	08	12
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
Tesis.control_endulzamiento_gas_natural.doc	Aplicación/msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I J K L M N O P Q
R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: _____(OPCIONAL)

TEMPORAL: _____(OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Químico_____

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado_____

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Ingeniería Química_____

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui_____

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**DERECHOS**

De acuerdo al artículo 41 del Reglamento de Trabajo de Grado:

“Los Trabajos de Grado son exclusiva propiedad de la Universidad y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”

Laura D. Cecconello L.
AUTOR

Adriana C. Salazar S.
AUTOR

Prof. Isvelia Avendaño
TUTOR

Prof. Yraima Salas
JURADO

Prof. Alexis Cova
JURADO

Prof. Yraima Salas
POR LA SUBCOMISION DE TESIS