

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NUCLEO DE ANZOATEGUI  
ESCUELA DE INGENIRIA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA**



**ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE INCIDEN EN EL CONTROL DE LA  
PLANTA DE DESHIDRATACIÓN DE PIGAP I PARA EL MEJOR  
DESEMPEÑO DE LAS OPERACIONES DE ABSORCIÓN DEL AGUA,  
SEPARACIÓN Y REGENERACIÓN DEL TRIETILÉN GLICOL (TEG)**

**Realizado por:  
Leydimar José Infantes Padilla**

**Trabajo de Grado presentado a la Universidad de Oriente como  
requisito parcial para optar al Título de: Ingeniero Químico**

**Puerto la Cruz, Noviembre de 2011**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE**  
**NUCLEO DE ANZOATEGUI**  
**ESCUELA DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA**



**ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN EL CONTROL DE LA  
PLANTA DE DESHIDRATACIÓN DE PIGAP I PARA EL MEJOR  
DESEMPEÑO DE LAS OPERACIONES DE ABSORCIÓN DEL AGUA,  
SEPARACIÓN Y REGENERACIÓN DEL TRIETILÉN GLICOL (TEG)**

**Jurado Calificador:**

\_\_\_\_\_  
**Ing. Químico Yraima Salas, M.Sc**  
**(Asesor académico)**

\_\_\_\_\_  
**Ing. Químico Arturo Rodolfo, M. Sc**

\_\_\_\_\_  
**Ing. Químico Ronald Arias, M. Sc**

**Puerto la Cruz, Noviembre de 2011**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE**  
**NUCLEO DE ANZOATEGUI**  
**ESCUELA DE INGENIRIA Y CIENCIAS APLICADAS**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA**



**ANÁLISIS DE LA OPERACIÓN DEL CONTROL DE LA PLANTA DE  
DESHIDRATACIÓN DE PIGAP I PARA EL MEJOR DESEMPEÑO DE LAS  
OPERACIONES DE ABSORCIÓN DEL AGUA, SEPARACIÓN Y  
REGENERACIÓN DEL TRIETILÉN GLICOL (TEG)**

**Asesores:**

---

**Ing. Químico Domingo Vásquez**  
**(Asesor industrial)**

---

**Ing. Químico Yraima Salas, M. Sc**  
**(Asesor académico)**

**Puerto la Cruz, Noviembre de 2011**

## **RESOLUCIÓN**

### **DE ACUERDO AL ARTÍCULO 41 DEL REGLAMENTO DE TRABAJOS DE GRADO**

“LOS TRABAJOS DE GRADO SON EXCLUSIVA PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD Y SOLO PODRAN SER UTILIZADOS A OTROS FINES CON EL CONSENTIMIENTO DEL NÚCLEO RESPECTIVO QUIEN LO PARTICIPA AL CONSEJO UNIVERSITARIO”

## **DEDICATORIA**

*Dedicado a mi Dios y Padre Celestial, porque como dice el Salmo 18:32, él ha sido quien me ha dado el poder para culminar la elaboración de este trabajo y quien ha hecho perfecto mi camino, colocando en mi vida en los momentos necesarios a las personas indicadas para que cada etapa de este logro fuera posible y por permitirme contar con el especial apoyo de mis padres y hermanos Marisol Padilla, Carlos Infantes, Carlos Alberto Infantes Padilla y Luis Jesús Infantes Padilla.*

*Además a todas aquellas personas que por alguna razón no pudieron cumplir con sus sueños, pero que a pesar de ello han sabido realizarse al trabajar con esfuerzo, dedicación y amor en el área donde les toco desempeñarse.*

***Leydimar José Infantes Padilla***

## **AGRADECIMIENTOS**

*Primeramente gracias a Dios creador de los cielos y de la tierra por su fidelidad, fortaleza, provisión, cuidado y por la vida de cada una de las personas que cruzó en mi camino para el logro de esta meta.*

*A mis padres Carlos Infantes y Marisol Padilla por su esfuerzo, sacrificios, apoyo, confianza y la libertad que me han dado en la toma de decisiones permitiéndome culminar con este proyecto y cumplir con esta etapa de preparación en lo que un día fue un sueño.*

*A mis hermanos Carlos Alberto y Luis Jesús, por ser parte de este logro con cada uno de sus sacrificios en los momentos necesarios.*

*A Magda Barrios, Maria Ysabella Infantes y la Sra. María, quienes como familia abrieron las puertas de sus casas y me recibieron como a un miembro más durante el estudio de la carrera, de corazón agradecida por tan hermoso gesto.*

*A mis abuelos Luis, Petra y Josefa por estar pendientes en todo momento y tener la disposición para ayudarme cuando fuera necesario.*

*A mis tías y tíos en especial a Carmen, Melania, Ramoncito, Gonzalo, Gabriel, Luis (Negro) por su apoyo y ayuda económica en los momentos más apropiados.*

*Al señor Alfredo y su esposa Iraida por la ayuda y el apoyo que me brindaron, como vecinos y la disposición de su cyber aún a altas horas de la noche cuando lo necesité.*

*A mi familia de la iglesia Evangélica Jesucristo es el Camino por cada una de sus oraciones, por su amor y sobre todo por representar la figura de esa familia que quedo en Maturín.*

*A mis hermanas y hermanos de la Primera Iglesia Bautista de Maturín por estar pendiente en el curso de cada uno de los semestres, por sus*

*mensajes y sus recibimientos que permitían sentirme reconfortada después de un arduo periodo de estudio.*

*A Moisés Daniel Marcano (Dan) por estar allí con sus consejos, estímulo y aliento y sobre todo por su especial amistad.*

*A mis queridas amigas y compañeras de estudio con quienes compartí buenos y maravillosos momentos, además del honor de estudiar la hermosa carrera de “Ingeniería Química” Sergimar Barroso, Yusmari Farias, Ruddy Hernández, Freida González, María Andreina Velásquez, Darlyn González, Angely González, Ángela Alviarez, Gabriela Brito, Luz Marín, María Hernández, Jaisol Guayapero.*

*A mis compañeros del Departamento de Ingeniería Química por cada una de las experiencias compartidas y por hacer del estudio de esta carrera una experiencia amena y agradable; en especial a Yein España, Maylen Ferrer y Pierre Camiso por esos buenos momentos compartidos.*

*A los profesores del Departamento de Ingeniería Química por dedicar parte de su tiempo y de su vida a compartir sus conocimientos y experiencias en especial a mi asesora académica Yraima Salas por aceptar el compromiso y tener la disposición de guiarme en la elaboración de este trabajo de grado, al profesor Arturo Rodulfo por sus enseñanzas y por hacer interesante, emocionante y agradable el estudio de cada una de sus materias, a Raíza Sánchez, Ana Rita Colmenares, Shirley Marfisi, Fidelina Moncada, Petra Martínez, Lucas Álvarez, Hernán Raven y Hector Silva por su compromiso y exigencias en la formación de Ingenieros Químicos.*

*Al personal que labora en el Complejo Operativo Muscar por la oportunidad en el desarrollo de este trabajo y por la grata experiencia de compartir con ellos tanto a nivel personal como profesional; en especial al grupo de panelistas y operadores de la planta, a mi tutor industrial Domingo Vásquez y al señor Luis Valdez por apoyarme durante mi período de pasantías y compartir sus amplios conocimientos.*

*Finalmente agradezco a la casa más alta del oriente del país “la U.D.O”, por la formación recibida en sus instalaciones a través de cada una de las situaciones y del personal que hace vida en ella.*

**Leydimar José Infantes Padilla**

## RESUMEN

En este trabajo se realizó un análisis de los factores que inciden en el control de la planta de deshidratación de gas natural de PIGAP I, con la finalidad de conocer cuál es la operación actual del control de cada una de las variables involucradas en el proceso y si esta corresponde con las características necesarias para obtener un gas deshidratado con humedad máxima de 5 lb H<sub>2</sub>O/MMPCED. Para ello se compararon las condiciones de operación con las de diseño y se observó que algunas variables están fuera de las especificaciones de diseño; se identificaron cada uno de los lazos de control presentes en las operaciones de absorción del agua, separación y regeneración del TEG; se realizó un análisis causa-efecto a través del cual se determinó la influencia y la condición actual de los factores: Proceso, instrumentación, sistema de control, lazos de control, mano de obra y aire de instrumento obteniéndose que los desajustes más relevantes se encuentran en las condiciones de operación del proceso, ya que estas a la vez influyen en otras de las características evitando que el control de la planta sea manejado en forma efectiva y en muchos casos sea necesario que los operadores cumplan la función de los controladores. Así mismo se proponen un valor mínimo y otro máximo tanto para la tasa de circulación de TEG como para el flujo de gas de despojo y un conjunto de sugerencias para disminuir o eliminar los efectos originados por las fallas o desajustes hallados en el manejo del control automatizado de la planta.

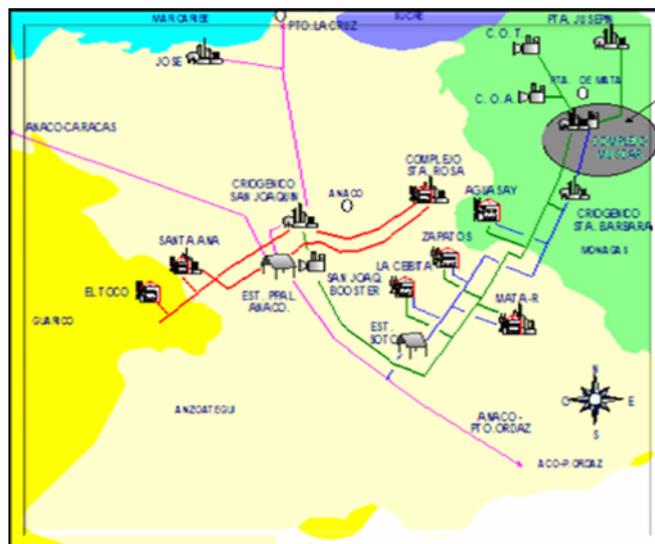
## TABLA DE CONTENIDO

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Aspectos generales de la empresa

El Complejo Operativo Muscar (COM) está ubicado en la carretera nacional Maturín-Punta de Mata, en el municipio Ezequiel Zamora, estado Monagas tal como lo muestra la figura 1.1 y fue creado como consecuencia de la producción de gas asociado a la producción de crudo en esta zona.



**Figura 1.1. Ubicación del Complejo Operativo Muscar.**

El COM es el centro de todas las actividades de manejo de gas desarrolladas en el norte de Monagas, donde su principal función es la recolección, tratamiento y acopio de la totalidad del gas natural proveniente de las estaciones de producción de la zona de Punta de Mata, así como una parte del gas producido en la zona de Maturín. Su área de influencia abarca, el tratamiento y acondicionamiento del gas asociado al crudo de todas las

unidades de explotación Furrial, Carito y Pirital, así como la óptima segregación de gas a las plantas de extracción de líquidos del gas natural (LGN) Santa Bárbara y Accro III, las cuales distribuyen a la vez el gas residual hacia tres plantas de inyección a alta presión, Inyección de Gas Furrial (IGF) que inyecta a 7.500 psi, PIGAP I y PIGAP II que inyectan a 9.000 psi, en el Distrito Norte y el restante hacia el mercado interno.

Para cumplir con sus labores el COM está conformado por:

1. Planta compresora Muscar
2. Sistema de segregación y manejo de gas
3. Sistema de acondicionamiento del gas natural:
  - Deshidratación de alta presión
  - Endulzamiento con amina
  - Endulzamiento con reactores de Sulfatreat
  - Endulzamiento con químicos secuestrantes

Como centro del manejo de gas en el oriente del país la importancia del COM está en su influencia en el desarrollo del sector productivo de la nación al tratar con la materia prima de los principales procesos petroquímicos llevados a cabo en la zona y originar a la vez el gas necesario para la recuperación de pozos productivos de crudo.

## **1.2 Planteamiento del problema**

El gas natural es una de las varias e importantes fuentes de energía no renovables formada por una mezcla de gases ligeros que se encuentra frecuentemente en yacimientos de petróleo, disuelto o asociado con el petróleo o en depósitos de carbón. Aunque su composición varía en función

del yacimiento del que se saca, está compuesto principalmente por metano acompañado por otros hidrocarburos parafínicos como el etano, propano, butano, pentano y pequeñas proporciones de otros gases como nitrógeno, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, helio y mercaptanos.

Venezuela está considerada una de las naciones más importantes como potencial suplidor de energía gasífera por sus cuantiosas reservas de gas, su ventajosa posición geográfica e importancia geopolítica, constituyendo uno de los cinco grandes polos de atracción gasífera del mundo, la mayor cantidad de gas producido está asociada al petróleo (91% de las reservas probadas), los cuales se separan en la superficie una vez extraídos del yacimiento. El gas obtenido se trata por procedimientos especializados para satisfacer las especificaciones de calidad en función de sus diversos usos, bien sea en el mercado interno o a nivel de exportación.

En el oriente del país, específicamente en el estado Monagas, Petróleos de Venezuela S.A, abarca operaciones desde la explotación de crudo, transporte e inyección del gas, hasta la producción de los líquidos del gas natural (LGN), siendo el Complejo Operativo Muscar (COM) ubicado al norte del estado y a 11 km de la población de Punta de Mata, entre los campos petroleros MUSIPAN y CARITO, el centro de recolección, tratamiento y acondicionamiento de la totalidad del gas proveniente de las estaciones de producción de la División Punta de Mata, así como una fracción del gas producido en el Distrito Maturín.

Las actividades de acondicionamiento llevadas a cabo dentro del COM contemplan la deshidratación del gas con trietilén glicol (TEG) a 1.200 psi de presión (planta de deshidratación a alta presión), con el fin de evitar problemas por formación de hidratos en las tuberías debido a los constantes

cambios de presión y temperatura que sufre el gas durante su transporte, así como cumplir con el requerimiento de humedad igual o menor a 5 lb H<sub>2</sub>O/MMPCED exigido por la Planta de Inyección de Gas a Alta Presión (PIGAP I), para realizar sus labores de inyección y recuperación de pozos.

La planta de deshidratación de alta presión está constituida por dos trenes idénticos que manejan alrededor de 470 MMPCED de gas húmedo, proveniente de las fuentes húmedas que llegan al complejo y para cumplir con su objetivo de remover humedad del gas natural en ella se llevan a cabo las operaciones de absorción del agua con TEG, purificación y regeneración del TEG mediante separación física en separadores trifásicos y en un sistema de regeneración basado en destilación atmosférica.

Cada una de las operaciones que se llevan a cabo para la respectiva deshidratación del gas y regeneración del TEG tienen asociados el manejo riguroso de las variables presión, temperatura, nivel y flujo bien sea para el cumplimiento eficiente del proceso como para el resguardo de los equipos operantes y del personal que labora en las instalaciones de la planta. Estas variables son manejadas desde la sala de control despacho de gas (SPC) mediante la observación por parte del panelista de turno de la información que llega al sistema de control distribuido (DCS), o en campo por el personal operante o por la sincronización de ambos. El control y seguimiento de cada variable se logra gracias a la instrumentación presente en campo la cual en la mayoría de los casos actúa como un elemento de lazo de control, para realizar las respectivas acciones de medición, comparación y control según sea la variable manipulada.

Actualmente el personal de operación y de ingeniería no cuenta con la información actualizada en cuanto a las condiciones de los factores que

influyen en el control de la planta, así mismo el control de cada variable involucrada en el sistema de deshidratación es de forma empírica, por ello se realizará el debido análisis, para establecer si la operación del control de la planta se ajusta a los requerimientos del proceso para su óptimo desempeño y detectar los posibles desajustes a manera de que se propongan mejoras al sistema que permitan incrementar su rendimiento.

En vista de la necesidad de determinar cuál debe ser el manejo del control de la planta y de realizar un análisis en cuanto a las condiciones bajo las cuales se ejecuta su cumplimiento, primeramente para conocer el estado de operación de la planta se compararon las condiciones de diseño y las condiciones de operación, reconociendo así las variables manejadas dentro del proceso y los valores adecuados de las mismas; luego se identificaron los lazos de control asociados al proceso con sus respectivos elementos, características y ubicación.

Posteriormente se analizaron los factores que influyen en el control de la planta a través de la aplicación del método de análisis causa-efecto, donde se tomaron en cuenta como causas primarias los aspectos: Proceso, instrumentación, sistema de control, lazos de control, aire de instrumentos y mano de obra para detectar aquellas causas que puedan estar interfiriendo en el debido control de las variables de proceso y conocer a la vez cual es la operación actual del control de la planta. Finalmente fueron planteadas propuestas en función del análisis realizado, orientadas a obtener mejoras en el control y a la vez aumentar los rendimientos en las operaciones de absorción del agua, separación y regeneración del TEG.

La operación del control de la planta constituye parte fundamental del proceso, porque mediante este se logra manejar de forma más precisa

aquellas perturbaciones que puedan interrumpir o desviar el cumplimiento de la especificaciones del gas deshidratado y del TEG regenerado a obtener, por ello el análisis realizado representa una herramienta de suma importancia para el personal que labora en la planta, ya que proporciona el conocimiento en cuanto a la operación actual del control del proceso y cuáles son las causas que tienen mayor repercusión en el debido cumplimiento del control de cada una de las variables que debe mantenerse en un valor determinado, permitiendo que los desajustes presentes puedan ser corregidos y orientados a mejoras, para que así exista la confiabilidad necesaria en que la actuación de cada uno de los controles establecidos en el sistema sea la apropiada y con ello la seguridad de que las variables del proceso permanezcan en los valores adecuados para que el TEG regenerado y el gas deshidratado obtenidos estén dentro de sus especificaciones.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Analizar la operación del control de la planta de deshidratación de PIGAP I para el mejor desempeño de las operaciones de absorción del agua, separación y regeneración del trietilén glicol (TEG).

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

1. Comparar las condiciones de diseño y operación de la planta de deshidratación de PIGAP I.
2. Identificar los lazos de control asociados a las operaciones de absorción, separación y regeneración del TEG llevadas a cabo en la planta de deshidratación de PIGAP I.

3. Analizar los factores que inciden en el control de la planta de deshidratación de PIGAP I.
4. Proponer los ajustes necesarios en los factores que inciden en la operación del control de la planta de deshidratación de PIGAP I.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1 Antecedentes**

Bustamante (2009) evaluó las condiciones de los sistemas de deshidratación de PIGAP I en cuanto a las pérdidas de TEG, llegando a la conclusión de que las instalaciones de la planta eran óptimas para operar bajo las condiciones de diseño y las pérdidas de TEG se debían esencialmente a tres causas; evaporación por altas temperaturas en los condensadores de reflujo de las torres de destilación, presencia de hidrocarburos que no son separados en la etapa de regeneración y puesta en servicio de los trenes por intervalos cortos.

Moreno (2008) evaluó los lazos de control e instrumentación asociados a la operación de una planta productora de metanol, donde se identificó el universo de instrumentos de la planta, haciendo un respectivo análisis de criticidad que permitió conocer los equipos críticos dentro del proceso, así como obtener un diagrama de flujo sistemático de las acciones a seguir en la intervención de estos y un plan de mantenimiento para cada equipo crítico.

Rojas (2006) realizó un estudio y optimización del sistema de deshidratación del gas natural con TEG en la planta de procesamiento de gas Malvinas, reconociendo que la principal razón de pérdidas de TEG son las altas temperaturas en la columna regeneradora de TEG por lo cual optimizar el proceso conlleva a controlar principalmente las causas o factores

que generan tales temperaturas permitiendo así ahorros al año en consumo de TEG.

Rodríguez y Cova (1997) realizan pruebas de capacidad a los trenes de deshidratación de PIGAP I, las cuales incluyen la medición de parámetros operacionales, revisión del sistema de control supervisorio y mediciones de vibración determinando que era posible manejar 470 MMPCED por cada tren, manteniendo la estabilidad y control del sistema sin consumo adicional de glicol y con los parámetros operacionales dentro de los valores normales.

En esta oportunidad se trabajará al igual que Rojas con un sistema de deshidratación de gas natural con TEG, con la diferencia de que el sistema a estudiar es el asociado a la plata de inyección y compresión de gas PIGAP I. Este sistema ha sido evaluado en cuanto a condiciones de pérdidas de TEG y capacidad en ocasiones anteriores por Bustamante, Rodríguez y Cova; en esta oportunidad el enfoque del trabajo está orientado al sistema de control de la planta donde semejante al trabajo de Moreno se identificaron los lazos de control y la instrumentación asociada al proceso, pero con el fin de conocer el universo de controles asociados al proceso y realizar así el respectivo análisis de los factores que inciden en el control de la planta orientado a determinar si el control operante en la planta corresponde a las necesidades del proceso según las condiciones de diseño y operación.

## **2.2 Gas natural**

Se denomina gas natural al formado por los miembros más volátiles de la serie parafínica de los hidrocarburos, principalmente metano, cantidades menores de etano, propano, butano y finalmente puede contener porcentajes muy pequeños de compuestos más pesados. Además, es posible conseguir

en el gas natural cantidades variables de otros gases no hidrocarburos, como dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico), nitrógeno, helio y vapor de agua, entre otros. (Pérez y Martínez, 1991)

### **2.3 Formación de hidratos**

La formación de hidratos en el gas natural ocurrirá si existe agua libre y se enfría el gas por debajo de la temperatura llamada “de formación de hidratos”.

Los hidratos son compuestos sólidos que se forman como cristales, se producen por una reacción entre el gas natural y el agua a condiciones de presión y temperatura determinadas y su composición es aproximadamente 10% de hidrocarburos y 90% de agua. Estos suelen ocasionar grandes problemas operacionales por el taponamiento de tuberías como consecuencia de su formación. (Martínez, 2003)

### **2.4 Deshidratación del gas natural**

La deshidratación del gas natural se define como la remoción parcial del agua, en forma de vapor y/o libre contenida en el gas natural con el objetivo de:

1. Satisfacer los requerimientos de punto de rocío establecidos en los contratos de venta de gas natural.
2. Disminuir la corrosión/erosión en los sistemas de procesamiento, especialmente cuando el gas contiene compuestos con el  $H_2S$  y el  $CO_2$ .
3. Prevenir la formación de hidratos los cuales pueden obstruir total o parcialmente el flujo de gas y otros hidrocarburos en las líneas de

transmisión y equipos de proceso, especialmente en los procesos criogénicos y de almacenamiento. (García, 2004)

## **2.5 Descripción básica del proceso de deshidratación con glicol**

En una unidad deshidratadora con glicol (figura 2.1) el gas húmedo entra a un depurador (1) donde son removidos el condensado, el agua y los posibles sólidos que vengan asociados, luego el gas se introduce por el fondo de la torre de absorción o torre contactora (2) en contracorriente con el glicol pobre que entra por el tope. La torre puede estar diseñada con platos o empaques y es aquí donde se produce el contacto directo gas-líquido, que hace posible que el glicol absorba el vapor de agua presente en el gas.

El gas tratado (gas seco) sale por el tope de la torre y pasa a través de un intercambiador de calor gas seco-glicol pobre (12). El glicol húmedo o glicol rico, sale por el fondo de la torre y pasa por una válvula de expansión (3), donde se reduce la presión para la etapa de regeneración, e inmediatamente va hacia el serpentín (6) ubicado en el tope de la columna regeneradora (7), para condensar el glicol que sale en la corriente de vapor del tope de la columna en conjunto con el agua removida. A continuación entra a un tanque flash o tanque trifásico (4) para la separación del gas y de los hidrocarburos arrastrados por la solución de glicol. Seguidamente la solución de glicol rico pasa por filtros (5) que se encargan de remover materias sólidas tales como: asfáltenos, productos de corrosión y productos de degradación del glicol. Luego la corriente es precalentada en el intercambiador de calor glicol pobre-glicol rico (10) antes de entrar al sistema de regeneración, donde el agua absorbida por el glicol es eliminada mediante destilación a presión atmosférica.

El sistema de regeneración está compuesto por una torre de destilación empacada, montada en el tope del rehervidor (8), el cual consiste en un tanque horizontal con un quemador en uno de los extremos. Los gases de combustión se descargan en un tubo colocado dentro del tanque formando un sistema pirotubular que le suministra calor al glicol y termina en una chimenea que ventila a la atmosfera. La temperatura del regenerador va a depender del glicol que se utilice en el sistema, ya que cada uno tiene una temperatura de degradación la cual no debe ser alcanzada para evitar pérdidas. Finalmente el glicol sale del acumulador (9) y es enfriado en el intercambiador glicol-glicol para ser bombeado posteriormente al tope de la torre contactora y repetir el ciclo.

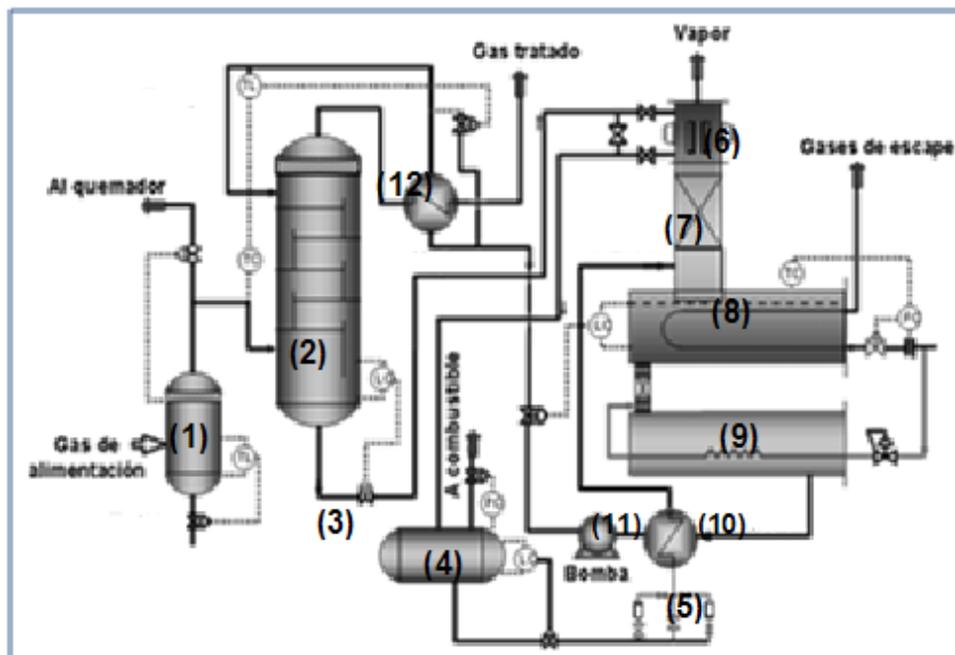


Figura 2.1. Unidad básica de deshidratación con glicol (Martínez, 2003).

## **2.6 Características a considerar en la selección de glicoles**

La deshidratación con glicol es el proceso de deshidratación más comúnmente usado para alcanzar especificaciones de ventas en tuberías y requerimientos de campo (gas lift, combustible, etc). Cuatro son los glicoles que se utilizan para la deshidratación:

1. Monoetilén glicol (MEG)
2. Dietilén glicol (DEG)
3. Trietilén glicol (TEG)
4. Tetraetilén glicol (TREG)

En los sistemas de deshidratación por absorción el solvente (glicol) debe ser higroscópico, no corrosivo, no volátil, fácil de regenerar a altas concentraciones, no soluble en hidrocarburos líquidos y además que no reaccione con los hidrocarburos y compuestos como CO<sub>2</sub> y compuestos de azufre. Muchos de los glicoles coinciden con todos estos criterios. El DEG, TEG y el TREG poseen tales características, sin embargo casi el 100% de las plantas de deshidratación utilizan TEG. (García, 2004)

## **2.7 Factores básicos de diseño en una planta de deshidratación con TEG**

Todos los factores que controlan el comportamiento de los sistemas de absorción también se aplican para la deshidratación con TEG. Con el fin de diseñar apropiadamente una unidad se necesitan conocer cuáles son los flujos máximos y mínimos de gas, presiones y temperaturas máximas y mínimas, la composición del gas y el punto de rocío requerido o el contenido de agua requerido a la salida del gas. Para esto se debe calcular:

- La concentración mínima de TEG en la solución pobre que entra en el tope del absorbedor requerida para alcanzar la especificación de contenido de agua en el gas de salida.
- La velocidad de circulación de TEG requerida para tomar del gas la cantidad de agua necesaria, a fin de alcanzar la especificación de contenido de agua en el gas de salida.
- El contacto en el absorbedor requerido para producir la aproximación necesaria al equilibrio requerida a la velocidad de circulación seleccionada. (García 2004)

## **2.8 Efectos de las variables de operación en el sistema de deshidratación con TEG**

Como en todo proceso para los sistemas de deshidratación del gas natural con TEG hay una serie de variables que son determinantes para obtener las especificaciones del producto final, a continuación las más representativas y sus efectos en el desarrollo del proceso.

### **2.8.1 Temperatura del gas de entrada**

A presión constante, el contenido de agua en el gas de entrada aumenta con el incremento de la temperatura. A mayores temperaturas, el glicol tiene que remover tanto como 3 veces más para tener el gas dentro de especificación.

Un incremento en la temperatura del gas puede conllevar a un incremento en el diámetro requerido del absorbedor (contactora). Asimismo, un incremento en la temperatura incrementa la velocidad actual del gas.

Temperaturas del gas de entrada por encima de 120°F genera altas pérdidas de TEG. La mínima temperatura del gas de entrada está normalmente encima de la temperatura de formación de hidratos y siempre debería estar por encima de 50 °F. A temperaturas por debajo de 50 °F el glicol llega a ser demasiado viscoso reduciendo la afinidad entre el agua y el TEG, entonces, la eficiencia en del contacto disminuye. Por debajo de 70 °F el glicol puede formar una emulsión estable con hidrocarburos líquidos en el gas y originar espuma.

Típicamente unidades que operan con TEG son diseñadas para operar con una temperatura de gas de entrada entre 80 °F y 110 °F.

### **2.8.2 Presión del gas de entrada**

La presión tiene poco efecto en el proceso de absorción con TEG, mientras que la presión permanezca por debajo de 3.000 psi. A temperaturas constantes el contenido de agua en el gas de entrada decrece con el incremento de la presión. Por consiguiente, menor cantidad de agua debe ser removida si el gas es deshidratado a altas presiones. En el rango de operación normal, la presión en la planta de glicol no es un factor crítico.

### **2.8.3 Temperatura del TEG pobre**

La temperatura del TEG pobre entrando a la torre absorbadora (contactora) tiene un gran efecto sobre el descenso del punto de rocío y debe ser mantenida lo más bajo como sea posible para alcanzar la eficiencia en la operación. Sin embargo, este podría conservarse a no menos de 10 °F por encima de la temperatura del gas de salida. Altas pérdidas de TEG ocurren cuando la temperatura del TEG pobre llega a calentarse demasiado. Esta

debería conservarse ligeramente por encima de la temperatura del gas de entrada a la contactora para prevenir la condensación de hidrocarburos dentro y subsecuentemente formación de espuma en el glicol. La mayoría de diseños hablan de una diferencia de temperatura entre las corrientes del TEG pobre y del gas húmedo de 10 °F a 15 °F.

#### **2.8.4 Concentración del TEG pobre**

El grado de deshidratación que puede ser alcanzado con el TEG principalmente depende de la cantidad de agua removida en el sistema de regeneración, ya que es en este donde se reconcentra el glicol rico obtenido luego de la deshidratación del gas húmedo.

Mientras más pobre sea el TEG utilizado en la contactora glicol-gas, mayor será la eficiencia en la deshidratación.

#### **2.8.5 Flujo de circulación de TEG**

Cuando el diseño de la torre contactora y la concentración del TEG pobre son alcanzados, el descenso del punto de rocío del gas saturado es una función del flujo de circulación de TEG. A mayor TEG que llega a estar en contacto con el gas, mayor es la cantidad de vapor de agua despojada del gas. Considerando que la concentración del TEG principalmente afecta el punto de rocío del gas seco, el flujo de circulación de TEG controla la cantidad de agua que puede ser removida.

El flujo mínimo de circulación de TEG para asegurar un buen contacto gas-glicol es aproximadamente 2 gal de TEG/lb de H<sub>2</sub>O removida, mientras que 7 gal de TEG/lb de H<sub>2</sub>O removida es el flujo máximo. La mayoría de

plantas de deshidratación con TEG son diseñadas para circular 3 gal de TEG/lb de H<sub>2</sub>O removida.

Un excesivo flujo de circulación de TEG podría sobrecargar el rehervidor o impedir una buena regeneración del TEG. El calor requerido por el rehervidor es directamente proporcional al flujo de circulación de TEG. Por consiguiente, un incremento en el flujo de circulación de TEG puede disminuir la temperatura del rehervidor e instantáneamente disminuir la cantidad de agua que es removida del gas por el TEG. Sólo si la temperatura del rehervidor permanece constante podría incrementarse el flujo de circulación de TEG disminuyendo el punto de rocío del gas.

#### **2.8.6 Temperatura de TEG en horno rehervidor**

La temperatura en el rehervidor controla la concentración del agua en el TEG pobre. La temperatura del rehervidor para el TEG está limitada hasta 400°F para minimizar la degradación del glicol, lo que limita a la vez la máxima concentración de TEG pobre, que sin el uso del gas de despojamiento está alrededor de 98,8%.

Cuando sean requeridas mayores concentraciones de TEG el uso del gas despojador puede ser adicionado al rehervidor.

#### **2.8.7 Presión del horno rehervidor**

Presiones por encima de la atmosférica en el rehervidor puede significativamente reducir la concentración del TEG pobre y la eficiencia de la deshidratación.

A presiones por debajo de la atmosférica la temperatura de ebullición de la mezcla TEG rico/agua decrece, y es posible alcanzar una mayor concentración del TEG pobre a la misma temperatura del rehervidor.

### **2.8.8 Flujo de gas de despojamiento**

El gas de despojo es una opción adicional usado para alcanzar las concentraciones más altas de TEG puede proveer el máximo descenso del punto de rocío y mayor deshidratación.

El gas de despojo es usado para remover agua residual del TEG después que ha sido reconcentrado en los equipos de regeneración. Este es usado para proveer un íntimo contacto entre el gas caliente y el TEG pobre después que la mayoría de agua ha sido removida por destilación. Se pueden alcanzar concentraciones de TEG pobre en el rango de 99,5 a 99,9% y descensos del punto de rocío hasta 140 °F.

El flujo del gas de despojo puede variar de acuerdo a la concentración de TEG pobre deseada y el método de contacto gas-glicol. La cantidad de gas de despojo usualmente es de 2 a 10 PCE/galón de glicol circulado. El flujo del gas de despojo no debería llegar a ser lo suficientemente alto para inundar el despojador y perder el TEG. Cuando el gas de despojo es usado, es necesario proveer mayor reflujo en el despojador para prevenir excesivas pérdidas de TEG.

### **2.8.9 Temperatura en el tope de la columna de destilación**

Una mayor temperatura en el tope de la columna de destilación puede incrementar las pérdidas de TEG debido al exceso de vaporización. La

temperatura de ebullición del agua es 212°F y el punto de ebullición del TEG es 546°F.

Cuando el vapor se separa de la solución tiene una composición aproximada del 42% de TEG y 58% de agua. Cuando llega al tope de la torre, el vapor está formado prácticamente por agua con 99,5% de pureza. No obstante, ello indica que, el agua que se retira del gas, arrastra consigo un 0,5% porcentaje en peso de TEG.

El vapor, formado por glicol y agua, se va despojando del TEG a medida que asciende en la torre. El despojamiento es beneficiado por el serpentín colocado en el tope del regenerador, el cual facilita el reflujo.

Las pérdidas de glicol aumentan a medida que sube la temperatura en el tope de la torre. Para que la planta trabaje es necesario que tenga una temperatura de tope mayor de 212°F (a presión atmosférica). Es común que la operación se realice con temperaturas entre 215°F y 218°F. Con estas cifras se pueden esperar pérdidas de TEG en el orden del 0,5% por peso con respecto a la cantidad de agua que ha sido retirada del gas.

Cuando la temperatura del tope aumenta, se incrementan también las pérdidas de TEG; cuando la temperatura excede los 250°F las pérdidas de TEG por vaporización llegan a ser sustanciales.

Si la temperatura en el tope de la columna llega a ser demasiado baja, también mucha agua puede condensar e incrementar la carga de calor al rehervidor.

## **2.9 Descripción del proceso llevado a cabo en la planta de deshidratación con TEG asociada a PIGAP I**

A la planta de deshidratación llega la mezcla del gas natural proveniente del múltiple de facilidades de entrada del COM, esta corriente antes de entrar al sistema de deshidratación es depurada en los “slug catcher” o recolectores de líquidos SC1001 y SC1002 de los baches de asfáltenos y líquidos que vienen arrastrados, pasando luego a los filtros separadores FS1001 y FS1002 a fin de retener el 99% en peso de los asfáltenos y partículas mayores de 1 micrón.

El gas proveniente de los filtros separadores entra a los enfriadores por aire para disminuir su temperatura en caso de estar por encima de la requerida en el proceso, luego entra a unos separadores verticales o depuradores de entrada para retirar los líquidos generados por el enfriamiento.

Los líquidos retenidos en los separadores son enviados hacia el sistema de drenaje cerrado existente en el COM a través de un control de nivel.

Posteriormente el gas pasa a la torre contactora con el fin de retirarle el agua que lleva en fase de vapor a través del contacto con TEG. El gas deshidratado sale por el tope de la torre, y se envía a los trenes de compresión de PIGAP I. El TEG del fondo de la torre (glicol rico), se va a la unidad de regeneración constituida en ambos trenes por dos hornos rehedidores, dos columnas de destilación empacadas, dos condensadores de reflujo y dos columnas de despojamiento empacadas. La corriente de glicol rico proveniente de la torre contactora, pasa al tanque

desasfaltenizador donde es separado el gas disuelto en el glicol, así como los asfáltenos e hidrocarburos líquidos condensados.

El gas que sale del desasfaltenizador (hidrocarburos livianos, CO<sub>2</sub>, agua y trazas de glicol) es enviado al separador S1103 para su depuración y posterior venteo, mientras que los líquidos obtenidos son enviados al drenaje cerrado de TEG S1109. Los asfáltenos separados pasan a un tanque de recuperación (T1101), el cual contiene en el fondo dos serpentines eléctricos que mantienen la temperatura adecuada para que los asfáltenos fluyan y pueda recuperarse cierta cantidad de TEG que es enviado luego a los acumuladores de glicol de los trenes A y B.

EL TEG al salir del desasfaltenizador se divide en dos corrientes que pasan por el tope de las columnas regeneradoras donde comienzan a acondicionarse térmicamente para la etapa de regeneración y a la vez intercambian calor con el vapor ascendente de manera tal que evita el arrastre y la consecuente pérdida de TEG por evaporación, luego estas corrientes pasan al separador trifásico, donde se separa el gas disuelto y los hidrocarburos condensados que aun están contenidos en el glicol.

En el separador trifásico el gas sale por el tope, los hidrocarburos líquidos van al drenaje cerrado y el glicol rico es enviado a los intercambiadores de calor glicol rico- glicol pobre obteniendo la temperatura adecuada para su posterior entrada al horno rehervidor donde se produce el calentamiento evitando la degradación térmica del TEG y logrando la regeneración de este por diferencia entre los puntos de ebullición del agua y el glicol. El glicol continua su recorrido y su regeneración a concentraciones lo suficientemente altas para cumplir con los requerimientos del proceso al fluir en contracorriente con un gas totalmente seco (gas de despojo o *stripping gas*).

Una vez regenerado el TEG pasa a los intercambiadores de calor glicol rico/glicol pobre para disminuir su temperatura y ser introducido al acumulador desde el cual es bombeado hacia el tope de la torre contactora con un desvío a filtros de carbón activado y filtros de elementos donde son retenidas aquellas impurezas que puedan haber quedado y a la vez de acuerdo al flujo requerido en la torre contactora se recircula el glicol excedente al acumulador. Antes de ser introducido el glicol pobre a la torre contactora es acondicionado térmicamente al pasar por el intercambiador de calor gas- glicol y de acuerdo a la temperatura que se logre obtener y a la temperatura del gas a deshidratar continua el enfriamiento desviando la cantidad necesaria al intercambiador por aire, completándose así el circuito del glicol.

La figura B.1 muestra un diagrama de la planta de deshidratación de PIGAP I, donde es posible observar cada uno de los equipos que constituyen el sistema, así como cada una de las corrientes que entran y salen en los mismos.

Los equipos que conforman el sistema de deshidratación de la planta, la cantidad de cada uno de estos por tren y la función que cumplen se presentan a continuación en la tabla 2.1.

**Tabla 2.1. Equipos que conforman el sistema de deshidratación.**

EQUIPO	FUNCIÓN
 <p data-bbox="406 1438 698 1470"><b>Enfriadores por aire</b></p>	<p data-bbox="803 1438 1396 1743">Son dos enfriadores por aire, con ventiladores en tiro forzado sostenidos por una misma estructura que cumplen la función de disminuir la temperatura del gas que entra al sistema cuando este está muy caliente, permitiendo así que la temperatura del gas a la entrada de la torre contactora sea la adecuada.</p>

**Tabla 2.1. Equipos que conforman el sistema de deshidratación  
(Continuación).**

EQUIPO	FUNCIÓN
<p><b>Depuradores del gas de entrada</b></p> 	<p>Son dos separadores verticales que funcionan en paralelo y tienen como objetivo separar los hidrocarburos líquidos, agua y los posibles sólidos arrastrados por el gas a deshidratar.</p>
<p><b>Torre contactora</b></p> 	<p>Es una torre de absorción que contiene ocho platos tipo válvula, en los cuales se produce el contacto entre el gas húmedo y el TEG. El gas entra por el fondo de la torre mientras que el glicol entra por el tope, de esta manera el contacto se da en contracorriente. Las corrientes de productos son la de gas seco o gas deshidratado por el tope y la de glicol rico por el fondo.</p>
<p><b>Válvula de expansión</b></p> 	<p>Para reducir la presión de la corriente de TEG que sale de la torre contactora y que luego será sometida a la separación física en los separadores trifásicos cuya presión de trabajo es inferior a los 100 psig se cuenta con una válvula que permite la expansión y soporta una caída de presión considerable. Cabe destacar que esta válvula no es un equipo sino parte de la instrumentación de la planta, pero que su ubicación en el sistema es parte del diseño del proceso.</p>

**Tabla 2.1. Equipos que conforman el sistema de deshidratación  
(Continuación).**

EQUIPO	FUNCIÓN
<p style="text-align: center;"><b>Desafaltinizador</b></p> 	<p>Es un separador trifásico dispuesto con cierto grado de inclinación, cuya función básica es eliminar de la corriente de glicol rico en agua, los hidrocarburos livianos y pesados (asfáltenos), además de las trazas de gas que fueron arrastrados de la torre contactora. Otorga el tiempo de residencia necesario para que ocurra una separación de fases entre los gases e hidrocarburos líquidos del glicol.</p> <p>Cuenta con una pequeña bota donde se depositan los asfáltenos separados.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Depurador</b></p> 	<p>Es un separador bifásico vertical, donde llega el gas separado en los desasfaltenizadores de ambos trenes y cuya finalidad es depurar este de los posibles hidrocarburos y TEG arrastrado para luego enviarlo al venteo. Los líquidos obtenidos son destinados al drenaje cerrado de la planta.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Condensador de reflujo</b></p> 	<p>Es una tubería dispuesta en forma de serpentín que se encuentra en el tope de la torre de regeneración y por la cual fluye el glicol rico proveniente del desasfaltenizador y su función es prevenir las pérdidas de TEG por evaporación, manteniendo una temperatura cercana a los 215 °F.</p>

**Tabla 2.1. Equipos que conforman el sistema de deshidratación  
(Continuación).**

EQUIPO	FUNCIÓN
<p style="text-align: center;"><b>Separador trifásico</b></p> 	<p>Es un tanque horizontal en el que se separan las fases de glicol rico, líquidos condensados y gases. Proporciona el tiempo de retención necesario para que se produzca la separación líquido/líquido (glicol/hidrocarburo) y además cuenta con las partes internas que facilitan dicha separación. El mismo consta de una cámara de condensados y una cámara de glicol las cuales están separadas por una pared que sirve como punto de rebose. Por el tope del separador salen los gases que aun estén disueltos en el glicol rico.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Bombas de inyección de químicos</b></p> 	<p>Cada tren cuenta con la facilidad de inyectar a través de cuatro bombas dosificadoras compuestos antiespumante a la corriente a la salida de los condensadores de reflujo y compuesto a base de amina para regular el pH del TEG en la corriente descargada por las bombas de glicol.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Filtros de elementos</b></p> 	<p>Cada tren cuenta con cuatro filtros de elementos. Dos ubicados a la salida del separador trifásico y dos en el sistema de recirculación de glicol a la descarga de las bombas del acumulador. Cada filtro cuenta con 58 elementos filtrantes que se encargan de remover los sólidos suspendidos que estén en la corriente de glicol.</p>

**Tabla 2.1. Equipos que conforman el sistema de deshidratación  
(Continuación).**

EQUIPO	FUNCIÓN
<p style="text-align: center;"><b>Horno rehervidor</b></p> 	<p>Cada tren posee dos hornos rehervidores. Este equipo proporciona el calor necesario para regenerar el glicol rico en la torre destiladora. El calor es producido por el gas combustible que es quemado en dos tubos calentadores. Los gases de combustión se descargan en los tubos que pasan a través del tanque, formando un sistema pirotubular, que le suministra calor al glicol y terminan en una chimenea que ventila a la atmosfera.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Columna regeneradora</b></p> 	<p>Hay una torre de destilación para cada horno. Esta columna es utilizada en conjunto con el rehervidor para regenerar el glicol por destilación. Se encuentra rellena de un empaque aleatorio el cual brinda el área de contacto entre el glicol rico que entra por el tope y los vapores ascendentes desde el horno rehervidor. De esta manera el agua es removida con mayor facilidad logrando alcanzar la pureza del glicol deseada.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Columna de despojo</b></p> 	<p>Cada tren cuenta con dos columnas empacadas en las que se burbujea un gas seco (<i>stripping gas</i>) en contracorriente con el glicol regenerado que desciende del rehervidor. El objetivo de esta columna es “despojar” el agua que no fue removida en el rehervidor. Este gas continúa hacia la columna de destilación y finalmente será venteado con el vapor de agua. Así se pueden alcanzar purezas de glicol de hasta 99,5 % p/p y mayores, de una forma económica y eficiente.</p>

**Tabla 2.1. Equipos que conforman el sistema de deshidratación  
(Continuación).**

EQUIPO	FUNCIÓN
<p><b>Intercambiadores de calor glicol rico/glicol pobre</b></p> 	<p>Cada tren cuenta con cuatro intercambiadores de calor de tubo y carcasa (dos por cada horno). Son usados para calentar la corriente del glicol que sale de los filtros hacia la etapa de regeneración (glicol rico) y enfriar el glicol pobre que acaba de ser regenerado. Por los tubos pasa el glicol rico (menor temperatura) mientras que por la carcasa fluye el glicol pobre (mayor temperatura).</p>
<p><b>Acumulador</b></p> 	<p>Después de ser enfriado en los intercambiadores de calor, el glicol regenerado es enviado a este separador donde se acumula el glicol pobre para luego ser bombeado nuevamente a la torre contactora. La acumulación del glicol en el tanque a cierto nivel (50% o más) evita las fluctuaciones en la succión de las bombas.</p>
<p><b>Bombas de glicol</b></p> 	<p>Cada tren posee tres bombas reciprocantes, de las cuales una se encuentra operativa mientras las otras dos están disponibles. Estas elevan la presión del glicol pobre a 1.200 psig para ser enviado a la torre contactora.</p>

**Tabla 2.1. Equipos que conforman el sistema de deshidratación  
(Continuación).**

EQUIPO	FUNCIÓN
<p><b>Filtros de carbón activado</b></p> 	<p>Se tiene dos filtros de carbón activado por cada tren. La función de ellos es retirar los condensados de hidrocarburos que podrían estar presentes en la solución de glicol pobre. Se encuentran a continuación de los filtros de elementos de la etapa de recirculación del glicol hacia el acumulador.</p>
<p><b>Intercambiador de calor glicol /gas combustible</b></p> 	<p>Es un intercambiador de tubo y carcasa en el que se acondiciona térmicamente la corriente de TEG descargada por las bombas de glicol y se aprovecha el calor de esta para calentar el gas combustible que luego es enviado a los quemadores de los hornos y a las columnas de despojo (<i>stripping gas</i>).</p>
<p><b>Enfriador de glicol</b></p> 	<p>Son ventiladores cuya función es disminuir la temperatura del glicol hasta un valor que sea 15 °F mayor a la temperatura del gas que entra al contactor para evitar la condensación de hidrocarburos durante la absorción.</p>

**Tabla 2.1. Equipos que conforman el sistema de deshidratación  
(Continuación).**

EQUIPO	FUNCIÓN
<p><b>Tanque de almacenamiento de glicol virgen</b></p> 	<p>Este tanque de almacenamiento es común a ambos trenes, donde llegan los asfáltenos separados en los desasfaltenizadores y a través de dos serpentines que contiene en el fondo puede mantener una temperatura de 135<sup>0</sup>F que permite la recuperación de TEG, que luego es bombeado a los acumuladores.</p>
<p><b>Tanque de recuperación de TEG</b></p> 	<p>Es un tanque de techo cónico con capacidad de almacenar el TEG virgen que llega directamente de los proveedores.</p>

## 2.10 Fundamentos del control de procesos

El objeto de todo proceso industrial será la obtención de un producto final, de unas características determinadas de forma que cumpla con las especificaciones y niveles de calidad exigidos por el mercado. Los procesos son muy variados y abarcan muchos tipos de productos, siendo absolutamente necesario controlar y mantener bien sea en un valor deseado

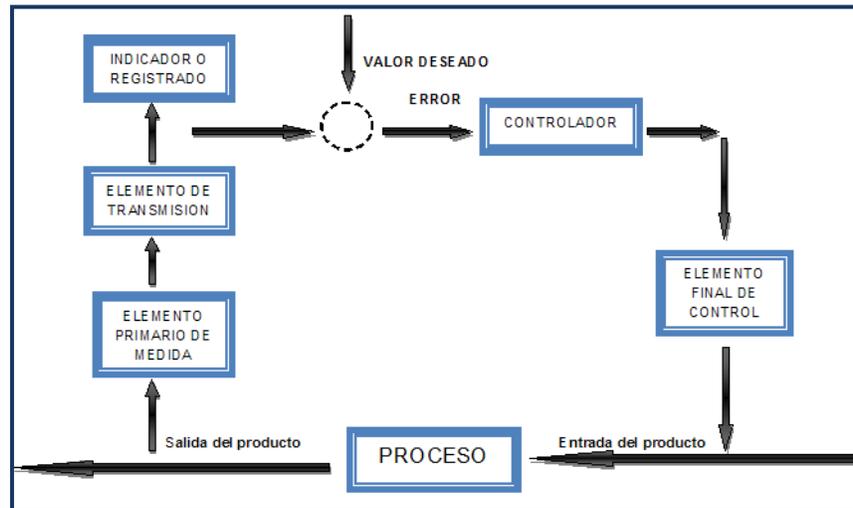
fijo, en un valor variable con el tiempo de acuerdo con una relación predeterminada, o guardando una relación determinada con otra variable los valores de variables, tales como la presión, el caudal, el nivel, la temperatura, la conductividad, la velocidad, la humedad, el punto de rocío, etc. (Mavainsa)

El sistema de control que permite mantener las variables dentro de un valor especificado puede definirse como aquel que compara el valor de la variable o condición a controlar con un valor deseado y toma una acción de corrección de acuerdo con la desviación existente sin que el operario intervenga en absoluto. El sistema de control exige pues, para que esta comparación y subsiguiente corrección sean posibles, que se incluya una unidad de medición, una unidad de control, un elemento final de control y el propio proceso. Al conjunto conformado por estos elementos se le denomina lazo o bucle de control y puede ser según su estructuración abierto o cerrado.

La figura 2.2 muestra el esquema de un lazo de control abierto con cada uno de sus elementos, de la misma manera el esquema de un lazo de control cerrado está representado en la figura 2.3.



**Figura 2.2. Lazo de control abierto (Creus, 1997).**



**Figura 2.3. Lazo de control cerrado (Creus, 1997).**

Todo sistema de control debe realizar tres operaciones básicas, las cuales son:

- **Medición.** La medición de la variable que se controla se hace generalmente mediante la combinación de sensor y transmisor, los cuales se conocen como elemento primario y secundario respectivamente.
- **Decisión.** Con base en la medición, el controlador o “cerebro” del sistema decide que hacer para mantener la variable en el valor deseado.
- **Acción.** Como resultado de la decisión del controlador se debe efectuar una acción en el sistema; generalmente esta es realizada por un elemento final de control, y frecuentemente se trata de una válvula de control.

## 2.11 Clasificación de la instrumentación industrial

Los instrumentos de medición y de control son relativamente complejos y su función puede comprenderse bien si están incluidos dentro de una clasificación adecuada. Pueden existir varias formas para clasificar los instrumentos, cada una de ellas con sus propias ventajas y limitaciones. Se considerarán dos clasificaciones básicas, las cuales son:

### 1. Según la función del instrumento

- Instrumentos ciegos

Son aquellos que no tienen indicación visible de la variable, tales como presostatos y termostatos (interruptores de presión y temperatura respectivamente) que no poseen una escala exterior con un índice de selección de la variable, también son instrumentos ciegos, los transmisores de caudal, presión, nivel y temperatura sin indicación. (Creus, 1997)

- Instrumentos indicadores

Son aquellos que disponen de un índice y de una escala graduada en la que puede leerse el valor de la variable. Existen también indicadores digitales que muestran la variable en forma numérica con dígitos. (Creus, 1997)

- Registradores

Registran con trazo continuo o a puntos la variable, y pueden ser circulares o de gráfico rectangular o alargado según la forma del gráfico. (Creus, 1997)

- Elementos primarios

Están en contacto con la variable y utilizan o absorben energía del medio controlado para dar al sistema de medición una indicación en respuesta a la variación de la variable controlada. (Creus, 1997)

- Transmisores

Captan la variable de proceso a través del elemento primario y la transmiten a distancia en forma de señal neumática de margen de 3 a 15 psi o electrónica de 4 a 20 mA de corriente continua. (Creus, 1997)

El elemento primario puede formar o no parte integral del transmisor.

- Transductores

Reciben una señal de entrada función de una o más cantidades físicas y la convierten, modificada o no, a una señal de salida. Son transductores, un relé, un elemento primario, un transmisor, un convertidor PP/I (presión de proceso a intensidad), un convertidor PP/P (presión de proceso a señal neumática), etc. (Creus, 1997)

- Convertidores

Son aparatos que reciben una señal de entrada neumática o electrónica procedente de un instrumento y después de modificarla envían la resultante

en forma de señal de salida estándar, (3-15 psi) o (4-20 mA c.c.). Ejemplo: un convertidor P/I (señal de entrada neumática a señal de salida electrónica), un convertidor I/P (señal de entrada eléctrica a señal de salida neumática). (Creus, 1997)

- Receptores

Reciben las señales procedentes de los transmisores y las indican o registran. (Creus, 1997)

- Controladores

Comparan la variable controlada (presión, nivel, temperatura) con un valor deseado y ejercen una acción correctiva de acuerdo con la desviación.

La variable controlada la pueden recibir directamente, como controladores locales o bien indirectamente en forma de señal neumática, electrónica o digital procedente de un transmisor. (Creus, 1997)

- Elemento final de control

Recibe la señal del controlador y modifica el caudal del fluido o agente de control. (Creus, 1997)

## 2. Según la variable de proceso

De acuerdo con la variable del proceso, los instrumentos se dividen en instrumentos de caudal, nivel, presión, temperatura, densidad y peso específico, humedad y punto de rocío, viscosidad, posición, velocidad, pH, conductividad, frecuencia, fuerza, turbidez, etc.

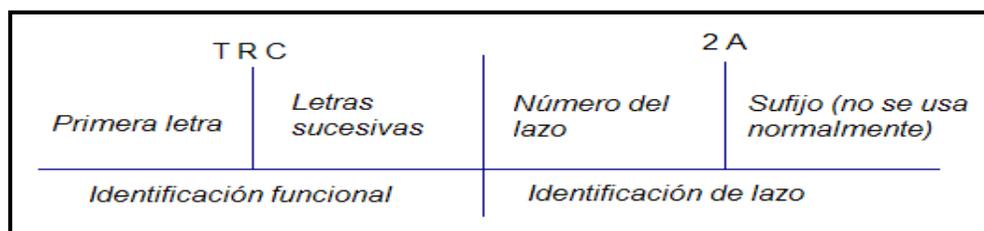
Esta clasificación corresponde específicamente al tipo de las señales medidas siendo independiente del sistema empleado en la conversión de la señal de proceso. (Creus, 1997)

## 2.12 Identificación de instrumentos industriales

Para designar y representar los instrumentos de medición y control se emplean normas muy variadas. Esta gran variedad de normas y sistemas utilizados en las organizaciones industriales indica la necesidad universal de una normalización en este campo. La Sociedad de Instrumentos de Estados Unidos, ISA (Instrument Society of America) ha establecido normas con objeto de establecer sistemas de designación (código y símbolos) de aplicación a las industrias químicas, petroquímicas, aire acondicionado, etc. (Creus, 1997)

Un resumen de las normas ISA-S5.1-84 de ANSI/ISA del año 1984 es el siguiente:

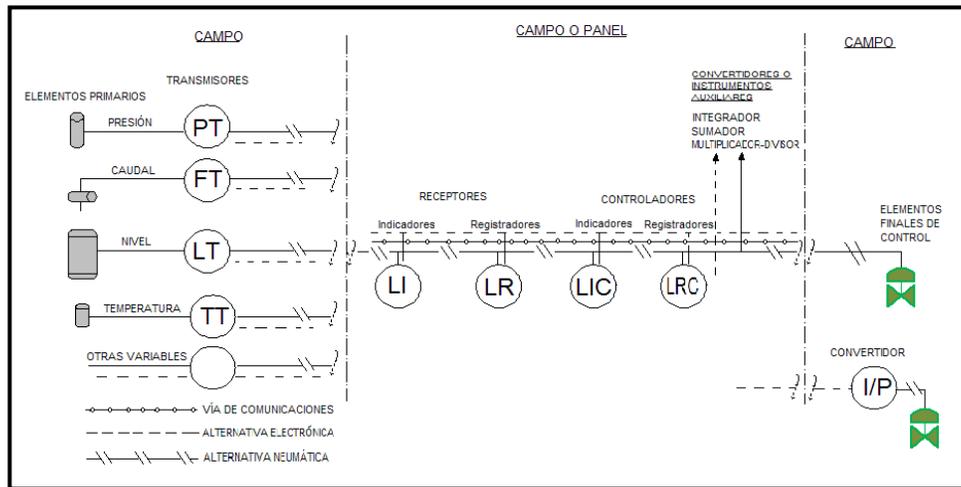
1. Cada instrumento debe identificarse con sistema de letras que lo clasifique funcionalmente. Una identificación representativa es la siguiente:



**Figura 2.4. Identificación representativa de instrumentos (Corripio 1991).**

2. El número de letras funcionales para un instrumento debe ser mínimo, no excediendo de cuatro.
3. Los bucles de instrumentos de un proyecto o secciones de un proyecto deben identificarse con una secuencia única de números. Ésta puede empezar con el número 1 o cualquier otro número conveniente, tal como 301 o 1201 que puede incorporar información codificada tal como área de planta.
4. Si un bucle dado tiene más de un instrumento con la misma identificación funcional, es preferible añadir un sufijo, ejemplo FV-2A, FV-2B, FV-2C, etc., o TE-25-1, TE-25-2, TE-25-3, etc.
5. Un instrumento que realiza dos o más funciones puede designarse por todas sus funciones.
6. Los accesorios para instrumentos tales como rotámetros de purga, filtros manorreductores y potes de sello que no están representados explícitamente en un diagrama de flujo, pero para otros usos deben tener identificación de acuerdo con su función, deben emplear el mismo número del bucle que el del instrumento asociado.

A continuación (figura 2.5) se presenta un esquema de instrumentos de campo y de panel asociados a un lazo de control. La primera designación incluye los instrumentos locales situados en el proceso o en sus proximidades (es decir, en tanques, tuberías, secadores, etc.) mientras que la segunda se refiere a los instrumentos montados en paneles, armarios o gabinetes situados en salas aisladas o en zonas del proceso.



**Figura 2.5. Distribución de los elementos de un lazo de control (Creus 1997).**

### 2.13 Características de un sistema de control

Las principales características que se deberán buscar en un sistema de control son:

1. Mantener el sistema estable, independiente de perturbaciones y desajustes.
2. Conseguir las condiciones de operación objetivo de forma rápida y continua.
3. Trabajar correctamente bajo un amplio rango de condiciones operativas.
4. Manejar las restricciones de equipo y proceso en forma precisa.

La implantación de un sistema adecuado de control para un determinado proceso y que se adapte a sus necesidades, significa una sensible mejora en el mismo, trayendo como beneficio: incremento de la productividad, mejora de los rendimientos, mejora de la calidad, ahorro energético, control medioambiental, seguridad operativa, optimización de la

operación del proceso/utilización del equipo y fácil acceso a los datos del proceso. (Mavainsa)

## **2.14 Tipos de esquemas de control**

Se puede hacer una clasificación de los sistemas de control atendiendo al procedimiento lógico usado por el controlador del sistema para regular la evolución del proceso. de acuerdo a esto se tiene:

### **2.14.1 Sistema de realimentación (Feed Back)**

Son sistemas de control de bucle cerrado en los que existe una realimentación continua de la señal de error del proceso al controlador, actuando éste conforme a esta señal buscando una reducción gradual del error hasta su eliminación. (Mavainsa)

Los tipos de controladores más comunes que actúan por este sistema son:

- Proporcional

Este controlador se basa en establecer una relación lineal continua entre el valor de la variable controlada y la posición del elemento final de control. Es el tipo más simple de controlador, con excepción del controlador de dos estados. (Mavainsa)

- Proporcional –Integral (PI)

La mayoría de los procesos no se pueden controlar con una desviación, es decir, se deben controlar en el punto de control, y en estos casos se debe añadir inteligencia al controlador proporcional, para eliminar la desviación. Esta nueva inteligencia o nuevo modo de control es la acción integral o de reajuste y en consecuencia, el controlador se convierte en un controlador proporcional-integral. (Corripio y Smith, 1991)

- Proporcional-Derivativo (PD)

Este controlador se utiliza en los procesos donde es posible utilizar un controlador proporcional, pero se desea cierta cantidad de anticipación de la respuesta ante el error. (Corripio y Smith, 1991)

- Proporcional-Integral-Derivativo (PID)

Basa su acción de control en la combinación de los algoritmos de los controles proporcional, integral y derivativo. El valor proporcional determina la reacción del error actual. El integral genera una corrección proporcional a la integral del error, esto asegura que aplicando un esfuerzo de control suficiente, el error de seguimiento se reduce a cero. El derivativo determina la reacción del tiempo en el que el error se produce.

#### **2.14.2 Sistema anticipativo (Feed Forward)**

Parte de la medida de una o más variables de entrada y actúa simultáneamente sobre la variable manipulada que produce la salida deseada del proceso. El control anticipativo requiere un conocimiento exacto

y completo de las características estáticas y dinámicas del proceso. (Creus, 1997)

#### **2.14.3 Sistema en cascada (Cascade)**

Es conveniente cuando la variable controlada no puede mantenerse dentro del punto de consigna, por óptimos que sean los ajustes del controlador, debido a las perturbaciones que se producen en alguna condición del proceso. (Creus, 1997)

#### **2.14.4 Sistema selectivo (Over-Ride)**

Se emplea para limitar la variable de proceso en un valor alto o bajo con el objeto de evitar daños en el proceso o en el producto. (Creus, 1997)

#### **2.14.5 Sistemas avanzados**

Son aquellos que se apartan de las técnicas realizadas con controladores neumáticos o electrónicos analógicos PID, control de relación y en cascada y que, en general, se emplean para mejorar el rendimiento económico del proceso. Cuando el control convencional presenta problemas, por no ser el proceso bien conocido, ser complejo, presentar importantes retardos y grandes perturbaciones e interacciones y ser marcadamente no lineal, la alternativa es el control avanzado.(Creus, 1997)

Las ventajas que presenta la aplicación de los sistemas de control avanzado abarcan el ahorro de energía conseguido en la operación de la planta, el aumento de la capacidad de fabricación, la disminución del costo de operación de la planta y la disminución del porcentaje de recuperación de

los productos que salen fuera de especificaciones durante el proceso de fabricación. (Creus, 1997)

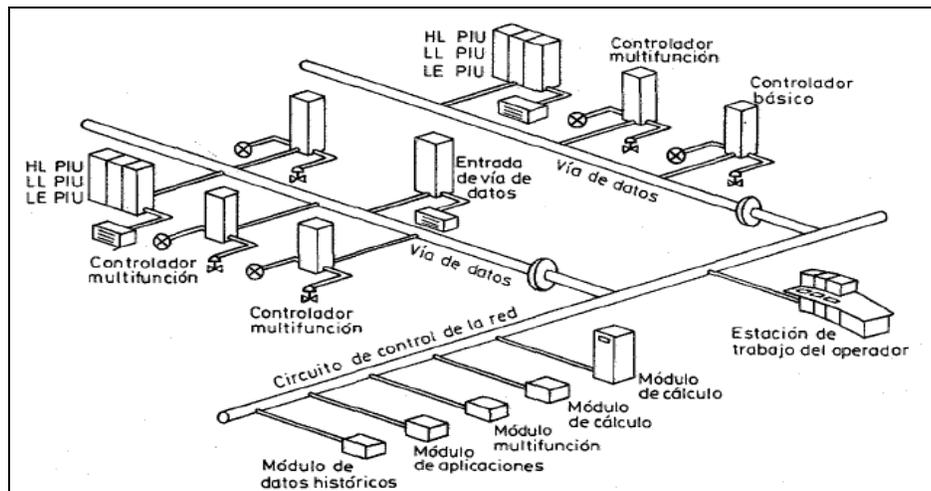
### **2.15 Sistema de control distribuido (DCS)**

En los años setenta, dentro de los esfuerzos de investigación dedicados a la resolución del problema del control de fabricas con gran número de lazos, y teniendo en cuenta el estado de la técnica de los microprocesadores y la característica conservadora de la industria, se llevo a las siguientes conclusiones generales:

1. Descartar el empleo de un único ordenador (control DDC) por el serio inconveniente de la seguridad y sustituirlo por varios controladores digitales capaces de controlar individualmente un cierto número de variables, para así reducir el riesgo del control único.
2. Cada controlador digital debía de ser universal, es decir, disponer de algoritmos de control seleccionados por software, que permiten resolver todas las situaciones de control y dieran así versatilidad al sistema. De este modo, un solo controlador digital podía efectuar un control P, PI, PID, de relación o en cascada.
3. La velocidad en la adquisición de los datos y su salida hacia las válvulas de control debía ser en tiempo real, lo que obligaba a utilizar microprocesadores de 16 bits (para los años setenta eran comercialmente una novedad).
4. Para comunicar entre si los transmisores electrónicos de campo, los controladores y las interfaces para la comunicación con el operador de planta, se adopto el empleo de una vía de comunicaciones, en forma de cable coaxial instalado en la planta, con un recorrido paralelo a los edificios y la sala de control.

5. Para eliminar el espacio de panel requerido por el control clásico, se adoptó el uso de uno o varios monitores TRC, en los cuales, el operador, a través del teclado, debía examinar las variables del proceso, las características del control, las alarmas, etc, sin perturbar el control de la planta, y con la opción de cambiar cualquier característica de control de las variables.

Como resultado de estos esfuerzos, el primer control distribuido para la industria apareció en noviembre de 1975 con el nombre de “TDC2000” de la empresa Honeywell y con una estructura similar a la mostrada en la figura 2.6.



**Figura 2.6. Arquitectura del control distribuido (Creus, 1997).**

El controlador básico del sistema distribuido es un microprocesador que proporciona los clásicos controles PID y otros algoritmos de control. Proporciona, entre otros, los siguientes algoritmos de control, (Creus, 1997).

- Salida manual
- PID normal

- PID con ajuste externo del punto de consigna
- PID con control anticipativo (feedforward)
- Adelanto-retardo
- Sumador
- Multiplicador-divisor
- Relación
- Extracción de raíz cuadrada
- Rampas programadas (temperatura en procesos discontinuos)
- Contador

El control distribuido tiene una seguridad mejorada con relación a los sistemas convencionales de control.

### **2.16 Análisis causa - efecto**

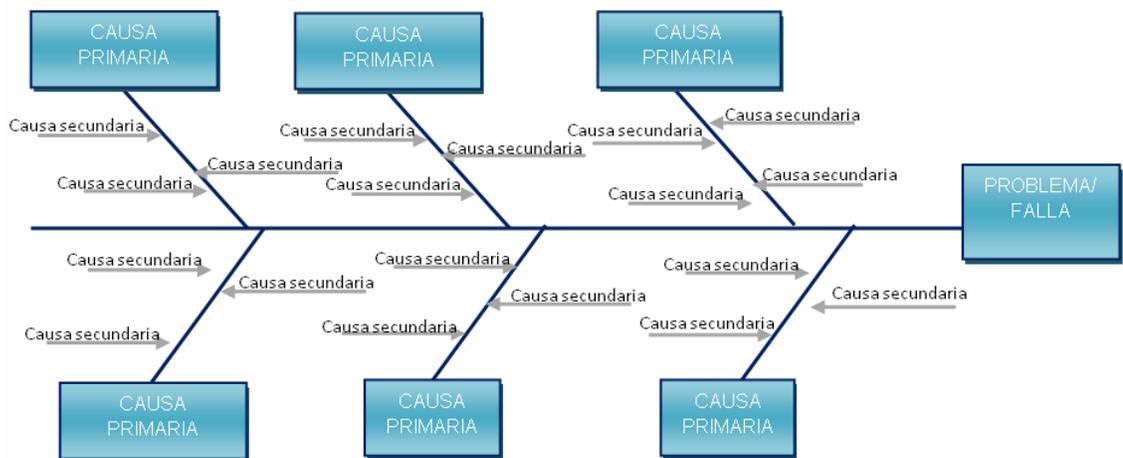
Es una técnica de análisis empleada con frecuencia para conocer las diferentes causas que ocasionan un problema. Consiste básicamente en la elaboración de un diagrama causa-efecto o también llamado diagrama de Ishikawa, donde son plasmadas a través de un grupo de trabajo con experiencia en el área a estudiar, las diferentes cadenas de causas y efectos que pueden estar presentes en el problema a solucionar.

Su ventaja consiste en poder visualizar a través de la elaboración del diagrama causa-efecto el conjunto de factores que tienen influencia en la ocurrencia de un problema o falla, facilitando los estudios posteriores de evaluación del grado de aporte de cada una de estas causas.

## 2.17 Diagrama causa-efecto

El diagrama de causa y efecto es un gráfico con la siguiente información (figura 2.7):

1. El problema que se pretende diagnosticar
2. Las causas que posiblemente producen la situación que se estudia.
3. Un eje horizontal conocido como espina central o línea principal.
4. El tema central que se estudia se ubica en uno de los extremos del eje horizontal.
5. Líneas o flechas inclinadas que llegan al eje principal. Estas representan los grupos de causas primarias en que se clasifican las posibles causas del problema en estudio.
6. A las flechas inclinadas o de causas primarias llegan otras de menor tamaño que representan las causas que afectan a cada una de las causas primarias. Estas se conocen como causas secundarias.



**Figura 2.7. Diagrama causa-efecto**

## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO DEL PROYECTO**

#### **3.1 Comparación de las condiciones de diseño y operación de la planta de deshidratación de PIGAP I**

La planta de deshidratación de PIGAP I está constituida por dos sistemas idénticos o trenes A y B, que han sido diseñados bajo las mismas premisas y son manejados normalmente bajo condiciones distintas a las de diseño, lo cual origina que las especificaciones del gas deshidratado y los rendimientos del proceso se desvíen en cierto rango de lo que son las condiciones óptimas del mismo.

Para conocer la situación actual de la planta con respecto a sus condiciones de diseño fue necesario definir primeramente los parámetros establecidos durante el diseño de esta, así como las condiciones bajo las cuales se encuentran operando actualmente cada tren.

##### **3.1.1 Condiciones de diseño**

Para conocer las premisas bajo las cuales se diseñó la planta de deshidratación de PIGAP I fue necesario recurrir a la lectura de los documentos técnicos: Bases y criterios de diseño, Filosofía de operación de la planta, Descripción del proceso y Filosofía de control pertenecientes a la Ingeniería Básica del Proyecto “Inyección de gas en Carito Oeste”. A través de estos se recopiló la información correspondiente a las condiciones de presión, temperatura, flujo, composición y humedad del gas de entrada y

salida del proceso, así como la concentración y tasa de circulación del TEG empleado para la deshidratación del gas y las condiciones de presión y temperatura máximas alcanzables durante cada una de las etapas del proceso.

Por otra parte a través de la lectura de los planos de instrumentación y tuberías 98070-612-420-D-01, 98070-612-420-D-03, 98070-612-420-D-07 (1,2,3,4) 98070-612-420-D-02, 98070-612-420-D-04 y 98070-612-420-D-08 (1,2,3,4) se obtuvieron las especificaciones de diseño de los equipos involucrados en el sistema.

### **3.1.2 Condiciones de operación**

Las condiciones de operación de la planta son afectadas por muchos factores y a pesar del diseño homólogo entre el tren A y el tren B, la forma de operar de ambos no es precisamente la misma, variando según los eventos que puedan ocurrir diariamente. Para conocer los valores en cuanto a las variables de operación tales como flujos de gas a la entrada y salida del proceso, temperatura del gas y del glicol a la entrada de la torre contactora, temperaturas en el sistema de regeneración, presión de la corriente de gas a la entrada de cada tren, flujo de glicol que entra a la torre contactora, nivel de los separadores trifásicos y torre contactora y presión de descarga de las bombas se procedió a tomar la información de los reportes de campo (figura C.1) realizados por los operadores a las siguientes horas: 12:00 am, 06:00 am, 08:00 am, 02:00 pm, 04:00 pm y 10:00 pm obteniendo un promedio diario para cada variable en un lapso de 28 días. De la misma manera en sala de control a través del DCS se observó el comportamiento de estas variables para validar la información de campo y también se obtuvo la

condición de operación del flujo de gas de despojo en el sistema de regeneración del TEG, que no es registrada en los reportes de campo.

Por otra parte debido a la necesidad de conocer características tales como la composición del gas que entra a la planta, humedad del gas a la entrada y salida de las torres contactoras, pureza del TEG pobre bombeado a la torre contactora y de que las mismas no son consideradas en los reportes diarios de campo y tampoco son visualizadas en el sistema de control de la planta, fue necesario determinar los valores de estas a través de una serie de procedimientos que se describen a continuación.

- **Composición del gas de entrada**

Para conocer la composición del gas manejado por los trenes se procedió junto con un técnico procedente del Centro de Análisis Punta de Mata (CAPM), ubicado en las instalaciones de la Planta de Inyección de Agua de Monagas (PIAMO) a la toma de muestras en las facilidades de toma de muestra instaladas en las línea de 20" a la entrada de los trenes (figura B.2) para realizar el análisis cromatográfico correspondiente que permitió conocer la composición del gas manejado actualmente en el sistema.

El procedimiento para la toma de las muestras fue el siguiente:

1. Purga de las facilidades de toma de muestras.
2. Conexión de facilidades de toma de muestra a través de una manguera de presión a un equipo de separación portátil.
3. Purga del separador portátil.
4. Presurización del separador portátil.
5. Conexión del cilindro de muestreo al separador portátil.

En vista de que la suma de la composición en porcentaje molar tanto para la composición de diseño como para la composición obtenida en laboratorio para el tren A no suma 100%, se procedió a la normalización de esta a través de la relación mostrada en la ecuación 3.1:

$$y_{\text{normalizada}} = \frac{y_i}{\sum_{i=1}^N y_i} \quad (\text{Ec 3.1})$$

en la cual:

$y_{\text{normalizada}}$  = fracción molar normalizada

$y_i$  = fracción molar de cada componente

Se procedió luego a la sumatoria de los nuevos valores de composición y su conversión en porcentaje.

Igualmente fue necesario realizar el cálculo del peso molecular de la mezcla a través de la ecuación 3.2.

$$M_{\text{gas}} = \sum_{i=1}^N y_i \times M_i \quad (\text{Ec 3.2})$$

donde:

$M_{\text{gas}}$  = peso molecular de la mezcla de gas

$y_i$  = fracción molar de cada componente en la mezcla

$M_i$  = peso molecular de cada componente de la mezcla

El peso molecular de cada componente fue tomado de la tabla A.1.

Así como se normalizó la composición molar y calculó el nuevo valor de peso molecular para la condición de diseño y para el tren A, también se obtuvo el nuevo valor de líquidos del gas (GPM) mediante la ecuación 3.3 mostrada a continuación:

$$GPM = \sum_{i=3}^N \frac{1.000x_i \rho_i}{379,6} \quad (\text{Ec 3.3})$$

donde:

GPM= contenido de líquidos del gas

$y_i$ = fracción molar de cada componente

$\rho_i$ = densidad molar del hidrocarburo líquido a condiciones estándares (gal/mol)

Los valores correspondientes a la densidad de cada componente fueron tomados de la tabla A.2.

- **Humedad del gas**

La planta cuenta con dos analizadores de humedad en línea a la salida de cada tren, que permiten conocer el valor de esta variable en las corrientes de gas que salen de las torres contactoras y son enviadas a PIGAP I, pero durante el desarrollo del proyecto estos se encontraban fuera de servicio, por lo cual el valor de la humedad tanto a la entrada como a la salida de ambos trenes fue determinado por el personal de tratamiento químico en las facilidades de muestreo instaladas a la entrada y salida de las torres contactoras, a través del método analítico colorimétrico de la ampolla “Gatec”, a base de perclorato de magnesio  $Mg(ClO_4)_2$ , de la siguiente manera:

Se colocó un recipiente completamente limpio y seco en la facilidades de toma de muestra correspondientes al gas que entra y al que sale de la torre contactora, luego fue abierta la entrada del gas al recipiente dejándolo

fluir por lo menos por 1 minuto para garantizar la representatividad de la muestra. Una vez cargado el recipiente con la muestra de gas se rompen las dos puntas de la ampolla y se introduce el extremo opuesto al identificado con la letra “G” en la succión del equipo “bomba Gastec GV-100” (figura B.3) y se introduce la ampolla a través de un pequeño orificio realizado al recipiente. Una vez introducida la ampolla al recipiente de muestreo, se procede a la succión del gas con la bomba a la marca de 100 ml, manteniéndola en el contenedor hasta que la bomba señale el final del análisis. Finalizada la toma de muestra se cerró la salida del gas y se purgó el sistema para no dejar gas contenido en el mismo.

- **Pureza del TEG**

Conocer la concentración o el porcentaje de pureza del TEG pobre que entra al sistema es una característica de suma importancia, tanto para comparar con los valores que el diseño del sistema establece, como para conocer la eficiencia del sistema de regeneración.

Para conocer el valor de esta característica se tomaron muestras del glicol pobre que llega a la torre contactora en ambos trenes durante días distintos en la facilidad de toma de muestra instalada a la descarga de las bombas (figura B.4), para tener representatividad de los resultados.

Las muestras de glicol pobre fueron llevadas al CAPDM, en donde se realizaron los ensayos físico-químico pertinentes de la densidad, pH, porcentaje de humedad y de hidrocarburos presente en las muestras de glicol.

El procedimiento para la toma de las muestras se realizó con la ayuda de los operadores de la planta como se describe a continuación:

1. Se purgaron bien las tuberías para la toma de muestras, dejando fluir el glicol por 20 segundos como mínimo, antes de tomar la muestra.
2. Se comprobó mediante el tacto que la temperatura de la línea de toma de muestra fuera lo suficientemente alta, para garantizar que se ha purgado completamente la tubería.
3. Al momento de tomar la muestra, se sumergió la línea de toma hasta el fondo del envase, para así evitar la emanación de compuestos volátiles.

### **3.2 Identificación de los lazos de control asociados a las operaciones de absorción, separación y regeneración del TEG**

Para llevar a cabo el control de las variables involucradas en los procesos de absorción del agua, separación y regeneración del TEG, la planta de deshidratación cuenta con un sistema de control que involucra un conjunto de lazos de control distribuidos en los distintos equipos que forman parte del desarrollo del proceso.

Para identificar cada uno de los lazos involucrados en el sistema primeramente se recurrió a la localización y lectura de los planos de instrumentación y tuberías de la planta 98070-612-420-D-01, 98070-612-420-D-03, 98070-612-420-D-07 (1,2,3,4) 98070-612-420-D-02, 98070-612-420-D-04 y 98070-612-420-D-08 (1,2,3,4), realizando los debidos recorridos en campo para verificar si la información plasmada en los planos corresponde con los instrumentos presentes en la planta.

De la lectura de los planos y los recorridos correspondientes se obtuvo la información en cuanto a los instrumentos asociados a cada lazo, así como la función que cumplen en el mismo y la posición de la válvula de control en caso de falla del aire de instrumentos.

Una vez obtenida la ubicación de cada uno de los lazos, para conocer su funcionamiento fue necesario recibir una inducción por parte del equipo de panelistas de la planta y con ayuda de ellos visualizar a través del panel de control los respectivos esquemáticos de la planta y despliegues de los controladores que brindan la información correspondiente a las variables controladas (PV) y manipuladas (OP) en cada lazo, así como los valores del punto de ajuste (SP), mientras que a través de la opción de las características de sintonía de los lazos (loop tune) se reconoció cual era la acción del controlador para con la variable controlada.

### **3.3 Análisis de los factores que inciden en la operación del control de la planta de deshidratación de PIGAP I**

Para realizar el análisis de los factores que inciden en el control de la planta se decidió aplicar la técnica del análisis causa-efecto, la cual implica la elaboración de un diagrama conocido como diagrama causa-efecto, diagrama de la espina de pescado o diagrama del profesor Kaoru Ishikawa, y permite identificar las principales causas que pueden influir en el desempeño del control automático de las variables involucradas en el proceso.

En vista de que el desarrollo de la operación del control de la planta involucra directa o indirectamente la participación de los panelistas de sala de control, el personal de operaciones en planta, el personal de

mantenimiento mecánico y de mantenimiento instrumental, así como el supervisor de sección y el personal de automatización, informática y telecomunicaciones (AIT), se creó un equipo de trabajo con la participación de uno o varios representantes de cada área y a través de una lluvia de ideas con las opiniones proporcionadas por cada integrante según su experiencia se obtuvo el diagrama de la espina de pescado que fue utilizado como guía para el seguimiento de cada causa planteada.

La creación del equipo natural de trabajo fue fundamental en el desarrollo de la técnica de análisis y debido a la dificultad para reunir en una mesa de trabajo a cada uno de los participantes, fue necesario formular cuestionarios de acuerdo al área de desempeño de cada integrante para obtener así la opinión de cada uno de los participantes en cuanto a las posibles causas y subcausas que pueden originar desajustes en el funcionamiento del control de la planta.

Obtenidas las respuestas a los cuestionarios por parte de cada integrante, se procedió a una depuración de las ideas aportadas en cuanto a las causas que influyen en el desempeño y buen funcionamiento del control de la planta y se seleccionaron aquellas causas primarias con sus respectivas causas secundarias para el posterior estudio de su comportamiento.

El análisis de cada una de las causas planteadas por el equipo natural de trabajo se realizó como sigue a continuación.

### **3.3.1 Análisis del aire de instrumentos**

Debido a que el accionamiento de las válvulas es en forma neumática y que muchos instrumentos de la planta, sobre todo convertidores I/P manejan aire, fue necesario evaluar el cumplimiento en cuanto a las especificaciones de presión y humedad que este debe cumplir. En vista de que el aire procede del sistema de aire de instrumentos ubicado en el COM, se realizó una visita para conocer las condiciones con las que el aire es despachado y los equipos con los cuales cuenta el sistema para cumplir dichas condiciones. Esto permitió comparar el aire de instrumentos usado en la planta con los estándares de calidad establecidos por los fabricantes de los instrumentos y por las normas ISO de calidad para aire comprimido.

### **3.3.2 Análisis del factor mano de obra**

En este aspecto fueron consideradas las herramientas y la capacitación que tiene el personal que labora en las áreas del panel de control, instrumentación, operación y automatización. Para ello se procedió a entrevistar en cada una de estas áreas al personal correspondiente, para indagar en cuanto a los equipos e instrumentos empleados para cumplir con sus labores, así como el confort que estos les brindan en la realización de sus actividades; de la misma manera se conocieron las condiciones en cuanto a la capacitación en su área y en la habilidad del uso de las herramientas de las que ellos disponen.

### **3.3.3 Análisis del sistema de control**

El conocer las características del sistema que permite llevar a cabo el control de la planta está directamente relacionado con la confiabilidad que se

pueda tener de este y del manejo de cada una de las variables a controlar. Por ello fueron considerados en el análisis de esta causa las sub causas de la tecnología, capacidad de información a manejar y la forma en que llegan las señales desde la planta. Todas estas características fueron analizadas con la información obtenida de los manuales facilitados por la empresa proveedora del sistema.

### **3.3.4 Análisis de los lazos de control**

Tres de los aspectos a conocer en cuanto al funcionamiento de los lazos de control de la planta son: la programación, la estabilidad y la sintonización, para lo cual se seleccionaron primeramente los siguientes lazos de control:

- Control de nivel en la torre contactora D11009
- Control de flujo de glicol hacia la torre contactara D11217
- Control de nivel en desasfaltenizador D11145
- Control de flujo a condensadores de reflujo D11209 y D11210
- Control de nivel en separador trifásico D11223
- Control de flujo hacia columnas de destilación D11203 y D11216
- Control de temperatura en tope de columna de destilación D11208 y D11211
- Control de temperatura en hornos rehervidores D11206 y D11212
- Control de flujo de gas de despojo D11202 y D11215

Estos lazos fueron escogidos como muestra para el análisis tomando en cuenta los criterios de ocurrencia de fallas y de importancia de la variable que controlan para el desarrollo del proceso. Todos los lazos de control tomados como muestra para el análisis pertenecen al tren A, ya que ambos trenes presentan el mismo diseño y que los lazos de control en el tren B

tienen básicamente las mismas características, así se evita redundancia en el momento de efectuar el análisis.

Luego de la selección de los lazos se procedió de la siguiente manera, para conocer las condiciones de las sub causas que intervienen en el adecuado funcionamiento de los mismos:

- Programación

La programación de los lazos esta básicamente localizada en lo que es el tipo de controlador asociado al lazo de control y el algoritmo de control usado para que la variable se mantenga en el punto de ajuste. Para conocer esto fue necesario primeramente solicitar al personal del departamento de AIT la información correspondiente a los tipos de controladores, así como la ecuación característica o representativa del control que estos ejecutan. Una vez conocidas las ecuaciones de control para cada lazo se observó en el panel de control a través de las características de sintonización del lazo representadas en la pestaña “loop tune”, los valores de cada uno de los parámetros del controlador, para así establecer cuál era el comportamiento de cada lazo desde el punto de vista lógico.

Además de la ecuación de control y de las constantes del controlador, también fueron consideradas y observadas en el DCS la acción bajo la cual estaba operando el controlador y el modo de operación del lazo.

- Estabilidad

Para la evaluación de este parámetro se observó constantemente el comportamiento de cada una de las variables a través de las “líneas de

tendencia” para el comportamiento de la variable controlada (PV) con respecto al punto de ajuste (SP) en cada controlador.

- Sintonización

En cuanto a este aspecto fue necesario dirigirse al personal del departamento de AIT que es el encargado de realizar este procedimiento, y ellos proporcionaron la información correspondiente a las técnicas empleadas para su ejecución y la condición actual de cada lazo de control con respecto a su aplicación.

### **3.3.5 Análisis de la instrumentación**

El funcionamiento de la instrumentación asociada a cada lazo representa un factor importante en el desempeño de los mismos, ya que cualquier desajuste en estos aumenta las desviaciones de las variables en cuanto a sus puntos de consigna ocasionando un deficiente control en el proceso.

Para el análisis de este aspecto o causa se tomaron en cuenta como sub causas: la tecnología, correspondencia, mantenimiento y calibración de los instrumentos y se procedió primeramente realizando recorridos en planta donde se observaron e identificaron los instrumentos asociados a los lazos de control y con la revisión de la bibliografía respectiva, se estableció cual era la correspondencia de estos instrumentos con respecto a las variables involucradas. Después a través de las placas de identificación de algunos instrumentos y de los registros de mantenimiento localizados en la sala técnica de operaciones de la planta, se observó la fecha de calibración y los

instrumentos calibrados durante el período del desarrollo del proyecto, lo cual permitió conocer cuáles habían sido las actividades de calibración más recientes, así como los instrumentos a los cuales se les aplicó en determinado momento esta operación

### **3.3.6 Análisis del proceso**

En vista de que es de gran influencia el estado de cada uno de los equipos involucrados en el proceso, así como de las variables de operación, se procedió a la observación en campo y en sala de control del estado y la condición tanto de cada equipo como de cada variable que presentan relación con la variable controlada.

Para el análisis de esta causa se consideraron los lazos de control seleccionados en el aspecto 3.3.4, ya que en cada control los equipos y las variables involucradas no son las mismas.

## **3.4 Propuestas de los ajustes necesarios en los factores que inciden en la operación del control de la planta de deshidratación de PIGAP I**

En esta etapa surgieron un conjunto de propuestas como resultado del análisis realizado a cada uno de los aspectos señalados en el diagrama de la espina de pescado producto de la aplicación del análisis causa-efecto. Para las propuestas realizadas fue necesario realizar algunos cálculos que permitieran definir la tasa de circulación de TEG hacia la torre contactora, así como el flujo de gas a la columna de despojo.

### **3.4.1 Cálculo de la tasa de circulación de TEG para definir el flujo de glicol en el lazo de control D11217**

Una de las características más importantes a resguardar en el proceso de deshidratación es el flujo de TEG que fluye hacia la torre contactora, ya que esta junto con la humedad del gas a la entrada, la concentración del TEG y las características de diseño del absorbedor tales como diámetro y número de platos son las responsables directa del cumplimiento de las especificaciones del gas deshidratado.

En este caso para mantener el flujo de TEG enviado hacia la torre contactora en un valor lo mas optimo posible, evitando las perdidas del mismo y obteniendo los resultados deseados tanto en el proceso de absorción como de regeneración, es necesario conocer la relación de TEG a suministrar por libra de agua removida o tasa de circulación de TEG. Según Martínez (2003) “la tasa de circulación de TEG comúnmente varía entre 2 a 5 gal TEG/lb H<sub>2</sub>O” para lograr los resultados deseados en el proceso de absorción.

En esta oportunidad se considero calcular la tasa de circulación de TEG para distintas condiciones.

#### **3.4.1.1 Tasa de circulación para la humedad de diseño**

De acuerdo a las condiciones de diseño de la planta, esta tiene la capacidad de remover la humedad del gas desde un contenido a la entrada de 94 lb H<sub>2</sub>O/MMPCED hasta de 2 a 4 lb H<sub>2</sub>O/MMPCED a la salida, utilizando un TEG regenerado con 99,95% de pureza en una torre contactora con 8 platos reales y con una eficiencia global de 25%.

Para conocer la tasa de circulación de TEG fue necesario hacer uso de una relación gráfica (figura 3.1) que relaciona las características de fracción de agua removida del gas, concentración del TEG pobre y etapas teóricas del absorbedor.

Para la lectura realizada en la gráfica de la figura 3.1 la concentración del TEG pobre es la establecida por el diseño de 99,95%, mientras que la fracción de agua removida y el número de etapas teóricas se obtuvieron a través de los siguientes cálculos:

- Fracción de agua removida

Según el contenido de agua que posee el gas a la entrada del sistema y el contenido de humedad mínimo con que el gas puede ser despachado, se calcula la fracción de agua removida de la siguiente manera:

$$\text{Fracción agua removida} = \frac{W_{in} - W_{out}}{W_{in}} \quad (\text{E. c 3.4})$$

donde:

$W_{in}$  = humedad del gas a la entrada del sistema

$W_{out}$  = humedad del gas a la salida del sistema

Sustituyendo los valores establecidos en las condiciones de diseño se tiene:

$$\text{Fracción agua removida} = \frac{(94 - 2) \text{ lb H}_2\text{O/MMPCED}}{94 \text{ lb H}_2\text{O/MMPCED}}$$

Fracción agua removida=0,9787≈0,98

- Etapas o platos teóricos

Conociendo que la torre contactora posee 8 platos reales y la eficiencia de los mismos es igual a 25% (tabla 4.1), se emplea la ecuación presentada a continuación para conocer el número de platos o etapas teóricas en la torre de absorción.

$$\eta_0 = \frac{P_t}{P_r} \quad (\text{Ec 3.5})$$

donde:

$\eta_0$ = eficacia global

$P_r$ = platos reales

$P_t$ = platos teóricos

Despejando  $P_t$ , entonces:

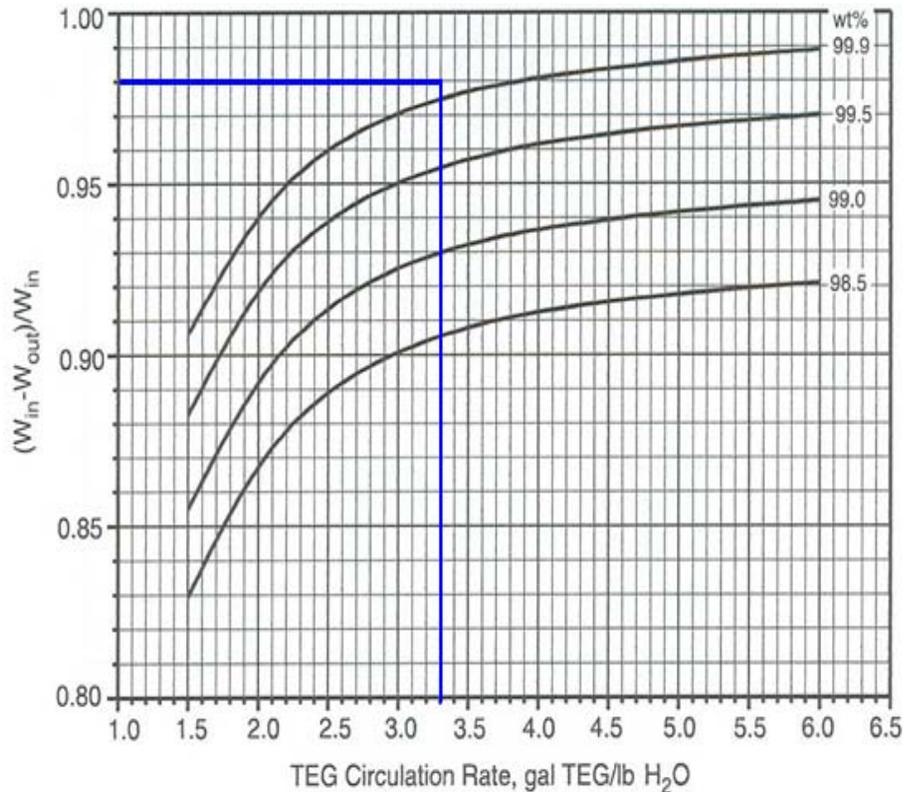
$$P_t = \eta_0 \times P_r \quad (\text{Ec 3.6})$$

Sustituyendo los valores correspondientes en la ecuación 3.6 se obtiene:

$$P_t = 0,25 \times 8$$

$$P_t = 2$$

Una vez obtenidas las características necesarias se entra con estos valores a la figura 3.1 para un número de 2 etapas teóricas en el absorbedor.



**Figura 3.1. Gráfica tasa de circulación de TEG/lb H<sub>2</sub>O vs fracción de agua removida para 2 etapas teóricas (GPSA, 2004).**

La figura 3.1 arroja como resultado para las condiciones de humedad de diseño una tasa de circulación de TEG igual a 3,3 gal TEG/lb H<sub>2</sub>O.

Conocida la tasa de circulación para las condiciones de humedad removida y concentración óptima alcanzable, según el diseño de la planta y considerando tanto el flujo de gas que entra al sistema como la cantidad de humedad que debe ser removida por minuto, entonces se calculó el flujo de

glicol que debe ser enviado hacia la torre contactora por el control de flujo D11217 como se muestra a continuación:

$$\text{lb H}_2\text{O a remover por minuto} = 92 \text{ lb H}_2\text{O/MMPCED} \times \frac{470 \text{ MMPCED}}{1.440 \text{ min}}$$

$$\text{lb H}_2\text{O a remover por minuto} = 30,03 \text{ lb H}_2\text{O/ min}$$

Flujo de glicol a enviar a la torre contactora:

$$q = 3,3 \text{ gal TEG/lb H}_2\text{O} \times 30,03 \text{ lbH}_2\text{O / min}$$

$$q = 99,10 \text{ gpm TEG}$$

#### 3.4.1.2 Tasa de circulación para la humedad de saturación

El gas que entra al sistema viene normalmente con una humedad por debajo de la condición establecida en el diseño, así como también la humedad de salida para cumplir con las exigencias de PIGAP I (la cual debe ser no mayor de 5 lb H<sub>2</sub>O/MMPCED), por lo que la concentración del TEG puede ser menor a la óptima del diseño. Se procedió de la siguiente manera para obtener una tasa de circulación que sea efectiva a las condiciones de operación.

- Humedad de saturación del gas a la entrada del sistema

De acuerdo a las condiciones de presión y temperatura en el flujo de gas que llega a la planta, este puede alcanzar un valor máximo de contenido de humedad que se conoce como humedad de saturación, para el cálculo de

esta se empleo la ecuación 3.4 para gases ácidos considerando el contenido de acidez de acuerdo a lo máximo admisible en el sistema.

$$W(GA)=Y(HCS)(Wc(HCS))+Y(CO_2)(Wc(CO_2))+Y(H_2S)(Wc(H_2S)) \quad (\text{Ec. 3.7})$$

donde:

$W(GA)$  = contenido de vapor de agua en la mezcla ácida

$Y(HCS)$  = fracción molar de los hidrocarburos en el gas dulce

$Wc(HCS)$  = contenido de agua en el gas dulce

$Y(CO_2)$  = fracción molar del dióxido de carbono en el gas

$Wc(CO_2)$  = contenido de agua en el dióxido de carbono puro

$Y(H_2S)$  = fracción molar del sulfuro de hidrogeno en el gas

$Wc(H_2S)$  = contenido de agua en el sulfuro de hidrogeno puro

El contenido de agua en el gas dulce,  $CO_2$  y  $H_2S$  es leído en las figuras 3.2, 3.3 y 3.4 respectivamente entrando a una temperatura de  $120^{\circ}F$  que es la temperatura por diseño en el tope de la torre contactora y a la presión absoluta calculada con la ecuación 3.8.

$$\text{Presión absoluta} = \text{presión manométrica} + 14,7 \text{ psia} \quad (\text{Ec. 3.8})$$

$$\text{Presión absoluta} = 1.200 \text{ psig} + 14,7$$

$$\text{Presión absoluta} = 1.214,7 \text{ psia}$$

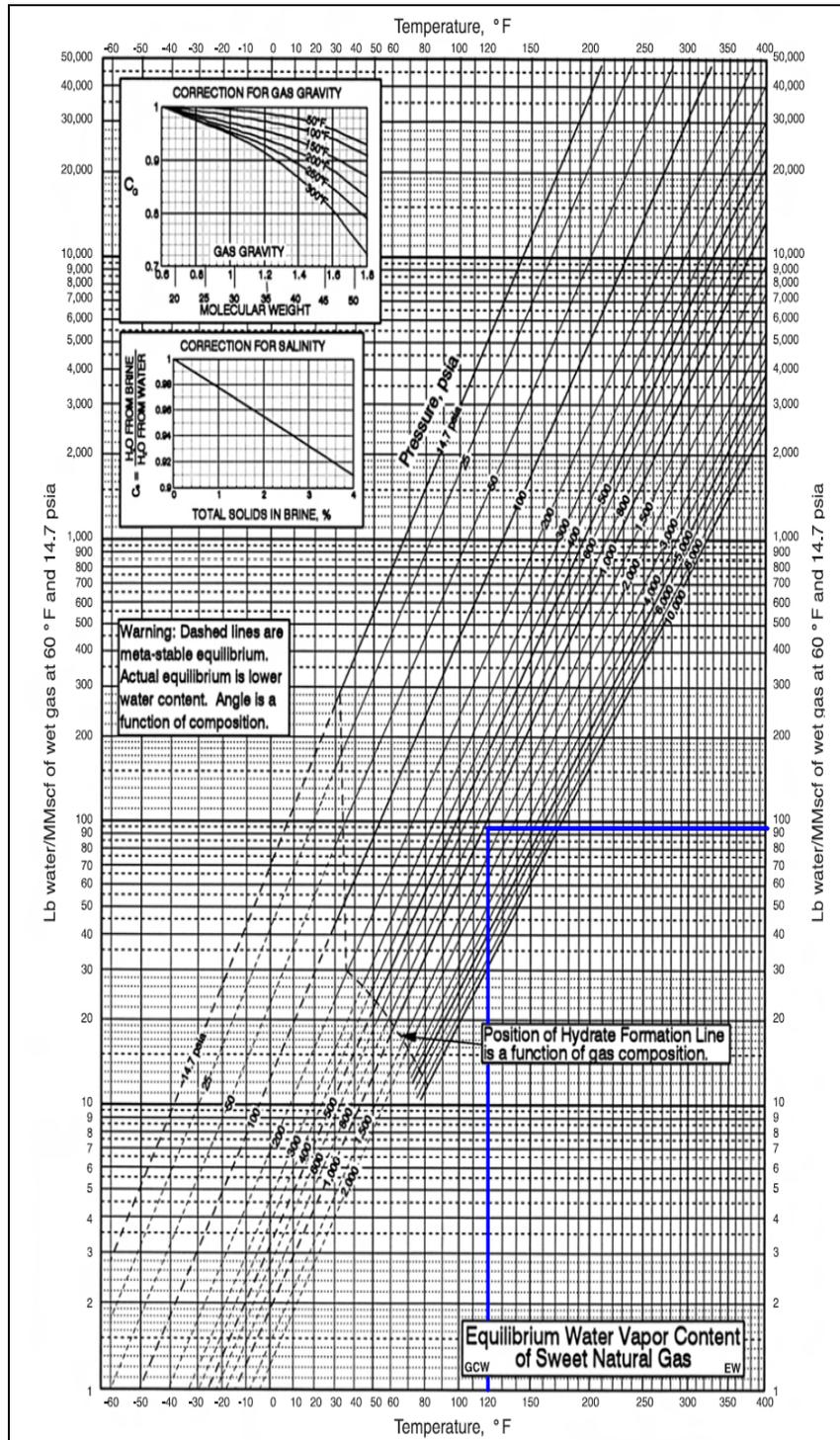
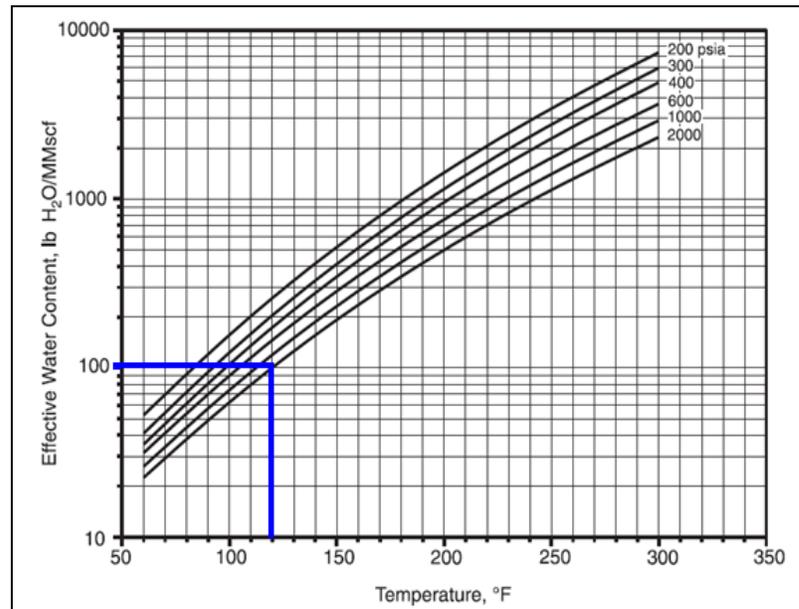
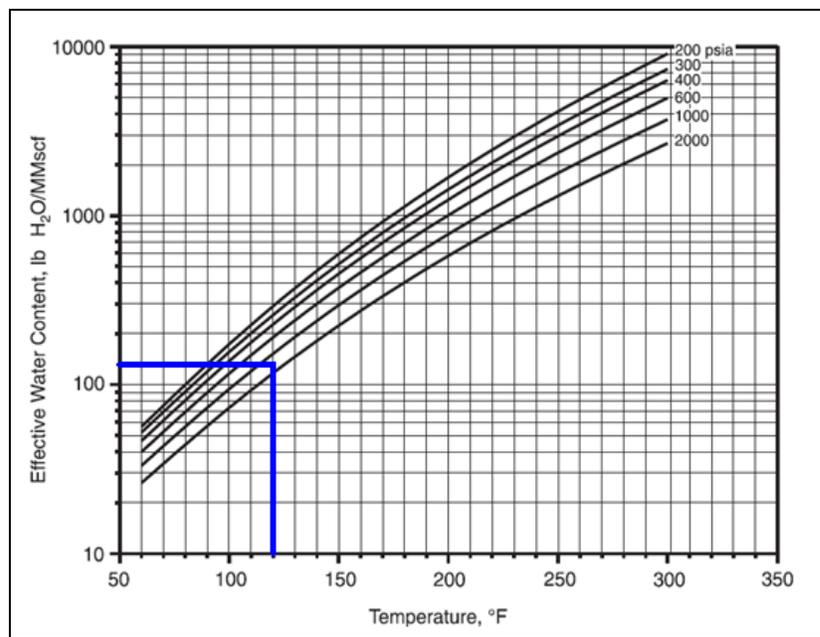


Figura 3.2. Gráfica de Mc Ketta-Webe para conocer el contenido de humedad del gas dulce (GPSA, 2004).



**Figura 3.3. Contenido de agua en CO<sub>2</sub> en mezclas de gas natural (GPSA, 2004).**



**Figura 3.4. Contenido de agua en el H<sub>2</sub>S en mezclas de gas natural (GPSA, 2004).**

Los valores para la lectura de humedad de las figuras 3.2, 3.3 y 3.4 son los siguientes:

$$W_c (\text{HCS}) = 90 \text{ lb H}_2\text{O/ MMPCED}$$

$$W_c (\text{CO}_2) = 101 \text{ lb H}_2\text{O/MMPCED}$$

$$W_c (\text{H}_2\text{S}) = 120 \text{ lb H}_2\text{O/MMPCED}$$

En cuanto a la fracción molar del gas a la entrada debido a que la composición de este puede variar continuamente se tomaron en cuenta para este cálculo los valores de composición de la tabla 4.2 para la condición de diseño y al dividir entre 100 se obtuvieron las fracciones, mientras que para la composición del H<sub>2</sub>S como esta expresada en ppm se realiza la conversión a fracción molar de la siguiente manera:

$$\text{Fracción molar} = \frac{\text{composición H}_2\text{S}}{\text{composición mezcla}} \quad (\text{Ec. 3.9})$$

$$\text{Fracción molar} = \frac{30}{1.000.000} = 0,000030$$

A continuación se sustituyen los valores de humedad obtenidos, así como las fracciones molares correspondientes en la ecuación 3.7 y se obtiene:

$$W(\text{GA}) = 0,93588(90 \text{ lb H}_2\text{O/ MMPCED}) + 0,06362(101 \text{ lb H}_2\text{O/MMPCED}) + 0,00003(120 \text{ lb H}_2\text{O/MMPCED})$$

$$W(\text{GA}) = 90,66 \text{ lb H}_2\text{O/MMPCED}$$

Calculada la humedad de saturación que puede alcanzar la mezcla de gas a la entrada del sistema y sabiendo que las exigencias de PIGAP I establecen un contenido máximo de humedad en el gas recibido de 5 lb H<sub>2</sub>O/MMPCED se procedió de la misma manera que en la sección 3.4.1.1 para conocer la fracción de agua a remover, la tasa de circulación de glicol y el flujo necesario de TEG para un determinado flujo de gas a la entrada a una concentración de 99,95% de pureza del glicol.

En vista de que en algunos momentos por distintas razones se prescinde del uso del gas de despojo y la concentración de TEG pobre óptima es de aproximadamente 98,7 %, entonces se realizó a esta concentración el cálculo de la tasa de circulación de glicol con el procedimiento ya indicado, y considerando las mismas condiciones de presión y temperatura del gas que entra al proceso que para los cálculos del TEG a 99,95% de pureza.

### **3.4.2 Cálculo del flujo de gas de despojo para los lazos de control D11202 y D11215**

Como señala la sección 2.8.8 las unidades de regeneración que operan con gas de despojo lo hacen con flujos comprendidos entre 2 y 10 PCED/gal TEG.

Debido a que la planta no cuenta con un flujo de gas de despojo definido se procedió al cálculo de este.

La figura 3.5 muestra el efecto del gas de despojo sobre la concentración del TEG de acuerdo al número de etapas teóricas que posee

la columna despojadora; esta fue empleada para conocer el flujo de gas a utilizar en la planta.

Asumiendo tanto  $N=1$  como  $N=2$ , porque no se conoce el número de etapas teóricas que posee la columna despojadora, la temperatura de trabajo de  $400^{\circ}\text{F}$  debido a que esta es la temperatura máxima que puede alcanzar el horno rehedidor y conociendo que la concentración del TEG regenerado a obtener es de 99,95%, se traza una línea horizontal que parte del valor de la concentración e intercepta con las curvas correspondientes al número de etapas teóricas a  $400^{\circ}\text{F}$ , de esta manera se lee en el eje de las abscisas el valor proporcionado para la rata de flujo de gas seco a emplear en el proceso.

De acuerdo a la lectura realizada en la figura 3.5 los valores de la rata de flujo de gas de despojo a emplear según las condiciones asumidas son:

Para  $N=1$  ( $400^{\circ}\text{F}$ ) = 11,7 PCE/gal TEG

Para  $N=2$  ( $400^{\circ}\text{F}$ ) = 6,4 PCE/gal TEG

### **3.4.3 Esquema de control para el lazo D11217**

Como parte de los ajustes necesario para mejorar la deshidratación del gas natural se debe modificar el esquema de control de retroalimentación simple existente en el lazo D11217 que controla el flujo de TEG hacia la torre contactora. Para realizar la propuesta de la nueva modalidad de operar el control del lazo D11217 se estudiaron los distintos esquemas de control en fuentes bibliográficas tales como trabajos de investigación, textos especializados, entre otros.

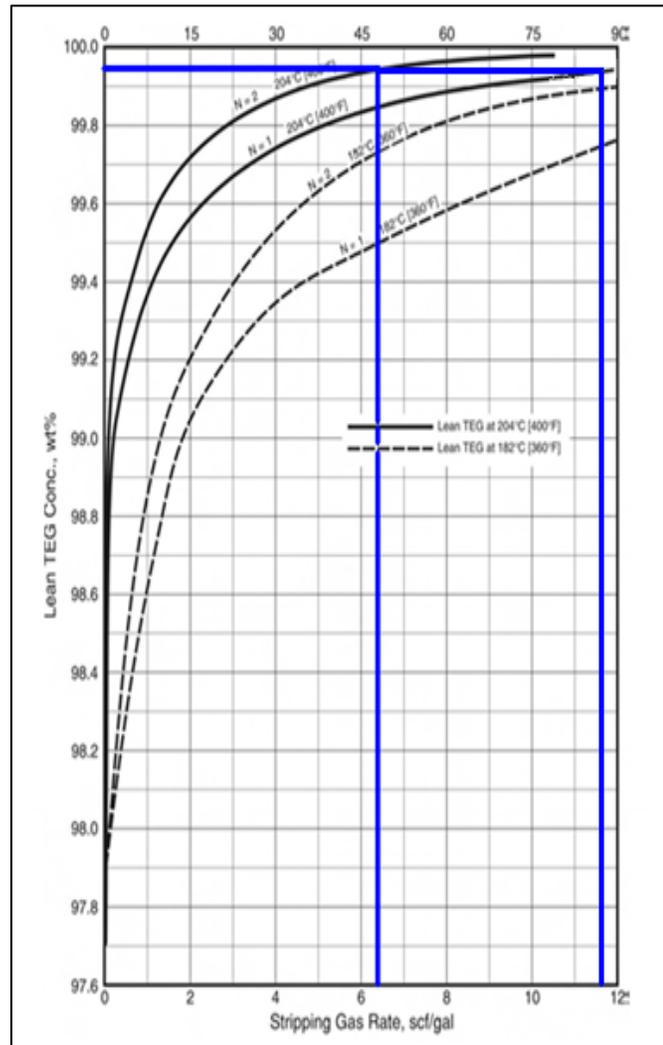


Figura 3.5. Efecto del gas de despojo sobre el TEG (GPSA, 2004).

## **CAPITULO IV**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **4.1 Comparación de las condiciones de diseño y operación de la planta de deshidratación de PIGAP I**

##### **4.1.1 Especificaciones de los equipos de la planta**

La planta de deshidratación de PIGAP I cuenta con las características básicas de un sistema de deshidratación con el empleo de gas de despojo para obtener altas concentraciones en la regeneración del TEG.

Diseñada como sistema de acondicionamiento del gas destinado a PIGAP I en el “Proyecto de Inyección de gas en Carito Oeste” para manejar el gas proveniente de los centros operativos Amana y Tejero COA y COT, actualmente a través del múltiple de facilidades de entrada tiene la posibilidad de manejar el gas natural proveniente de estas dos fuentes junto con el flujo de gas húmedo de Santa Bárbara estación (SBe) y el flujo de gas seco que retorna de Santa Bárbara extracción y que es empleado en muchos casos para compensar las condiciones de humedad y de flujo a enviar para PIGAP I.

Este diseño comprende dos trenes totalmente idénticos (A y B), siendo los equipos que los conforman y sus características los mostrados en la tabla 4.1.

**Tabla 4.1. Características de diseño de los equipos que conforman la planta de deshidratación.**

EQUIPO	PRESION (psig)	TEMPERATURA (°F)	DIÁMETRO (plg)	LONGITUD (pie)	OTROS
ENFRIADORES DE GAS	1.320	200	-	-	Área de transferencia lisa = 4.471 pie <sup>2</sup> Área de transferencia aleteada = 95.135,2 pie <sup>2</sup> Calor transferido = 16,25 MMBTU/h
DEPURADORES DE GAS	1.320	170	78	14	Tiempo de retención mínimo = 3 min.
DESASFALTENIZADORES	92,8	250	108	28	Tiempo de retención = 39 min.

**Tabla 4.1. Características de diseño de los equipos que conforman la planta de deshidratación (Continuación).**

EQUIPO	PRESIÓN (psig)	TEMPERATURA (°F)	DIÁMETRO (plg)	LONGITUD (pie)	OTROS
TORRES CONTACTORA	1.320	150	132	33	Tipo de platos= válvula Número de platos= 8 Eficiencia global= 25% Caída de presión por plato = 2 a 4 plg de liquido Espaciamiento entre platos= 24 plg Factor inundación = 78%
SEPARADORES TRIFÁSICO	150	250	60	22,6	Tiempo de retención mínimo= 3 min.
COLUMNAS REGENERADORAS	50	450	30	15	Empaque aleatorio
HORNOS REHERVIDORES	50	500	96	22,6	Capacidad máxima de regenerar= 70 gpm Capacidad térmica = 4 MMBtu/h Capacidad de flujo de calor =8.500MMBtu/hx pie <sup>2</sup>
INTERCAMBIADORES DE CALOR GLICOL/GLICOL	150	450	-	-	-
INTERCAMBIADOR DE CALOR GAS COMBUSTIBLE	100	150	23,25	100	-
DEPURADOR DE GAS COMBUSTIBLE	100	100	-	-	-
COLUMNAS DE DESPOJO	50	450	24	8,6	Empaque aleatorio
ENFRIADORES DE GLICOL	1.400	260	-	-	Área de transferencia = 90 pie <sup>2</sup>
ACUMULADORES DE GLICOL POBRE	50	450	48	20	-
FILTROS DE CARBON	150	250	60	7,8	-
FILTROS DE ELEMENTOS	150	250	30	4,05	Elementos filtrantes = 58

#### **4.1.2 Composición del gas natural tratado**

Las condiciones de composición del gas natural destinado para ser deshidratado en la planta y posteriormente usado como medio de levantamiento artificial de yacimientos, según el diseño están constituidas principalmente por metano y etano, pequeñas cantidades de nitrógeno, componentes ácidos como el  $\text{CO}_2$  y el  $\text{H}_2\text{S}$  y un GPM adecuado para su destino en comparación con el resto de las fuentes manejadas en el Complejo Operativo Muscar.

La tabla 4.2 muestra la composición del gas considerado para el diseño de la planta y la composición para un momento determinado en cada uno de los trenes. Según esta tabla la planta tiene la capacidad de manejar un flujo de gas relativamente ácido con cierta riqueza en líquidos condensables; igualmente la tabla señala que la composición actual del gas que entra a cada tren corresponde con la condición de diseño y a pesar de que el valor del GPM es un poco superior que el establecido en el diseño es aceptable para el manejo del proceso.

**Tabla 4.2. Composición de diseño y de operación del gas a deshidratar.**

COMPONENTE	COMPOSICIÓN DISEÑO		COMPOSICIÓN ACTUAL ENTRADA TREN A		COMPOSICIÓN ACTUAL ENTRADA TREN B
	Valor experimental	Valor normalizado	Valor experimental	Valor normalizado	
NITROGENO	0,0500	0,0500	0,1420	0,1424	0,1820
CO <sub>2</sub>	6,3620	6,3623	6,2630	6,2828	6,2730
METANO	80,1106	80,1140	82,3200	82,5805	82,1300
ETANO	8,4559	8,4563	6,2630	6,2828	6,5060
PROPANO	2,7151	2,7152	2,6130	2,6213	2,6460
I-BUTANO	0,5611	0,5611	0,5670	0,5688	0,5770
N-BUTANO	0,7514	0,7514	0,7650	0,7674	0,7820
I-PENTANO	0,2805	0,2805	0,2910	0,2919	0,2990
N-PENTANO	0,2304	0,2304	0,2480	0,2488	0,2560
N-HEXANO	0,2905	0,2905	0,1600	0,1605	0,1720
N-HEPTANO	0,1302	0,1302	0,0095	0,0095	0,1160
N-OCTANO	0,0200	0,0200	0,0320	0,0321	0,0470
N-NONANO	0,0310	0,0310	0,0100	0,0100	0,0120
N-DECANO	0,0070	0,0070	0,0010	0,0010	0,0010
Σ Composición	99,9957	100	99,6845	100	100
PM	20,53	20,99	20,55	20,46	20,64

**Tabla 4.2. Composición de diseño y de operación del gas a deshidratar (Continuación).**

COMPONENTE	COMPOSICIÓN DISEÑO		COMPOSICIÓN ACTUAL ENTRADA TREN A		COMPOSICIÓN ACTUAL ENTRADA TREN B
	Valor experimental	Valor normalizado	Valor experimental	Valor normalizado	
GPM	1,23	1,56	1,47	1,44	1,52
H <sub>2</sub> S (ppm)	< 30	---	17	---	16

### 4.1.3 Capacidad de flujo de gas manejado por la planta

La capacidad de la planta según lo establecido en el diseño es de 940 MMPCED, divididos en 470 MMPCED por cada tren y en cuanto a las condiciones de operación la figura 4.1 muestra que para el período de 28 días seleccionado, el tren A manejó un flujo comprendido entre 148,5 y 347,5 MMPCED y el tren B manejó entre 322,5 y 507,8 MMPCED. Esta diferencia en cuanto a la cantidad de gas deshidratado por cada tren se debe principalmente a la puesta fuera de servicio del filtro de elementos FS1001 aguas arriba del sistema (múltiple de facilidades de entrada) asociado al tren A, ya que este filtro se encarga de remover las impurezas que acompañan al gas y proporcionar así un gas lo más limpio posible para evitar problemas operacionales en la planta. De esta manera para prevenir la contaminación del sistema por grandes cantidades de partículas solidas, el tren A maneja flujos menores al de diseño y en compensación del flujo total que debe manejar la planta para cumplir con las exigencias de 900 MMPCED, el tren B maneja flujos mayores, llegando en momentos a superar el valor establecido en el diseño de la planta.

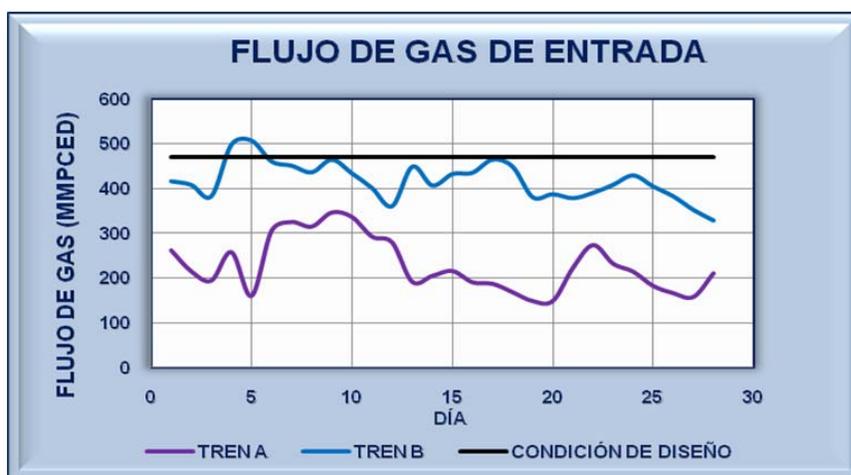
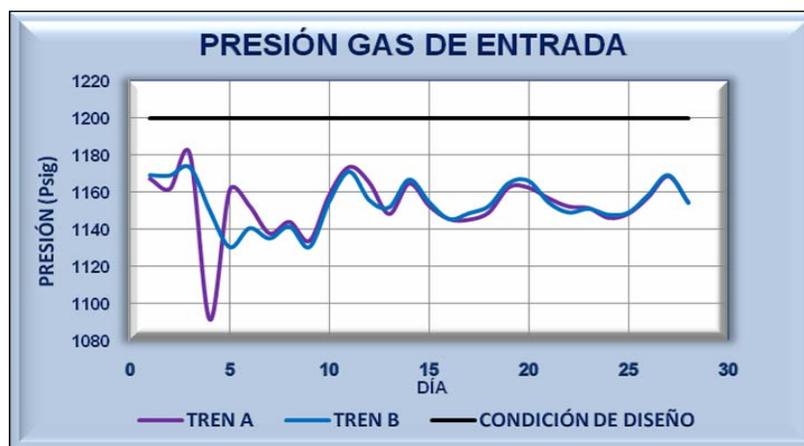


Figura 4.1. Condiciones de diseño y operación del flujo de gas de entrada.

El hecho de que el flujo de gas manejado por el tren B alcance valores superiores al establecido en el diseño o en su defecto que cualquiera de los dos trenes maneje flujos superiores a los 470 MMPCED, puede producir alta velocidad del gas dentro de la torre lo cual a la vez puede ocasionar insuficiente deshidratación en el gas natural, así como perdidas TEG por arrastre.

#### 4.1.4 Presión del gas a la entrada de la planta

De acuerdo al documento “Bases y Criterios de Diseño” la presión establecida para la entrada del gas al sistema es de 1.200 psig. En la actualidad, como muestra la figura 4.2, ambos trenes operan a una presión inferior a la de diseño, condición que puede ocasionar en la torre contactora altas velocidades del gas con la consecuente formación de espuma mecánica, arrastre del TEG y ruptura en los internos de los separadores y de la contactora. Sin embargo a pesar de los posibles problemas a presentarse por baja presión, cada tren opera normalmente por arriba de 1.080 psig lo que significa que la desviación en ambos trenes está por debajo de los 120 psig.



**Figura 4.2. Condiciones de diseño y operación de la presión del gas que entra a la planta.**

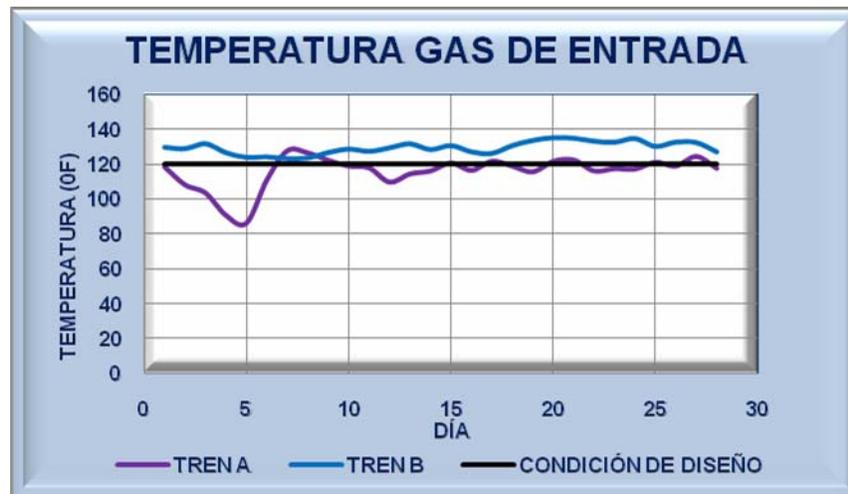
#### **4.1.5 Temperatura del gas a la entrada de la torre contactora**

El valor de temperatura establecido como máximo para la corriente de gas que entra a la planta es de 170<sup>0</sup>F, sin embargo el gas para entrar a la torre contactora debe tener una temperatura de 120 <sup>0</sup>F, la cual se logra a través del enfriamiento con los ventiladores de tiro forzado ubicados en la entrada de cada tren. Actualmente estos enfriadores se encuentran fuera de servicio en ambos trenes, por lo cual la temperatura a la entrada de la torre contactora es igual a la temperatura del gas a la entrada de la planta.

La figura 4.3 muestra el comportamiento de la temperatura del gas que entra a la torre contactora tanto del tren A como del tren B, de acuerdo a esta la temperatura del gas que entra en la contactora del tren B está por encima de la temperatura de entrada a la torre contactora en el tren A, lo cual tiene una relación directa al flujo de gas manejado por ambos trenes. Así mismo se observa como en el tren B se está trabajando por encima de la condición de diseño, esto como consecuencia de que los enfriadores se encuentran fuera de servicio.

El hecho de que la temperatura de operación a la entrada de la torre contactora en el tren B sea superior a la de diseño origina un aumento en la velocidad del gas dentro de la contactora, así como aumento en el punto de rocío debido a la relación directa que existe entre la temperatura y el contenido de humedad en el gas. Al aumentar la velocidad del gas en la contactora se produce arrastre del TEG lo que implica pérdidas del mismo, mientras que al aumentar el punto de rocío es necesario que alguna de las siguientes variables: concentración del TEG, etapas del absorbedor y tasa de

circulación del TEG debe sea adaptada para lograr el gas deshidratado con la especificación de humedad determinada y requerida por PIGAP I.

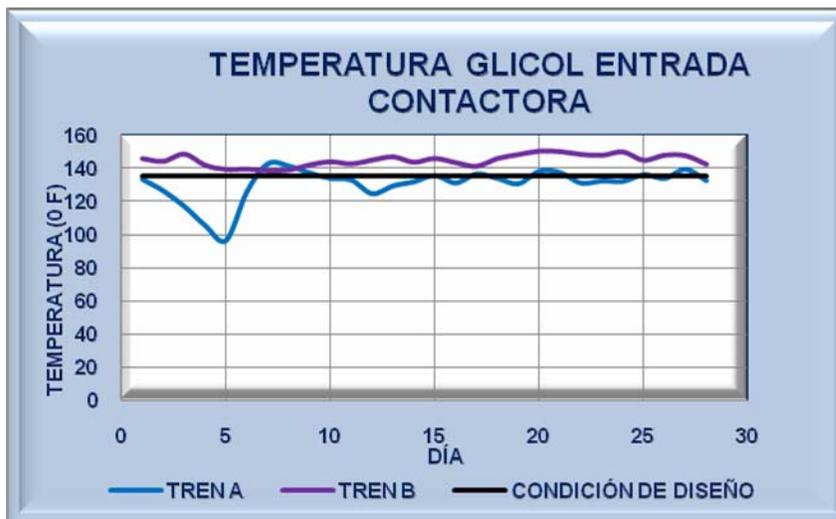


**Figura 4.3. Condiciones de diseño y operación de la temperatura del gas que entra a la torre contactora.**

#### 4.1.6 Temperatura del TEG a la entrada de la torre contactora

Para que la absorción dentro de la torre contactora sea efectiva y no ocurra la condensación de hidrocarburos en la misma con el posterior arrastre de condensados, es necesario que el TEG pobre entrante por el tope se mantenga entre unos 10 a 15<sup>0</sup>F por encima de la temperatura de entrada del gas. Para el sistema de deshidratación de PIGAP I la diferencia de temperatura entre las corrientes de gas y de TEG que entran a la contactora se considera de 15<sup>0</sup>F, lo que significa que a medida que el gas entre con mayor temperatura el glicol lo hará 15<sup>0</sup>F mas caliente. Esta condición en caso de ser muy exagerada ocasiona altas pérdidas de TEG pobre, por ello debe evitarse la temperatura del TEG sea muy alta.

La figura 4.4 señala cual debe ser la temperatura del TEG pobre que entra a la torre contactora según el diseño de la planta y a la vez cual es el comportamiento de esta variable para ambos trenes, observándose como era de esperar, que la temperatura del TEG en el tren B es mayor a la condición de diseño establecida y a la vez mayor a la temperatura en el tren A, debido a que en el tren B el gas entra con una temperatura superior a la de diseño, a la relación proporcional de 15<sup>0</sup>F en la temperatura del TEG pobre ya mencionada.



**Figura 4.4. Condiciones de diseño y operación de la temperatura del glicol a la entrada de la torre contactora.**

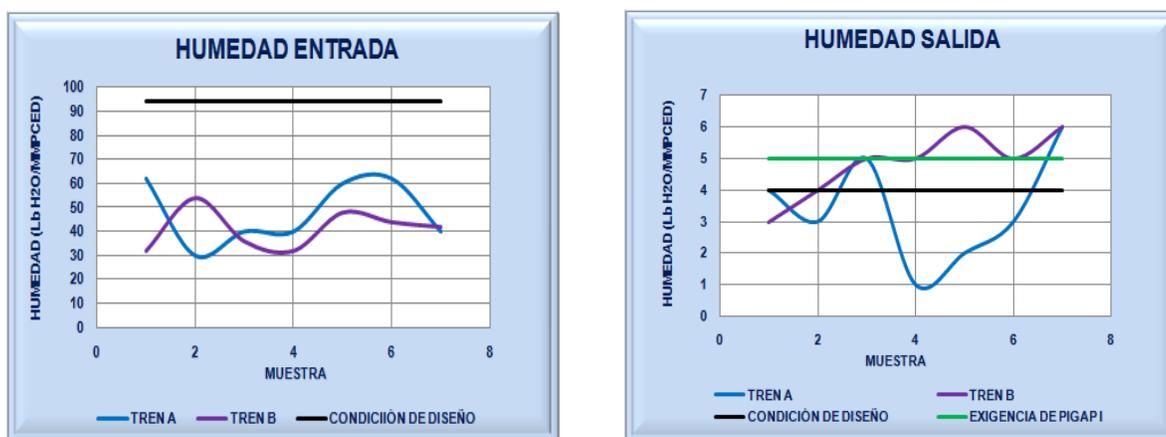
#### 4.1.7 Humedad del gas

El diseño de la planta establece que esta tiene la capacidad de deshidratar gas natural con un contenido de humedad a la entrada de 94 lb H<sub>2</sub>O/MMPCED y llevarlo hasta una humedad de salida de 2 a 4 lb H<sub>2</sub>O/MMPCED, la cual cumple con la condición de humedad máxima de 5 lb

H<sub>2</sub>O/MMPCED exigida por PIGAP I; esto significa que cada tren puede remover entre 92 lb H<sub>2</sub>O/MMPCED y 90 lb H<sub>2</sub>O/MMPCED.

La figura 4.5 indica que para las 7 muestras analizadas en ambos trenes la humedad del gas a la entrada presenta un valor por debajo de lo que es la humedad de diseño o humedad máxima que puede admitir el sistema, siendo el tren A el que maneja mayor contenido de humedad, a pesar de que el flujo de gas en este normalmente fue menor al flujo de gas manejo por el tren B, pero según la tabla 4.2 el contenido de H<sub>2</sub>S era mayor en el tren A factor que puede influir en el contenido de humedad del gas. Sin embargo cabe destacar que tanto la cantidad de muestras analizadas como el método empleado (puede ser influenciado por la humedad presente en el aire), no son realmente representativos para marcar diferencia entre uno y otro tren.

En cuanto a la humedad de salida se observa que en ambos trenes se llega a obtener un gas deshidratado con un valor superior al determinado en el diseño e incluso mayor al máximo establecido por PIGAP I, siendo el tren B a pesar de manejar un gas con menos humedad a la entrada el que presenta mayor humedad a la salida de la planta. Esto indica que la planta en realidad no está cumpliendo con la condición de diseño de remover entre 92 y 90 lb H<sub>2</sub>O/MMPCED y que en caso del gas entrar con el contenido de humedad máximo establecido en el diseño o con uno un poco superior, entonces será imposible obtener el gas deshidratado dentro de la especificación requerida por PIGAP I.



**Figura 4.5. Condiciones de diseño y operación de la humedad a la entrada y salida de la planta.**

#### 4.1.8 Características del TEG pobre

El TEG pobre empleado en el proceso debe ser limpio y puro para garantizar buenos resultados en la remoción de agua del gas natural y evitar a la vez problemas operacionales.

En la planta de deshidratación de PIGAP I, el TEG es producto principalmente de la regeneración llevada a cabo en la misma planta junto con parte del glicol recuperado en el tanque de recuperación T1101 y el glicol virgen almacenado en el tanque T1102.

Los valores de las características pH, gravedad específica, porcentaje de hidrocarburos y de agua contenidos en el glicol pobre, señaladas en la tabla 4.3 permiten tener un panorama en cuanto a la condición del TEG a bombear hacia la contactora y la posibilidad de determinar que tan efectivo

será este en el cumplimiento de su labor como desecante, así como también inferir en cuanto al desempeño del sistema de regeneración.

El pH en ambos trenes se desvía hacia valores del rango ácido y solo una muestra por cada tren cumple con el valor teórico óptimo de 7,30, esto implica que el TEG pobre empleado es algo ácido y por lo tanto con tendencia a ser corrosivo. Dicha condición puede ser ocasionada por la degradación del mismo como consecuencia de altas temperaturas en el sistema de regeneración o por oxidación ante la presencia de oxígeno que ha podido entrar junto con el gas a deshidratar o en los tanques de almacenamiento y de recuperación. A pesar del desvío hacia un pH ácido, esto no representa gran alarma para el sistema ya que según los expertos en sistemas de deshidratación con TEG, un valor de pH entre 6 y 8,5 permite trabajar adecuadamente y no ocasiona grandes problemas, sin embargo si se debe evitar que el glicol alcance un pH de 5,5 porque a partir de este valor comienza el proceso de auto oxidación del mismo.

La disminución de la gravedad específica se hizo más acentuada en aquellas muestras con mayor contenido de agua o de hidrocarburos, esto como consecuencia de que tanto el agua como los hidrocarburos son menos densos que el TEG y al existir la presencia de estos en el glicol se produce un descenso en esta característica.

En cuanto el contenido de hidrocarburos en el TEG los resultados muestran que es aceptable, siendo muy pequeño y encontrándose muy cerca del valor óptimo lo que indica a la vez que ha ocurrido una buena separación de las fases hidrocarburo-glicol en el desasfaltenizador y el separador trifásico.

El sistema de regeneración con el empleo de gas de despojo permite alcanzar concentraciones de TEG de hasta 99,95 % en peso, es decir que el contenido de humedad en este debe ser de 0,05%; esta condición es muy buena para lograr un eficiente proceso de deshidratación, sin embargo tal como lo indica la tabla 4.3 no siempre se logra un TEG regenerado dentro de dicha especificación, sino que el contenido de humedad puede alcanzar valores tan altos como los de la tercera muestra para el tren B.

El hecho de que la humedad contenida en el TEG pobre para la tercera muestra en el tren B sea elevada, puede atribuirse a que el flujo de gas de despojo se encontraba suspendido para ese día, sin embargo aún así el valor de humedad se encuentra muy por encima a lo que debería ser para el funcionamiento de la etapa de regeneración sin el uso del gas de despojamiento (1,3 %). Por otro lado el tren A que si tenía en operación el gas de despojamiento también presentó aumento en el contenido de la humedad lo cual indica que los sistemas de regeneración no siempre cumplen con la obtención de un TEG 99,95% puro y esto a la vez influye en el cumplimiento de la especificación de humedad de salida señalada en el diseño para el gas deshidratado.

**Tabla 4.3. Características del TEG pobre que llega a las torres contactoras.**

CARACTERÍSTICA	VALOR ÓPTIMO	GLICOL POBRE TREN A			GLICOL POBRE TREN B		
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
pH	7,30	6,89	7,06	6,97	6,96	7,30	7,23
Gravedad específica	1,1254	1,1243	1,1246	1,1245	1,1243	1,1247	1,1225
% Hidrocarburo	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05	Trazas	0,00
% Humedad	0,05	0,00	0,05	0,15	0,00	0,05	2,35

#### 4.1.9 Tasa de circulación del TEG pobre hacia la torre contactora

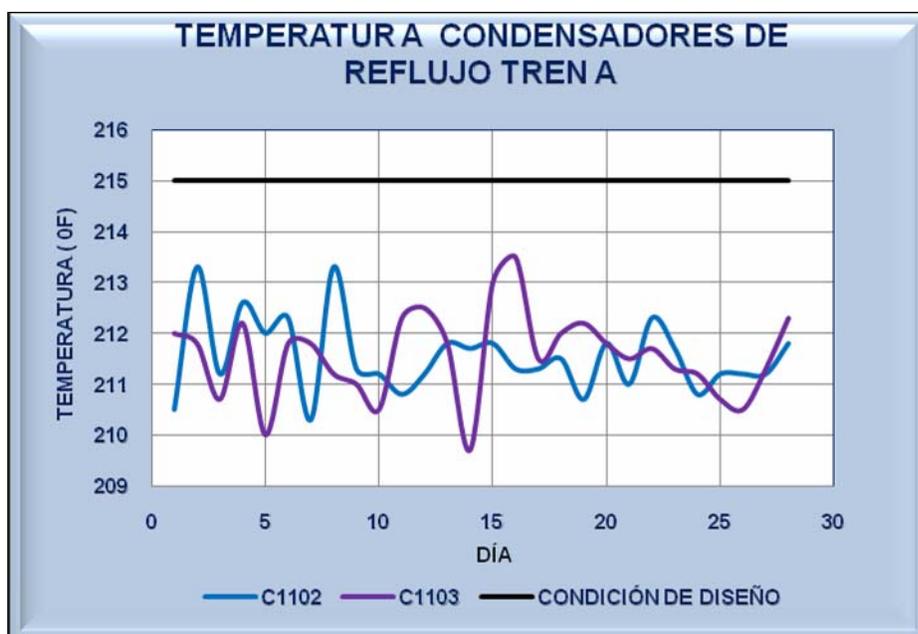
De acuerdo a la filosofía de operación del año 1996, la tasa de circulación empleada para lograr las especificaciones del gas a deshidratar era de 4,6 gal TEG/lb H<sub>2</sub>O removida. Actualmente no se emplea un valor específico de la tasa de circulación del glicol, sino que el flujo de TEG pobre enviado a la torre contactora comprende valores que van desde 10 hasta 50 gpm aproximadamente, sin una relación definida con la cantidad de agua a remover ni con el flujo de gas manejado.

#### 4.1.10 Temperatura en condensadores de reflujo

Debido a que en el sistema horno rehervidor y columna regeneradora se produce la separación por diferencia de las temperaturas de vaporización entre el agua y el TEG, es necesario que la temperatura proporcionada en el

tope de las columnas por los condensadores de reflujo sea de 215 °F, para así evitar tanto el arrastre y pérdida del glicol, así como también la condensación y retorno del agua.

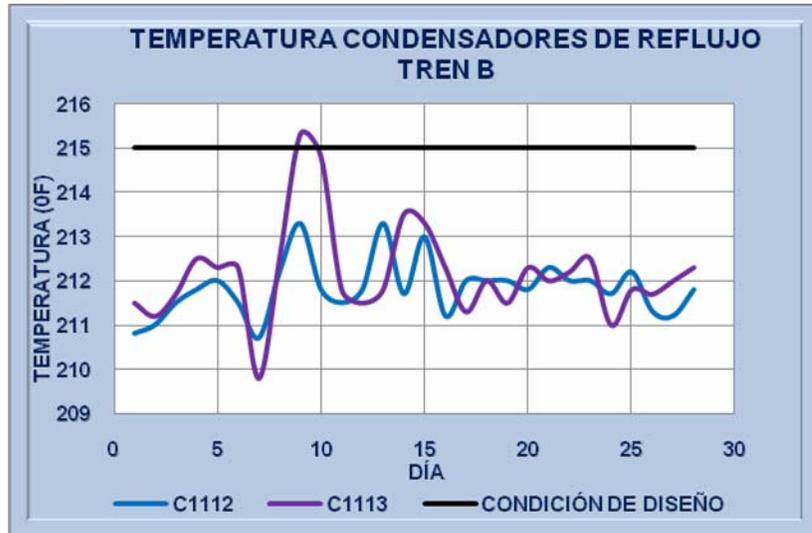
En la actualidad, como lo indica la figura 4.6, el tren A se encuentra operando regularmente sus dos condensadores de reflujo a temperaturas menores a la requerida, lo cual permite que parte del agua evaporada condense, evitando así que se obtenga el 98,7% de pureza en el TEG regenerado y que a la vez en la columna de despojo no sea posible lograr la concentración máxima de 99,95% de pureza.



**Figura 4.6. Condiciones de diseño y operación de la temperatura en condensadores de reflujo del tren A.**

De la misma manera el comportamiento de la temperatura en los condensadores de reflujo del tren B se presenta en la figura 4.7, la operación en estos al igual que para el tren A, es por debajo de los 215 °F, es decir

fuera de la condición de diseño del proceso, lo que ocasiona las consecuencias ya mencionadas.

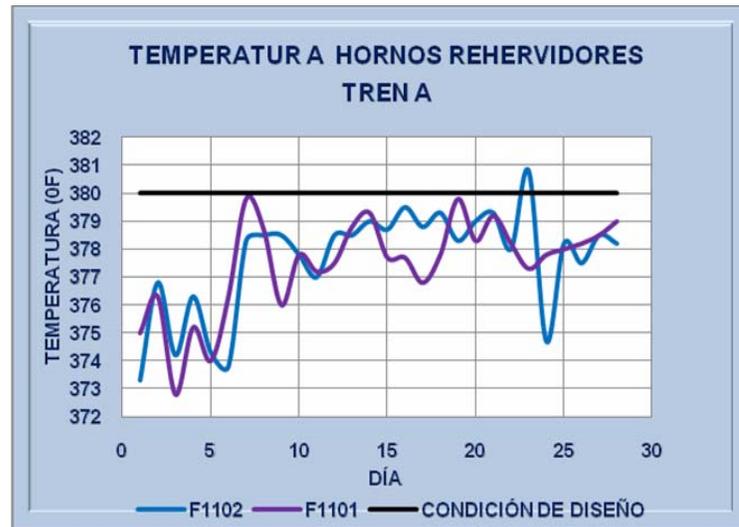


**Figura 4.7. Condiciones de diseño y operación de la temperatura en condensadores de reflujo del tren B.**

#### 4.1.11 Temperatura en hornos rehervidores

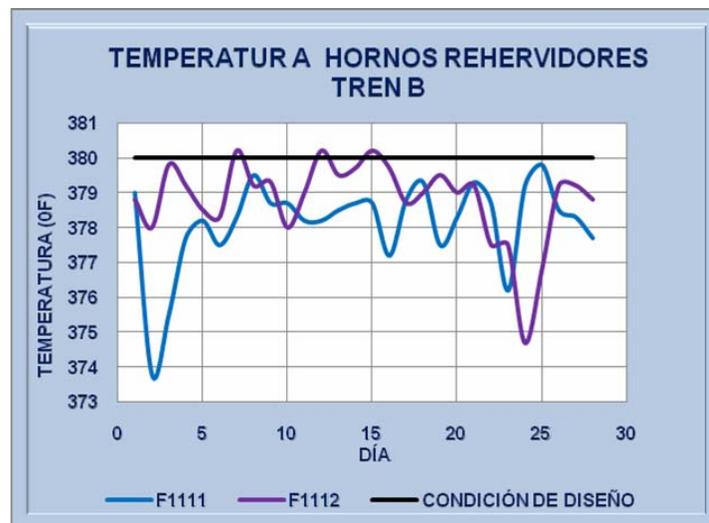
La temperatura que se debe mantener en los hornos rehervidores para que el sistema de regeneración de la planta cumpla con su función está comprendida entre 370 y 380<sup>0</sup>F evitando principalmente alcanzar temperaturas cerca de los 400 <sup>0</sup>F, ya que a esta temperatura el TEG comienza a degradarse térmicamente.

En la figura 4.8 se observa el comportamiento de la temperatura tanto en el horno F1101 como F1102 del tren A, donde ambos trabajan normalmente a una temperatura de regeneración dentro del rango permisible, superando solo en pocas ocasiones la condición de diseño del proceso de 400 <sup>0</sup>F.



**Figura 4.8. Condiciones de diseño y operación de la temperatura en hornos rehervidores del tren A.**

Por otro lado el comportamiento de la temperatura de regeneración en los hornos F1111 y F1112 mostrado en la figura 4.9, se encuentra al igual que en el tren A dentro del rango adecuado para una buena regeneración sin que ocurra degradación del TEG.



**Figura 4.9. Condiciones de diseño y de operación de la temperatura en hornos rehervidores del tren B.**

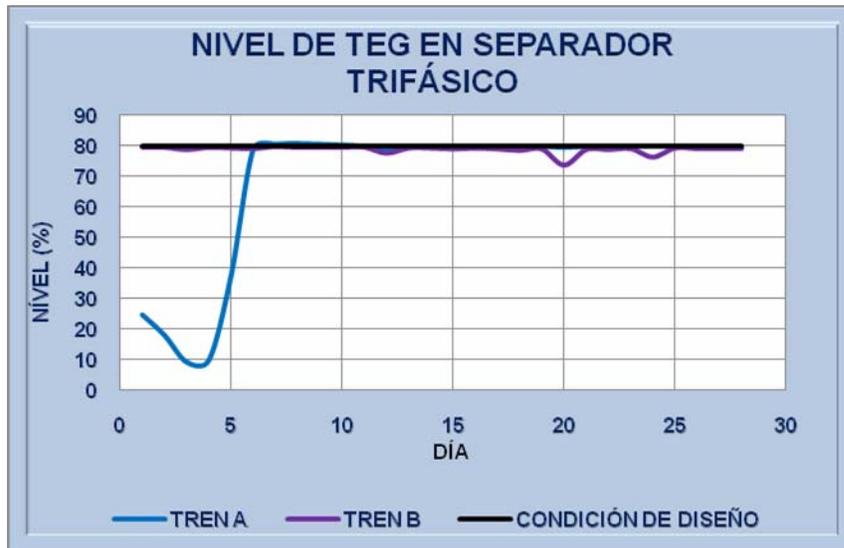
#### **4.1.12 Flujo de gas despojamiento**

El uso de gas de despojo es una herramienta muy efectiva para aumentar la concentración del TEG hasta un 99,95%. Los expertos en sistemas de deshidratación recomiendan utilizar una tasa de flujo del gas de despojo entre 2 a 10 PCE/gal TEG, sin embargo en la planta para ambos trenes no se tiene un valor prefijado para esta variable, sino que el flujo de gas de despojo varía constantemente, llegando a ser empleados valores muy bajos como 0,5 PCE/gal TEG, así como alcanzar en algunas oportunidades valores de 14 PCE/gal TEG en cualquiera de los dos trenes o incluso en algunas oportunidades se prescinde de su uso.

#### **4.1.13 Nivel de TEG en separador trifásico**

El nivel de TEG en el separador trifásico debe mantenerse al 80%, ya que es en este punto donde rebosa la fase de hidrocarburos formada en la parte superior hacia la otra cámara dispuesta para la acumulación de los hidrocarburos líquidos separados.

La figura 4.10 muestra el comportamiento del nivel en los separadores trifásicos de ambos trenes y como normalmente se mantiene el valor de este dentro de la condición de diseño, la fase de hidrocarburos obtenida por la acción del separador se deposita en la cámara del equipo destinada para ello obteniéndose así un TEG limpio.



**Figura 4.10. Condiciones de diseño y operación del nivel en los separadores trifásicos.**

#### **4.1.14 Presión de descarga de las bombas de glicol pobre**

Las bombas reciprocantes ubicadas en cada uno de los trenes tienen la capacidad de proporcionar una presión de descarga del TEG pobre que va hacia la torre contactora de 1.200 psig. De acuerdo a los reportes de campo en ambos trenes se cumple con tal condición proporcionada por una de las tres bombas localizada en cada tren, mientras que las otras dos se encuentran disponibles.

#### **4.2 Identificación de los lazos de control asociados a las operaciones de absorción, separación y regeneración del TEG**

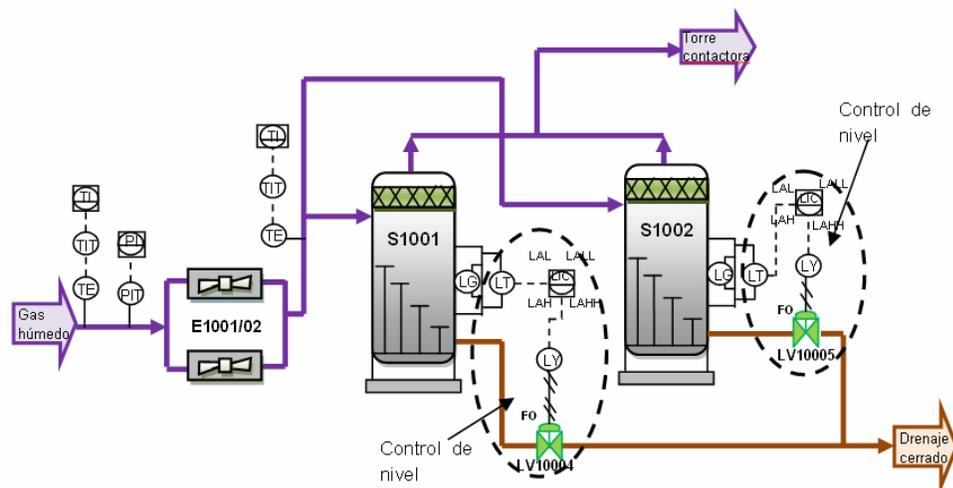
La planta cuenta con 46 lazos de control cerrados, de los cuales 4 son comunes a ambos trenes (ya que pertenecen al sistema de gas combustible) y los 42 lazos restantes están divididos entre los dos trenes, distribuidos en

cada uno de los equipos que conforman el sistema. Por otra parte el tanque de recuperación y el de almacenamiento de glicol virgen también cuentan con la instrumentación correspondiente para controlar en lazo abierto.

Debido a que para los dos trenes se encuentran un conjunto de lazos que presentan la misma filosofía de control, entonces la descripción de estos se hará tomando en cuenta el tren A, en vista de que la planta no presenta división en cuanto a áreas y que la identificación de cada lazo es de acuerdo al TAG de los instrumentos asociados se antepondrá la letra D, proveniente de deshidratación, para hacer referencia a cada lazo.

#### 4.2.1 Control de nivel en depuradores del gas que entra a la planta

La figura 4.11 muestra los lazos de control de nivel para los depuradores del gas que entra a la planta, mientras que en la tabla 4.4 se encuentran registrados cada uno de los elementos que componen dichos lazos, así como algunas de sus características.



Nota: Los elementos asociados a cada lazo tienen el número indicado para la válvula de control respectiva

**Figura 4.11. Lazos de control de nivel en depuradores.**

**Tabla 4.4. Características de los lazos de control asociados a los depuradores.**

Nº de lazo	Variable controlada	Variable manipulada	Punto de ajuste	Elemento de lazo	TAG de elemento	Falla de válvula	Tipo de control	Acción del controlador
D10004	Nivel	Flujo líquidos condensados a drenaje	10 % - 15 %	Transmisor	LT10004	FO	Retroalimentación	Directa
				Controlador e indicador	LIC10004			
				Convertidor I/P	LY10004			
				Válvula de control	LV10004			
D10005	Nivel	Flujo líquidos condensados a drenaje	10 % - 15 %	Transmisor	LT10005	FO	Retroalimentación	Directa
				Controlador e indicador	LIC10005			
				Convertidor I/P	LY10005			
				Válvula de control	LV10005			

Debido a su función de separación los depuradores S1001 y S1002 ubicados en la entrada del sistema, acumulan cierta cantidad de líquidos que acompañan al gas a deshidratar (hidrocarburos condensados, agua, otros). Para lograr una separación eficiente y evitar que parte del gas se desvíe al drenaje cerrado de la planta es necesario que el nivel dentro de ellos esté comprendido entre un 10% - 15%.

Los lazos de control D10004 y D10005 funcionan con la misma filosofía de control, a medida que el nivel de líquidos separados aumenta dentro de los depuradores entonces los elementos del lazo realizan su función y la válvula de control aumenta su porcentaje de apertura para enviar el líquido acumulado al drenaje cerrado, mientras que si el nivel se hace muy bajo entonces ocurre lo contrario y el porcentaje de apertura de la válvula disminuye para mantener el valor de nivel en el punto de ajuste y de esa manera el flujo de gas es enviado más limpio hacia la torre contactora.

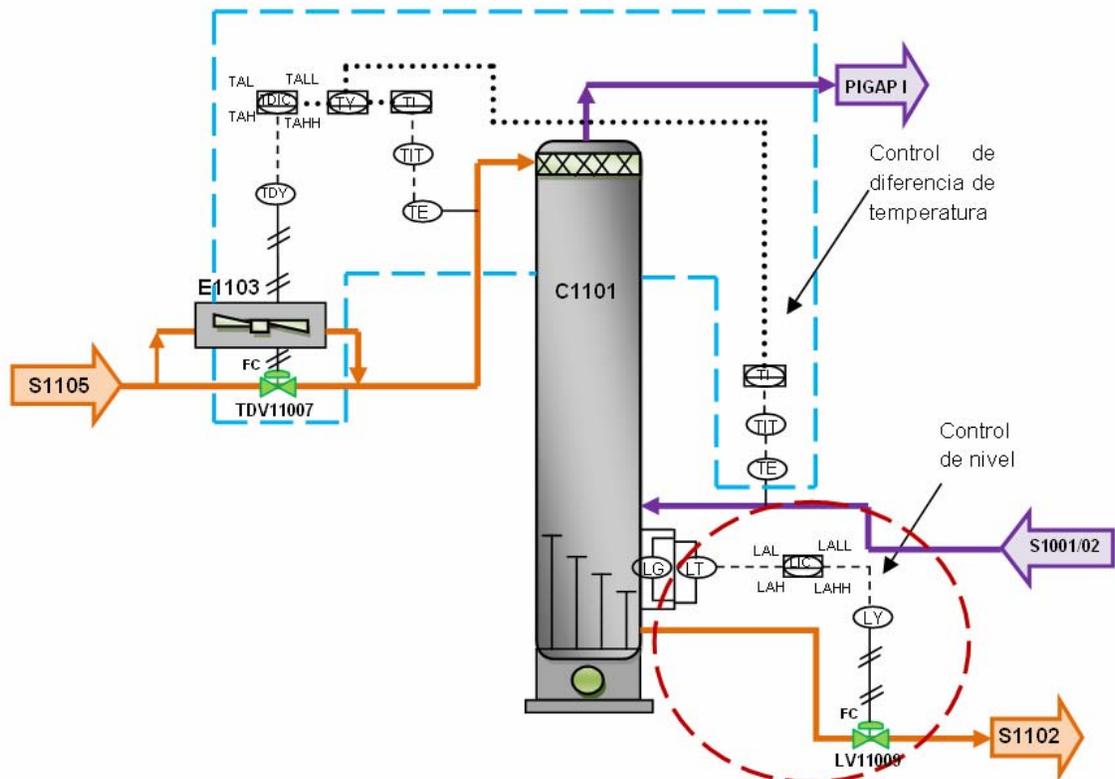
Las válvulas de control de ambos lazos están configuradas en falla abierta (fail open); de esta manera en caso de presentarse algún inconveniente con el aire de instrumentos y no sea posible el accionamiento de estas, entonces las válvulas quedan en la posición de abiertas para enviar los líquidos que se obtengan de la separación hacia el drenaje.

En cuanto al tipo de lazo de control y a la acción del controlador se tiene que son lazos de retroalimentación donde la respuesta a las perturbaciones permite exista una actuación constante en cuanto a la acción de estas y se mantenga estable el punto de ajuste, produciendo una acción proporcional a las variaciones del nivel, es decir que a medida de que aumenta el nivel entonces la señal emitida por el controlador provoca que el porcentaje de apertura de la válvula también sea aumente y viceversa.

Cada controlador tiene asociado en sala de control alarmas por bajo LAL10004 y LAL10005, alto LAH10004 y LAH10005, muy bajo LALL10004 y LALL10005 y muy alto nivel LAHH10004 y LAHH10005, las cuales se activan cuando es necesario.

#### **4.2.2 Lazos de control asociados a la torre contactora**

La torre contactora es si se quiere el equipo más importante de la planta y para que esta cumpla eficientemente su función de disminuir el contenido de humedad presente en el gas que llega a la planta, es necesario que cuente con los controles indicados para ello. La figura 4.12 muestra los lazos de control asociados a la operación de absorción de agua con TEG que se lleva a cabo en este equipo.



Nota: Los elementos asociados a cada lazo tienen el número indicado para la válvula de control respectiva

**Figura 4.12. Lazos de control en la torre contactora.**

Tal como lo señala la figura 4.12, en la operación de la torre contactora existe un lazo de control del diferencial de temperatura entre las corrientes de TEG pobre y gas húmedo y un lazo de control de nivel para el TEG pobre que llega al fondo; algunas características de estos lazos como y los elementos que los conforman están representados en la tabla 4.5.

**Tabla 4.5 Características de los lazos de control asociados a la torre contactora.**

Nº de lazo	Variable controlada	Variable manipulada	Punto de ajuste	Elemento de lazo	TAG de elemento	Falla de válvula	Tipo de control	Acción del controlador
D11007	Diferencia de temperatura	Flujo de TEG a enfriador	10 °F - 15 °F	Temocupla	TE11007A	FC	Retroalimentación	Indirecta
				Transmisor e indicador	TIF11007A			
				Indicador	TI11007A			
				Temocupla	TE11007B			
				Transmisor e indicador	TIF11007B			
				Indicador	TI11007B			
				Relevador de substracción	TY11007			
				Controlador e indicador	TDIC11007			
				Convertidor I/P	TDY11007			
Válvula de control	TDV11007							
D11009	Nivel	Flujo de TEG a desasfaltenizador	10 % - 15 %	Transmisor	LT11009	FC	Retroalimentación	Directa
				Controlador e indicador	LIC11009			
				Convertidor I/P	LY11009			
				Válvula de control	LV11009			

#### 4.2.2.1 Control de diferencia de temperatura entre corrientes de gas y de TEG que entran a la torre contactora

Para prevenir la condensación de hidrocarburos dentro de la torre y subsecuente formación de espuma en el glicol es necesario que la corriente

de TEG que entra a la torre tenga una temperatura superior a la del gas entre 10 y 15 °F; para ello existe el lazo de control D11007 que conociendo la diferencia entre ambas temperaturas permite ajustar la temperatura del TEG que va hacia la contactora a través del desvío de la cantidad necesaria de esta corriente hacia un enfriador por aire.

La temperatura es medida en ambas corrientes por TE11007A y TE11007B estos valores llegan al relevador TY11007A que calcula la diferencia de temperatura y emite el resultado al controlador, el cual si la diferencia es mayor al punto de ajuste envía la señal correspondiente para que la válvula disminuya su porcentaje de apertura y sea desviado mayor flujo de TEG al enfriador E1103. En caso de ser menor la diferencia de temperatura entonces el controlador envía la señal para que ocurra la acción contraria y es enviado menor flujo de TEG hacia el enfriador.

La válvula de control para este lazo se encuentra configurada en falla cerrada (fail close), de esta manera al fallar el aire para instrumentos esta adoptara la posición de cerrada para que se desvíe todo el flujo de TEG hacia el enfriador aunque la diferencia de temperatura entre esta corriente y la de gas sea menor a la del rango establecido.

El lazo es de retroalimentación simple con acción indirecta, es decir que a medida de que el valor de la diferencia de temperatura entre las dos corrientes aumente ocurrirá una disminución en el porcentaje de apertura de la válvula para estabilizar en el punto de ajuste.

El controlador tiene asociadas alarmas por alta y baja diferencia de temperatura TAH11007 y TAL11007 y por muy alta y muy baja diferencia de temperatura TAHH11007 y TALL11007.

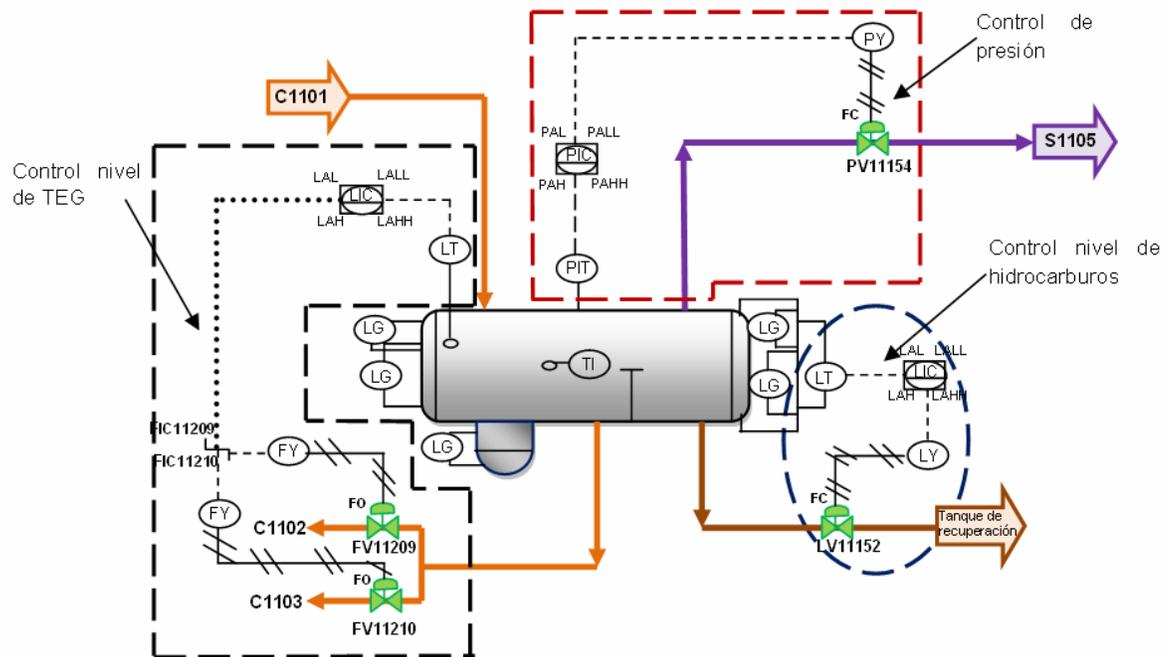
#### **4.2.2.2 Control de nivel de TEG en el fondo**

A medida que el glicol llega al fondo de la torre contactora se va generando un nivel de este y para evitar que el fondo de la torre quede seco y el gas se desvíe hacia la etapa de regeneración del TEG causando problemas de seguridad o que por exceso de nivel la absorción no sea efectiva, entonces se cuenta con el lazo de control de nivel D11009. Este es un lazo de retroalimentación que funciona de manera directa y mientras aumenta el valor de nivel que es medido y transmitido al controlador por LT11009 también lo hace el porcentaje de apertura de la válvula LV11009 para que sea enviado mayor flujo de TEG hacia el desasfaltenizador, logrando así que el valor de la variable se mantenga en su punto de ajuste.

El controlador cuenta con alarmas por bajo y muy bajo nivel LAL11009 y LALL11009 y por alto y muy alto nivel LAH11009 y LAHH11009 estas son activadas cuando la válvula no realiza la acción de cierre o apertura correspondiente y el nivel de líquido está, bien sea por debajo o por arriba del valor de set point predeterminado.

#### **4.2.3 Lazos de control asociados al desasfaltenizador**

Para lograr su operación continua, el desasfaltenizador cuenta con los lazos de control de nivel de TEG, nivel de hidrocarburos condensados y presión señalados en la figura 4.13; de esta manera se logra la disposición de cada una de las fases separadas. En cuanto a los elementos que conforman cada lazo y algunas de las características del control efectuado se pueden observar en la tabla 4.6.



Nota: Los elementos asociados a cada lazo tienen el número de TAG indicado para la válvula de control respectiva

**Figura 4.13. Lazos de control en desasfaltenizador.**

**Tabla 4.6. Características de los lazos de control asociados al desasfaltenizador.**

Nº de lazo	Variable controlada	Variable manipulada	Punto de ajuste	Elemento de lazo	TAG de elemento	Falla de válvula	Tipo de control	Acción del controlador
D11145	Nivel TEG	Flujo TEG hacia condensadores de reflujo	80 %	Transmisor	LT11145	FO	Cascada	Directa
				Controlador e indicador de nivel	LIC11145			
				Controlador e indicador de flujo	FIC11209			
				Controlador e indicador de flujo	FIC11210			
				Convertidor I/P	FY11209			
				Convertidor I/P	FY11210			
				Válvula de control	FV11209			
Válvula de control	FV11210							
D11152	Nivel hidrocarburos condensados	Flujo de hidrocarburos hacia drenaje	15 % - 30 %	Transmisor	LT11152	FC	Retroalimentación	Directa
				Controlador e indicador	LIC11152			
				Convertidor I/P	LY11152			
				Válvula de control	LV11152			
D11154	Presión del equipo	Flujo de gas	60 psig	Transmisor e indicador	PIT11154	FC	Retroalimentación	Directa
				Controlador e indicador	PIC11154			
				Convertido I/P	PY11154			
				Válvula de control	PV11154			

#### 4.2.3.1 Control de nivel en cámara de TEG

El desasfaltenizador está compuesto por dos cámaras o depósitos, uno para el TEG rico y otro para los hidrocarburos líquidos separados. Debido a que el punto de rebose para la fase de hidrocarburos dentro del separador está ubicado aproximadamente a un 80% del nivel del mismo es necesario controlar este para lograr una eficiente separación física de ambas fases.

El nivel de TEG en el desasfaltenizador es controlado a través del LIC11145, asociado en modo cascada a los controladores de flujo FIC11209

y FIC11210, para el control de flujo de glicol rico en el tope de las columnas regeneradoras que envían la señal correspondiente a los convertidores I/P para que sean accionadas las válvulas FV11209 y FV11210.

Para mantener el valor del nivel en la cámara de TEG el LIC11145 envía la señal correspondiente a los controladores de flujo, los cuales según este valor y el recibido por los transmisores del flujo circulante hacia los condensadores de reflujo deciden si la apertura de las válvulas de control aumenta para que así disminuya el nivel dentro de la cámara o si disminuye para que se produzca un aumento del mismo.

Tal como lo muestra la tabla 4.6 la acción de este control es directa, es decir que a medida que el nivel aumenta con respecto al punto de ajuste las válvulas también incrementan su porcentaje de apertura.

Al controlador de nivel se encuentran asociadas alarmas por bajo y muy bajo nivel LAL11145 y LALL11145, así como alarmas por alto y muy alto nivel LAH11145 y LAHH11145.

#### **4.2.3.2 Control de nivel en cámara de hidrocarburos**

A medida que la fase de hidrocarburos es separada del TEG a regenerar y se produce la acumulación de estos en la cámara destinada dentro del separador para ello, es necesario controlar el nivel contenido para evitar así que parte de estos hidrocarburos se desvíe con el TEG hacia la etapa de regeneración contaminando el sistema.

El transmisor de nivel capta el valor dentro del recipiente y lo envía al LIC11152; este debido a que actúa de manera directa entonces si el nivel es

mayor al punto de ajuste envía la señal correspondiente para que LV11152 aumente su apertura y circule mayor cantidad de hidrocarburos hacia el drenaje cerrado, mientras que si el nivel es menor al valor del punto de ajuste entonces el controlador responderá causando el efecto contrario en la válvula de control para que pueda ser alcanzado el nivel correspondiente.

Al controlador están asociadas alarmas en el panel de control por bajo LAL11152 y muy bajo nivel LALL11152 y por alto LAH11152 y muy alto nivel LAHH11152.

#### **4.2.3.3 Control de presión**

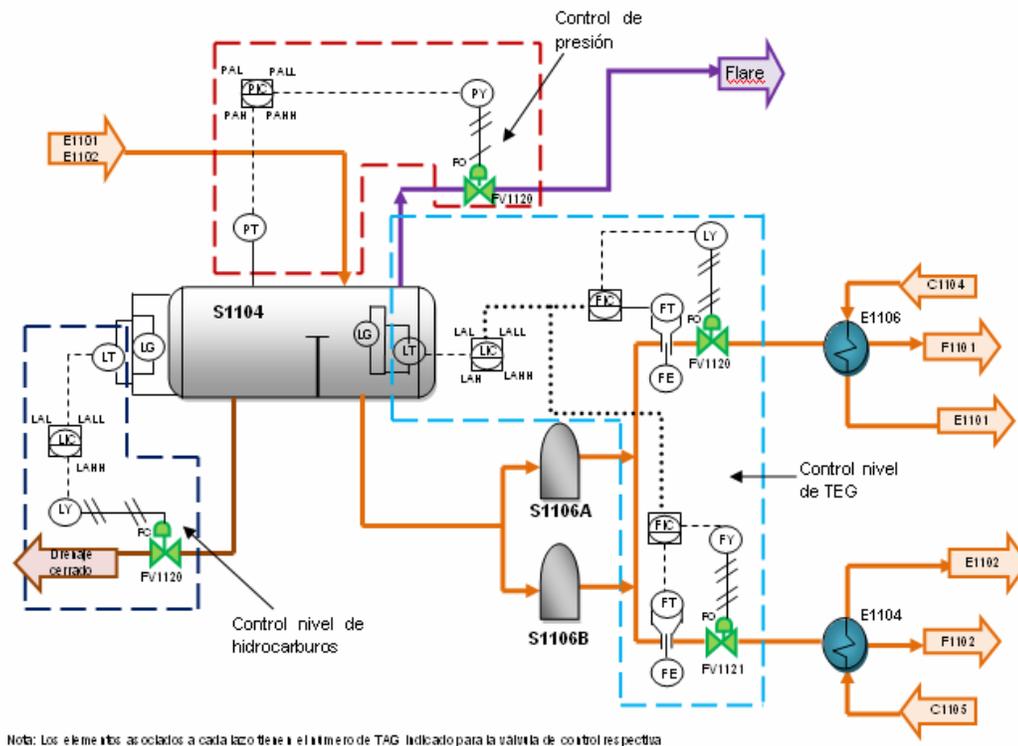
Para lograr que el TEG fluya hacia los condensadores de reflujo sin necesidad de bombeo, la presión que debe ser mantenida en el desasfaltenizador tiene que ser lo suficientemente alta para vencer las caídas de presión por la fricción de las tuberías y la diferencia de altura hasta los condensadores.

El controlador de presión dentro del separador es de acción directa ya que a medida que aumenta la presión ordena que la válvula de control aumente su porcentaje de apertura para así desalojar el flujo de gas necesario y mantener la variable en el punto de consiga y si la presión disminuye entonces la acción del controlador para con la válvula es la de disminuir su porcentaje de apertura.

Las alarmas PAL11154, PALL11154, PAH11154 y PAHH11154 son las responsables de señalar en sala de control la existencia de baja, muy baja, alta o muy alta presión respectivamente y permiten que el panelista tome la acción correctiva más adecuada.

#### 4.2.4 Lazos de control asociados al separador trifásico

Al igual que el desasfaltenizador, el separador trifásico maneja tres fases que deben ser dispuestas a destinos diferentes y cuyo contenido dentro del equipo debe ser desalojado continuamente. La figura 4.14 señala cada uno de los lazos de control presentes en el separador trifásico y así mismo en la tabla 4.7 se muestran cada uno de los elementos que constituyen estos lazos para el cumplimiento de su función de control.



**Figura 4.14. Lazos de control en separador trifásico**

**Tabla 4.7. Características de los lazos de control asociados al separador trifásico.**

Nº de lazo	Variable controlada	Variable manipulada	Punto de ajuste	Elemento de lazo	TAG de elemento	Falla de válvula	Tipo de control	Acción del controlador
D11201	Nivel hidrocarburos condensados	Flujo de hidrocarburos hacia drenaje	15 % - 30 %	Transmisor	LT11201	FC	Retroalimentación	Directa
				Controlador e indicador de nivel	LIC11201			
				Convertidor I/P	LY11201			
				Válvula de control	LV11201			
D11207	Presión del equipo	Flujo de gas	40 psig	Transmisor	PT11154	FO	Retroalimentación	Directa
				Controlador e indicador	PIC11154			
				Convertidor I/P	PY11154			
				Válvula de control	PV11154			
D11223	Nivel TEG	Flujo de TEG hacia hornos rehervidores	80 %	Transmisor e indicador	LT11223	FO	Cascada	Directa
				Controlador e indicador	LIC11223			
				Convertidor I/P	FIC11203			
				Válvula de control	FIC11216			
				Convertidor I/P	FY11203			
				Convertidor I/P	FY11216			
				Válvula de control	FV11203			
				Válvula de control	FV11216			

#### **4.2.4.1 Control de nivel en cámara de hidrocarburos**

La principal función del separador trifásico es lograr un TEG mucho más limpio al obtenido en el desasfaltenizador, removiendo los hidrocarburos y gas aun presentes. El separador posee un punto de rebose al 80% del nivel que permite a los hidrocarburos separados dentro pasen a otra cámara y sean enviados hacia el drenaje cerrado de la planta.

Para evitar que parte del TEG se desvíe al drenaje, es necesario impedir que el nivel de condensados alcance el punto de rebose; de la misma manera para evitar que parte del gas separado se escape al sistema de regeneración, se debe mantener un nivel no muy bajo.

A través de la válvula FV11201 se logra controlar el nivel en la cámara de hidrocarburos; el LT11201 percibe el valor de nivel de esta cámara y lo envía al LIC11201, el cual según la magnitud de la desviación, envía la orden de cierre o apertura a la válvula de control a través de una señal eléctrica. El LY11201 permite que la señal eléctrica enviada por el controlador sea convertida a una señal neumática que accione la válvula.

En sala de control se encuentran alarmas por bajo y muy bajo nivel LAL11201 y LALL11201, así como por alto y muy alto nivel LAH11201 y LAHH11201 asociadas al controlador.

#### **4.2.4.2 Control de presión**

La acumulación del gas separado dentro del equipo origina un aumento de presión en el recipiente. Para desalojar el gas acumulado y mantener la presión dentro del separador, esta se controla a través del controlador

PIC11207 que trabaja con acción directa. El flujo de la corriente de gas que sale por el tope hacia el venteo del COM.

Asociado al controlador existen alarmas por baja y muy baja presión PAL11207 y PALL11207 y por alta y muy alta presión PAH11207 y PAHH11207.

#### **4.2.4.3 Control de nivel en cámara de TEG**

El controlador de nivel de TEG LIC11223 está asociado en modo cascada a los controles de flujo FIC11203 y FIC11216. A medida que el nivel aumenta o disminuye, los controladores LIC11223, FIC11203 y FIC11216 trabajan en conjunto para que el nivel sea mantenido dentro del separador y a la vez fluya la cantidad de TEG necesario al sistema de regeneración. Los controladores reciben el valor de nivel y flujo respectivo y a medida que aumenta o disminuye el nivel las válvulas FV11203 y FV11216, aumentan o disminuyen su apertura equilibrando a la vez con la señal de flujo que reciben los controladores de flujo por parte de los FT11203 y FT11216.

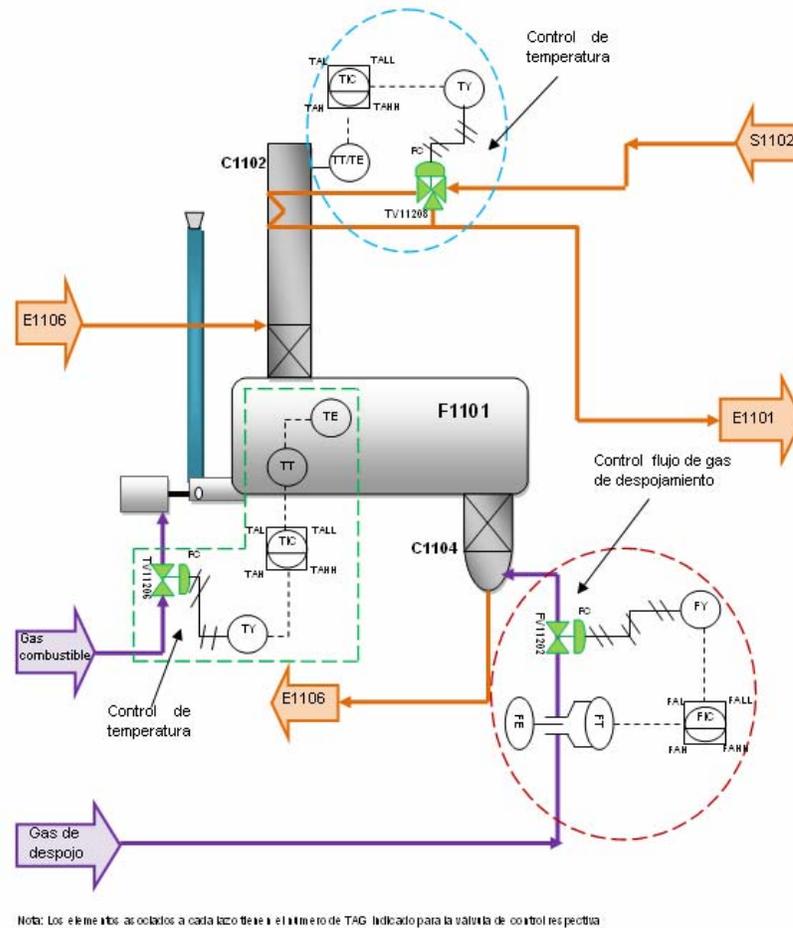
Al controlador de nivel están asociadas en sala de control alarmas por bajo y muy bajo nivel LAL11223 y LALL11223 y alarmas por alto y muy alto nivel LAH11223 y LAHH11223 que permiten conocer en sala de control la ocurrencia de alguna de estas situaciones y tomar la acción correctiva correspondiente.

#### **4.2.5 Lazos de control asociados al sistema de regeneración del TEG rico**

Cada tren cuenta con dos sistemas de regeneración constituido por horno rehervidor-torre regeneradora-columna de despojo cuya filosofía de

control es idéntica en vista de esto se realizara la descripción filosófica refiriéndose al sistema F1101-C1102-C1104.

Tal como lo señala la figura 4.15 el sistema de regeneración de TEG cuenta con los lazos de control de temperatura en el tope de la torre regeneradora, control de temperatura en el horno rehervidor y control del flujo de gas de despojamiento. De esta manera se logra el ajuste necesario de las variables para obtener el TEG pobre bajo la especificación de pureza.



**Figura 4.15. Lazos de control en sistema de regeneración.**

Algunas características de los lazos de control asociados a la etapa de regeneración así como los elementos que permiten la acción de estos son indicadas en la tabla 4.8.

**Tabla 4.8. Características de los lazos de control asociados a la etapa de regeneración.**

Nº de lazo	Variable controlada	Variable manipulada	Punto de ajuste	Elemento de lazo	TAG de elemento	Falla de válvula	Tipo de control	Acción del controlador
D11202	Flujo gas seco	Flujo gas seco	2 MPCEH - 10 MPCEH	Elemento primario	FE11202	FC	Retroalimentación	Indirecta
				Transmisor	FT11202			
				Controlador e indicador	FIC11202			
				Convertidor I/P	FY11202			
				Válvula de control	FV11202			
D11206	Temperatura horno rehedidor	Flujo gas combustible	370 °F - 380 °F	Elemento primario	TE11206	FC	Retroalimentación	Indirecta
				Transmisor	TT11206			
				Controlador e indicador	TIC11206			
				Convertidor I/P	TY11206			
				Válvula de control	TV11206			
D11208	Temperatura tope columna regeneradora	Flujo de TEG	215 °F	Transmisor/ elemento primario	TT/TE11208	FC	Retroalimentación	Directa
				Controlador e indicador	TIC11208			
				Convertidor I/P	TY11208			
				Válvula de control	TV11208			

#### 4.2.5.1 Control de flujo de gas de despojamiento a columna de despojo

Para obtener la mayor concentración en el TEG que por rebose pasa del horno rehedidor a la columna despojadora se cuenta con un control de flujo mediante el cual se mide y regula el caudal de gas de despojamiento que hace contacto con el TEG descendente.

El flujo de gas de despojamiento es medido a través de FE11202 y el FT11202 que envía el valor del flujo al FIC11202, el cual actúa en forma indirecta o inversa manteniendo el punto de ajuste al enviar la señal correspondiente para la apertura de la válvula FV11202 si la desviación con respecto a este es por debajo, o el cierre si la desviación es por arriba del punto de ajuste.

#### **4.2.5.2 Control de temperatura en horno rehervidor**

La temperatura dentro del horno rehervidor es una variable de suma importancia para lograr una eficiente regeneración y evitar a la vez la descomposición térmica del TEG.

A través del TE11206 es medida la temperatura en el horno rehervidor y enviado este valor al TT11206 para luego ser transmitido al TIC11206 que indica en sala de control el valor de temperatura y debido a su acción indirecta envía una señal eléctrica, transformada posteriormente a neumática por el TY11206 para abrir o cerrar la válvula TV11206; de esta manera si la temperatura es mayor a la determinada en el punto de ajuste la válvula disminuirá el paso del flujo de gas combustible y si la temperatura es menor entonces ocurrirá la acción contraria y el flujo de gas combustible aumentara para que también aumente la temperatura dentro del horno.

Asociado a este control se encuentran alarmas por alta y muy alta temperatura TAH11206 y TAHH11206, así como por baja y muy baja temperatura TAL11206 y TALL11206.

#### **4.5.2.3 Control de temperatura en el tope de la columna regeneradora**

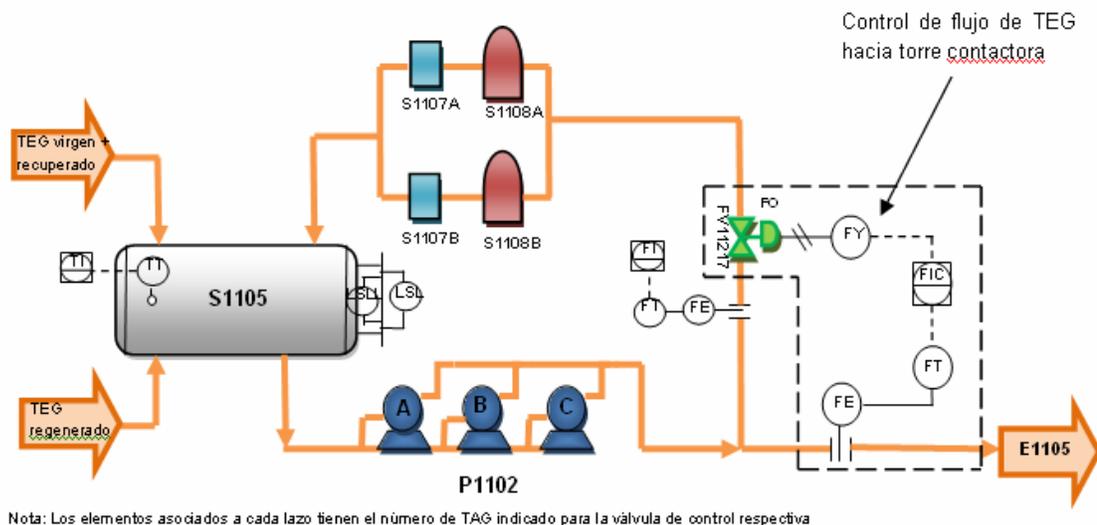
Para mantener una temperatura adecuada en el tope de la columna regeneradora de TEG y evitar las pérdidas del mismo junto con el vapor de agua, entonces se regula el flujo de la corriente de TEG rico que circula por el serpentín de enfriamiento a través de la válvula de control de tres vías TV11208.

La temperatura es medida y transmitida por TT/TE11208 al TIC11208 y este por su acción directa, si la temperatura es mayor a la del punto de ajuste establecido entonces envía una señal eléctrica que será transformada luego a neumática por TY11208 para que la válvula de control TV11208 aumente su porcentaje de apertura y permita el desvío de mayor cantidad del TEG rico hacia los intercambiadores de calor glicol rico-glicol pobre. Si la temperatura es menor a la del punto de ajuste entonces el porcentaje de apertura de la válvula disminuye y menor flujo de TEG pasa por el serpentín permitiendo el vapor de agua sea separado del TEG en regeneración.

Asociado a este lazo se encuentran alarmas en sala de control por alta y muy alta temperatura TAH11208 y TAHH11208, así como por baja y muy baja temperatura TAL11208 y TALL11208, que alertan ante cualquier situación anormal para que sea ejecutada la acción más conveniente.

#### **4.2.6 Control de flujo de TEG pobre hacia la torre contactora**

Para regular el flujo de TEG pobre que va hacia la torre contactora el tren A cuenta con el lazo de control D11217 tal como lo señala la figura 4.16; este lazo controla el flujo a la descarga de las bombas de glicol.



**Figura 4.16. Lazo de control de flujo hacia torre contactora.**

Cada uno de los elementos que constituyen el lazo de control D11217 así como algunas de sus características están representados en la tabla 4.9.

**Tabla 4.9. Características del lazo de control de flujo de TEG hacia la torre contactora.**

Nº de lazo	VARIABLE controlada	VARIABLE manipulada	Punto de ajuste	Elemento de lazo	TAG de elemento	Falla de válvula	Tipo de control	Acción del controlador
D11217	Flujo de TEG a torre contactora	Flujo de TEG a filtros de elementos	20 gpm - 50 gpm	Placa orificio	FE11217	FO	Retroalimentación	Directa
				Transmisor	FT11217			
				Controlador e indicador	FIC11217			
				Convertidor I/P	FY11217			
				Válvula de control	FV11217			

Debido a que la bomba operativa (P1102/A/B/C) tiene capacidad de descargar 90 gpm y según el flujo de gas a deshidratar y la tasa de

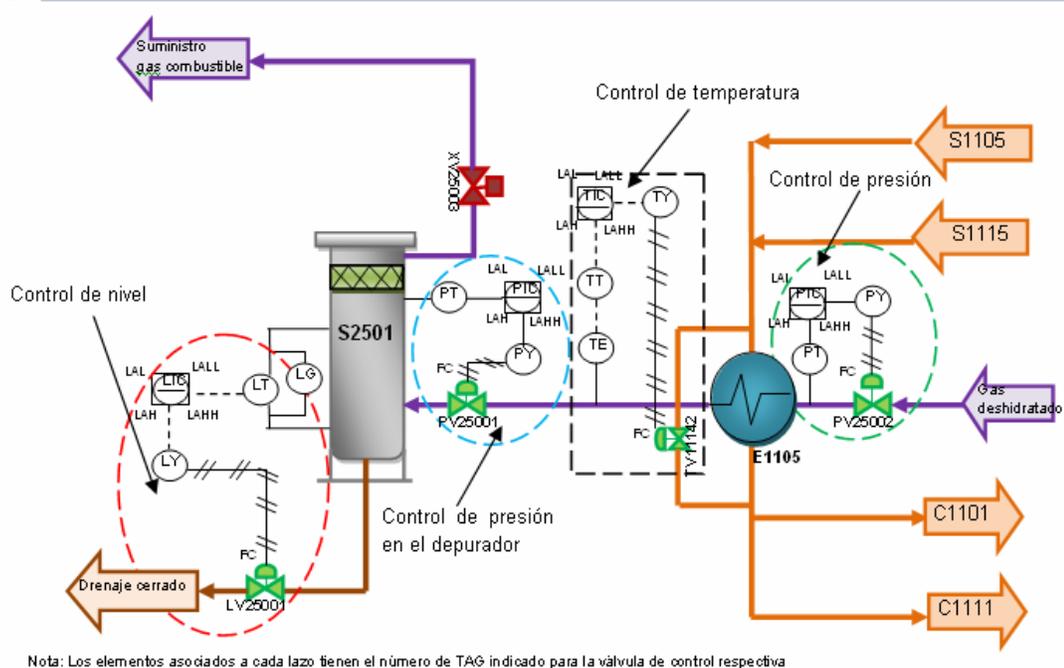
circulación de TEG/ lb H<sub>2</sub>O removida la cantidad de glicol a circular hacia la torre contactora no precisamente corresponde a este flujo, entonces el lazo de control D11217 es el encargado de desviar la cantidad de TEG excedente hacia los filtros de carbón y elementos para que así sea limpiado de los posibles contaminantes aun presentes y a la vez recirculado hacia el acumulador S1105.

El FE11217 mide el flujo de TEG que circula hacia la torre contactora y el valor es transmitido hacia el FIC11217 que por su acción directa, si la cantidad de TEG pobre que va a la contactora es mayor que la establecida en el punto de ajuste, entonces envía la señal correspondiente para que la válvula de control FV11217 aumente su apertura y sea desviado mayor flujo hacia los filtros; sin embargo si es necesario aumentar el flujo que circula por FE11217 entonces el controlador ordena que disminuya la apertura de la válvula y así la cantidad de TEG hacia la contactora aumenta.

El punto de ajuste señalado por la tabla 4.9 es de 20 a 50gpm, según lo que normalmente se maneja en la planta, pero este rango en realidad no es veraz ya que no se cuenta con una tasa de circulación fija.

#### **4.2.7 Lazos de control del sistema de gas combustible de la planta**

Para el sistema de gas combustible de la planta también se cuenta con los controles necesarios para que las condiciones del gas combustible y gas de despojamiento a emplearse presenten las condiciones adecuadas. La figura 4.17 muestra el depurador y el intercambiador de calor que conforman el sistema de gas combustible junto con los lazos de control presentes, así mismo la tabla 4.10 indica algunas características de los lazos y los elementos que los integran.



**Figura 4.17. Lazos de control asociados al sistema de gas combustible.**

#### 4.2.7.1 Control de presión del gas que entra al intercambiador de calor glicol-gas combustible

El gas dispuesto para ser usado en el servicio de gas combustible es tomado de la corriente de gas deshidratado a 1.200 psig de presión aproximadamente, por ello a pesar de ser disminuida previamente esta presión con un conjunto de válvulas y accesorios es necesario controlar esta variable a la entrada del intercambiador de calor glicol regenerado/gas combustible.

La presión es medida a la entrada del intercambiador por PT25002, el cual envía este valor al PIC25002 que actúa de manera indirecta y a medida que la presión aumenta desviándose del punto de ajuste, el controlador ordena que el porcentaje de apertura de la válvula de control disminuya para

que así también lo haga la presión en el intercambiador, mientras que si la presión se desvía por debajo del punto de ajuste entonces el controlador ordena que aumente el flujo del gas a la entrada del intercambiador. De esta manera se logra que la presión de la corriente de gas al sistema de gas combustible sea la adecuada para evitar problemas de seguridad operacional.

El controlador tiene asociadas alarmas por alta y muy alta presión PAH25002 y PAHH25002 y por baja y muy baja presión PAL25002 y PALL25002.

**Tabla 4.10. Características de los lazos de control asociados al sistema gas combustible.**

Nº de lazo	Variable controlada	Variable manipulada	Punto de ajuste	Elemento de lazo	TAG de elemento	Falla de válvula	Tipo de control	Acción del controlador
D11142	Temperatura gas hacia depurador	Flujo TEG regenerado	125 °F	Termocupla	TE11142	FC	Retroalimentación	Directa
				Transmisor e indicador	TIT11142			
				Controlador e indicador	TIC11142			
				Convertidor I/P	TY11142			
				Válvula de control	TV11142			
D-P25001	Presión depurador	Flujo de gas	70 psig - 80 psig	Transmisor	PT25001	FC	Retroalimentación	Indirecta
				Controlador e indicador	PIC25001			
				Convertidor I/P	PY25001			
				Válvula de control	PV25001			
D-L25001	Nivel	Flujo hacia drenaje	10 % - 15 %	Transmisor	LT25001	FC	Retroalimentación	Directa
				Controlador e indicador	LIC25001			
				Convertidor I/P	LY25001			
				Válvula de control	LV25001			
D-25002	Presión depurador	Flujo de gas hacia intercambiador	280 psig	Transmisor	PT25002	FC	Retroalimentación	Indirecta
				Controlador e indicador	PIC25002			
				Convertidor I/P	PY25002			
				Válvula de control	PV25002			

#### **4.2.7.2 Control temperatura del gas que va hacia depurador de gas combustible**

Para lograr la condición de temperatura en el gas destinado hacia el depurador se utiliza el lazo de control D11142; este actúa sobre el flujo de glicol caliente proveniente de la etapa de regeneración, siendo la temperatura es medida por TE11142 y controlada por el TIC11142 que propicia la regulación del TEG caliente a través de TV11142 para que ocurra el acondicionamiento tanto de la corriente de gas que va hacia al depurador como la del mismo glicol que va hacia la contactora.

A medida que la temperatura del gas aumenta o disminuye la acción directa del controlador hace que el porcentaje de apertura de la válvula de control también aumente o disminuya para que así el flujo de TEG que intercambie calor con el gas sea mayor o menor originando a la vez que la temperatura del gas sea la correspondiente al punto de ajuste designado.

El controlador tiene asociadas alarmas por alta y muy alta temperatura TAH11142 y TAHH11142 y por baja y muy baja temperatura TAL11142 y TALL11142.

#### **4.2.7.3 Control de presión dentro del depurador**

La presión dentro del depurador debe mantenerse para la operación segura del mismo, el lazo de control D-P25001, controla esta a través de la corriente de gas que entra al separador.

A medida que la presión dentro del equipo aumenta el controlador como actúa de manera indirecta, enviando la señal correspondiente para que

PV25001 restringe la entrada de gas y si la presión disminuye el controlador ordena que la válvula accione de manera contraria, es decir aumente el flujo de gas hacia el depurador.

Asociado a este control se encuentran alarmas por alta y muy alta presión, así como por baja y muy baja presión que advierten de la situación para que sea tomada la acción correctiva correspondiente.

#### **4.2.7.4 Control nivel en el depurador**

La función principal del depurador es separar del gas destinado al funcionamiento de los hornos rehervidores y a la desorción en las columnas de despojo, los posibles líquidos contenidos para garantizar un gas lo más seco posible.

Debido a la acción separadora originada es necesario contar con un control de nivel que permita el drenaje de los líquidos separados y el sistema funcione continuamente.

A través del lazo de control D-L25001 se controla el nivel dentro del separador evitando que este sea muy alto para que no exista arrastre de líquidos por parte del gas o que sea muy bajo para que no exista desvío del gas hacia el sistema de drenaje.

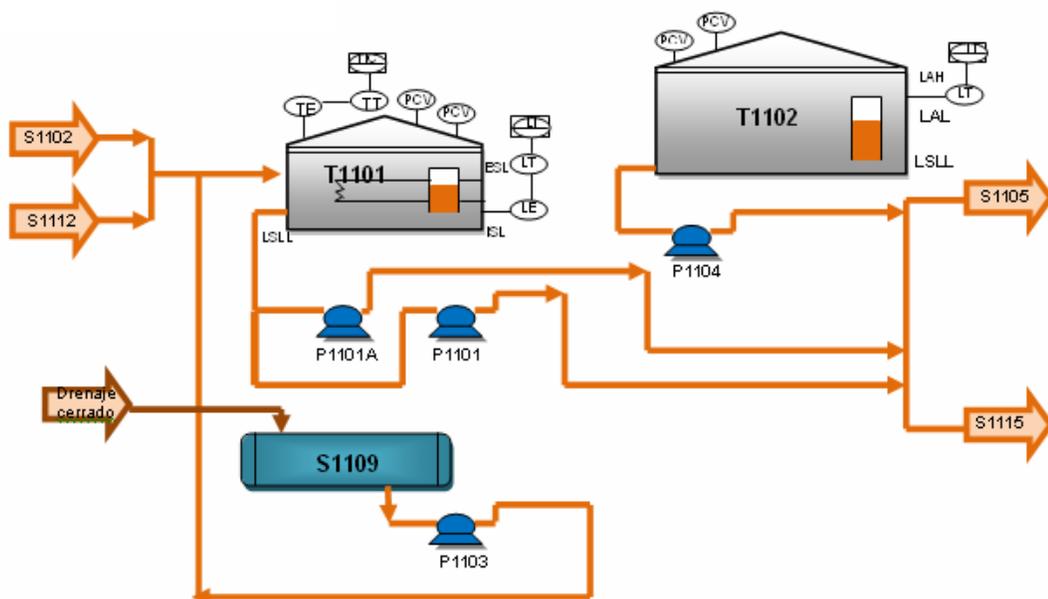
El LT25001 mide y transmite hacia el controlador LIC25001 el valor de nivel dentro del depurador; como el controlador actúa de manera directa si el nivel en el separador es menor al punto de ajuste entonces es enviada una señal eléctrica que luego se transforma a neumática por el LY25001 para que el elemento final de control LV25001 disminuya su porcentaje de

apertura y así aumente el nivel, mientras que si sucede lo contrario y el nivel es mayor al punto de ajuste establecido, ocurrirá que la válvula abrirá para que sea desalojado mayor flujo hacia el drenaje.

Cuando el nivel excede el valor de set point son accionadas en sala de control alarmas por bajo, muy bajo, alto o muy alto nivel.

#### 4.2.8 Control de nivel en tanques de recuperación y de almacenamiento de TEG

Los tanques de almacenamiento de glicol virgen T1102 y de recuperación T1101 como se muestra en la figura 4.18, cuentan con ciertos instrumentos que permiten el monitoreo desde sala de control de algunas de las condiciones dentro del tanque para tomar luego las acciones necesarias.



**Figura 4.18. Control de nivel en tanques de recuperación y de almacenamiento de TEG.**

Para efectos de reposición de TEG se dispone del tanque de almacenamiento de glicol virgen T1102, que cuenta en sala de control, con alarmas por alto y bajo nivel de líquidos asociadas al LI11138. Adicionalmente, el tanque cuenta con un interruptor por muy bajo nivel, LSLL11135, el cual al activarse envía una señal de alarma a sala de control y una señal de parada a la bomba de suministro de TEG (P1104).

En el techo del tanque se conecta un sistema de inertización con gas combustible para evitar la oxidación del TEG al ponerse en contacto con el oxígeno del aire. Este sistema consta de dos válvulas autoregulatoras de presión, una admite gas combustible PCV-11133, para mantener la presión como consecuencia del descenso de nivel en el tanque y otra PCV-11134, permite el escape de gas a la atmósfera para liberar el exceso de presión por aumento del nivel de líquido.

El tanque de recuperación de TEG T1101, hacia el cual son enviados los líquidos (asfáltenos) provenientes de los desasfaltenizadores S1102 y S1112, posee en el fondo dos serpentines eléctricos para mantener la temperatura a 135 °F; estos serpentines disponen de un interruptor por baja densidad de corriente ISL-111699 el cual activa una alarma correspondiente en sala de control y otro por falla eléctrica, ESL-11169. En los serpentines existen alarmas por alta y baja temperatura asociadas al indicador de temperatura TI111688. El nivel de líquido en el tanque es indicado en sala de control a través del LI11165, el cual además tiene asociadas alarmas por alto y bajo nivel de líquido, además cuenta con un interruptor por muy bajo nivel de líquidos LSLL1164; al activarse suena una alarma en sala de control enviando una señal de parada de bombas de recuperación de TEG P1101 A/B.

Al acumularse cierta cantidad de líquido en el tanque y de acuerdo a las características del fluido, este es enviado a los acumuladores de glicol del tren 1 o 2 (S-1105 ó S-1115) o enviado de retorno a los desasfaltenizadores S-1102 ó S-1112, otra opción es el envío al cabezal de drenaje cerrado.

Las bombas P-1101 A/B poseen interruptores para parada y arranque en sala de control (HS-11164 A/B) y parada en campo (HS-11164 A/B). Estas bombas son comunes para ambos trenes.

Igual que para el tanque T1102, el tanque de recuperación de TEG cuenta con un sistema de inertización con gas combustible seco que consta de dos válvulas autoregadoras, PCV-11167 para la admisión de gas y la PCV-11168 que permite el escape del gas a la atmósfera por exceso de presión como consecuencia del aumento de nivel de líquido en el tanque.

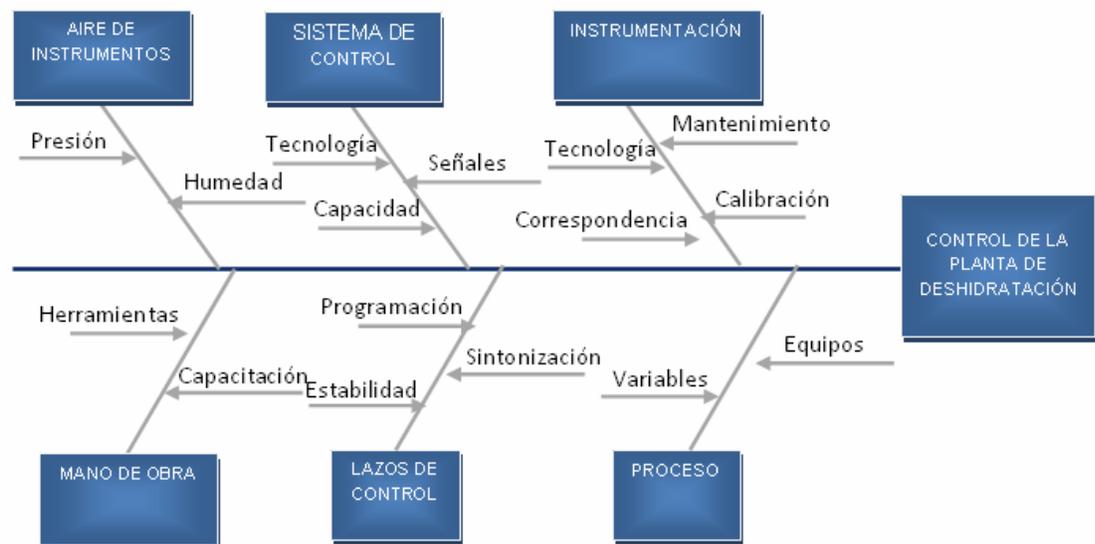
#### **4.3 Análisis de los factores que inciden en la operación del control de la planta de deshidratación de PIGAP I**

A través de la lluvia de ideas realizada por el equipo natural de trabajo, se obtuvo el diagrama causa-efecto de la figura 4.19, donde se señala en el bloque del lado derecho el control de la planta de deshidratación como motivo de estudio y las causas principales que influyen en el manejo y ejecución de esta se representan en los bloques del lado izquierdo, con la señalización de las causas secundarias debajo de cada causa principal.

De acuerdo a este diagrama las causas principales que pueden tener influencia en el desarrollo de la filosofía de control son: el funcionamiento y manejo del proceso, la instrumentación empleada en el control de cada variable, el sistema de control, el manejo de los lazos de control, las

condiciones del aire de instrumentos y las capacidades y herramientas con que cuenta el personal que labora en la planta para el desarrollo de sus actividades.

De esta manera cada una de las causas señaladas fue analizada para conocer su estado actual y los posibles efectos que ocasionan en el desempeño del control de la planta.



**Figura 4.19. Diagrama análisis causa-efecto de la filosofía de control.**

#### 4.3.1 Aire de instrumentos

El aire de instrumentos constituye un elemento fundamental en el funcionamiento de los lazos de control debido a que este es empleado para el accionar las válvulas de control, las cuales operan recibiendo señal neumática entre 3 a 15 psig proveniente de los relés o convertidores de

señal I/P, por lo cual se debe contar con ciertas condiciones para resguardar la integridad de estos instrumentos.

#### **4.3.1.1 Presión de descarga**

La presión debe estar en un valor comprendido entre 100 y 130 psig aproximadamente, para que el aire pueda efectuar su función en el accionamiento de las válvulas de control.

El complejo Muscar cuenta actualmente con compresores reciprocantes que elevan la presión del aire tomado del ambiente hasta 120 psig, es decir que el aire en cuanto a presión, se encuentra dentro de la especificación necesaria para ser empleado como aire de instrumentos.

#### **4.3.1.2 Humedad**

Debido a la estructura de los convertidores I/P y de las válvulas de control es necesario que el aire para instrumentos presente el menor contenido de humedad posible, para evitar daño por corrosión o en circuitos eléctricos de los instrumentos ya mencionados. Para algunos de los convertidores I/P localizados en la planta, los manuales de estos señalan que el punto de rocío del aire no debe ser mayor a 30 °F y según lo establecido en la norma ISO8573-1, el punto de rocío del aire para instrumentos a una presión de 100 psig debe ser de -40 °F.

El COM en su sistema de acondicionamiento del aire para instrumentos cuenta con dos equipos de secado, una secadora de sílica gel y un secador eléctrico, ambos actualmente se encuentran fuera de servicio. Esta condición

ha ocasionado en algunas oportunidades la avería de instrumentos, principalmente de convertidores I/P.

La ocurrencia de averías por causa de la humedad en el aire de instrumentos representa reparaciones o sustituciones de los mismos, ocasionando a la vez tiempo de inactividad en el proceso y retrasos en la producción, así como costos por las medidas correctivas tomadas, ya que cada vez que se debe realizar la reparación o sustitución de algún instrumento el proceso sufre las consecuencias ya mencionadas.

#### **4.3.2 Mano de obra**

La mano de obra involucrada en el manejo del sistema de control de la planta se encuentra conformada básicamente por los panelistas que monitorean y controlan desde sala de control el proceso, los operadores de campo quienes desde planta se encargan de ejecutar las acciones correspondientes cuando los lazos de control están configurados en el modo manual, e instrumentistas que realizan las acciones de mantenimiento correspondientes a los instrumentos de lazo instalados en la planta.

Para el cumplimiento de sus labores y por ende de su intervención en el control de la planta es necesario que el personal que influye en el desempeño del control de la planta cuente con las herramientas adecuadas y con la capacidad para responder efectivamente al desempeño de sus funciones.

##### **4.3.2.1 Herramientas**

En cuanto a las herramientas con las que cuenta el personal que integra el equipo de panelistas, operadores e instrumentistas se tiene que:

- Panelistas

Los panelistas son principalmente los encargados de vigilar la ocurrencia de perturbaciones en el proceso y tomar las acciones correctivas necesarias para que este vuelva a su estado inicial, evitando que el proceso se desvíe de las condiciones establecidas para su efectivo funcionamiento.

Para cumplir con su labor de monitoreo los panelistas cuentan actualmente con un nuevo sistema de control distribuido, que está diseñado para trabajadores que constantemente están monitoreando y controlando el proceso, a través de nuevas consolas (figura B.5) del tipo ES-F (Experion State Flex), que proporcionan alarmas, eventos, tendencias y configuración de lazos, entre otras características para que el panelista evite incidentes y responda inteligentemente ante cualquier situación.

- Operadores

Los operadores cumplen principalmente la función de vigilar desde campo el comportamiento del proceso, comprobar mediante los instrumentos locales la información que llega a sala de control y ejecutar aquellas acciones sobre la operación de la planta que por alguna razón no puedan realizar los panelistas desde sala de control; para ello sus principales herramientas son los elementos de medición primaria ubicados en planta tales como manómetros, termómetros, visores de nivel, indicadores de diferencial de presión y válvulas manuales.

Durante los recorridos efectuados por planta se pudo observar la desconexión de indicadores de diferencial de presión de equipos, tales como las columnas despojadoras y torre contactora, así como la avería de algunos termómetros de los intercambiadores de calor glicol/glicol, entre otros; lo cual impide que pueda ser monitoreado desde campo el valor de estas variables y de la misma manera el cumplimiento de forma eficiente de las funciones del personal. Así mismo es importante señalar que se deben realizar los debidos mantenimientos a las válvulas manuales para su buen funcionamiento al momento de ser empleadas.

- Instrumentistas

La principal función de los instrumentistas es mantener en las mejores condiciones el funcionamiento de los instrumentos que integran el sistema de control de la planta, a través de las acciones de mantenimiento preventivo y correctivo necesarias. Una de las acciones realizadas con frecuencia y de importancia para que los instrumentos arrojen lecturas lo más próximas al valor real de la variable medida es la calibración, para la realización de esta el equipo de instrumentistas del COM que atiende las necesidades de la planta de deshidratación cuenta con los siguientes equipos:

- ✓ Análogos:

- Maleta de calibración peso muerto

- Bombas mecánicas

- ✓ Calibración inteligente:

- Multifuncional calibrador Mc5p

- Protocolo de comunicación Hart

Multifuncional calibrador Flume 744

Calibrador AMETEX MACAL

Maleta de calibración multifuncional AMETEX

De acuerdo a la opinión del personal que integra el equipo de instrumentistas de la planta, estas herramientas empleadas para calibrar los instrumentos localizados en el sistema de deshidratación, brindan confort al momento de realizar la operación y están en buen estado.

#### **4.3.2.2 Capacitación**

Para la adecuada ejecución y cumplimiento de sus labores, además de contar con las herramientas necesarias, también es indispensable que el personal posea la capacidad para usar dichas herramientas; en el caso de los panelistas estos están experimentando una transición del uso del sistema de control distribuido TDC3000 al sistema Experion PKS, que incluye variaciones en cuanto a las aplicaciones de la versión pasada y para lo cual el personal de esta área no cuenta con el adiestramiento previo respectivo, sino que conforme ha ocurrido la migración de las señales correspondientes a los lazos de control han ido adaptándose de forma empírica al funcionamiento de este nuevo sistema.

Por otra parte también es necesario que el equipo de instrumentistas cuente con los conocimientos correspondientes para el adecuado uso de las herramientas dispuestas para la aplicación de la calibración de los instrumentos. Durante el análisis no fue posible conocer información en cuanto a las especificaciones de los adiestramientos para el personal de instrumentación en cuanto a su area de desempeño.

Con respecto al personal de operaciones que interactúa día a día en planta con el proceso y el comportamiento de sus variables, no se encontraron registros recientes en cuanto a adiestramientos relacionados con el área del proceso y el significado para el mismo de cada una de las variables involucradas, lo cual implica una deficiencia a la hora del desarrollo de sus labores, ya que el tener a su disposición los conocimientos necesarios les permite ampliar el abanico de opciones en la toma de decisiones cuando cumplen con su trabajo.

#### **4.3.3 Sistema de control**

El control de la planta es llevado a cabo a través del sistema de control distribuido, que tiene la capacidad de adquirir, mostrar y controlar la información proveniente de la instrumentación ubicada en campo.

##### **4.3.3.2 Tecnología**

En cuanto a la tecnología esta es facilitada por la empresa Honeywell (líder a nivel mundial) y está siendo actualizado el sistema de control TDC3000 a Experion PKS cuya arquitectura se muestra en la figura B.6. El sistema es robusto con alta disponibilidad y facilidad de redundancia en los controladores.

##### **4.3.3.3 Capacidad**

El sistema de control cuenta con la capacidad suficiente para recibir y manejar la información correspondiente a cada uno de los lazos de control de la planta de deshidratación, así como la proveniente de los sistemas que integran el COM. Este está constituido por una red supervisora local

denominada “local control network” (LCN) y posee dos redes “universal control network” (UCN) con dos controladores “high performance process manager” (HPM) redundantes y un fail safe controller-FSC.

#### **4.3.3.4 Señales**

Las señales que maneja el sistema de control distribuido, como es característico de este tipo de sistemas, son transmitidas a través de cables subterráneos desde planta hasta la sala de control del COM.

#### **4.3.4 Lazos de control**

Parte fundamental en el curso del control de la planta es el desempeño de cada uno de los lazos de control que la integran, por ello es fundamental conocer cuál es el funcionamiento actual de estos.

En vista de que ambos trenes cuentan con la misma filosofía de control y por ello existen varios pares de lazos que se emplean de la misma manera, se tomaron en cuenta los criterios de importancia del lazo de control para el funcionamiento del proceso y frecuencia de fallas, para realizar en los mismos el análisis de los parámetros de programación, estabilidad y sintonización.

Los lazos tomados como muestra para someterse al análisis de causa-efecto son los siguientes:

##### **4.3.4.1 Control de nivel en la torre contactora D11009**

Tanto en este como en el resto de los lazos analizados se tomaron en cuenta los parámetros de programación, estabilidad y sintonización.

- Programación

Este lazo normalmente se encontraba configurado de forma manual, es decir que el controlador en el sistema estaba inactivado y es el panelista quien designa el porcentaje de apertura en la válvula en cualquier momento según el desarrollo del proceso. Esto se debe principalmente a que el lazo presentaba problemas al momento de mantener el nivel de la torre contactora, lo cual es su principal función y a la reacción del controlador de comandar a cerrar la válvula de control para lograr estabilizar el nivel en caso de estar en modo automático, ocasionando problemas aguas abajo del proceso al disminuir el paso del TEG a la continuidad del sistema por la misma irregularidad del nivel.

El controlador de este lazo es del tipo PID y para mantener la variable dentro del punto de ajuste (SP) trabaja con la siguiente ecuación:

$$CV = K \times L^{-1} \left[ \left( 1 + \frac{1}{T1s} + \frac{T2s}{1+a+T2s} \right) \times (PVPs - SPs) \right] \quad (\text{Ec.4.1})$$

donde:

CV= salida del controlador PID (%)

K= constante de ganancia proporcional (adimensional)

$L^{-1}$  = inversa de la transformada de Laplace

PV= valor de la variable controlada (en las unidades de la variable)

PVP= Porcentaje de la variable controlada

a = 1/16 de la tasa fija de amplitud

s =operador de Laplace

SP= valor de *set point* o punto de ajuste

SPP= valor de punto de ajuste en porcentaje

T1= constante de tiempo integral (minutos)

T2= constante de tiempo derivativo (minutos)

Esta ecuación está representada en el sistema de control como la ecuación A y de acuerdo a ella los tres parámetros característicos del controlador (proporcional, integral y derivativo) actúan sobre el error que está definido como se observa por la diferencia entre el valor en porcentaje de la variable controlada y el valor del punto de ajuste, multiplicados por el operador de Laplace.

Según la opción de “sintonía de lazo”, los valores de la constante proporcional, integral y derivativa son los siguientes:  $K= 30,00$ ,  $T1 = 6,25$  y  $T2=0,00$

Los valores señalados para cada una de las constantes indican que el controlador a pesar de estar trabajando con la ecuación 4.1, que implica la intervención de las tres acciones características, solo tiene valores para la acción proporcional e integral, siendo ambas relativamente grandes lo que implica que el controlador tiene una respuesta ante el error en estado estacionario relativamente grande y la acción proporcional actúa ante las desviaciones en el tiempo de la variable controlada o variable del proceso con respecto al punto de ajuste.

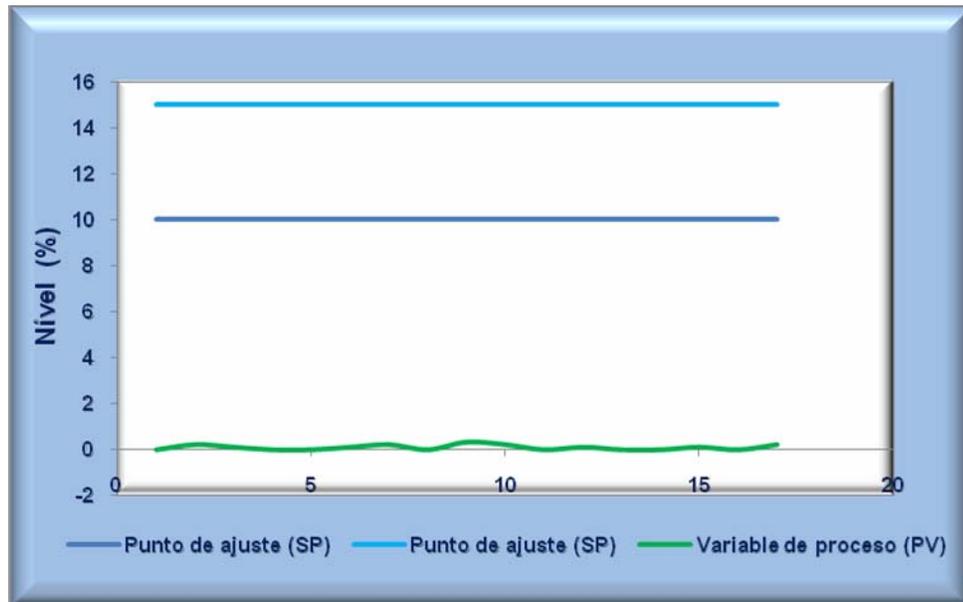
A parte del modo en que está operando el controlador y las características de este en el lazo, es necesario mencionar la acción bajo la cual está configurado y esta es directa, es decir que a medida que el valor de la variable de proceso aumente o disminuya en comparación con el punto

de ajuste, entonces el controlador enviara la señal correspondiente para que la acción de la válvula aumente o disminuya su porcentaje de apertura.

- Estabilidad

En cuanto a este aspecto debido a que el controlador normalmente estaba desactivado por el hecho de que el lazo trabajaba en modo manual, entonces no fue posible analizar la propiedad del lazo de mantener el valor de la variable de proceso dentro del punto de ajuste.

La figura 4.20 muestra el nivel dentro de la torre, notándose que no logra estabilizarse en el rango de 10 a 15 % para el punto de ajuste. Este hecho probablemente tiene como causa el bombeo de flujos de TEG a la torre contactora sin relación determinada con respecto al flujo de gas, por lo que parte del TEG es arrastrado evitando así la acumulación del debido nivel en la torre ya que para la continuidad del proceso es necesario que el TEG fluya aguas abajo de esta operación.



**Figura 4.20. Comportamiento del nivel en la torre contactora.**

- Sintonización

Los valores ya mostrados para cada una de las constantes características del controlador son parte del proceso de sintonización llevado a cabo por el personal de AIT. Esta operación es realizada cuando la respuesta del controlador no brinda estabilidad en el control de la variable y para ello se procede por alguno de los siguientes métodos:

1. A través de la ecuación característica del proceso se calculan las constantes, mediante una aplicación de software.
2. Mediante ensayo y error se modifican los valores del punto de ajuste y se observa el comportamiento del lazo, así se van dando valores a las constantes características del controlador hasta obtener la mejor respuesta.
3. Utilizando un software que realizan el autotuning o sintonización automática del lazo de control en línea.

#### 4.3.4.2 Control de flujo de TEG pobre hacia la torre contactora D11217

- Programación

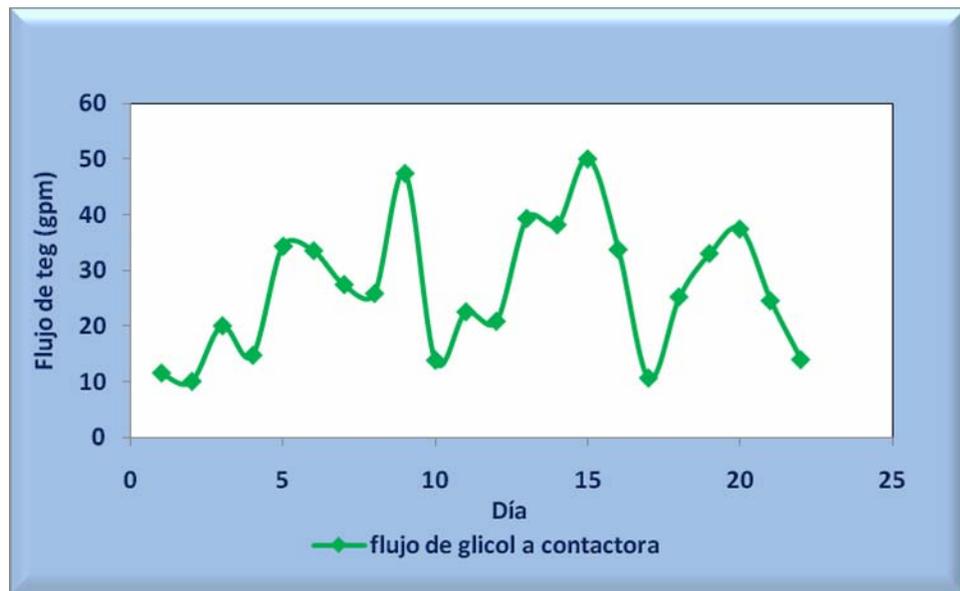
Al igual que el lazo de control D11009, el controlador de este lazo emplea la ecuación característica 4.1 y los valores de sus constantes son:  $K=0,60$ ,  $T1=0,50$ ,  $T2=0,00$ , lo cual indica que la influencia de la acción derivativa no es tomada en cuenta y que el controlador presenta valores de las constantes proporcional e integral próximos que indican una acción proporcional pequeña, mientras que la acción integral es grande. Por otra parte el controlador es de actuación directa, lo que significa que a medida que la variable de proceso se desvíe del punto de ajuste establecido ocurre una acción directa del controlador para que la válvula aumente el paso del flujo hacia los filtros de carbón y elementos (figura 4.16).

En cuanto al modo de operación, este lazo normalmente está configurado de manera manual, siendo el operador quien designa el valor de la variable de proceso según sea el comportamiento de las condiciones de flujo del gas que entra a la planta, nivel del acumulador de glicol o capacidad de bombeo de las bombas de glicol. Esto ocurre principalmente debido a que este lazo aun no cuenta con un valor del punto de ajuste definido, ni con una relación para la designación del mismo.

- Estabilidad

En cuanto a este aspecto, debido a la constante operación del lazo en modo manual por no existir un punto de ajuste definido, no fue posible observar la capacidad del lazo de mantener la variable de proceso estable. Sin embargo la figura 4.21 muestra los valores de flujo de TEG manejados por la planta durante distintas ocasiones y refleja la irregularidad de la operación de esta variable, que se debe principalmente a los constantes

cambios en el flujo de gas a deshidratar y a las decisiones que los panelistas consideren pertinentes el desempeño del proceso.



**Figura 4.21. Comportamiento del flujo de TEG enviado hacia la torre contactora.**

- Sintonización

Durante el desarrollo del análisis no se realizó sintonización de este lazo y dicho procedimiento es efectuado normalmente por el personal de AIT, cuando la estabilidad proporcionada por el controlador en modo automático no es la más adecuada.

#### **4.3.4.3 Control de nivel de TEG en desasfaltenizador D11145, D11209 y D11210**

- Programación

Debido a que el glicol rico que sale del desasfaltenizador debe ser compartido entre los condensadores de reflujo ubicados en cada sistema de regeneración del tren, el control de nivel D11145 en el separador depende del flujo que pase hacia los condensadores y por ello este lazo de control se encuentra asociado a los controles de flujo D11209 y D11210 con una configuración de control en cascada, que consiste básicamente en lazos de retroalimentación dentro de otro lazo de retroalimentación. En este control el lazo principal está representado por el control de nivel D11145, mientras que los lazos secundarios son los controles de flujo hacia los condensadores del sistema de regeneración D11209 y D11210. Los tres controladores son del tipo PID y su funcionamiento es de acuerdo a la ecuación característica 4.1.

La tabla 4.11 representa los valores para cada una de las constantes de los controladores involucrados en la configuración, así como la acción de los mismos. De acuerdo a esto los lazos secundarios de control de flujo tienen una respuesta más rápida que el lazo primario, ya que sus valores proporcional e integral así lo indican, mientras que el valor derivativo para todos es nulo, es decir que no hay acción de esta característica de los controladores. Además se observa como el lazo primario presenta una acción directa que implica que mientras el nivel aumenta el controlador actuara de manera tal que el flujo desalojado por el separador también aumentara para lograr que el nivel se mantenga, mientras que los lazos secundarios ejercen el control en forma indirecta lo que significa que la

acción de los controladores al aumentar o disminuir el valor de la variable con respecto a su SP será la contraria.

Según Creus (1997), para que el control en cascada sea eficiente el lazo secundario debe ser de respuesta más rápida que el primario y debe existir una relación “constante de tiempo del lazo principal/constante de tiempo del lazo secundario” que sea como mínimo de 3, e idealmente de 5 a 10. De esta manera como lo señala la tabla 4.11 los lazos secundarios si están siendo de respuesta más rápida que el primario, pero sin embargo no están cumpliendo con la relación de tiempo integral que teóricamente debería existir, ya que según se observa esta relación es aproximadamente de 2,35 para el lazo primario y el lazo D11209 y de aproximadamente 2,22 para el lazo primario y el lazo secundario D11210, es decir ambas son menores a 3, lo cual puede inferir en que este lazo normalmente presente problemas de estabilidad.

**Tabla 4.11. Constantes y acción de los controladores en cascada para el control de nivel en el desasfaltenizador.**

Lazo de control	Constante proporcional K	Constante de tiempo integral T1	Relación entre constantes de tiempo integral	Constante de tiempo derivativo T2	Acción
D11145	2,80	4,00		0,00	Directa
D11209	4,00	1,70	2,35	0,00	Indirecta
D11210	3,50	1,80	2,22	0,00	Indirecta

A pesar de la configuración en cascada, cabe destacar que debido a la puesta fuera de servicio del desasfaltenizador, los lazos de control D11145, D11209 y D11210 operaron en forma manual.

- Estabilidad

En cuanto a estabilidad este es uno de los lazos que durante su actuación en modo automático presenta mayores problemas de estabilidad, por la misma condición de su configuración en modo cascada, presentando comúnmente oscilaciones en los controladores secundarios en cuanto al punto de ajuste establecido para estos; así mismo el controlador del lazo primario presenta retrasos en cuanto a la respuesta para estabilizar el valor de la variable del proceso.

- Sintonización

Debido a los problemas de estabilidad que presentan estos lazos, el proceso de sintonización se realiza cada vez que el panelista y el personal de AIT lo consideran necesario para evitar así inconvenientes en el proceso. Cabe destacar que durante el desarrollo del proyecto no se realizó sintonización de los lazos y el valor actual de las constantes de los controladores son producto del último ajuste realizado.

#### **4.3.4.4 Control de nivel de TEG en tanque trifásico D11223, D11216 y D11203**

- Programación

El nivel de TEG en el separador trifásico depende tanto del flujo de glicol que entra al separador como del flujo que sale del mismo; la corriente

de glicol a la salida se divide en dos corrientes que van hacia las torres de regeneración, por ello el control de nivel de glicol en el separador trifásico al igual que el control de nivel de glicol en el desasfaltenizador está configurado en modo cascada junto con los lazos de control de flujo hacia las torres regeneradoras D11216 y D11203.

Para conocer su funcionamiento en cuanto a programación se tiene que la tabla 4.12 presenta los valores de las constantes de la ecuación característica de los controladores (Ec. 4.1) y según estos el lazo secundario D11216 es solo un poco más rápido que el primario en cuanto a la acción proporcional siendo la acción integral igual en ambos, mientras que el lazo secundario D11203 resulta más lento en cuanto a la acción proporcional y más rápido en su acción integral con respecto al lazo primario, siendo la relación del tiempo integral del lazo primario con respecto al tiempo integral de los lazos secundarios menor a 3 para ambos.

El hecho de no existir una marcada diferencia en cuanto a la rapidez de los lazos secundarios con respecto al primario y existir una relación de tiempo integral menor a 3 en ambos casos puede ser una causa de inestabilidad en la configuración de cascada adoptada en los lazos, por lo cual es necesario realizar un chequeo de estos valores.

**Tabla 4.12. Constantes y acción de los controladores en cascada para el control de nivel en el separador trifásico.**

Lazo de control	Constante proporcional K	Constante de tiempo integral T1	Relación de constantes de tiempo integral	Constante de tiempo derivativo T2	Acción
D11223	4,25	1,00		0,00	Directa
D11216	4,92	1,00	1,00	0,00	Indirecta
D11203	1,50	0,70	1,43	0,00	Indirecta

Así mismo la tabla 4.12 muestra que la acción de los controladores es del tipo directa para el lazo primario e indirecta para los lazos secundarios, lo que significa que mientras el controlador en el lazo primario para mantener el valor de SP envía a la válvula una señal de apertura proporcional al aumento de nivel, los controladores de flujo ejercen la acción contraria en cuanto a las desviaciones de los valores en comparación a los SP establecidos para ellos.

Normalmente estos lazos son configurados en modo automático, lo que implica que los controladores ejercen su acción de acuerdo a la configuración en modo cascada establecida.

- Estabilidad

En cuanto a estabilidad suele haber problemas en los lazos secundarios para mantener el valor del punto de ajuste ante la ocurrencia de perturbaciones, ocasionando a la vez inestabilidad en el lazo primario.

- Sintonización

El método empleado para la sintonización del lazo puede ser mediante la ecuación característica del proceso llevado a cabo en el separador, a través de ensayo y error, o mediante el empleo del software apropiado para realizar la sintonización automática, esto según lo considere el personal de AIT y la disponibilidad para ejecutar el método. Así la ejecución del procedimiento de sintonía es realizada cuanto el panelista y representante de AIT lleguen al acuerdo considerando que es necesario realizar el procedimiento.

Cabe destacar que la ejecución de este procedimiento para la configuración del lazo no fue realizada durante los 6 meses del análisis.

#### **4.3.4.5 Control de temperatura en hornos rehervidores D11206 y D11212**

- Programación

Para cumplir con su función de controlar la temperatura entre 370 y 380 °F en los hornos rehervidores y lograr la adecuada regeneración del TEG, el tren A cuenta con los lazos de control de temperatura D11206 y D11212 cuyos controladores son del tipo PID correspondientes con la ecuación característica 4.1; los valores de las constantes proporcional, integral y derivativa se muestran en la tabla 4.13.

**Tabla 4.13. Constantes y acción de los controladores de los lazos de control de temperatura en los hornos rehervidores.**

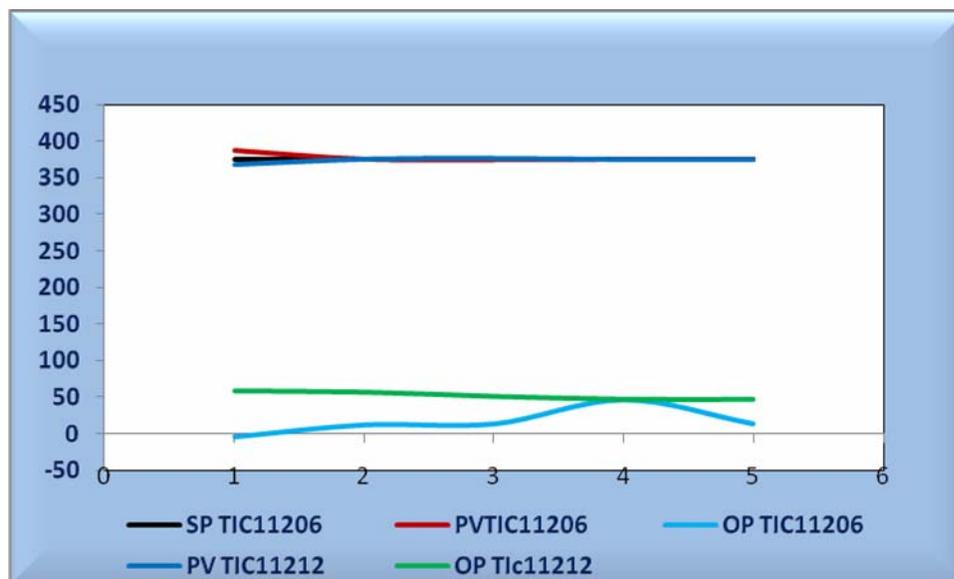
Lazo de control	Constante proporcional K	Constante de tiempo integral T1	Constante de tiempo derivativo T2	Acción
D11206	8,99	39,00	0,50	Indirecta
D11212	8,99	39,00	0,50	Indirecta

De acuerdo a los valores mostrados en la tabla 4.13 ambos lazos presentan la misma configuración con una acción proporcional considerable y una constante de tiempo grande que representa una acción de la parte integral pequeña, así mismo a diferencia de la mayoría de los lazos de la planta estos controladores presentan participación de la acción derivativa que añade al lazo de control estabilidad, ya que esta parte del controlador actúa de manera tal que anticipa el efecto de la acción proporcional para estabilizar más rápidamente el valor de la variable controlada. Los controladores de ambos lazos actúan de manera indirecta, lo cual implica que a medida que la variable controlada se desvíe del valor de SP por encima o por debajo el controlador responderá con la acción contraria para lograr que la variable se mantenga dentro del valor especificado.

Estos lazos operan normalmente en modo automático de acuerdo a su configuración de lazos de retroalimentación.

- Estabilidad

En cuanto a este aspecto tal y como lo muestra la figura 4.22, en ambos lazos de control se observa las variaciones necesarias en el porcentaje de la variable manipulada (OP) para que la temperatura se mantenga dentro de su valor de punto de ajuste, lo cual indica que los lazos responden satisfactoriamente ante las perturbaciones en el proceso y de acuerdo a lo observado en el DCS la acción del controlador logra estabilizar la variable de proceso en rápidamente.



**Figura 4.22. Comportamiento del control de temperatura en los hornos rehervidores.**

- Sintonización

Estos lazos no fueron sintonizados durante la estadía en la planta, pero el valor que presentan cada una de las constantes es producto del último proceso de sintonización.

#### 4.3.4.6 Control de flujo de gas de despojo D11202 y D11215

- Programación

El control de flujo del gas de despojo es de gran importancia en el sistema de regeneración del TEG, ya que mediante este se logra alcanzar altas concentraciones del TEG; en cada tren se cuenta con dos sistemas de regeneración así también se cuenta con dos lazos de control para el flujo del gas de despojamiento hacia las columnas despojadoras, que en el caso del tren A son el D11202 y D11215.

Ambos lazos son de retroalimentación, constituidos por controladores del tipo PID que se rigen por la ecuación característica 4.1 y cuyas constantes proporcional, de tiempo integral y de tiempo derivativo están representadas en la tabla 4.14. Según esta tabla la acción del controlador en el lazo D11202 es del tipo indirecta y los valores para cada una de las constantes indican que la parte proporcional actúa algo lento, mientras que la integral lo hace más rápido, sin ningún tipo de intervención de la parte derivativa. Por otra parte el controlador del lazo D11215 presenta igual valor para las constantes proporcional e integral como ocurre con el lazo D11202, pero a diferencia de esta, los valores de las constantes son mayores lo que significa que para este controlador la acción proporcional es mayor a la acción integral.

Al igual que en el lazo D11202 en el lazo D11215 la acción derivativa carece de intervención y el controlador está configurado de manera indirecta.

Debido a que estos lazos no cuentan con una relación definida de flujo y a que últimamente se presentaron problemas con el aumento en el nivel de los hornos rehervidores, los lazos de control del flujo de gas de despojamiento presentan normalmente una configuración del tipo manual que representa la desactivación de la función del controlador y quien supe este papel es el panelista realizando los ajustes que considere necesarios según el desenvolvimiento del proceso.

**Tabla 4.14. Constantes y acción de los controladores para el control de flujo de gas de despojamiento.**

Lazo de control	Constante proporcional K	Constante de tiempo integral T1	Constante de tiempo derivativo T2	Acción
D11202	0,50	0,50	0,00	Indirecta
D11215	1,00	1,00	0,00	Indirecta

- Estabilidad

Debido a que normalmente la operación de estos lazos es de forma manual se considera que son inestables en su funcionamiento y que es necesario solucionar las causas que evitan su operación normal, para así observar la respuesta de los controladores ante las posibles perturbaciones que se presenten en el proceso.

Cabe destacar que tanto por la operación constante de los lazos de control en modo manual, como por el trabajo de migración de señales que se

llevaba a cabo en el mismo tiempo de la elaboración de este trabajo, resulto limitado el análisis de este parámetro.

- Sintonización

Para realizar el ajuste de las constantes de los controladores a estos lazos se procede de acuerdo a alguna de las tres formas con que cuenta el departamento de AIT para la sintonización de los lazos. Cabe destacar que durante el análisis no se realizó el procedimiento de sintonización a estos lazos de control.

#### **4.3.5 Instrumentación**

La instrumentación en el proceso representa parte fundamental en el buen desempeño del control, ya que la acción realizada por cada lazo dependerá en gran manera de la información medida y transmitida hasta los controladores desde campo por los elementos primarios de medición y transmisores. Así mismo la acción final de control será proporcionada por los elementos finales que se encuentran localizados en campo.

Los lazos de control presentes en la planta involucran el seguimiento y manipulación de las variables nivel, temperatura, presión, flujo, diferencial de presión y humedad, para las cuales se analizó la instrumentación desde los siguientes aspectos:

##### **4.3.5.1 Tecnología**

En cuanto a la tecnología de la instrumentación presente en planta se tiene que esta está representada básicamente por manómetros analógicos

para la medición de presión; termómetros bimetálicos analógicos, termocuplas y termómetros instalados en termopozos para la medición de temperatura; visores de cristal, visores metálicos, medidores por presión diferencial y medidores de desplazamiento para la medición de nivel; placas orificio para la medición de flujo, analizadores continuos en línea para la medición de humedad; transmisores electrónicos de equilibrio de fuerzas, indicadores digitales, convertidores I/P y válvulas de control con diafragma, de pistón-neumática o motorizadas.

#### **4.3.5.2 Correspondencia**

Para el análisis de este aspecto se considero cada variable por separado de la siguiente manera:

##### **1. Presión**

La presión es medida a través de manómetros analógicos cuyas escalas de medición varían de acuerdo a la zona de la planta donde se encuentren ubicados, así por ejemplo se tiene que a la descarga de las bombas, entrada del gas a deshidratar y equipos que trabajan en la parte del proceso llevada a cabo a nivel de 1.200 psig de presión, presentan un campo de medida correspondiente a la presión a medir, mientras que para la etapa de regeneración, sistema de gas combustible y gas de despojo, inyección de químicos que trabajan a presiones menores los manómetros empleados tienen un rango de medición correspondiente a las presiones manejadas.

##### **2. Temperatura**

Los principales elementos en cuanto a la medición de temperatura en la planta están representados por termómetros bimetálicos y termocuplas, los cuales se encuentran ubicados en cada etapa del proceso y cuyas escalas

corresponden a las temperaturas mínimas y máximas alcanzables por cada parte del proceso. Así la escala de los manómetros ubicados en la entrada del gas a deshidratar presenta un rango de medida distinto a aquellos ubicados en otras corrientes del proceso o en los equipos que operan en las distintas etapas de la planta, tales como los separadores trifásicos, intercambiadores de calor, horno rehervidor y columna regeneradora.

De acuerdo a lo observado en campo, existe correspondencia de los rangos de medida de cada instrumento de temperatura localizado en la planta.

### 3. Nivel

La medición de nivel en la planta se lleva a cabo principalmente por visores de cristal con armadura metálica, medidores de desplazamiento que se basan en el principio de Arquímedes para su medición y por lo tanto el valor de su medición depende de la gravedad específica del líquido y medidores de diferencial de presión que se basan en la presión hidrostática ejercida por los fluidos contenidos en los recipientes presurizados.

Todos estos instrumentos son adecuados para trabajar a las distintas presiones manejadas en la planta, pero en cuanto a las consideraciones a tener en cuenta para el empleo de cada uno de ellos en el sistema, se tiene que de acuerdo al principio de medición los visores de cristal para la medición del nivel del TEG, a medida que el TEG arrastre mayor contenido de impurezas, la medición realizada por estos resulta más difícil. De la misma manera para los medidores por desplazamiento cuya medida depende de la gravedad específica del líquido, suelen presentar problemas cuando la

gravedad específica del líquido cambia, ya que la medida tomada se desvía en cierto grado de lo que es la medida real.

#### 4. Caudal

La medición del caudal o flujo en la planta tanto para el gas natural como para el TEG en todas las etapas del proceso es realizada por la caída de presión proporcionada por placas orificio las cuales son a nivel de procesos el instrumento más popular, sencillo y económico para la medición de caudal.

Adicionalmente se cuenta con elementos finales de control tales como las válvulas de control de diafragma, pistón y motorizadas (figura B.11), las cuales se encuentran localizadas en cada una de las etapas del proceso, siendo más comunes las válvulas de diafragma.

##### **4.3.5.3 Mantenimiento**

Cada instrumento posee una estructura que le permite el cumplimiento de su función y de la cual va a depender el funcionamiento del mismo, en la medida que esta se mantenga en buenas condiciones.

En cuanto al mantenimiento de los instrumentos se tiene que parte de este es la calibración y en cuanto al resto de las acciones correctivas tomadas en cuenta no se cuenta con un registro en particular, pero cabe destacar que las acciones de mantenimiento efectuadas con mayor frecuencia involucra la limpieza de los transmisores de flujo y de nivel ya que suelen introducirse a estos hidrocarburos condensados. También se ejecuta

el mantenimiento hidráulico de las válvulas de control y el reemplazo de convertidores I/P.

Así mismo es necesario mencionar que durante los recorridos efectuados por planta se observó la desconexión, falta de indicación y desajuste de algunos instrumentos, que si bien no están asociados a lazos de control representan el mecanismo de información para los operadores en planta y por ello también tiene merecida importancia el funcionamiento de los mismos.

#### **4.3.5.4 Calibración**

La calibración de los instrumentos de la planta es considerada parte del mantenimiento de la instrumentación de la misma y es efectuada según el reporte mostrado en la figura C.2, el cual es empleado para toda la instrumentación del COM y considera la aplicación de este procedimiento para los siguientes dispositivos: Interruptores, válvulas de control, transmisores, detectores (UV, de gases), sensores, solenoides, medidores, transductores, registradores, pilotos de control, controladores, indicadores entre otros asociados a las variables presión, vibración, temperatura, humedad, flujo, nivel u otra. De esta manera es llevado a cabo el control de cada una de las calibraciones efectuadas en la instrumentación correspondiente a la planta bien sea producto de la programación efectuada por el departamento de mantenimiento operacional o por la presunción del panelista en sala de control de que el instrumento necesita de calibración.

Para el periodo de 6 meses de estadía en la planta los registros ubicados en sala técnica en cuanto a los instrumentos calibrados, muestran la calibración de los transmisores de nivel asociados a los depuradores de

gas a la entrada de ambos trenes, también las válvulas de control de flujo del glicol que va hacia los condensadores de reflujo de las torres de destilación y las válvulas de control de temperatura en los hornos rehervidores del tren A.

#### **4.3.6 Proceso**

El proceso y el control del mismo tienen una relación sumamente estrecha donde el funcionamiento de uno depende del otro. Así para el desempeño efectivo del proceso es necesario que el control asociado cumpla con su función de mantener las variables dentro de los valores convenientes al proceso, y de la misma forma para que el control garantice un buen desempeño es necesario que el proceso brinde al sistema de control el menor número de perturbaciones y la seguridad para que cada instrumento involucrado cumpla su función.

El análisis de la incidencia de los equipos y las variables que integran el proceso se realizó en función de los lazos de control analizados en la sección 4.3.4 de la siguiente manera:

##### **4.3.6.1 Influencia de los equipos en el control de nivel de la torre contactora**

Los equipos involucrados directamente en este control son la torre contactora y el desasfaltenizador.

En cuanto a la torre contactora esta sufrió modificaciones de los platos de burbujeo que poseía inicialmente por platos tipo válvula con mayor eficiencia para poder manejar el flujo de gas adicionado en el aumento de capacidad del sistema realizado en 1997. Durante este aumento de

capacidad fue evaluado el comportamiento del sistema de control y su estabilidad no hallándose problemas en cuanto a la respuesta del lazo de control ante tal incremento.

Así mismo, el funcionamiento del desafaltenizador representa un factor importante en el funcionamiento de este lazo, ya que es el encargado de recibir el glicol rico que viene de la contactora para ser sometido a una primera etapa de separación. Dentro de las características de este equipo se encuentran que debe contar con un tiempo de residencia de aproximadamente 30 min para realizar la separación correspondiente, y que se mantenga en operación para que el lazo de control pueda actuar.

#### **4.3.6.2 Influencia de las variables en el control de nivel de la torre contactora**

En cuanto a las variables que intervienen en este control se encuentran las características del flujo de gas y la cantidad TEG que entran a la torre contactora, debido a que la desviación en la temperatura, flujo, presión e incluso suciedad arrastrada por el gas, así como la relación de TEG con respecto al gas tratado ocasionan problemas internos de formación de espuma, arrastre de TEG u otros que perturban el normal desempeño de este lazo de control.

Según la capacidad de diseño el flujo de gas no debe ser mayor a los 470 MMPCED, aunque el sistema pueda manejar mayor flujo al establecido. De presentarse esta situación puede ocurrir arrastres de glicol independientemente de la cantidad de glicol que entre, y al existir arrastres de este, la cantidad de glicol que llega al fondo de la torre resulta menos a la enviada desde el tanque acumulador ocasionando inestabilidad en el control

de nivel y la consecuente puesta de este en modo manual, ya que el lazo en modo automático buscara alcanzar el punto de ajuste y la acción a realizar será la de restringir el paso del flujo de glicol hacia el desasfaltenizador y posterior regeneración, ya que no se puede mantener el nivel dentro de la torre y dejar que el glicol necesario para el sistema de regeneración sea insuficiente por la falta de flujo.

#### **4.3.6.3 Influencia de los equipos en el control de flujo de TEG pobre hacia la torre contactora**

Los equipos que tienen influencia directa en el funcionamiento de este lazo son los tanques de almacenamiento de glicol virgen y glicol recuperado, las bombas de glicol pobre, el acumulador, los filtros de carbón y elementos y la misma torre contactora, ya que de acuerdo a las condiciones de estos dependerá el comportamiento del flujo controlado por este lazo de control.

El almacenamiento en los tanques de recuperación de TEG y de glicol virgen es fundamental para que el tanque acumulador pueda compensar su nivel y mantenerlo en un aproximado de 50%, para la debida succión por parte de las bombas reciprocantes que cuentan a su vez con elementos reguladores o amortiguadores de flujo para la llegada de este en forma continua hacia la torre contactora. Así mismo el estado de los filtro de carbón y de elementos tienen influencia considerable en este lazo de control ya que de acuerdo al estado de taponamiento o de saturación de los agentes filtrantes internos será más fácil o más difícil el paso del flujo de TEG desviado hacia estos.

En cuanto a la torre contactora debido a que es a esta hacia dónde va parte del glicol manejado por el lazo de control, la condición de los elementos

internos y la operación del proceso de absorción llevado a cabo en ella determinara el uso adecuado para este control.

#### **4.3.6.4 Influencia de las variables en el control de flujo de TEG hacia la torre contactora**

La necesidad de este control de flujo se origina en que ya definida la concentración del glicol y el número de platos de la torre contactora, la disminución en el punto de rocío del gas a deshidratar dependerá de la relación de flujo de TEG enviado a la torre contactora por lb de H<sub>2</sub>O a remover.

Por ello la estabilidad y eficiencia de este lazo de control dependerá de:

1. Concentración del glicol pobre que entra a la torre contactora.

A mayor concentración del TEG la relación de flujo de este hacia la torre contactora será menor para un valor fijo de humedad a remover; el sistema de regeneración en condiciones óptimas genera un glicol con 99,95% de pureza, pero según lo mostrado en la tabla 4.3 no siempre se obtiene un glicol con dicha concentración. Esto puede ser consecuencia de alguna falla en el sistema de regeneración, bien sea en la temperatura de los condensadores de reflujo, en la temperatura de los hornos rehervidores o en el flujo del gas de despojo, lo cual provoca una obtención del gas fuera de especificaciones, ya que el TEG no tendrá la misma capacidad de remoción y por consiguiente será necesario mayor flujo para lograr el resultado obtenido a una concentración del 99,95%.

## 2. Humedad del gas a la entrada.

Así como es necesario que la concentración del TEG se mantenga, también se requiere que la humedad del gas a la entrada del sistema se mantenga, sobre todo que este valor no sea superior al establecido en la condición de diseño. Según lo mostrado en la figura 4.5 el contenido de humedad a la entrada del tren normalmente es por debajo de la condición establecida en el diseño, lo que brinda seguridad para la buena operación del control de flujo.

A pesar de que esta variable se mantiene dentro del rango permisible, es importante mencionar que casos de aumentos en la temperatura de entrada del gas a presión constante o disminución de la presión a temperatura constante pueden originar aumento del contenido de humedad en el gas de entrada, por lo cual es necesario que las condiciones de presión y temperatura del gas a las entrada se mantengan.

### **4.3.6.5 Influencia de los equipos en el control de nivel de TEG en el desasfaltenizador**

El nivel de glicol que pueda acumularse y las condiciones de este dependen principalmente de la eficiencia de separación que pueda tener el separador, para lo cual es necesario que el tiempo de retención sea suficiente para que ocurra la correcta separación de las fases gas-hidrocarburos-glicol, que según las condiciones de diseño del equipo es de 39 min. Una mala operación del equipo origina un glicol sucio que puede provocar una falsa lectura de los transmisores de flujo y de nivel por la formación de espuma.

#### **4.3.6.6 Influencia de las variables en el control de nivel de TEG en el desasfaltenizador**

Este control de nivel opera bajo la filosofía de que tanto la medición de nivel como del flujo enviado hacia los condensadores son influenciados por la densidad del TEG; el hecho de que el glicol este muy sucio y sus propiedades físicas sean diferentes puede ocasionar un falso valor tanto en la lectura del nivel como del flujo.

#### **4.3.6.7 Influencia de los equipos en el control de nivel de TEG en el separador trifásico**

El funcionamiento del separador influenciara en el nivel acumulado y la eficiencia de la separación en las características físicas del TEG, las cuales influncian en la medida arrojada por los transmisores de nivel y de flujo.

#### **4.3.6.8 Influencia de las variables en el control de nivel de TEG en el separador trifásico**

Las características físicas del TEG dentro del separador, así como la presión de operación en el mismo a medida que varían, pueden ocasionar desviaciones en las medidas, ya que estas dependen de que dichas características se mantengan.

#### **4.3.6.9 Influencia de los equipos en el control de temperatura en los hornos rehervidores**

Los equipos que tienen influencia directa en el control de temperatura en los hornos rehervidores son los asociados al sistema de gas combustible

por ser los encargados de acondicionar el gas a usar como combustible, los intercambiadores de calor de glicol rico/glicol pobre responsables de proporcionar un calentamiento previo al TEG y los mismos hornos rehervidores.

El sistema de gas combustible compuesto por el intercambiador de calor glicol pobre/gas combustible y el depurador de gas debe garantizar que el gas utilizado como combustible (variable manipulada en los lazos de control) cumpla con las condiciones de pureza, presión y temperatura que requiere el sistema.

La tabla 4.1 muestra las condiciones de diseño tanto del intercambiador de calor como del depurador y según lo observado en el DCS este sistema despacha a la planta alrededor de 100 MMPCED que pueden ser complementados para suplir la demanda de los 4 hornos rehervidores de la planta, así como a las 4 columnas de despojo del sistema con gas proveniente del sistema de gas combustible del complejo.

Así mismo la tabla 4.1 señala que los hornos rehervidores tienen una capacidad de regeneración de 70 gpm, capacidad térmica de 4,0 MMBtu/h y flujo de calor de 8.500 Btu/hxpie<sup>2</sup>, lo cual representa un buen porcentaje de sobre diseño para el sistema

#### **4.3.6.10 Influencia de las variables en el control de temperatura en los hornos rehervidores**

Como se menciona anteriormente el funcionamiento del control de temperatura en los hornos rehervidores en cuanto a las variables

involucradas, dependerá principalmente de las condiciones del gas combustible y del TEG rico a regenerar.

Cada horno rehervidor tiene la capacidad de regenerar un flujo máximo de TEG de 70 gpm, el cual proviene del control de nivel ubicado antes del intercambiador de calor glicol/glicol. Se tiene que normalmente los rehervidores son operados muy por debajo de esta capacidad de flujo máximo y a medida que se provee mayor flujo de glicol las condiciones de temperatura tienden a disminuir si se mantiene una misma rata de flujo del gas combustible.

De la misma manera, la temperatura del TEG proveniente de los intercambiadores glicol/glicol influencia en las variaciones de temperatura en el horno, ya que a medida que la temperatura de entrada al rehervidor sea menor, la temperatura dentro del horno disminuirá y será necesario aumentar el flujo de gas combustible al sistema para lograr que la temperatura en el interior alcance el valor del punto de ajuste del lazo. Cabe destacar que en campo existen termómetros que permiten visualizar la temperatura de salida del glicol rico hacia el rehervidor, pero en el panel de control esta visualización no es posible.

Otras variables a considerar en el buen funcionamiento de estos lazos de control son las condiciones del gas combustible, el nivel de glicol en el rehervidor y el contenido de hidrocarburos en el TEG.

En cuanto al gas combustible este es tomado de la corriente de gas deshidratado en la planta, lo que implica que presenta aproximadamente las mismas condiciones de composición mostradas en la tabla 4.2, según las

cuales el contenido de componentes ácidos es representativo afectando la calidad del mismo.

El nivel dentro del horno debe mantenerse a aproximadamente un 80% para evitar problemas de sobrecalentamiento, actualmente este porcentaje ha oscilado alrededor del 90%, siendo necesario suspender el flujo del gas de despojo a la columna despojadora aguas abajo para que el glicol pueda fluir hacia los intercambiadores glicol/glicol y el nivel se estabilice en el valor correspondiente.

A pesar de que es en el horno rehervidor donde se purificara el TEG para volver a ser usado en la deshidratación del gas y de que los hidrocarburos normalmente pueden separarse junto con el vapor de agua, es necesario que estos sean depurados en la mayor cantidad posible ya que algunos de estos pueden gradualmente quemarse y depositarse en los tubos de fuego ocasionando zonas calientes, perdidas en la eficiencia de la transferencia de calor y resultar en un incendio de los tubos de fuego. Así mismo la presencia de sales como el NaCl y el CaCl que han sido arrastradas por el gas deshidratado y que puedan disolverse en el glicol traen consecuencias similares al acumularse en los tubos de fuego.

Cabe destacar que la planta no cuenta con puntos de control permanente para la previsión de que entre al sistema de regeneración un glicol contaminado, pero es garantía de la limpieza de este, las etapas de separación física llevadas a cabo en el desasfaltenizador y el separador trifásico, filtros de elementos y filtros de carbón, así como la depuración del gas en los filtros de facilidades de entrada y los depuradores de gas del sistema.

La regeneración del TEG se debe llevar a cabo a presión atmosférica, evitando el aumento de la presión ya que a medida que la presión sea mayor, se incrementará la temperatura para lograr la separación del agua y el glicol, lo cual a la vez ocasionaría una menor reconcentración del TEG. A pesar de esta condición, en sala de control no es posible observar la presión en el sistema para tener prevención del aumento de la misma.

#### **4.3.6.11 Influencia de los equipos en el control de flujo del gas de despojo**

Al igual que el gas combustible, el gas destinado para la columna despojadora es tomado del gas deshidratado que se obtiene de la planta y acondicionado finalmente en el sistema de gas combustible, pasando luego por un conjunto de válvulas de regulación que le brindan las condiciones de presión y temperatura adecuadas para su empleo como gas de despojamiento.

El uso del gas de despojo dependerá a la vez del funcionamiento del resto del sistema de regeneración que está integrado por el horno rehervidor, la columna de regeneración y el condensador de reflujo ya que a medida de que la concentración del TEG proporcionada por el resto del sistema sea mayor, el empleo del flujo de gas de despojo cumplirá con su objetivo de obtener una buena concentración del glicol.

La columna de despojo es el equipo que tiene incidencia directa en el manejo de esta variable, ya que así como en el proceso de absorción que se da en la torre contactora, en esta columna a través del contacto glicol rico-gas seco se da un proceso de desorción, que para ser eficiente, debe contar

con la adecuada relación entre el diseño del equipo y las variables involucradas.

De acuerdo a la tabla 4.1 la superficie para el contacto glicol rico-gas seco es proporcionada por un empaque aleatorio en forma de silla de montar; cabe destacar que según informaron los operadores de campo ha sido localizado en lo largo del proceso parte de este empaque en deterioro. También se han presentado problemas con el nivel del horno al momento de fluir el gas de despojamiento por la columna de despojo, teniendo que retirar el uso del mismo.

#### **4.3.6.12 Influencia de las variables en el control de flujo del gas de despojo**

La efectividad del empleo del gas de despojo dependerá principalmente de las condiciones del mismo, como de la pureza del TEG lograda aguas arriba por el resto de los equipos que integran el sistema de regeneración, la cual debe ser de un 98,7% para que el glicol alcance un 99,95% de pureza con el empleo del gas de despojamiento.

De acuerdo a lo mostrado por la tabla 4.3 para la tercera muestra de glicol pobre analizada en el tren A, el contenido de agua en el glicol es de 0,15% lo que significa que la pureza del glicol es de 99,85%, es decir a pesar de ser un buen porcentaje de pureza este no alcanza el valor máximo que se puede lograr con el empleo del gas de despojo. En la misma tabla es representado el porcentaje de agua para el glicol pobre del tren B y a pesar de que este resultado no afecta los lazos de control estudiados es interesante resaltar que el contenido de humedad para una de las muestras resulta ser alto para lograr las especificaciones del gas a tratar, y que esta

condición se puede explicar por la salida de servicio del gas de despojo. Pero aun así el resultado demuestra que el glicol obtenido aguas arriba de la columna de despojo por el sistema horno rehervidor-torre regeneradora-condensador de reflujo sale de la especificación de pureza para que se pueda obtener un TEG 99,95% puro con el uso del gas de despojamiento, así mismo ocurre con el resultado para la tercera muestra del tren A.

#### **4.4 Propuestas de los ajustes necesarios en los factores que inciden en la operación del control de la planta de deshidratación de PIGAP I**

Ya analizadas cada una de las causas que inciden en la operación del control de la planta de deshidratación de PIGAP I de acuerdo al diagrama causa-efecto obtenido, se propone lo siguiente:

##### **4.4.1 Poner en funcionamiento los equipos que se encuentran fuera de servicio**

Cada uno de los equipos que conforman el sistema de deshidratación y sus adyacencias tienen una función específica y su actuación en el proceso es indispensable para un buen funcionamiento del mismo. Durante el desarrollo del proyecto equipos tales como el filtro FS1001, los enfriadores del gas de entrada E1001, E1002, E1011 y E1012, los secadores de aire para instrumentos y en algunas oportunidades los desasfaltenizadores estaban fuera de operación, lo cual provocaba la presencia de impurezas en el gas a deshidratar, altas temperaturas del gas a la entrada de la torre contactora, condición inapropiada del aire de instrumentos y presencia de hidrocarburos condensados en el TEG a regenerar, provocando a la vez problemas en cuanto a pérdidas del TEG en la contactora, daño de algunos instrumentos de los lazos de control y contenido de impurezas en el TEG que

perturban la debida operación del control automatizado, por ello se debe mantener en operación cada uno de los equipos mencionados para evitar las perturbaciones en el curso del control del proceso y obtener los mejores resultados en el gas deshidratado y el TEG regenerado.

#### **4.4.2 Capacitar al personal en cuanto a las características del proceso y a las herramientas de trabajo**

Como se mencionó el personal encargado de laborar en el panel de control ha sufrido un cambio en cuanto a las características del sistema de control empleado y no cuenta aún con los conocimientos necesarios para el uso adecuado de las propiedades y cualidades que este ofrece, por ello es imprescindible que se facilite el adiestramiento respectivo al equipo de panelistas en cuanto al funcionamiento y manejo de la nueva versión del DCS de la planta.

De la misma manera así como es necesario que el grupo de panelistas conozca de las características del nuevo sistema de control, también es vital que tanto estos como los operadores de campo posean la preparación adecuada en cuanto al desarrollo del proceso y los efectos de las variables involucradas para de esta manera mejorar el cumplimiento de sus funciones. Para ello se sugiere suministrar las capacitaciones debidas a través de personal con los conocimientos y la experiencia correspondiente en cuanto al desempeño del proceso de deshidratación del gas natural y la influencia de las variables involucradas en la eficiencia del mismo.

#### **4.4.3 Ajustar los valores de las constantes proporcional, integral y derivativa de los controladores configurados en modo cascada**

La relación del tiempo integral entre el controlador del lazo primario y de los controladores de los lazos secundarios en las configuraciones de control en cascada del desasfaltenizador y del separador trifásico es menor al valor de 3, lo cual teóricamente no garantiza una rápida respuesta por parte de estos lazos ante las perturbaciones.

Para obtener un mejor desempeño de los lazos de control en modo cascada se sugiere evaluar los valores de las constantes proporcional, integral y derivativa a través de la sintonización de los lazos y a la vez considerar la relación que debe existir entre las constantes de tiempo integral de los controladores primarios y secundarios.

#### **4.4.4 Ajustar el flujo de TEG enviado a la torre contactora**

En vista de que el lazo de control D11217 relacionado con el flujo de TEG pobre enviado a la torre contactora no presenta una relación definida en cuanto a su funcionamiento, que depende directamente de la relación entre el flujo de TEG pobre necesario para remover una determinada cantidad de agua a condiciones específicas de presión, temperatura y concentración de glicol pobre, en la tabla 4.15 se muestran dos tasas de circulación de glicol; una mínima para la remoción del contenido de humedad de saturación del gas a una temperatura de 120 °F y 1.200 psig con un TEG al 99,95% de pureza y otra máxima para remover el contenido de humedad del gas que establece el diseño de la planta a las condiciones de temperatura, presión y pureza del glicol ya referidas.

**Tabla 4.15. Tasas máxima y mínima de circulación de TEG pobre a la torre contactora.**

Tasa mínima de circulación de TEG pobre	Tasa máxima de circulación de TEG pobre
2,0 gal TEG/lb H <sub>2</sub> O a remover	3,3 gal TEG/lb H <sub>2</sub> O a remover

En la tabla 4.16 se muestran los flujos en galones por minuto del TEG a enviar hacia la torre contactora para distintos valores de flujo de gas a deshidratar, hasta un valor máximo de 470 MMPCED que es la condición de diseño, donde se observa que para la tasa máxima de circulación de TEG ya para un valor de flujo de gas a deshidratar igual al de la capacidad de diseño la cantidad de glicol a bombear supera el valor de la capacidad de bombeo de las bombas reciprocantes utilizadas (90 gpm), por lo cual el uso de esta tasa de circulación no es factible para la operación normal del proceso ya que además de ser incongruente con la capacidad de las bombas también impediría la debida recirculación al acumulador.

Por otra parte tal como lo muestra la tabla 4.16, para la tasa de circulación mínima obtenida si es factible manejar el flujo de gas a deshidratar según el diseño e incluso valores superiores, siempre y cuando las condiciones del flujo de gas a la entrada de la contactora y la pureza del TEG sean las señaladas.

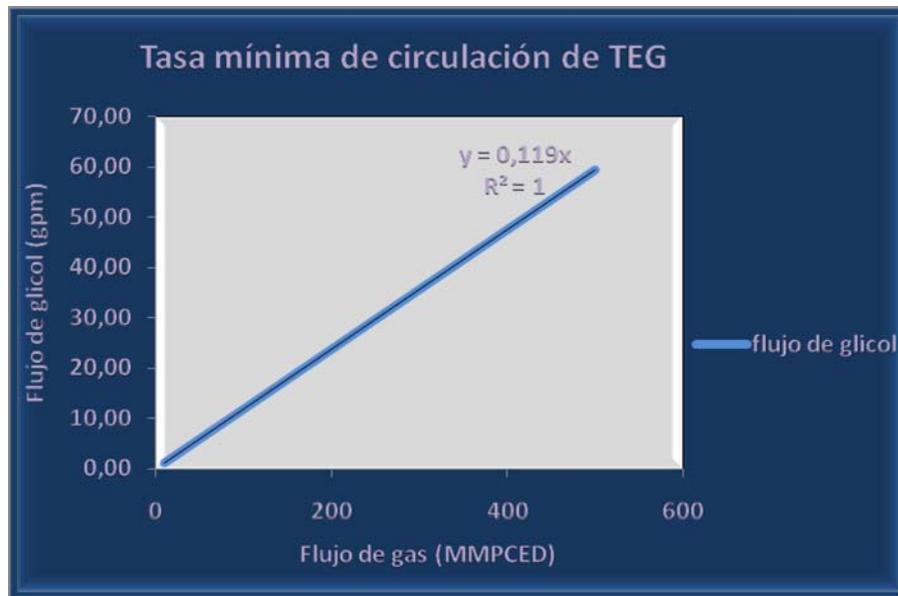
**Tabla 4.16 Flujos de TEG pobre a enviar a la torre contactora**

Concentración del TEG=99,95% Temperatura =120°F Presión =1.200 psig		
Flujo de gas (MMPCED)	Flujo de TEG(gpm) @ 2,0 gal TEG/lb H <sub>2</sub> O removida	Flujo de TEG(gpm) @ 3,3 gal TEG/lb H <sub>2</sub> O removida
0	0,00	0,00
50	5,95	10,54
100	11,90	21,08
150	17,85	31,63
200	23,80	42,17
250	29,75	52,71
300	35,70	63,25
350	41,65	73,79
400	47,59	84,33
450	53,54	94,88
470	55,92 56	99,09 99

Debido a que la tasa mínima de circulación del TEG se adapta más a las condiciones de operación del proceso, entonces se propone su uso y el valor de 56 gpm como valor de punto de ajuste para el lazo de control D11217 cuando el flujo de gas a deshidratar sea de 470 MMPCED.

La gráfica representada en la figura 4.23 muestra la ecuación y la línea tendencia para el flujo de glicol a enviar hacia la torre contactora con

respecto a la cantidad de gas que llega al sistema para ser deshidratado, la cual puede ser considerada para la asignación del punto de ajuste del lazo de control D11217 cuando el flujo de gas a deshidratar sea distinto de 470 MMPCED.



**Figura 4.23. Flujo de glicol pobre a bombear para un TEG a 99,95% de pureza.**

Sin embargo, si el sistema de regeneración por alguna razón es operado sin el empleo del gas de despojo y por lo tanto disminuyendo la pureza del TEG, teniendo como valor óptimo 98,7%, entonces la tasa de circulación que se sugiere a emplear es de 3 gal TEG/lb H<sub>2</sub>O a remover, ya que tal como lo indican algunos textos y de acuerdo a la figura 3.1, así como a los resultados de humedad a la entrada y salida del sistema según lo señala la figura 4.5, este valor es el más adecuado para obtener la especificación del gas a deshidratar siempre y cuando el contenido de humedad sea menor al de saturación a las condiciones de 120<sup>0</sup>F y 1.200 psig.

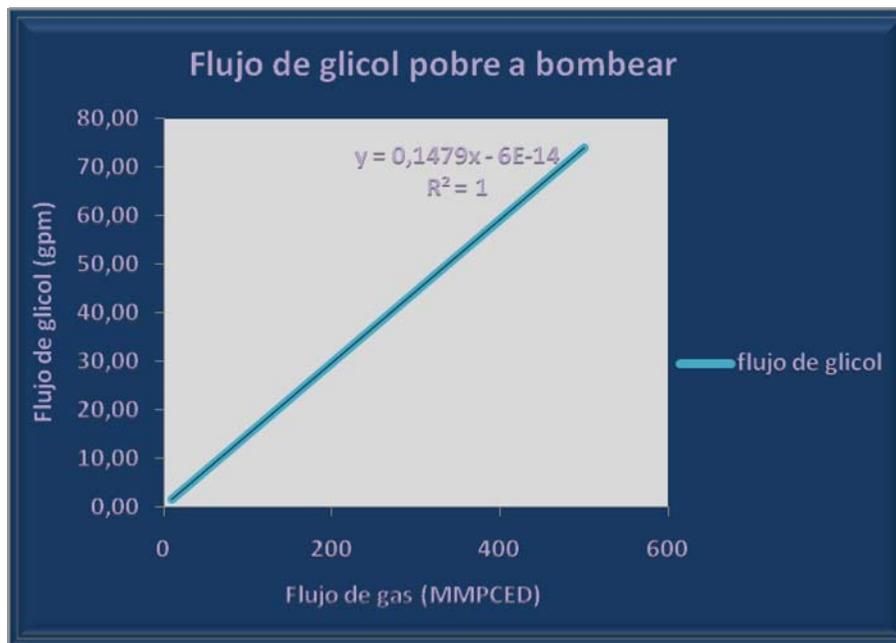
La tabla 4.17 indica el valor del flujo de glicol a ser enviado para la torre contactora, utilizando una tasa de circulación de 3 gal TEG/lb H<sub>2</sub>O para distintos valores del flujo de gas a deshidratar y señala el valor de 69,52 gpm para los 470 MMPCED de gas.

**Tabla 4.17. Flujos de TEG pobre a enviar a la torre contactora cuando se prescinde del uso de gas de despojo.**

Flujo de gas húmedo (MMPCED)	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	470
Flujo de TEG pobre (gpm)	0,00	7,40	14,79	22,19	29,58	36,98	44,38	51,77	59,17	66,56	69,52

De acuerdo a lo indicado por la tabla 4.17 es posible obtener de las bombas encargadas para el envío del TEG hasta la torre contactora el flujo necesario para deshidratar los 470 MMPCED establecidos en el diseño, con la desviación de la diferencia para los 90 gpm hacia los filtros de carbón y elementos.

La figura 4.24 al igual que para la tasa de circulación a un 99,5% de pureza del TEG, muestra la línea tendencia y la ecuación respectiva para el uso de 3 gal TEG/lb H<sub>2</sub>O como tasa de circulación del TEG pobre al 98,7% y permite conocer la cantidad de TEG pobre necesario para un flujo determinado de gas a deshidratar sin el uso de gas de despojamiento.



**Figura 4.24. Flujo de glicol pobre a bombear para un TEG a 98,7% de pureza.**

#### **4.4.5 Ajustar el flujo de gas de despojamiento empleado en la columna de despojo**

Para los lazos de control D11202 y D11215 que regulan el flujo de gas seco a emplearse en el despojo del agua aun contenida en el TEG, no se cuenta con una rata de flujo definida, de manera tal, que se manejan flujos que van desde 1,5 a 14 PCE/gal TEG.

A manera de evitar problemas de deficiencia en la purificación del glicol, inundación del rehervidor, aumento innecesario de la emisión de VOC y BTEX por el uso inadecuado del gas de despojo suministrado en el proceso, se recomienda probar el empleo de las tasas de flujo de gas mostradas en la

tabla 4.18, calculadas para valores distintos valores de N considerados a la temperatura de 400 °F.

**Tabla 4.18. Flujo de gas de despojo para el sistema de regeneración.**

Número de etapas teórica (N)	Flujo de gas de despojo (PCE/gal TEG)
1	11,7
2	6,4

Tal como muestra la tabla 4.18 se obtuvieron dos valores del flujo de gas de despojo a suministrar para dos consideraciones del número de etapas teóricas, ya que no se dispone con la especificación de esta característica del equipo, sino que se asumieron estos valores de acuerdo a la figura 3.5 y a los valores de pureza alcanzados en el sistema según la tabla 4.3. Por ello se recomienda probar el uso de ambos valores y estudiar el comportamiento del sistema para así utilizar el que arroje mejores resultados al desempeño del proceso.

#### **4.4.6 Realizar mantenimiento y calibración frecuente de instrumentos**

A pesar de que el departamento de mantenimiento operacional del COM cuenta con una planificación de los mantenimientos a efectuarse en cada proceso llevado a cabo, para prevenir interrupciones repentinas en el desarrollo del proceso y mantener en las mejores condiciones la instrumentación responsable de la medición, transmisión y control de cada

una de las variables en la planta, se debe de contar con planes de mantenimientos que incluyan el mantenimiento y la calibración continua de los instrumentos involucrados en los lazos de control del proceso así como de aquellos instrumentos que no son elementos de lazo, pero que proporcionan al personal de operaciones la información necesaria para el seguimiento del proceso, por lo cual se sugiere una planificación.

#### **4.4.7 Controlar la información correspondiente a las acciones correctivas llevadas a cabo en la instrumentación de la planta**

En vista de que es el supervisor de unidad quien normalmente evalúa el comportamiento de cada uno de los lazos presentes en el proceso, se propone se proceda al almacenamiento en sala técnica de los registros de cada actividad de mantenimiento efectuada a la instrumentación en campo. De esta manera se facilita el acceso al supervisor de la información concerniente a los procedimientos de ajuste realizados a los instrumentos, proporcionándole una mejor comprensión del desempeño de cada lazo y las condiciones de la instrumentación correspondiente presente en planta.

#### **4.4.8 Realizar mantenimiento a equipos**

A nivel de mantenimiento mayor, hace aproximadamente más de 4 años que no se efectúa un mantenimiento de este tipo en la planta, lo cual ocasiona que la mayoría los equipos no trabajen en su óptima condición.

Debido a que el gas natural arrastra consigo una serie de hidrocarburos líquidos, partículas sólidas, elementos ácidos, sales, entre otras impurezas y que aun con las etapas previas de filtración y separación en las facilidades de entrada del sistema, el gas siempre llega a la planta con cierto contenido

de impurezas, ocasionando problemas de acumulación en los equipos pertenecientes al sistema. Es necesario que cada cierto periodo se realicen mantenimientos mayores que permitan la revisión de las condiciones de cada equipo, así como tomar las acciones correspondientes para la limpieza y reparación de los posibles daños en estos.

Durante el desarrollo del análisis se observó que algunos de los equipos estaban presentando problemas que indican como posible causa la falta de mantenimiento, tal es el caso de los hornos rehervidores, que por la función que cumplen en el proceso son equipos críticos. Estos presentaron el inconveniente de tener niveles muy alto de TEG al momento de poner en funcionamiento el flujo de gas de despojamiento en las columnas de despojo ubicadas aguas abajo, problema que se presume es originado por la posible acumulación de hidrocarburos pesados (asfaltenos) en los empaques de las columnas produciendo obstrucción.

Por esta razón es necesario para el buen funcionamiento del proceso y de los lazos de control asociados, la ejecución de un mantenimiento a nivel de parada de planta que permita la revisión de cada uno de los equipos del proceso y tomar las acciones correctivas correspondientes.

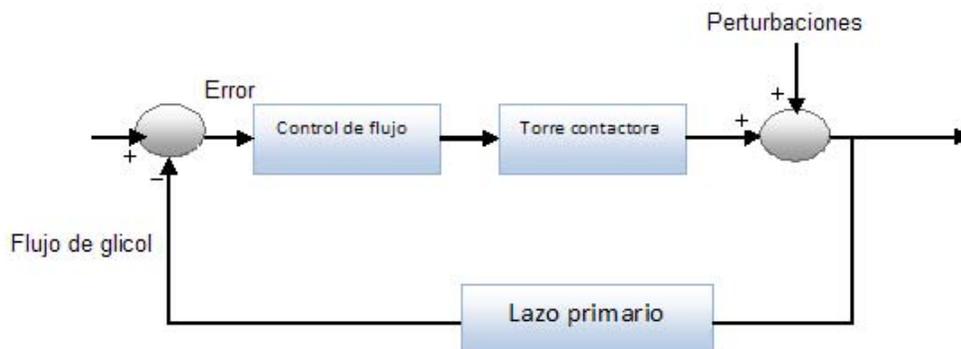
#### **4.4.9 Modificar esquema de control en el lazo de control D11217**

El lazo de control D11217 es uno de los más importantes del sistema, ya que la efectividad del proceso de absorción llevado a cabo en la torre contactora dependerá en gran manera de su funcionamiento.

A pesar de que se obtuvieron algunas relaciones de gal de TEG/lb de H<sub>2</sub>O removidas para unas determinadas condiciones, el hecho de que cualquiera de las consideraciones hechas varíe puede tener como

consecuencia que la tasa de circulación de glicol pobre empleada no produzca los resultados esperados y se obtenga entonces un gas deshidratado fuera de la especificación de humedad establecida por PIGAP I.

De acuerdo al esquema de control de retroalimentación (figura 4.25) simple que presenta el lazo D11217, el controlador de flujo mantendrá el valor de este en el punto de ajuste determinado tomando en cuenta las perturbaciones que incidan en la variación del flujo a la salida de las bomba de glicol, mas no tendrá en consideración las perturbaciones en el contenido de humedad del gas, de manera que este esquema de control no garantiza que el flujo de glicol enviado a la torre contactora cumpla efectivamente la función de deshidratar el gas natural hasta un contenido de humedad igual o inferior a 5 lb de H<sub>2</sub>O/MMPCED.

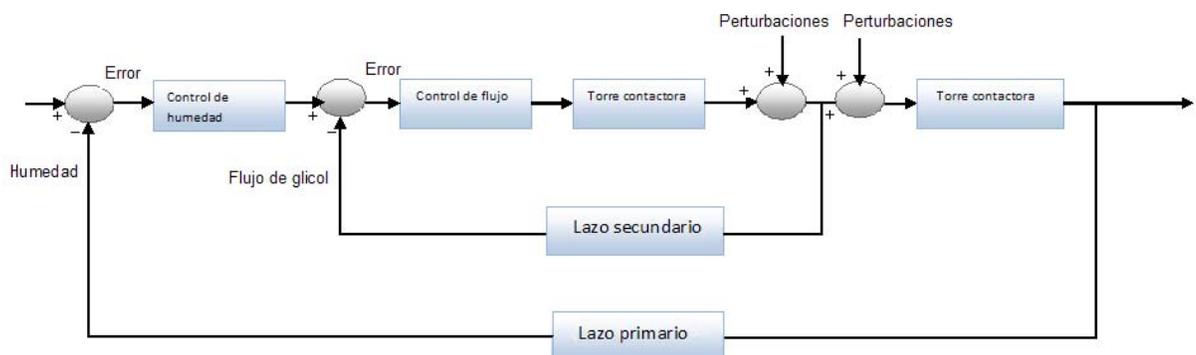


**Figura 4.25. Esquema actual de retroalimentación del lazo de control D11217.**

Para que el lazo de control D11217 no solo permita mantener el flujo de TEG bombeado a la torre contactora en el valor más adecuado para retirar cierto contenido de humedad del gas natural, sino que además garantice el contenido de humedad a la salida de la torre contactora en 5 lb de

H<sub>2</sub>O/MMPCED o un valor menor, es necesario que se establezca un esquema de control que permita enviar a la torre contactora el flujo necesario que mantenga el valor de la humedad de salida del gas.

El esquema de control en cascada presentado en la figura 4.26 consiste en un lazo primario para el control del contenido de humedad de salida y un lazo secundario para el control de flujo enviado a la torre contactora. El objetivo de modificar el lazo D11217 del control de retroalimentación simple al control de retroalimentación en cascada es que la cantidad de flujo enviado para el proceso de absorción asegure la especificación del gas deshidratado a través de una relación directa entre el flujo de glicol bombeado y el contenido de humedad a la salida de la contactora.



**Figura 4.26. Esquema de control en cascada para el lazo de control D11217.**

#### 4.5 CONCLUSIONES

1. La planta de deshidratación de PIGAP I fue diseñada para manejar el gas proveniente de los centros operativos COA y COT y actualmente

maneja el gas de estas fuentes junto con el proveniente de Santa Bárbara estación y el retorno seco de Santa Bárbara extracción.

2. Las condiciones de flujo, composición, presión y temperatura del gas que entra a la planta normalmente están dentro de las especificaciones de diseño.
3. El tren A por deficiencias en facilidades de entrada maneja flujos inferiores al de diseño, obligando al tren B a manejar el excedente sobrepasando en algunos casos lo establecido en el diseño, que junto con la puesta fuera de servicio de los enfriadores E1101/02, ocasiona desviaciones por arriba del diseño del proceso en la temperatura de entrada del gas a la torre contactora.
4. De acuerdo a las condiciones de humedad del gas a la entrada y salida, el contenido de humedad removido en cada tren es inferior al establecido por el diseño de la planta.
5. No existe definición en el proceso en cuanto a la tasa de circulación de TEG pobre por libras de agua removida a enviar a la torre contactora y el flujo de gas de despojo hacia la columna de despojo.
6. En el sistema de regeneración del TEG la temperatura en los condensadores de reflujo es inferior a los 215<sup>0</sup>F ocasionando arrastres de TEG en el vapor de agua y permitiendo la condensación de parte del agua que se evapora.
7. Se obtuvo un diagrama causa-efecto que contiene como causas principales a considerar en el desempeño del control del proceso, las

condiciones del proceso, el estado de la instrumentación, las fallas de los lazos de control, el estado del sistema de control, las condiciones del aire para instrumentos y la mano de obra.

8. Los factores o causas con mayor incidencia en la operación del control de la planta son las condiciones de los equipos y la operación fuera de las especificaciones de diseño de las variables del proceso.
9. A pesar de que el sistema de control de la planta ha sido actualizado y cuenta con la tecnología y la capacidad para el efectivo control de las operaciones que se llevan a cabo, la mayoría de los lazos de control son configurados en modo manual debido principalmente a la puesta fuera de servicio de algunos equipos y a la falta de definición de puntos de ajuste.
10. El control de las variables del proceso se basa en controladores PID clásicos.
11. Los lazos de control que fallan con mayor frecuencia son: Control de nivel en torre contactora (D11009), control de flujo hacia torre contactora (D11217), control de nivel en desasfaltenizador (D11145) y control de nivel en separador trifásico (D11223).
12. Como propuestas de mejora se sugiere el empleo de un lazo en cascada para garantizar el cumplimiento de las especificaciones del gas deshidratado, basado en las tasas de circulación de TEG determinadas para la operación del sistema de regeneración con y sin el uso del gas de despojo.

#### 4.6 RECOMENDACIONES

1. Realizar el seguimiento de cada una de las variables del sistema en un mismo periodo, para así establecer correctamente la dependencia entre ellas.
2. Activar el funcionamiento de los analizadores de humedad para conocer con mayor precisión el contenido de agua del gas deshidratado.
3. Analizar el funcionamiento de los distintos lazos de control en modo automático, ante diferentes variaciones del flujo de gas a deshidratar.
4. Analizar la capacidad de las válvulas de control como factor de inestabilidad en los lazos de control.
5. Probar el uso de una tasa de circulación de glicol de 2,0 gal TEG/lb H<sub>2</sub>O para un TEG regenerado con el uso de gas de despojo y de 3,0 gal TEG/lb H<sub>2</sub>O para un TEG regenerado sin el uso de gas de despojo.
6. Ajustar el punto de ajuste de los lazos de control del gas de despojo entre 6,4 y 11,7 PCED/gal TEG.
7. Determinar el número de unidades de transferencia en la columna despojadora para optimizar la relación de flujo de gas de despojo a emplear.
8. Evaluar las relaciones entre las constantes de tiempo integral en los lazos de control de nivel del desasfaltenizador y del separador trifásico configurados en modo cascada.

9. Estudiar la factibilidad y las respuestas de esquemas de control distintos al de retroalimentación simple para el lazo de control del flujo de TEG pobre hacia la contactora.
  
10. Realizar un estudio económico donde se ahonde de las implicaciones financieras con las pérdidas de TEG mensual.
  
11. Simular en estado dinámico el proceso de deshidratación llevado a cabo en la planta para conocer de manera general el ajuste de los controladores como parte del sistema.

## BIBLIOGRAFIA

Bustamante, R., (2009). *“Evaluación de las condiciones actuales de los sistemas de deshidratación de PIGAP I, en cuanto a las pérdidas de TEG”*, Trabajo de Grado, Departamento de Ingeniería Química. Universidad Simón Bolívar, Miranda-Venezuela.

Corripio, A., y Smith, C., (1991). *“Control Automático de Procesos”*. México: Editorial Limusa.

Creus, A., (1997). *“Instrumentación Industrial”*. Sexta Edición. México: Editorial Alfaomega.

Duran, M., y Castillo, E., (2004). *“Aplicación de esquemas de control avanzado en el proceso de deshidratación del Gas Natural”*.

Recuperado de <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/849/84912053004.pdf>

García, E., (2004). *“Deshidratación del Gas Natural e Inhibición de Hidratos”*. Venezuela: Ingenieros Asociados.

Gas Processors Suppliers Association (2004). Duodécima edición. Tulsa-Oklahoma.

Mavainsa. *“Control de procesos”*. Recuperado de:  
[http://www.mavainsa.com/documentos/9\\_control\\_procesos.pdf](http://www.mavainsa.com/documentos/9_control_procesos.pdf)

Martínez, M., (2003). *“Deshidratación del gas natural”*. Maracaibo-Venezuela: Ingenieros Consultores y Asociados, C.A. (ICONSA)

Mc Cabe, W., Smith, J., (1991). *“Operaciones Unitarias en Ingeniería Química”*. Cuarta Edición. España: Editorial McGraw-Hill.

Moreno, R., (2008). *“Evaluación de los lazos de control e instrumentación asociados a la operación de una planta productora de Metanol”*. Tesis de Grado, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Oriente. Anzoátegui-Venezuela.

PDVSA (2001). *“Complejo Muscar descripción de Procesos e Instalaciones”*. Venezuela: Gerencia de Infraestructura y Procesos.

Pérez, R., Martínez, M., (1991). *“Características y comportamiento de los hidrocarburos”*. Maracaibo-Venezuela: Ingenieros Consultores, S.R.L.

Rodríguez, E., Cova, A., (1997). *“Informe Prueba de Capacidad Trenes Deshidratación Alta Presión”*. Venezuela: Gerencia de Suministro de Gas, CORPOVEN, S.A.

Rojas, A., (2006). *“Estudio y optimización del sistema de deshidratación del gas natural con Trietilén Glicol (TEG) en la planta de procesamiento de gas Malvinas”*. (Tesis de grado, Universidad Nacional De Ingeniería).

Recuperado de <http://www.scribd.com/doc/40579049/Tesis-Gas-Natural>

## METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

<b>TÍTULO</b>	<b>ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE INCIDEN EN EL CONTROL DE LA PLANTA DE DESHIDRATACIÓN DE PIGAP I PARA EL MEJOR DESEMPEÑO DE LAS OPERACIONES DE ABSORCIÓN DEL AGUA, SEPARACIÓN Y REGENERACIÓN DEL TRIETILÉN GLICOL (TEG)</b>
<b>SUBTÍTULO</b>	

### AUTOR (ES):

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>CÓDIGO CULAC / E MAIL</b>
Infantes P., Leydimar J.	CVLAC: 18.926.228 E MAIL: <a href="mailto:leydimar88@hotmail.com">leydimar88@hotmail.com</a>

### PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Análisis causa-efecto

Control

PIGAP I

Deshidratación

Operaciones

Trietilén glicol

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

<b>ÁREA</b>	<b>SUBÁREA</b>
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Química

**RESUMEN (ABSTRACT):**

En este trabajo se realizó un análisis de los factores que inciden en el control de la planta de deshidratación de gas natural de PIGAP I, con la finalidad de conocer cuál es la operación actual del control de cada una de las variables involucradas en el proceso y si esta corresponde con las características necesarias para obtener un gas deshidratado con humedad máxima de 5 lb H<sub>2</sub>O/MMPCED. Para ello se compararon las condiciones de operación con las de diseño y se observó que algunas variables están fuera de las especificaciones de diseño; se identificaron cada uno de los lazos de control presentes en las operaciones de absorción del agua, separación y regeneración del TEG; se realizó un análisis causa-efecto a través del cual se determinó la influencia y la condición actual de los factores: Proceso, instrumentación, sistema de control, lazos de control, mano de obra y aire de instrumento obteniéndose que los desajustes más relevantes se encuentran en las condiciones de operación del proceso, ya que estas a la vez influyen en otras de las características evitando que el control de la planta sea manejado en forma efectiva y en muchos casos sea necesario que los operadores cumplan la función de los controladores. Así mismo se proponen un valor mínimo y otro máximo tanto para la tasa de circulación de TEG como para el flujo de gas de despojo y un conjunto de sugerencias para disminuir o eliminar los efectos originados por las fallas o desajustes hallados en el manejo del control automatizado de la planta.

---

---

---

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

**CONTRIBUIDORES:**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL</b>				
Vásquez Domingo	ROL	CA	AS x	TU	JU
	CVLAC:	10.287.104			
	E_MAIL	<a href="mailto:vasquezdb@pdvsa.com">vasquezdb@pdvsa.com</a>			
	E_MAIL				
Salas Yraima	ROL	CA	AS	TU x	JU
	CVLAC:	8.265.531			
	E_MAIL	<a href="mailto:yrasal@hotmail.com">yrasal@hotmail.com</a>			
	E_MAIL				
Rodulfo Arturo	ROL	CA	AS	TU	JU x
	CVLAC:	8.300.709			
	E_MAIL	<a href="mailto:rodulfo99@hotmail.com">rodulfo99@hotmail.com</a>			
	E_MAIL				
Arias Ronald	ROL	CA	AS	TU	JU x
	CVLAC:	13.498.859			
	E_MAIL	<a href="mailto:ronaldariasc@gmail.com">ronaldariasc@gmail.com</a>			
	E_MAIL				

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

<b>2011</b>	<b>11</b>	<b>17</b>
<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>DÍA</b>

**LENGUAJE. SPA**

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

**ARCHIVO (S):**

<b>NOMBRE DE ARCHIVO</b>	<b>TIPO MIME</b>
Tesis. Análisis.Control.Deshidratación.PIGAP I.doc	Application/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 Anzoátegui

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

### **DERECHOS**

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajos de grado

“Los Trabajos de grado son exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizadas a otros fines con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización”

Infantes P., Leydimar J.  
**AUTOR**

Ing. Arturo Rodulfo  
**JURADO**

Ing. Ronald Arias  
**JURADO**

Ing. Yraima Salas  
**ASESOR ACADÉMICO**

Ing. Domingo Vasquez  
**ASESOR INDUSTRIAL**

Ing. Yraima Salas  
**POR LA SUBCOMISION DE TESIS**