

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE CROMATOGRAFÍA EN
LÍNEA EN LAS URC'S Y EN LA NEGLP PARA LA AMPLIACIÓN DE LA
CAPACIDAD DE PGR EN LA GRB**

AUDRI YOIS GUTIÉRREZ ORDÓÑEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2012

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE CROMATOGRAFÍA EN
LÍNEA EN LAS URC'S Y EN LA NEGLP PARA LA AMPLIACIÓN DE LA
CAPACIDAD DE PGR EN LA GRB**

AUDRI YOIS GUTIÉRREZ ORDOÑEZ

**Trabajo de grado en Modalidad de PRÁCTICA INDUSTRIAL,
presentado para optar al título de Ingeniero Químico**

Director

Dr. FERNANDO VIEJO ABRANTE

Co.Directores

Ing. RICARDO ANDRADE GOMEZ

Director General de Proyectos INSURCOL Ltda.

Ing. JHON JAIRO RAMOS FLOREZ

Especialista de Procesos INSURCOL Ltda.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2012

A Dios por las situaciones difíciles y por darme la fortaleza necesaria para
superarlas.

A mis queridos Padres quienes se atrevieron a soñar conmigo, su ejemplo ha sido
la inspiración para seguir adelante, su apoyo y su confianza son la luz que
acompaña mi camino.

A mis hermanos John y Sebastián por sus consejos y enseñanzas.

A Nico y sol quienes con su llegada han llenado nuestras vidas de alegría y
esperanza.

A mis amigas, por su cariño y comprensión, por compartir tantas experiencias de
vida de esa manera tan especial.

Yois

AGRADECIMIENTOS

A Insurcol LTDA. y el grupo de Trabajo de Ingeniería por darme la oportunidad de vivir esta experiencia tan enriquecedora y formativa.

A la Universidad Industrial de Santander y la Escuela de Ingeniería Química, por la formación recibida.

Al Dr. Fernando Viejo Abrante por su colaboración y apoyo.

A todas las personas que siempre han creído en mí, y las que han estado a mi lado apoyándome.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	16
2. MARCO TEÓRICO.....	19
2.1.1. SISTEMA DE ANÁLISIS DE PGR POR CROMATOGRAFÍA DE GASES EN LÍNEA	19
2.1.2. TOMA DE MUESTRA DE PGR Y PRE-ACONDICIONAMIENTO	20
2.1.3. SISTEMA DE TRANSPORTE DE MUESTRA.....	20
2.1.4. SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE MUESTRA.....	21
2.1.5. SISTEMA DE ANALISIS DE PGR POR CROMATOGRAFIA DE GASES.....	21
2.1.6. SISTEMA AUXILIARES Y DE SERVICIOS.....	22
2.1.7. SISTEMA DE RESPALDO TOMA MUESTRA TIPO GOTEO EN LA NEGLP.	25
3. METODOLOGÍA.....	26
3.1. CHEQUEO HIDRÁULICO DE LÍNEAS DE PROCESO	27
3.1.1. CRITERIOS DE DISEÑO.....	29
3.1.2. CONDICIONES DE OPERACIÓN	31
3.2. CHEQUEO HIDRÁULICO DE LÍNEAS DE SERVICIO	35
3.2.1. CRITERIOS DE DISEÑO.....	36
3.2.2. CONDICIONES DE OPERACIÓN	37
4. RESULTADOS	39
4.1. CHEQUEO HIDRÁULICO DE LÍNEAS DE PROCESO	39
4.1.1. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE PROCESO	39
4.1.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL CHEQUEO HIDRÁULICO DE LA LÍNEA DE PROCESO.....	40
4.2. CHEQUEO HIDRÁULICO DE LÍNEAS DE AIRE.....	43
4.2.1. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE PROCESO	43
4.2.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS CHEQUEOS HIDRÁULICOS DE LA LÍNEA DE SERVICIOS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVA	43
5. CONCLUSIONES.....	45
BIBLIOGRAFIA.....	46
ANEXOS.....	48

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Lazo Rápido o Fast loop: Sistema de transporte de muestra que retorna la muestra excedente al proceso y tiene como misión reducir el tiempo de respuesta de análisis.

Línea de Proceso o Cabezal: Tubería utilizada para el transporte de fluidos bien sean productos o materias primas en las plantas de la refinería.

Muestra: Porción representativa de la corriente de proceso o producto y que tiene todas las propiedades relevantes.

Sonda toma-muestra o probe: Dispositivo insertado en un sitio específico en el cabezal de proceso para extraer una porción de muestra representativa.

Sistema toma-muestra o "Take-off": Sistema que incluye la sonda y los componentes aguas abajo hasta su conexión con el sistema de transporte de muestra.

Sistema de transporte de muestra: Sistema utilizado para transportar una muestra desde el sistema toma-muestra hasta el sistema de acondicionamiento de muestra o directamente hacia el analizador, para luego retornar la muestra excedente hacia un punto en el proceso o hacia un punto de servicio ("flare"), el transporte de muestra se puede realizar en fase líquida o gaseosa.

Pre-acondicionamiento de muestra: Uno o más dispositivos que acondicionan la muestra (presión, temperatura, flujo, cambio de estado) a tal condición para ser transportada hacia el acondicionamiento de muestra.

Sistema de acondicionamiento de muestra: Uno o más dispositivos que preparan una porción de la muestra del sistema de transporte de muestra apropiadamente a las condiciones requeridas por el analizador.

Analito: Es el componente (elemento, compuesto o ión) de interés analítico de una muestra.

Balance de materia y ecuación de continuidad: El balance de materia da una relación importante para el flujo que tiene lugar a través de un tubo de corriente. Puesto que no puede existir flujo a través de las paredes del tubo, la velocidad de flujo másico a la entrada del tubo, en un determinado período de tiempo, ha de ser igual a la velocidad de flujo másico a la salida.

El balance de masa para un fluido que pasa a través del tubo se puede expresar a través de la **Ecuación de Continuidad** que se aplica tanto a fluidos compresibles como no compresibles:

$$m = \rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2$$

Ecuación de Bernoulli: Es una forma de expresión de la aplicación de la ley de conservación de energía al flujo de fluidos en tuberías.

$$Z + \frac{P}{\rho * g} + \frac{V^2}{2 * g} = H$$

En un flujo ideal, en el cual no existen pérdidas por fricción, y tampoco se aporta energía adicional al sistema (bombas), la altura total H permanecerá constante para cualquier punto del fluido. Sin embargo, en la realidad se encuentra que:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho_1 * g} + \frac{V_1^2}{2 * g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho_2 * g} + \frac{V_2^2}{2 * g} + h_L$$

El balance de energía se escribe para dos puntos del fluido, incluyendo las pérdidas y/o incrementos de energía que ocurran en el sistema.

Pérdidas por fricción: el flujo de fluidos en tuberías siempre está acompañado de rozamiento de las partículas del fluido entre sí, y consecuentemente por la pérdida

de energía disponible. En otras palabras, tiene que existir una pérdida de presión en el sentido de flujo.

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g}$$

Ecuación de Darcy: La ecuación de Darcy es válida tanto para flujo laminar como para flujo turbulento de cualquier líquido en una tubería. De esta fórmula también se derivan pérdidas por válvulas y accesorios, donde la misma pérdida para una tubería recta se expresa por la ecuación:

$$h_L = K * \frac{v^2}{2 * g} \qquad K = f * \frac{L}{D}$$

La relación L/D es la longitud equivalente en diámetros de tubería recta que causa la misma pérdida de presión que el obstáculo, en la mismas condiciones de flujo.

LISTADO DE TABLAS

TABLA 1. COMPONENTES ANALIZADOS EN EL CROMATÓGRAFO TAG-A. ...	22
TABLA 2. COMPONENTES ANALIZADOS EN EL CROMATÓGRAFO TAG-B. ...	22
TABLA 3. CALIDAD DEL AIRE DE INSTRUMENTOS REQUERIDO POR LOS ANALIZADORES	23
TABLA 4. CONSUMO Y UTILIDAD DE LOS GASES EN EL CROMATÓGRAFO TAG-A	24
TABLA 5. CONSUMO Y UTILIDAD DE LOS GASES EN EL CROMATÓGRAFO TAG-B	24
TABLA 6. COMPOSICIÓN PROMEDIO PROVENIENTE DE LAS URC'S	29
TABLA 7. CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL CABEZAL DE URC'S EN EL LÍMITE DE LA PLANTA.	30
TABLA 8. COMPOSICIÓN DE PGR ANALIZADO POR LOS CROMATÓGRAFOS.	32
TABLA 9. CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL CABEZAL DE RECIBO A BALAS DE PGR.	32
TABLA 10. CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL CABEZAL DE DESPACHO A BOTES Y CARROTANQUES.....	33
TABLA 11. CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LAS URC'S.....	33
TABLA 12. CONDICIONES DE DISEÑO PARA LA OPERACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE MUESTRA Y EL SAM.....	34
TABLA 13. CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL CABEZAL DE AIRE DE INSTRUMENTOS.	37
TABLA 14. RESUMEN DE CÁLCULOS HIDRÁULICOS POR CASOS DE ESTUDIO.	41

LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.	17
FIGURA 2. DIAGRAMA BÁSICO DE FLUJO DE PROCESO DEL SISTEMA DE ANÁLISIS DE PGR POR CROMATOGRAFÍA DE GASES.	19
FIGURA 3. ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE	23
FIGURA 4. SISTEMA TOMA MUESTRA TIPO GOTEO.....	26
FIGURA 5. ETAPAS PARA REALIZAR LOS CHEQUEOS HIDRÁULICOS DE LA LÍNEA DE PROCESO Y DE SERVICIOS.	28
FIGURA 6. CRITERIOS DE DISEÑO CHEQUEO HIDRÁULICO DE LAS LÍNEAS DE PROCESO DE LAS URC'S Y LA NEGLP.	31
FIGURA 7. DIAGRAMA DE FLUJO PARA CÁLCULOS DE LAG TIME, PRESIÓN SET POINT DEL VAPORIZADOR, Y SELECCIÓN DE CV.	35
FIGURA 8. CRITERIOS DE DISEÑO CHEQUEO HIDRÁULICO DE LAS LÍNEAS DE AIRE	36
FIGURA 9. DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA LÍNEA DE AIRE.	38
FIGURA 10. DIAGRAMA DE FLUJO DE SIMULACIÓN EN HYSYS DE LAS URC'S.	39
FIGURA 11. DIAGRAMA DE FLUJO DE SIMULACIÓN EN HYSYS PARA LA NEGLP.	40

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO A. CHEQUEO HIDRAÚLICO DE LA LÍNEA DE PROCESO	48
ANEXO B. CHEQUEO HIDRAÚLICO DE LA LÍNEA DE SERVICIOS	53
ANEXO C. DIAGRAMA DE FLUJO DE SIMULACIÓN EN HYSYS LÍNEA DE PROCESO	55
ANEXO D. DIAGRAMA DE SIMULACIÓN EN HYSYS DE LA LÍNEA DE SERVICIOS.....	56
ANEXO E. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO TOMA MUESTRA TIPO GOTEO.....	57

RESUMEN

TITULO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE CROMATOGRAFÍA EN LÍNEA EN LAS URC'S Y EN LA NEGLP PARA LA AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DE PGR EN LA GRB.¹

AUTOR: AUDRI YOIS GUTIERREZ ORDOÑEZ²

PALABRAS CLAVES: Propileno Grado Refinería, Unidades de Ruptura Catalítica, SCML.

DESCRIPCIÓN:

Dentro de los proyectos claves de Ecopetrol S.A. se encuentra la ampliación de la capacidad de producción y almacenamiento de Propileno Grado Refinería (PGR), en la Gerencia de la Refinería de Barrancabermeja (GRB) de 16,000 barriles, que se tiene actualmente, a 30,000 barriles nominales. Además se requiere mejorar las condiciones de almacenamiento, así como dar cumplimiento a los despachos de PGR con puntualidad y garantías establecidos por la empresa Propilco S.A.

Para cumplir con dicho fin se propuso la implementación de un Sistema de Medición de Cromatografía en Línea (SMCL), ya que la premisa fundamental es la medición o monitoreo en línea en el menor tiempo posible de los parámetros de calidad en las corrientes de PGR en cada una de las Unidades de Ruptura Catalítica (URC's) y en la Nueva Estación de GLP (NEGLP) para garantizar acciones de control efectivas y no incurrir en re-procesos en el sistema de mezcla. Para este objetivo, se llevó a cabo el diseño e implementación de analizadores o SMCL en cada una de las URC's y en la NEGLP, que próximamente operarán en tiempo real y de forma continua, y tendrán la función de retroalimentar al controlador responsable de la mezcla para controlar las perturbaciones de composición y/o contaminantes en las corrientes de salida de cada planta.

De igual forma, la corriente PGR producto que llega a las balsas de almacenamiento en la NEGLP también será monitoreada por un sistema dual de cromatografía en línea que podrá cuantificar el PGR de despacho a carrotanques y/o a botes.

¹ Trabajo de grado

² Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Dr. Fernando Viejo Abrante. Ing. Ricardo Andrade Gomez. Ing. Jhon Jairo Ramos.
Universidad Industrial de Santander

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND IMPLEMENTATION OF CHROMATOGRAPHY SYSTEMS ONLINE IN URC'S AND NEGLP FOR THE ENLARGEMENT OF THE CAPACITY OF RGP ON THE MBR. ¹

AUTHOR: AUDRI YOIS GUTIERREZ ORDOÑEZ ²

KEYWORDS: Refinery grade propylene, catalytic cracking units, SCML,

DESCRIPTION:

Among the key projects of Ecopetrol S.A is expanding production capacity and Refinery Grade Propylene storage (RGP) in the management of the Barrancabermeja Refinery (MBR) of 16,000 barrels, which is currently at 30,000 nominal barrels. It also requires improving storage conditions and complying with the RGP offices on time and guarantees established by the company Propilco S.A

To accomplish this, It was proposed the implementation of a Measurement System Chromatography Online (SMCL), as the fundamental premise is the measurement or monitoring online as soon as possible of the quality parameters on the streams of RGP in each of the catalytic cracking fluids units (FCC's) and the New Station of LPG (NEGLP) to ensure effective control measures and re-engage in processes in the mixing system. To this aim, we carried out the design and implementation of analyzers or SMCL in each of the URC's and the NEGLP, which will eventually operate in real time and continuously, and will have the function of doing feedback to the controller responsible for the mixture disturbances in order to control composition and / or contaminants in the output streams of each plant.

Similarly, the current product PGR bullets reaching the NEGLP storage will also be monitored by a dual line chromatography can quantify the PGR released for tankers and / or boats.

¹ Degree Paper

² Faculty of Physical Chemical Engineerings. School of Chemical Engineering.
Advisor: PhD. Fernando Viejo Abrante. Ricardo Andrade Gomez. Jhon Jairo Ramos
Universidad Industrial de Santander

1. INTRODUCCIÓN

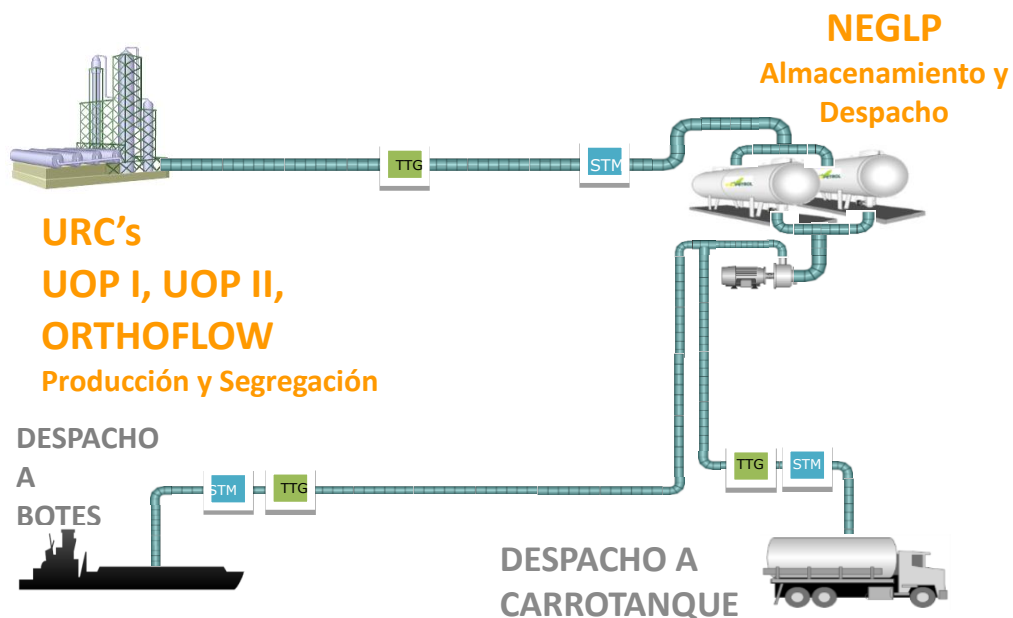
El propileno ($\text{CH}_2=\text{CHCH}_3$) es un hidrocarburo perteneciente a la familia de los alquenos, y constituye una de las principales olefinas ligeras. Su consumo está dedicado en un 60% a la obtención de polipropileno, utilizado para la producción de plásticos en una amplia variedad de aplicaciones que incluyen empaques para alimentos, textiles, equipo de laboratorio, componentes automotrices, billetes de polipropileno, entre otros.[1]

Hoy en día la mayor fuente de obtención de propileno se lleva a cabo mediante el proceso de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC), que es ampliamente utilizado para la conversión de fracciones de hidrocarburos pesados como gas-oil atmosférico, a productos livianos de mayor valor económico como la gasolina como producto primario y gases olefínicos como subproductos.[2] En la actualidad, el propileno se obtiene con diferentes grados de pureza que son grado refinería, PGR, con una pureza entre 50 y 70%, grado químico (92 – 94 %), y grado polímero (> 99 %).

Uno de los proyectos clave de la empresa Ecopetrol para los próximos años es la ampliación de la capacidad de producción y almacenamiento de PGR, que se obtiene al extraer algunos componentes del Gas Licuado del Petróleo (GLP) en la Gerencia de la Refinería de Barrancabermeja (GRB) de 16,000 barriles, que se tiene actualmente, a 30,000 barriles nominales. Con la nueva adecuación se pretende además mejorar las condiciones de almacenamiento, así como dar cumplimiento a los despachos de PGR con puntualidad y garantías establecidos por la firma Propilco S.A, empresa que en este momento provee todo el polipropileno nacional, y que tomará dicha producción de PGR como materia prima para la producción de polipropileno 100% puro, después de pasar por varios procesos de conversión. [3]

Para la ampliación de la capacidad de producción y almacenamiento de PGR se pretende trasladar a la “Nueva Estación GLP” (NEGLP), el almacenamiento y despacho de PGR, así como de n-butano. Así mismo, se contemplan los trabajos de segregación o separación de las corrientes de PGR en cada una de las Unidades de Ruptura Catalítica (URC’s) UOP I, UOP II y Orthoflow, que son las unidades que aportarán el producto; la instalación de nuevas balsas de almacenamiento para el despacho y venta de PGR en la NEGLP (Figura 1); y la implementación de un Sistema de Control de Mezcla en Línea (SCML) del propileno segregado antes de ser almacenado mediante el esquema “Rundown”, de forma que el PGR segregado fluya directamente desde las unidades de proceso (URC’s) hacia un cabezal donde será mezclado con objeto de cumplir las especificaciones de calidad para la venta.

Figura 1. Descripción general del proyecto.



Para la implementación del SCML, la premisa fundamental es la medición o monitoreo en línea en el menor tiempo posible de los parámetros de calidad en las corrientes de PGR en cada una de las unidades para garantizar acciones de

control efectivas y no incurrir en re-procesos en el sistema de mezcla. Para este objetivo, serán instalados analizadores o sistemas de medición de cromatografía en línea en cada una de las URC's, que operarán en tiempo real y de forma continua y tendrán la función de retroalimentar al controlador responsable de la mezcla para controlar las perturbaciones de composición y/o contaminantes en las corrientes de salida de cada planta.

De igual forma, para cumplir con los requisitos de calidad establecidos, la corriente PGR producto (o PGR mezclado) que llega a las balas de almacenamiento en la NEGLP también será monitoreada por un sistema dual de cromatografía en línea que podrá cuantificar el PGR de despacho a carrotanques y/o a botes, y a la vez retroalimentará por compensación al sistema de control de mezcla la calidad del PGR mezclado. Adicionalmente, el sistema de analizadores de la NEGLP tendrá un respaldo independiente que garantizará la captura continua de muestra durante la operación de la planta a través de un sistema automático de muestreo (Sistema de Toma Muestra Tipo Goteo, TTG) en cilindros de presión constante.

Para que la operación del sistema de cromatografía en línea de las URC's y de la NEGLP sea óptima, se precisa del entendimiento del recorrido de flujo de proceso que hace la muestra desde el momento que es extraída de los cabezales de proceso de las URC's, de recibo a balas, de despacho a botes y a carrotanques hasta su llegada a los analizadores, así como de los servicios auxiliares para el funcionamiento de los mismos. Por eso se debe comprender la función de cada componente de cada sistema, así como los diagramas de básicos y de flujo de proceso, y los diagramas de tubería e instrumentación P&ID's de proceso y servicios.

Con base a lo anterior, el objetivo de la práctica empresarial fue participar en el desarrollo de la ingeniería detallada de los sistemas de análisis de cromatografía

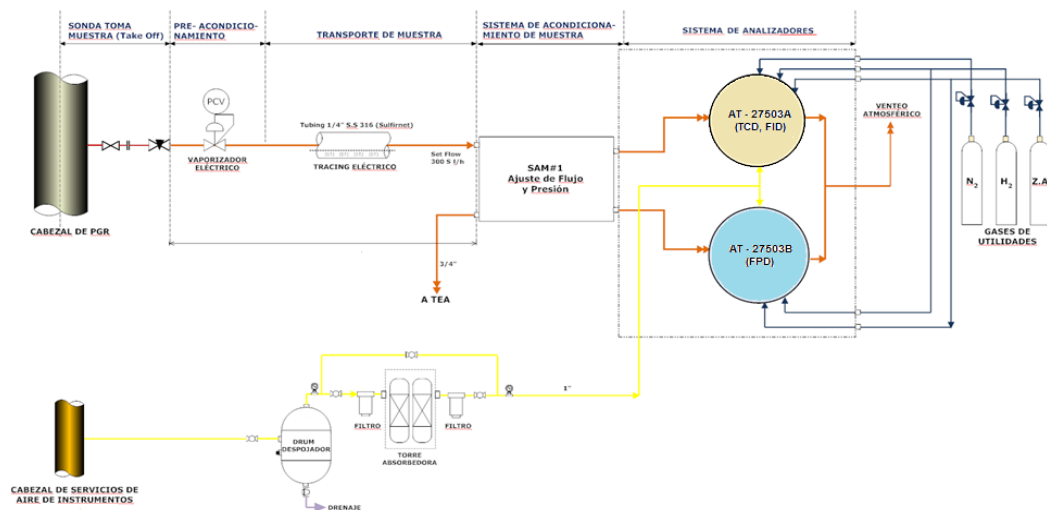
en línea de las corrientes de PGR de las unidades de ruptura catalítica UOPI, UOPII, ORTHOFLOW, así como de la NEGLP y proceder a su implementación final en dichas unidades.

2. MARCO TEÓRICO

2.1.1. SISTEMA DE ANÁLISIS DE PGR POR CROMATOGRAFÍA DE GASES EN LINEA

El sistema de análisis por cromatografía de gases en línea de las corrientes de PGR producto en las URC's, se compuso de los siguientes sistemas principales: Toma de Muestra y Pre-acondicionamiento; Sistema de Transporte de Muestra; Sistema de Acondicionamiento de Muestra; Sistema de Analizadores (Cromatógrafos); y Sistemas Auxiliares y de Servicio (ver Figura 2). Así mismo la NEGLP contó con un Sistema de Respaldo Toma-Muestra tipo Goteo. [4]

Figura 2. Diagrama básico de flujo de Proceso del sistema de Análisis de PGR por cromatografía de gases.



2.1.2. TOMA DE MUESTRA DE PGR Y PRE-ACONDICIONAMIENTO

En esta fase se encuentran involucrados el sistema de toma muestra y el vaporizador de la muestra. El sistema toma muestra consiste en una serie de facilidades para la conexión del sistema de análisis por cromatografía a las líneas de transporte de PGR, donde la muestra que se encuentra en estado líquido va a ser extraída para ser conducida al vaporizador. [5]

Por otro lado, el sistema de pre-acondicionamiento estuvo constituido por un regulador de presión vaporizador eléctrico encargado de convertir toda la muestra líquida extraída a vapor instantáneamente (flash) sin producir un cambio de composición de la muestra.[6].La presión de salida de éste se fijó entre 20-25 psig, condición necesaria que, junto a un flujo regulado de 300 l/h aguas abajo en el rotámetro del sistema de acondicionamiento, aseguran un tiempo de transporte de muestreo representativo hacia el analizador.

2.1.3. SISTEMA DE TRANSPORTE DE MUESTRA

En este sistema la muestra de PGR en estado vapor es transportada a través de un tubing con recubrimiento especial de sulfinert que actúa como una barrera inerte evitando que compuestos activos de azufre reaccionen con la superficie activa del acero. Este tubing cuenta con un sistema de tracing de calentamiento eléctrico perfectamente aislado y autorregulado a 120°C para evitar la condensación de las moléculas de agua presentes en la muestra vaporizada reduciendo de esta manera los efectos de adsorción y desorción de trazas de componentes y la presencia de superficies húmedas. Su funcionamiento es controlado con un LED indicador de tal forma que, en caso de daño del cable, el LED indicador permanecerá apagado.[7]

2.1.4. SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE MUESTRA

Una de las condiciones para el análisis es que las muestras sean representativas y adaptadas a las condiciones del cromatógrafo. Por eso este sistema estuvo constituido por elementos específicos para la eliminación de partículas sólidas, agua, control de presión, y control de flujo antes de entrar a los cromatógrafos.

2.1.5. SISTEMA DE ANALISIS DE PGR POR CROMATOGRAFIA DE GASES

El sistema de cromatografía cuenta con dos analizadores que incluye un encerramiento electrónico purgado con aire de instrumentos, un encerramiento de solenoides, un horno con aire precalentado con las columnas analíticas, las válvulas de muestra y los detectores; y un área con controladores de flujo y reguladores de presión. El aislamiento del interior permite que el horno y, por tanto, las columnas, operen isotérmicamente.[8]

Las concentraciones de los componentes de interés en la corriente de PGR fueron presentadas en el panel frontal de los analizadores y transmitidas o procesadas como datos digitales por comunicación modbus al Sistema de Control Distribuido (DCS) de cada URC y la NEGLP, donde los datos son normalizados y presentados en las unidades de concentración solicitadas por Ecopetrol.[9]

En cada shelter existen 2 tipos de analizadores en línea por GC, Los cuales fueron clasificados de acuerdo al tipo de detectores y componentes a identificar así:

- Analizador TAG-A. Este cromatógrafo de gas está destinado al análisis de Hidrocarburos, CO y CO₂, y está constituido por dos detectores: Detector de Conductividad Térmica (TCD) y un Detector de Ionización de Llama (FID) (Ver Tabla 1). Aproximadamente el tiempo de ciclo de análisis de este analizador es de

12 minutos, tiempo en que se actualizan vía comunicación MODBUS hacia el DCS.

Tabla 1. Componentes analizados en el cromatógrafo TAG-A.

Componente	Unidad	Componente	Unidad
Etano, C ₂ H ₆	% vol	Butano Plus (C4+)	% vol
Etileno, C ₂ H ₄	ppmV	Monóxido de Carbono, CO	ppmV
Propano, C ₃ H ₈	% vol	Dióxido de Carbono, CO ₂	ppmV
Propileno, C ₃ H ₆	% vol		

Analizador TAG-B. Este cromatógrafo de gas realiza el análisis de los componentes azufrados de la muestra y cuenta con un *Detector Fotométrico de Llama* (FPD) (ver tabla 2). Aproximadamente el ciclo de análisis de este analizador es de 15 minutos, tiempo en que se actualizan vía comunicación hacia el DCS.

Tabla 2. Componentes analizados en el cromatógrafo TAG-B.

Componente	Unidad
Sulfuro de Hidrógeno, H ₂ S	PpmV
Sulfuro de Carbonilo, COS	ppmV
Metil Mercaptano, CH ₄ S	ppmV
Etil Mercaptano, C ₂ H ₆ S	ppmV

2.1.6. SISTEMA AUXILIARES Y DE SERVICIOS

Los sistemas auxiliares y de servicio constituyen todos los requerimientos que los analizadores necesitan para la operación, confiabilidad y análisis de las corrientes de proceso. Entre estos se encuentran:

a) Sistema de Acondicionamiento de Aire de Instrumentos

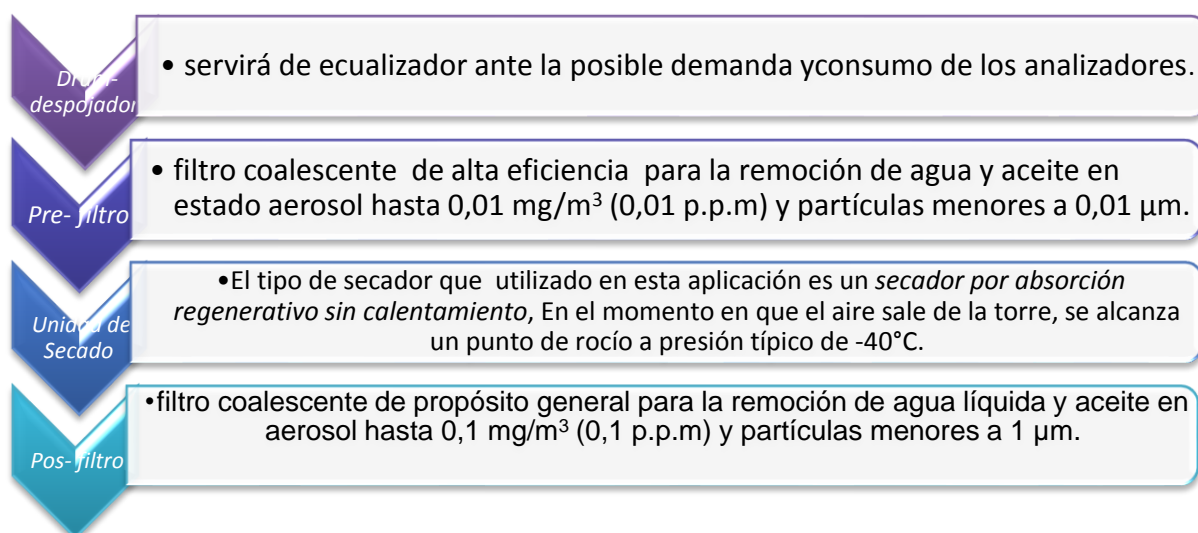
El aire de instrumentos producido en la refinería puede tener presencia de trazas de vapor de agua y aceite que son indeseables en la aplicación específica de los nuevos sistemas de cromatografía, por lo tanto debe ser acondicionado para la reducción de tales sustancias (Ver tabla 3). [10]

Tabla 3. Calidad del aire de Instrumentos requerido por los analizadores

Calidad Clase	Sólidos			Agua	Aceite
	0,1- 0,5 μ m	0,5- 1 μ m	1- 5 μ m	Dew Point ($^{\circ}$ C)	(mg/m ³)
2	100000	1000	10	-40	0,1

Fuente: Standard ISO 8573-1:2010

Figura 3. Especificaciones del Sistema de Acondicionamiento de Aire



El aire de instrumentos en los cromatógrafos ABB referencia PGC 2000 es utilizado para la purga tanto del encerramiento de la electrónica como del horno de calentamiento, y para la operación de las válvulas de accionamiento del

cromatógrafo. Este sistema cuenta con un pre-filtro, unidad de secado y un post-filtro. Las especificaciones se describen en la Figura 3.

b) Sistema de Gases de Utilidades

La garantía del correcto funcionamiento de los analizadores por cromatografía en línea de proceso de PGR con relación al monitoreo, control y actualización del sistema de información de los parámetros de calidad en la corriente de PGR, es el suministro adecuado de las utilidades o servicios que garanticen la confiabilidad en la operación de estos equipos, como es el caso de los Gases de Utilidades. Estos son Aire sintético o Cero (ZA), H₂ y N₂ de grado analítico (grado 5) cuyo consumo y utilidad para los cromatógrafos con TAG-A y TAG-B se muestra en las Tabla 4 y 5, respectivamente.[11]

Tabla 4. Consumo y utilidad de los gases en el cromatógrafo TAG-A.

GAS	CONDICIONES OPERACIÓN		TIPO DE DETECTOR		DESCRIPCIÓN
	Flujo cm ³ /min	Presión (psig)	FID	TCD	
H ₂	230	100	✓	✓	Gas de arrastre
N ₂	30	80	✓		Gas de dilución
ZA	300	100	✓		Aire de Combustión

Tabla 5. Consumo y utilidad de los gases en el cromatógrafo TAG-B.

GAS	CONDICIONES OPERACIÓN		TIPO DE DETECTOR	DESCRIPCIÓN
	Flujo cm ³ /min	Presión (psig)	FPD	
H ₂	270	100	✓	Gas de arrastre
ZA	30	100	✓	Aire de Combustión

c) Sistema de Calibración

La confiabilidad en las mediciones de cromatografía de gases en línea está respaldada tanto por las contra-muestras tomadas en planta y analizadas en el laboratorio de la GRB, como por el análisis estadístico de la desviación del equipo cuando estos son calibrados en sitio. El sistema de calibración se ubicó en el exterior del Shelter, uno para cada analizador. Estos cilindros contienen mezclas de patrones analíticos a bajas desviaciones de los parámetros representativos en fase gaseosa, que permiten ser seleccionados en forma manual o automática para la calibración del analizador.

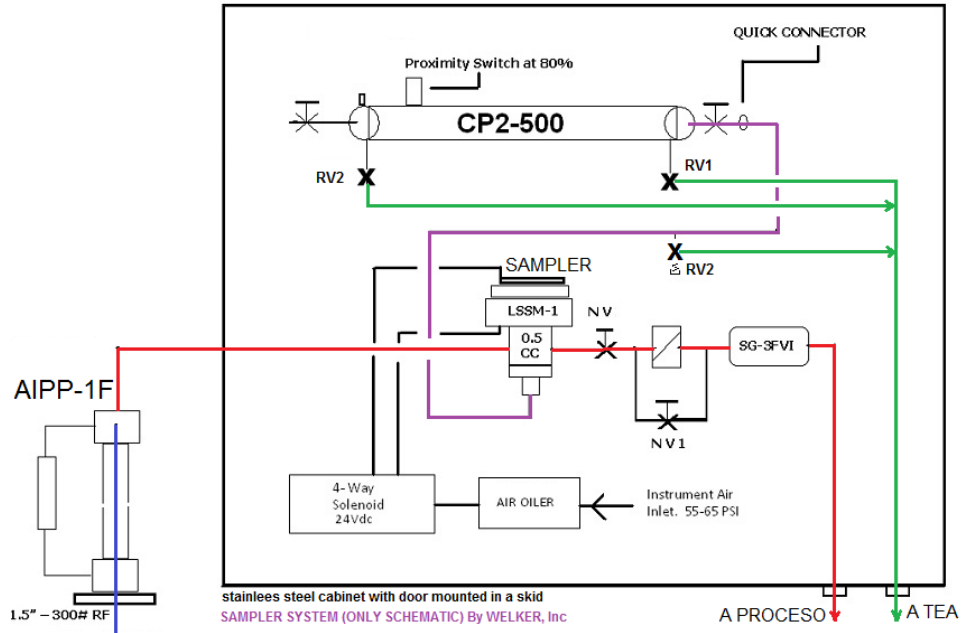
2.1.7. SISTEMA DE RESPALDO TOMA MUESTRA TIPO GOTEO EN LA NEGLP

Adicionalmente el sistema de analizadores de la NEGLP contó con un sistema independiente para el respaldo y validez de los resultados obtenidos por la sonda toma muestra, en caso de que los analizadores presentaran fallas de operabilidad o funcionamiento, o debido a problemas en el sistema de aire de instrumentos o el sistema de gases de utilidades. Este sistema garantiza la captura automática y continua de muestra a través de un Sistema de Toma Muestra Tipo Goteo (TTG).

El dispositivo consiste en un diseño exclusivo de Welker, Inc., constituido de un sampler o muestreador neumático que recibe pulsos de accionamiento a una frecuencia configurable desde el DCS dependiendo de la programación de despachos o recibo de la planta. El sampler consta de un pistón de desplazamiento positivo que inyecta cantidades fijas de muestra líquida por cada pulso a un cilindro portátil de presión constante tipo welker. El cilindro tiene dos cámaras divididas por un pistón interno que se desplaza para igualar las presiones a ambos lados de la cámara (Figura 4). Este permite el muestreo automático en fase líquida de PGR en los tres cabezales de proceso de la NEGLP (recibo a balas, despacho a carrotanques y despacho a botes) cumpliendo con las

especificaciones de densidad de llenado del cilindro de muestra para el transporte de GLP máximo del 80% de la capacidad total del cilindro (500 cm³). [12]

Figura 4. Sistema Toma Muestra Tipo Goteo



3. METODOLOGÍA

El éxito o fracaso del funcionamiento de un analizador depende de que haya sido correctamente especificado, seleccionado y que sea factible para la aplicación a que se destina. Pero también depende en gran medida del sistema de tratamiento de muestra en la medida que se garantice que ésta sea representativa y adaptada a las condiciones de entrada del analizador. Es por ello que el diseño de las líneas de transporte del proceso como de servicios deben ser especificadas mediante simulación, fundamentalmente en términos hidráulicos (ver Figura 5). Las condiciones resultantes de dicha simulación sirven de entrada a la especificación de los demás elementos constitutivos del sistema que garantiza el transporte de

muestra como son el Reductor de Presión Vaporizador y el set de temperatura del tracing eléctrico del sistema de transporte.

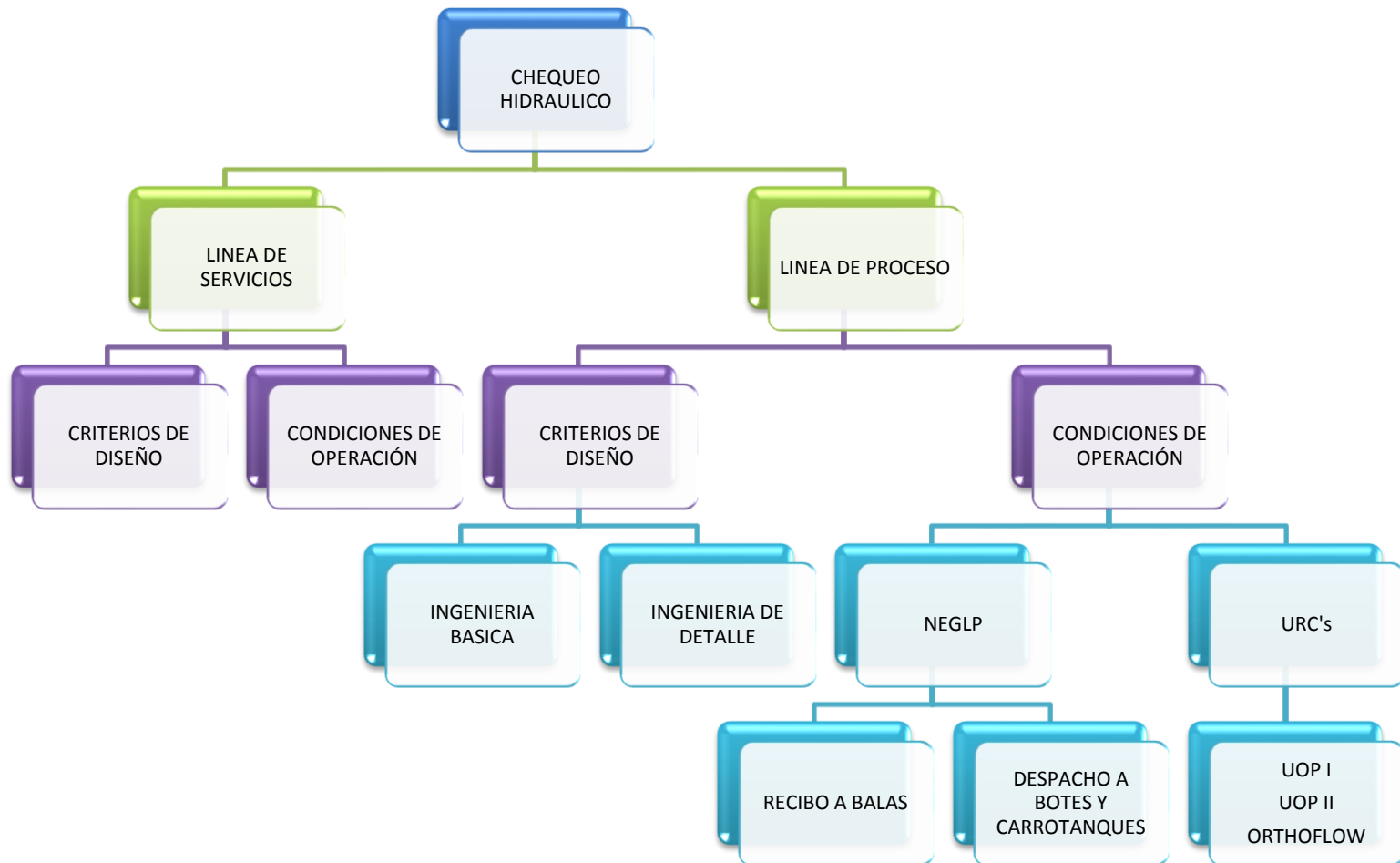
3.1. CHEQUEO HIDRÁULICO DE LÍNEAS DE PROCESO

Entre uno de los alcances enmarcados dentro del proyecto se encuentra validar los diseños de los componentes del sistema de transporte de muestra como es la Sonda Toma-Muestra (*probe*) en términos de tiempo muerto de transporte o “*Lag Time*” (t_d). Por ello es necesario llevar a cabo la evaluación hidráulica del circuito de transporte de muestra que está comprendido desde el punto de muestreo (toma-muestra), incluyendo el regulador de presión vaporizador, hasta su llegada al sistema de acondicionamiento de muestra. Todo lo anterior con la premisa de que el *lag time* sea mínimo. En últimas este tiempo sumado al tiempo de análisis inherente de cada analizador (t_{An}), representa el tiempo total de ciclo de análisis (t_{ct}).

Para la realización de los cálculos hidráulicos y las simulaciones de proceso, se aplicaron las siguientes premisas:

- Los cálculos hidráulicos se realizaron usando el software HYSYS 7.0.
- Las líneas se evalúan con los criterios de velocidad y $\Delta P/100$.

Figura 5. Etapas para realizar los chequeos hidráulicos de la Línea de Proceso y de Servicios.



- La longitud de las líneas de proceso y la contabilización de accesorios sobre las mismas líneas fueron estimados basándose en levantamientos en campo y en la elaboración de los isométricos de las líneas siguiendo el ruteo de las líneas en campo.

3.1.1. CRITERIOS DE DISEÑO

En la Tabla 6 se muestra la composición química de la corriente de PGR producido en las URC's que será utilizado como componente de mezcla en línea para producir PGR a las especificaciones de calidad de la GRB en operación normal bajo este nuevo esquema de mezcla. Dicha composición química fue la que se utilizó para realizar los cálculos hidráulicos.

Tabla 6. Composición promedio proveniente de las URC's

COMPONENTE	UNIDADES	UOP I	UOPII	ORTHOFLOW
Etano	% vol	0.16	0.32	0.22
Etileno	ppm wt	18.50	10.39	29.66
Propano	% vol	27.86	28.5	1.86
Propileno	% vol	71.23	70.8	97.85
Metil acetileno	ppm wt	42.52	31	0.72
Propadieno	ppm wt	12.00	8.0	0.25
i-Butano	% vol	0.54	0.33	0.01
n-Butano	% vol	0.08	0.1	0.02
C4+(*)	% vol	0.73	0.38	0.01
H ₂ S	ppm wt	0.02	0.01	0.03
COS	ppm wt	32.00	10.13	19.23
Metil Mercaptano	ppm wt	7.46	14.51	0.30
Etil Mercaptano	ppm wt	1.70	2.07	0.41
CO	ppm wt	1.50	1.33	0.22
CO ₂	ppm wt	1.73	1.85	29.66

(*) C4+ es la suma de las composiciones remanentes de trans-2-buteno, 1-buteno, i-buteno, cis-2-buteno, i-pentano y 1,3-butadieno.

Fuente: Bases de Diseño WG "Chequeo hidráulico de líneas de Proceso".

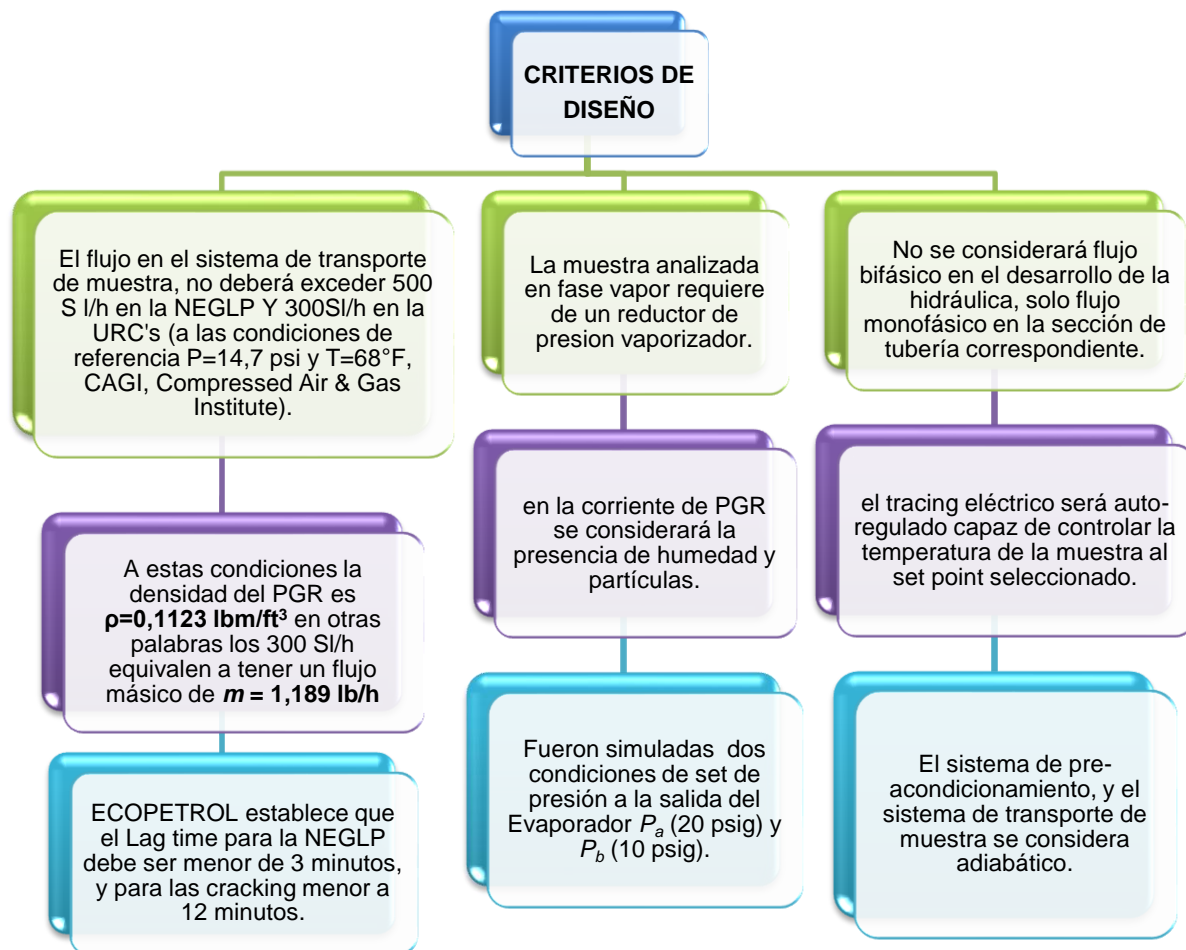
Las condiciones de operación del cabezal de PGR que se tuvieron en cuenta para realizar los chequeos hidráulicos se presentan en la Tabla 7, mientras que para la simulación de los casos de estudio se tuvieron en cuenta los criterios de diseño que se muestran en la Figura 6.

Tabla 7. Condiciones de Operación del Cabezal de URC's en el límite de la planta.

PLANTA	UOP I			UOP II			ORTHOFLOW		
	Mín	Norm	Máx	Mín	Norm	Máx	Mín	Norm	Máx
Flujo (BPD)	3000	4500	5100	700	1300	2700	1000	1500	2900
Presión (psig)	250	260	270	270	290	320	270	280	290
Temperatura (°F)	92	100	105	88	100	105	92	100	105
Gravedad Específica	0.491	0.483	0.478	0.498	0.486	0.481	0.492	0.484	0.479
Viscosidad (cP)	0.071	0.068	0.066	0.064	0.058	0.056	0.071	0.068	0.066
Presión vapor (psia)	196.3	217.9	232.3	193.6	226.6	241.6	195.6	217.1	231.4

Fuente: "Chequeo Hidráulico de Líneas de Proceso, GRB-5209011-210001-ID-PR-MC-001-0"

Figura 6. Criterios de Diseño Chequeo Hidráulico de las Líneas de Proceso de las URC's y la NEGLP.



3.1.2. CONDICIONES DE OPERACIÓN

La composición química promedio de los componentes que fueron analizados en cada uno de los cromatógrafos instalados en cada URC se presenta en la Tabla 8.

Tabla 8. Composición de PGR analizado por los cromatógrafos.

COMPONENTE	UNID.	UOP I	UOP II	ORTHOFLOW	NEGLP
Etano	% Vol	2	2	2	2
Etileno	ppmV	500	500	500	500
Propano	%Vol	30	30	30	30
Propileno	%Vol	65	65	88	65
C4+	%Vol	2.5	2.5	2.5	2.5
H ₂ S	ppmV	10	10	10	10
COS	ppmV	20	15	3	3
Metil Mercaptano	ppmV	10	20	2	2
Etil Mercaptano	ppmV	2	2	2	2
Azufre Total	ppmV	25	25	25	25
CO	ppmV	1	1	1	1
CO ₂	ppmV	1	1	1	1

Fuente: Tomado del documento de GRB-5210804-11015-ID-INS-HD-001, “Hoja de Datos de Analizador Online y Servicios Asociados” y del documento “On line Process stream analysis-sample take-off and transportation, DEP’s (Design and Engineering Practice)-Shell”.

Las condiciones de operación de presión, temperatura y composición de la corriente de PGR para las simulaciones fueron tomadas de las condiciones mínimas, normales y máximas de presión correspondiente a los diferentes flujos en los cabezales ubicados en las URC’s UOP I, UOP II, ORTHOFLOW y la NEGLP (ver tablas 9, 10, 11).

Tabla 9. Condiciones de Operación del cabezal de Recibo a Balas de PGR.

RECIBO A BALAS			
PARÁMETRO	Mínimo	Normal	Máximo
TEMPERATURA (°F)	105	105	105
PRESIÓN (psig)	230,7	230,7	230,7
FLUJO (g.p.m)	137	213	312

Tabla 10. Condiciones de operación del cabezal de Despacho a Botes y Carrotanques.

DESPACHO A BOTES					DESPACHO A CARROTANQUES			
PARÁMETRO	P-3185 ^a		P-3161 A/B		P-3185A		P-3161 A/B	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
TEMPERATURA (°F)	105	105	105	105	105	105	105	105
PRESIÓN (psig)	397,2	366	478,5	387	397,1	379,7	478	385,8
FLUJO (g.p.m)	255	840	230	680	255	680	230	680

En cada una de las URC's existe un solo sistema de transporte de muestra de PGR que conduce la corriente de PGR directamente desde el cabezal de interés, hasta el sistema de acondicionamiento de muestra (SAM). En el interior del gabinete de este sistema se encuentra un filtro tangencial donde una porción de muestra es filtrada y destinada al análisis mientras el mayor porcentaje de muestra 96-98% del flujo de entrada es considerada exceso y es direccionada al cabezal de servicios de relevo (TEA).

Tabla 11. Condiciones de Operación de las URC'S.

PLANTA	UOP I			UOP II			ORTHOFLOW		
PARÁMETRO	Mín	Normal	Máx	Mín	Normal	Máx	Mín	Normal	Máx
TEMPERATURA (°F)	92	100	105	92	100	105	88	100	105
PRESIÓN (psig)	270	280	290	249,9	259,9	269,9	270	290	320
FLUJO (g.p.m)	29,2	43,8	84,6	88	131	149	20,4	37,9	78,7

Finalmente, las condiciones necesarias que deben ser ajustadas y/o verificadas por el operador en el transporte de muestra (pre-acondicionamiento) y los SAM se presentan en la Tabla 12, mientras que el diagrama de flujo para los cálculos de

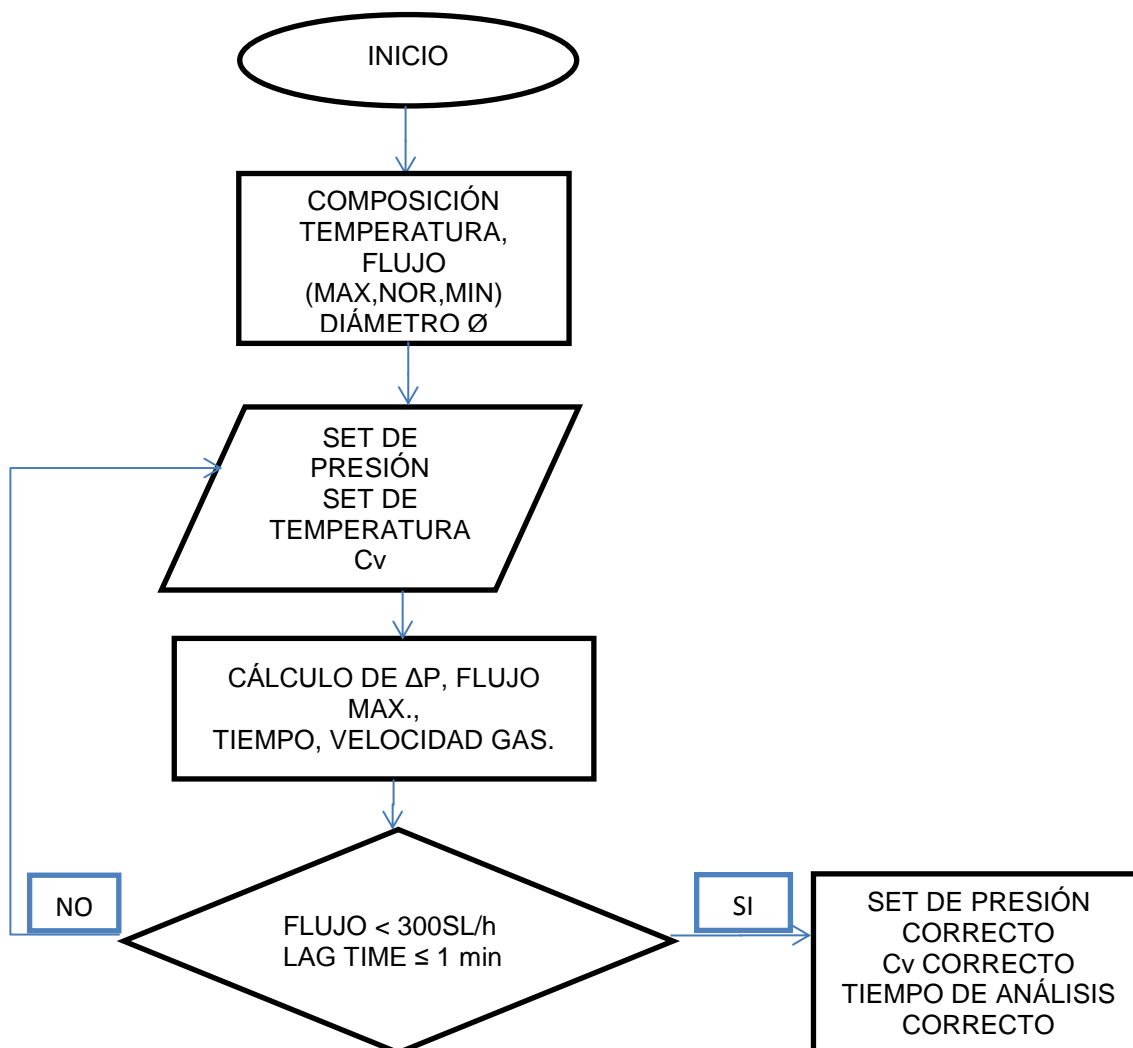
Lag-Time, Presión Set Point del Vaporizador y selección de Cv se presenta en la Figura 7.

Tabla 12. Condiciones de Diseño para la operación del Sistema de Transporte de Muestra y el SAM

Planta	Flujo Rotámetro al analizador FI1 ^A	Presión Mínima Set Vaporizador (psig)	Presión Máxima Set Vaporizador [psig]	Flujo Rotámetro al analizador FI2 ^A ,FI3 ^A	Temperatura Set Tracing (°F)
UOP I UOP II ORTHOFLOW	300 SI/h	15	20	100cm ³ /min	> 240°F
NEGLP	250SI/h	10	20	100cm ³ /min	>240°F

Fuente: Documento de Ingeniería Detallada Ecopetrol 2011.

Figura 7. Diagrama de Flujo para Cálculos de LAG TIME, Presión set point del vaporizador, y selección de Cv.



3.2. CHEQUEO HIDRÁULICO DE LÍNEAS DE SERVICIO

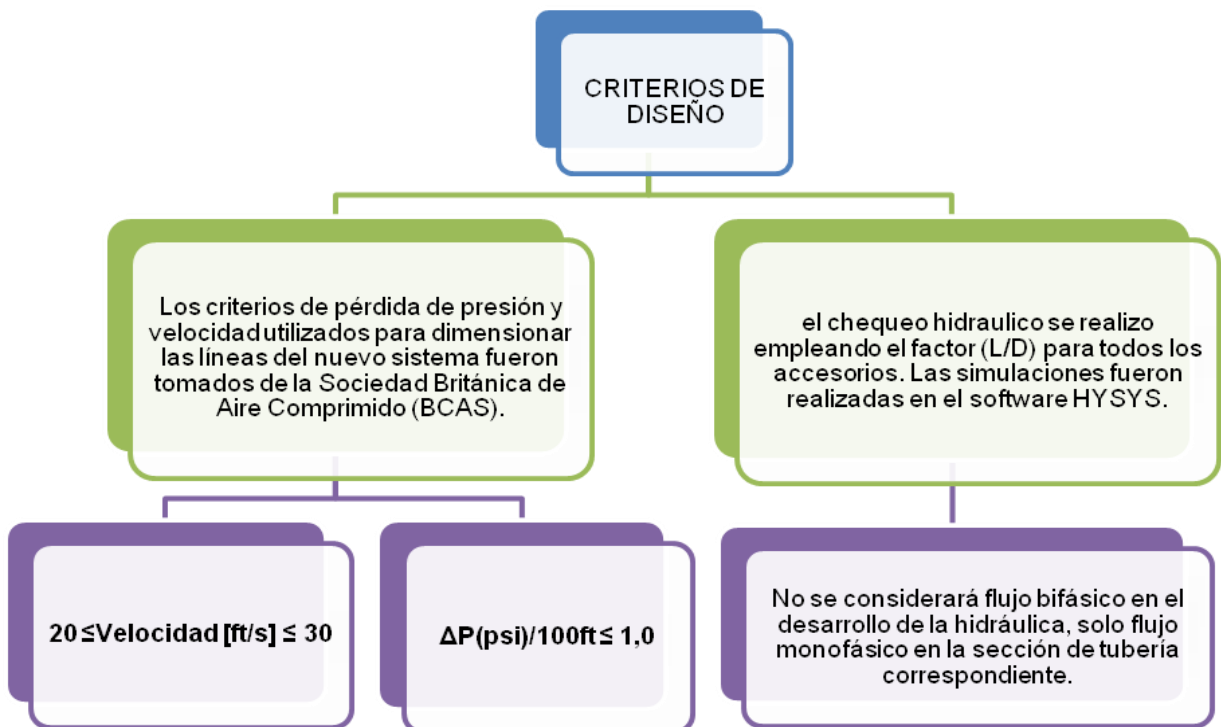
El aire de instrumentos debe contar además con las condiciones de caudal y presión requeridas por los cromatógrafos ABB PGC 2000 para la purga tanto del encerramiento de la electrónica como del horno de calentamiento y para la operación de las válvulas de accionamiento. El presente estudio hidráulico tuvo por objeto dimensionar las líneas de transporte de aire de instrumentos

cumpliendo con los criterios de caída de presión y velocidad, con el propósito de acondicionar este aire a la calidad de aire clase 2, con una presión tal que supla las necesidades de los nuevos sistemas, partiendo de las condiciones de presión, temperatura y capacidad dados por ECOPETROL S.A.

3.2.1. CRITERIOS DE DISEÑO

Para la simulación de los casos de estudio se tuvieron en cuenta los criterios de diseño mostrados en la Figura 8.

Figura 8. Criterios de Diseño Chequeo Hidráulico de las Líneas de Aire



Fuente: "British Compressed Air Society, Specification, Selection and Installation of Compressed Air Equipment".

3.2.2. CONDICIONES DE OPERACIÓN

Las simulaciones realizadas están orientadas a dimensionar el cabezal de aire de instrumentos para las condiciones requeridas (ver tabla 13). El chequeo hidráulico de la línea de aire de instrumentos se realizó a partir de las longitudes establecidas en los isométricos de levantamiento de campo empleando el factor (L/D) para todos los accesorios. Las simulaciones fueron realizadas en el software HYSYS, y estuvieron orientadas a optimizar las pérdidas de presión por fricción representadas por la ecuación de Darcy y la velocidad media de flujo para cumplir con los criterios de diseño, para los flujos mínimo, normal y máximo.

Tabla 13. Condiciones de operación del cabezal de Aire de Instrumentos.

PLANTA	PRESIÓN REQUERIDA [psig] [▲]	CAPACIDAD DISPONIBLE [SCFM] [▲]	FLUJO ^A MÍNIMO [SCFM]	FLUJO ^A NORMAL [SCFM]	FLUJO ^A MÁXIMO [SCFM]
UOP I UOP II ORTHOFLOW NEGLP	70	45 55	9,4	12	23,04 ^B

Fuente ▲: Departamento de Servicios Industriales de la GRB.

^B Flujo Rateado con un factor de seguridad 1,2.

Fuente ▲: Ingeniería Detallada “Cromatógrafo en Línea para Análisis de GLP para Nueva Estación de Almacenamiento de GLP”, desarrollada por Insurcol Ltda.

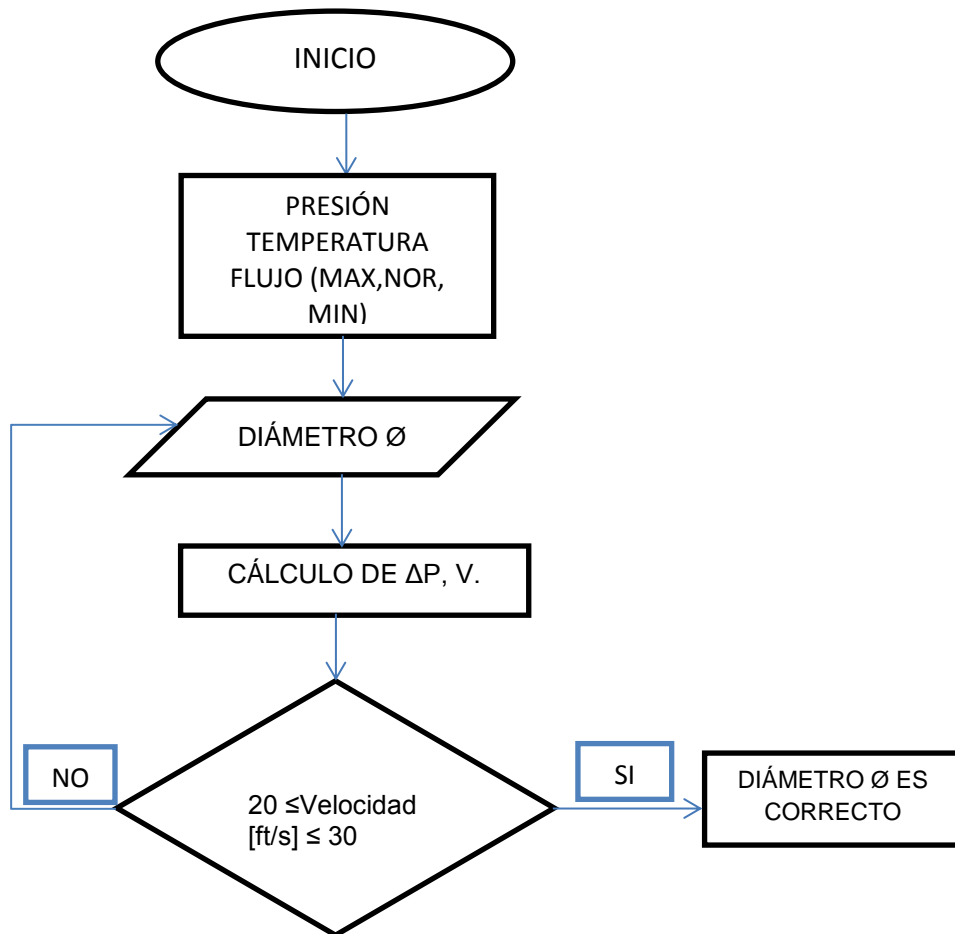
^A Correspondiente al consumo mínimo de los dos sistemas de cromatografía con la purga en estado estable y la purga del Sistema de Control de Alarmas (SCA).

^B Corresponde al flujo normal de consumo de aire en la purga en estado estable y la purga del SCA.

^C Correspondiente al consumo máximo del start-up de los sistema de cromatografía y la purga del Sistema de Control de Alarmas.

Finalmente en la Figura 9 se muestra el diagrama de flujo seguido para el dimensionamiento de la Línea de Aire para cumplir los criterios de diseño establecidos.

Figura 9. Diagrama de Flujo para el Dimensionamiento de la Línea de Aire.



4. RESULTADOS

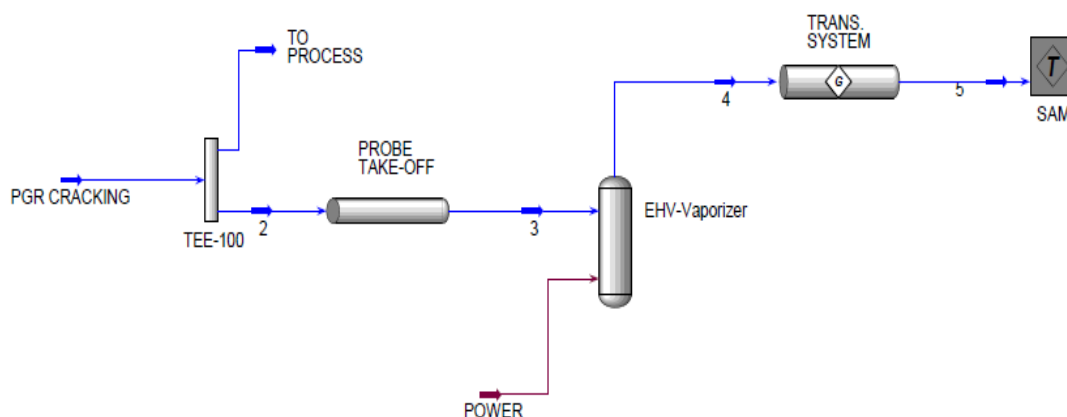
4.1. CHEQUEO HIDRÁULICO DE LÍNEAS DE PROCESO

4.1.1. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE PROCESO

a) CRACKING UOP I, UOP II, ORTHOFLOW

En la Figura 10 se muestra el Diagrama de Flujo de Proceso de Simulación ingresado en HYSYS que se realizó para cada una de las URC's utilizando los criterios de diseño y condiciones de operación establecidas.

Figura 10. Diagrama de Flujo de Simulación en HYSYS de las URC's.

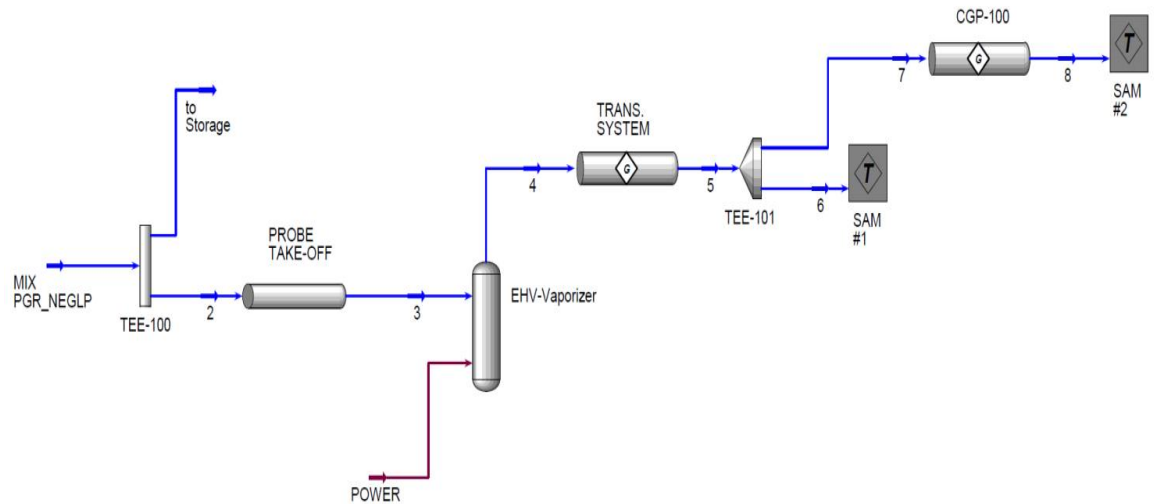


Por otro lado, en los anexos 1-6 se presentan los resultados de la simulación del sistema de transporte de muestra desde el punto de toma de muestra hasta el sistema de acondicionamiento de muestra de los analizadores.

b) NEGLP

De forma análoga, en la figura 11 se muestra el Diagrama de Flujo de Proceso de Simulación ingresado en HYSYS para la NEGLP y que incluye el recibo a balas y el despacho a botes y carrotanques.

Figura 11. Diagrama de Flujo de Simulación en HYSYS para la NEGLP.



En este sentido, en los anexos 7 y 8 se presentan los resultados de la simulación del sistema de transporte de muestra desde el punto de toma de muestra, hasta el sistema de acondicionamiento de muestra de los analizadores para el recibo a balas. Por otro lado, los anexos 9 – 16 se muestran los resultados de la simulaciones del sistema de transporte de muestra de los analizadores, para cuando se despache PGR desde la bomba P-3185A o desde las bombas P-3161A/B a los carrotanques y botes.

4.1.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL CHEQUEO HIDRÁULICO DE LA LINEA DE PROCESO

En los resultados de las simulaciones presentadas en los anexos están resaltados los mejores resultados en orden al Lag Time, presión de set point del vaporizador y la selección de Cv. En la tabla 14, se presenta los mismos resultados para cada uno de los casos de estudio de manera resumida.

Tabla 14. Resumen de Cálculos Hidráulicos por Casos de Estudio.

CASOS DE ESTUDIO	LAG TIME AL SAM [S]	PRESIÓN SET VAPORIZADOR SELECCIONADA [psig]	COEFICIENTE DE FLUJO SELECCIONADO O Cv	FLUJO MÁXIMO A TRAVÉS DE VAPORIZADOR [S l/h]	OBSERVACIONES
Recibo a Balas	46,8	20	0,06	725	Es necesario regular el flujo de vapor en el flujómetro del SAM#1 y SAM# 2 a 250 Sl/h
Despacho a CTK's con la P-3185^a	43,1	20	0,06	970	Es necesario regular el flujo de vapor en el flujómetro del SAM#1 y SAM# 2 a 250 Sl/h
Despacho a CTK's con la P-3161A/B	43,2	20	0,06	1069	Es necesario regular el flujo de vapor en el flujómetro del SAM#1 y SAM# 2 a 250 Sl/h
Despacho a Botes con la P-3185^a	61,5	20	0,06	970	Es necesario regular el flujo de vapor en el flujómetro del SAM#1 y SAM# 2 a 250 Sl/h
Despacho a Botes con la P-3161A/B	61,8	20	0,06	1070	Es necesario regular el flujo de vapor en el flujómetro del SAM#1 y SAM# 2 a 250 Sl/h

PGR de UOP II	63,7	20	0,06	766	Es necesario regular el flujo de vapor en el flujómetro del SAM a 300 SI/h
PGR de UOP I	79,7	20	0,06	820	Es necesario regular el flujo de vapor en el flujómetro del SAM a 300 SI/h
PGR de ORTHOFLOW	82,4	20	0,06	865	Es necesario regular el flujo de vapor en el flujómetro del SAM a 300 SI/h.

El análisis de resultados de la simulación es el siguiente:

1. Para cada uno de los casos de estudio se optó por seleccionar un Cv mayor con el objeto de tener flujo en exceso disponible para ser regulado en el flujómetro de los SAM's y así garantizar un flujo de transporte máximo de 250 SI/h en cada uno de la NEGLP y 300SI/h en las URC's.
2. El Lag Time mayor corresponde al tramo más largo de transporte de muestra correspondiente al despacho de PGR a Botes. Sin embargo, en cada uno de los casos se está superando las premisas dadas por Ecopetrol (menor a 12 minutos) para los sistemas de transporte de muestra de la URC's; y menor a 3 minutos en la NEGLP.
3. Dadas las características del Propileno hacen que el cambio súbito de presión en el evaporador produzca una disminución en la temperatura del fluido (entre -15 F a -40°F). A estas condiciones es muy probable que se presente un congelamiento externo del vaporizador por la humedad del aire. Para evitar

este efecto se recomienda utilizar aislamiento térmico flexible de espuma elastomérica para aislar las paredes del evaporador, útil para aplicaciones en frío (-50°C a +105°C), y baja conductividad térmica $\leq 0,039 \text{ W/m}^*\text{K}$, que previene la condensación de agua. Adicionalmente se seleccionó un rating del calentador de 200 W, para su implementación tanto de las URC's como en la NEGLP.

4.2. CHEQUEO HIDRÁULICO DE LÍNEAS DE AIRE

4.2.1. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE PROCESO

- a) **CRACKING UOP I, UOP II, ORTHOFLOW:** En los anexos 17-19 se listan los resultados obtenidos de la simulación del Diagrama de Proceso de Flujo ingresado en el software HYSYS.
- b) **NEGLP:** En el anexo 20 se listan los resultados obtenidos para la línea de aire en la NEGLP y en los anexos 21-22 se muestra el Diagrama de Proceso de Flujo ingresado en el software HYSYS. De la misma forma en la tabla N° 20 se especifican los principales parámetros como resultado de la simulación para evaluar los criterios de diseño y determinar si el diámetro seleccionado es el adecuado.

4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS CHEQUEOS HIDRÁULICOS DE LA LÍNEA DE SERVICIOS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVA

De los resultados obtenidos para cada uno de los flujos se observa que en el cabezal de distribución mayor de aire 1" y en las líneas secundarias, las velocidades y las caídas de presión están dentro de los criterios de diseño, por lo tanto en su implementación se garantiza un mínimo arrastre de humedad y aceite;

sin embargo si éste llegase a presentarse, el tambor (drum) despojador está diseñado para retener y drenar automáticamente los condensados acumulados.

5. CONCLUSIONES

De los chequeos hidráulicos de la línea de proceso se puede concluir:

- En la selección del vaporizador para cada una de las aplicaciones fueron contempladas cada una de las condiciones posibles de presión, temperatura y flujo.
- En cada uno de las URC's se garantiza la premisa de tener un Lag Time ≤ 12 minutos, mientras que para la NEGLP se garantiza la premisa de tener un Lagtime ≤ 3 minutos.
- Adicionalmente para el aislamiento térmico recomendado para la superficie exterior del Shelter, fueron seleccionados en cada aplicación vaporizadores con un máximo rating de calentamiento y rango de control de temperatura mayor de 115,3°C (239,5°F) que es la temperatura de Dew Point del agua a 10 psig.

De los resultados de la simulación de la línea de aire se concluye:

- El diámetro seleccionado de 1" para el transporte de aire de instrumentos desde el punto de toma de aire de instrumentos en el cabezal principal del mismo es adecuado para la aplicación requerida, porque las pérdidas por fricción y las velocidades media no exceden los criterios de diseño establecidos.
- Para los flujos de diseño establecidos, la presión disponible en el cabezal de distribución de aire de instrumentos (Clase 2) al interior del Shelter, debe ser superior en cualquier punto a la presión requerida por los analizadores y sistemas asociados.

BIBLIOGRAFIA

- [7] Chemical Analysis Modern Instrumentation. Methods and Techniques. Second Edition. Francis and Annick Rouessac.
- [10] Departamento de Servicios Industriales GRB. Clasificación por Clases de Calidad. norma ISO 8573-1:2010
- [6] Electrically Heated Vaporizing Pressure-Reducing regulator (SWAGELOK)
- [12] [ONLINE] Gases para la Instrumentación Analítica. www.abelo-linde-sa.es
- [1] [ONLINE] <http://encyclopedia.airliquide.com>
- [2] [ONLINE] <http://www.uop.com/processing-solutions/refining/>
- [3][ONLINE]http://www.ecopetrol.com.co/especiales/carta_petrolera119/rev_refinacion.htm
- [9] Ingeniería Básica desarrollada por Ecopetrol “Especificaciones Técnicas generales para un Sistema de Análisis por Cromatografía de Propileno Grado Refinería en GRB”.
- [4] “INGENIERIA DETALLADA PARA LA GESTION DE COMPRAS, CONSTRUCCION Y MONTAJE DE CROMATOGRAFOS EN LINEA EN LAS UNIDADES DE RUPTURA CATALITICA UOP I, UOP II, ORTHOFLOW Y LA NEGLP PARA LA AMPLIACION DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE PROPILENO GRADO REFINERIA EN LA GRB”
- [11] Liquid Sample. Welker Inc. www.welkereng.com. Documento VRP-DPY-M-101 “Manual de Criterios de Condiciones de Diseño- ECP”.

- [8] [ONLINE] PGC 200 GENERAL SPECIFICATION.www.abb.com/analytical/
- [5] [On line] Process stream analysis- sample take-off and transportation, DEP's (Design and Engineering Practice)-Shell.

ANEXOS

ANEXO A. CHEQUEO HIDRÁULICO DE LA LÍNEA DE PROCESO

Cálculos Hidráulicos Sistema de transporte de Muestra UOP I. Para presión set del vaporizador de 10 psig, y $T_{\text{setpoint}} > D.P_{\text{H}_2\text{O}}$ (115,3°C)

RESULTADOS	Qmin_cabezal (29,2 g.p.m)	Qnor_cabezal (43,8 g.p.m)	Qmáx_cabezal (84,6 g.p.m)
Energía al Vaporizador, BTU/h	257,7	251,0	246,8
Temperatura final T2, °F	239,9	239,9	240,0
Presión final P2, psig	7,77	7,77	7,77
Caída de Presión, psi	2,23	2,23	2,23
□Psi/100 ft:	0.845	0.845	0.845
Velocidad Gas, ft/s	14,0	14,0	14,0
Tiempo de residencia τ_2 , s	18,8	18,8	18,8
Flujo máx, SCFM @ Cv=0,02	0,160	0,163	0,166
Flujo máx, SCFM @ Cv=0,06	0,481	0,490	0,498

Sistema de transporte de Muestra UOP I. Presión set del vaporizador de 20 psig, y $T_{\text{setpoint}} \geq D.P_{\text{H}_2\text{O}}$ (126°C).

RESULTADOS	Qmin_cabezal (29,2 g.p.m)	Qnor_cabezal (43,8 g.p.m)	Qmáx_cabezal (84,6 g.p.m)
Energía al Vaporizador, BTU/h	267,7	261,0	256,8
Temperatura final T2, °F	258,8	258,8	258,9
Presión final P2, psig	18,39	18,39	18,39
Caída de Presión, psi	1,61	1,61	1,61
□Psi/100 ft:	0,61	0,61	0,61
Velocidad Gas, ft/s	10,0	10,0	10,0
Tiempo de residencia τ_2 , s	26,4	26,4	26,4
Flujo máx, SCFM @ Cv=0,02	0,155	0,158	0,161
Flujo máx, SCFM @ Cv=0,06	0,465	0,475	0,483

Cálculos Hidráulicos Sistema de transporte de Muestra UOP II. Para presión set del vaporizador de 10 psig, y $T_{\text{setpoint}} > D.P_{\text{H}_2\text{O}}$ (115,3°C).

RESULTADOS	Qmin_cabezal (88 g.p.m)	Qnor_cabezal (131 g.p.m)	Qmáx_cabezal (149 g.p.m)
Energía al Vaporizador, BTU/h	266,9	260,2	256,0
Temperatura final T2, °F	257,5	257,5	257,6
Presión final P2, psig	9,51	9,51	9,51
Caída de Presión, psi	0,481	0,481	0,481
$\Delta\text{Psi}/100$ ft:	0,859	0,859	0,859
Velocidad Gas, ft/s	13,8	13,8	13,8
Tiempo de residencia τ_2 , s	4,12	4,12	4,12
Flujo máx, SCFM @ $C_v=0,02$	0,152	0,155	0,158
Flujo máx, SCFM @ $C_v=0,06$	0,456	0,466	0,475

Cálculos Hidráulicos Sistema de transporte de Muestra UOP II. Para presión set del vaporizador de 20 psig, y $T_{\text{setpoint}} \geq D.P_{\text{H}_2\text{O}}$ (126°C).

RESULTADOS	Qmin_cabezal (88 g.p.m)	Qnor_cabezal (131 g.p.m)	Qmáx_cabezal (149 g.p.m)
Energía al Vaporizador, BTU/h	267,1	260,4	256,2
Temperatura final T2, °F	258,8	258,8	258,9
Presión final P2, psig	19,65	19,65	19,65
Caída de Presión, psi	0,35	0,35	0,35
$\Delta\text{Psi}/100$ ft:	0,614	0,614	0,614
Velocidad Gas, ft/s	9,8	9,8	9,8
Tiempo de residencia τ_2 , s	5,8	5,8	5,8
Flujo máx, SCFM @ $C_v=0,02$	0,144	0,147	0,150
Flujo máx, SCFM @ $C_v=0,06$	0,432	0,442	0,451

Cálculos Hidráulicos Sistema de transporte de Muestra ORTHOFLOW. Para presión set del vaporizador de 10 psig, y $T_{\text{setpoint}} > D.P_{\text{H}_2\text{O}}$ (115,3°C).

RESULTADOS	Qmin_cabezal (20,4 g.p.m)	Qnor_cabezal (37,9 g.p.m)	Qmáx_cabezal (78,7 g.p.m)
Energía al Vaporizador, BTU/h	256,1	251,0	242,3
Temperatura final T2, °F	240,0	240,0	239,9
Presión final P2, psig	7,68	7,68	7,68
Caída de Presión, psi	2,32	2,32	2,32
$\Delta\text{Psi}/100$ ft:	0,838	0,838	0,838
Velocidad Gas, ft/s	14,0	14,0	13,5
Tiempo de residencia τ_2 , s	19,7	19,7	20,5
Flujo máx, SCFM @ $C_v=0,02$	0,160	0,166	0,175
Flujo máx, SCFM @ $C_v=0,06$	0,481	0,499	0,526

Cálculos Hidráulicos Sistema de transporte de Muestra ORTHOFLOW. Para presión set del vaporizador de 20 psig, y $T_{\text{setpoint}} \geq D.P_{\text{H}_2\text{O}}$ (126°C).

RESULTADOS	Qmin_cabezal (20,4 g.p.m)	Qnor_cabezal (37,9 g.p.m)	Qmáx_cabezal (78,7 g.p.m)
Energía al Vaporizador, BTU/h	265,6	255,9	251,9
Temperatura final T2, °F	258,8	258,8	258,9
Presión final P2, psig	18,3	18,3	18,3
Caída de Presión, psi	1,7	1,7	1,7
$\Delta\text{Psi}/100$ ft:	0,603	0,603	0,603
Velocidad Gas, ft/s	10,0	10,0	10,0
Tiempo de residencia τ_2 , s	27,6	27,6	27,6
Flujo máx, SCFM @ $C_v=0,02$	0,155	0,161	0,170
Flujo máx, SCFM @ $C_v=0,06$	0,465	0,483	0,509

Cálculos Hidráulicos Sistema de Transporte de Muestra- Recibo a Balas NEGLP. Para presión set del vaporizador de 10 psig, y T_setpoint > D.PH₂O (115,3°C).

TRANS. SYSTEM SECTION TO (SAM#1)			
RESULTADOS	Qmin_cabecal (137 g.p.m)	Qnorm_cabecal (213 g.p.m)	Qmáx_cabecal (312 g.p.m)
Energía al Vaporizador, BTU/h	425,8	425,8	425,8
Temperatura final T2, °F	239,7	239,7	239,7
Presión final P2, psig	8,58	8,58	8,58
Caída de Presión, psi	1,42	1,42	1,42
□Psi/100 ft:	2,02	2,02	2,02
Velocidad Gas, ft/s	22,9	22,9	22,9
Tiempo de residencia T ₂ , s	3,0	3,0	3,0
TRANS. SYSTEM SECTION TO (SAM#2)			
RESULTADOS	Qmin_cabecal (137 g.p.m)	Qnor_cabecal (213 g.p.m)	Qmáx_cabecal (312 g.p.m)
Temperatura final T2, °F	258,8	258,8	258,8
Presión final P2, psig	8,14	8,14	8,14
Caída de Presión, psi	0,39	0,39	0,39
□Psi/100 ft:	0,65	0,65	0,65
Velocidad Gas, ft/s	12,2	12,2	12,2
Tiempo de residencia T ₄ , s	4,9	4,9	4,9
Flujo máx, SCFM @ Cv=0,02	0,146	0,146	0,146
Flujo máx, SCFM @ Cv=0,06	0,438	0,438	0,438

Cálculos Hidráulicos Sistema de transporte de Muestra- Recibo a Balas NEGLP. Para presión set del vaporizador de 20 psig, y T_setpoint \geq D.P H₂O (126°C).

TRANS. SYSTEM SECTION TO (SAM#1)			
RESULTADOS	Qmin_cabezal (137 g.p.m)	Qnorm_cabezal (213 g.p.m)	Qmáx_cabezal (312 g.p.m)
Energía al Vaporizador, BTU/h	425	425	425
Temperatura final T2, °F	258,9	258,9	258,9
Presión final P2, psig	18,97	18,97	18,97
Caída de Presión, psi	1,03	1,03	1,03
□ Psi/100 ft:	1,47	1,47	1,47
Velocidad Gas, ft/s	16,5	16,5	16,5
Tiempo de residencia T ₂ , s	4,2	4,2	4,2
TRANS. SYSTEM SECTION TO (SAM#2)			
RESULTADOS	Qmin_cabezal (137 g.p.m)	Qnor_cabezal (213 g.p.m)	Qmáx_cabezal (312 g.p.m)
Temperatura final T2, °F	258,9	258,9	258,9
Presión final P2, psig	18,7	18,7	18,7
Caída de Presión, psi	0,27	0,27	0,27
□ Psi/100 ft:	0,45	0,45	0,45
Velocidad Gas, ft/s	8,4	8,4	8,4
Tiempo de residencia T ₄ , s	7,1	7,1	7,1
Flujo máx, SCFM @ Cv=0,02	0,142	0,142	0,142
Flujo máx, SCFM @ Cv=0,06	0,427	0,427	0,427

ANEXO B. CHEQUEO HIDRÁULICO DE LA LÍNEA DE SERVICIOS

Resumen de cálculos hidráulicos línea de servicios UOP I.

RESULTADOS	Q_mínimo (9,4 SCFM)	Q_normal (12 SCFM)	Q_máximo (23,0 SCFM)
Temperatura final T2, °F	94,9	94,9	94,9
Presión final P2, psig	64,75	64,57	63,37
Caída de Presión, psi	0,016	0,023	0,0733
□ Psi/100 ft:	0,487	0,701	2,233
Velocidad Gas, ft/s	14,69	17,02	28,55

Resumen de cálculos hidráulicos línea de servicios UOP II.

RESULTADOS	Q_mínimo (9,4 SCFM)	Q_normal (12 SCFM)	Q_máximo (23,0 SCFM)
Temperatura final T2, °F	94,9	94,9	94,9
Presión final P2, psig	64,7	64,6	63,5
Caída de Presión, psi	0,00159	0,0233	0,0730
ΔPsi/100 ft:	0,048	0,710	2,22
Velocidad Gas, ft/s	14,7	17,0	28,5

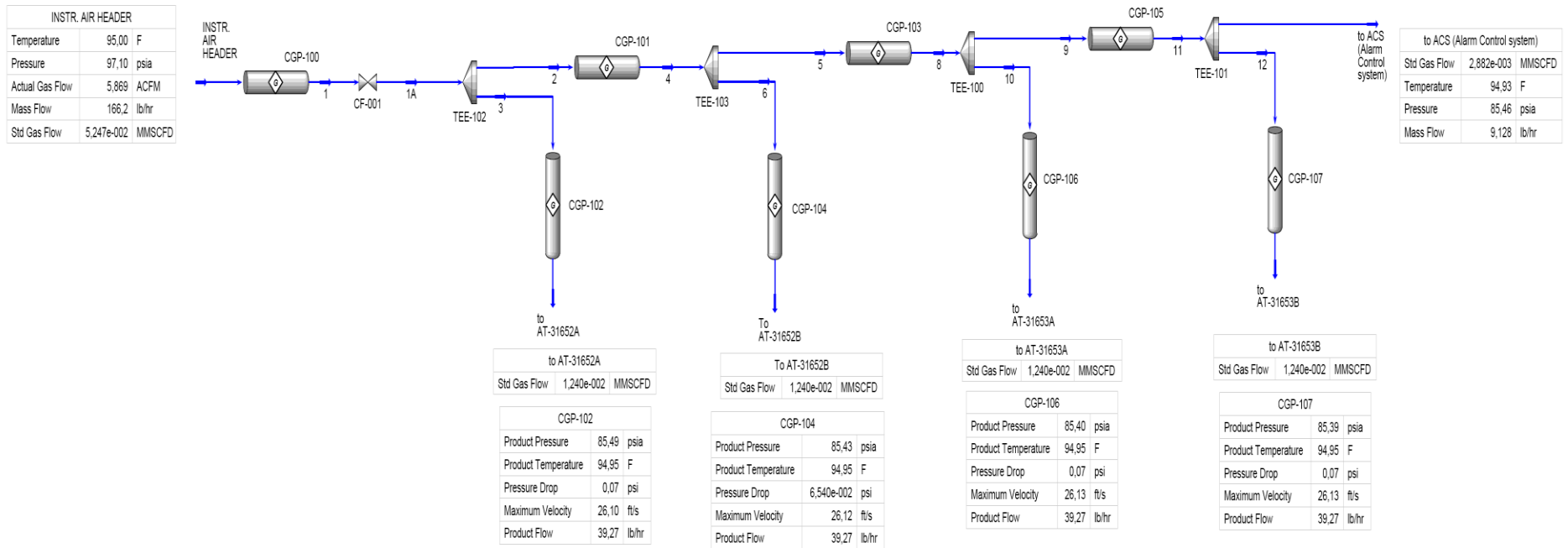
Resumen de cálculos hidráulicos línea de servicios ORTHOFLOW.

RESULTADOS	Q_mínimo (9,4 SCFM)	Q_normal (12 SCFM)	Q_máximo (23,0 SCFM)
Temperatura final T2, °F	94,9	94,9	94,9
Presión final P2, psig	64,58	64,35	62,75
Caída de Presión, psi	0,02	0,02	0,07
ΔPsi/100 ft:	0,609	0,609	2,13
Velocidad Gas, ft/s	14,7	17,1	28,8

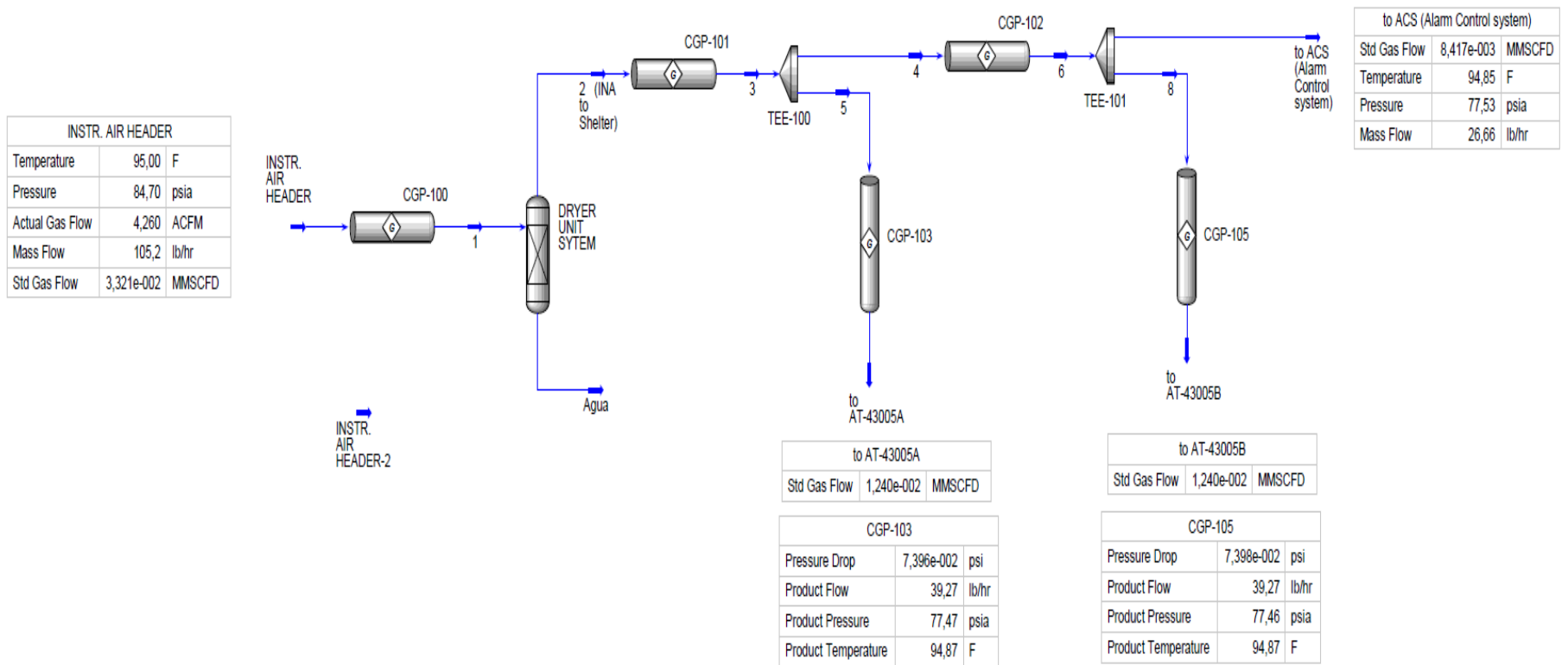
Resumen de cálculos hidráulicos línea de servicios NEGLP.

RESULTADOS	Q_mínimo (18,5 SCFM)	Q_normal (22,8 SCFM)	Q_máximo (36,4 SCFM)
Temperatura final T2, °F	94,9	94,9	94,9
Presión final P2, psig	77,83	76,55	70,69
Caída de Presión, psi	0,01	0,02	0,07
□Psi/100 ft:	0,304	0,609	2,13
Velocidad Gas, ft/s	12,6	14,8	26,1

ANEXO C. Diagrama de Flujo de Simulación en HYSYS línea de proceso



ANEXO D. Diagrama de Simulación en HYSYS de la Línea de Servicios



ANEXO E. Diagrama Esquemático Toma muestra Tipo Goteo

