

**EVALUACIÓN DE SOLUCIONES PARA EL ANÁLISIS REDUNDANTE DE
CONTENIDO DE CO₂ EN LA LÍNEA DE GAS PORVENIR (CPF CUSIANA)**

CÉSAR AUGUSTO ALMEIDA ORTEGA

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA
2012**

**EVALUACIÓN DE SOLUCIONES PARA EL ANÁLISIS REDUNDANTE DE
CONTENIDO DE CO₂ EN LA LÍNEA DE GAS PORVENIR (CPF CUSIANA)**

CÉSAR AUGUSTO ALMEIDA ORTEGA

Directora: Claudia Rueda Guzmán

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA
2012**

DEDICATORIA

A mi mami y mi papi por todo su amor, sacrificio y apoyo.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Pontificia Bolivariana por la formación integral que me proporcionó; a Claudia Rueda (Ingeniero Electrónico, Magister en Informática) directora del presente trabajo por su ayuda y paciencia; a Juan Carlos Mantilla (Ingeniero Electrónico Especialista en Control e Instrumentación Industrial) por su enseñanza, interés y colaboración; a todo el grupo de docentes y compañeros con los que tuve la grata oportunidad de compartir; a Jennifer Torres (Asesora financiera Coopfuturo) por su confianza y apoyo; y en especial a Diana Marcela Castillo (Ingeniera Química) por su amor y compañía.

CONTENIDO

| | |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN | 7 |
| 1. MARCO DE REFERENCIA..... | 12 |
| 1.1 NORMATIVA VIGENTE EN CALIDAD DE GAS | 12 |
| 1.2 REQUISITOS PROPUESTOS POR EL TRANSPORTADOR | 13 |
| 1.3 OBJETIVO PLANTEADO POR EL PRODUCTOR | 13 |
| 2. FACILIDAD ACTUAL | 14 |
| 2.1 SKID DE MEDICIÓN | 14 |
| 2.2 SKID DE ANALIZADORES | 15 |
| 2.3 INSTRUMENTACIÓN ASOCIADA AL ANÁLISIS DE CO ₂ | 17 |
| 2.3.1 Sondas de muestreo | 17 |
| 2.3.2 Sistema de acondicionamiento de muestra..... | 18 |
| 2.3.3 Analizador de CO ₂ | 20 |
| 3. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN..... | 24 |
| 3.1 INCLUSIÓN DE UNA SEGUNDA CELDA DE MEDICIÓN EN EL ANALIZADOR | 24 |
| 3.2 INSTALACIÓN DE UN ANALIZADOR | 28 |
| 3.3 MULTIPLEXACIÓN DE LA LÍNEA DE ANÁLISIS EXISTENTE..... | 29 |

| | |
|-----------------------|----|
| 4. CONCLUSIONES | 33 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 35 |

GLOSARIO

AGENTES: Personas naturales o jurídicas entre las cuales se dan las relaciones técnicas y/o comerciales de compra, venta, suministro y/o transporte de Gas Natural, comenzando desde la producción y pasando por los sistemas de transporte hasta alcanzar el punto de salida de un usuario

CALIDAD DEL GAS: Especificaciones y estándares del Gas Natural adoptados por la CREG y en las normas que lo adicionen, modifiquen o sustituyan.

COMISIÓN O CREG: Comisión de Regulación de Energía y Gas, organizada como Unidad Administrativa Especial del Ministerio de Minas y Energía de acuerdo con las Leyes 142 y 143 de 1994

GAS NATURAL O GAS: Es una mezcla de hidrocarburos livianos, principalmente constituida por metano, que se encuentra en los yacimientos en forma libre o en forma asociada al petróleo. El Gas Natural, cuando lo requiera, debe ser acondicionado o tratado para que satisfaga las condiciones de calidad de gas establecidas por la CREG y en las normas que lo adicionen, modifiquen o sustituyan.

RUT: Reglamento Único de Transporte de gas natural.

PUNTO DE TRANSFERENCIA DE CUSTODIA: es el sitio donde se transfiere la custodia del gas entre un productor-comercializador y un transportador; o entre un transportador y un distribuidor, y a partir de la cual el agente que recibe el gas asume la custodia del mismo.

RESUMEN

TITULO: Evaluación de soluciones para el análisis redundante de contenido de CO₂ en la línea de gas porvenir (CPF Cusiana)

AUTOR: César Augusto Almeida Ortega

FACULTAD: Ingeniería Electrónica

DIRECTORA: Claudia Rueda Guzmán

La producción, transporte y distribución de Gas natural en la actualidad cuenta con políticas de calidad de Gas más exigentes. Tales políticas promueven el monitoreo permanente en puntos de transferencia de custodia. La revisión del punto de transferencia de custodia de gas de Cusiana ha generado el requerimiento de redundancia en el análisis de contenido de CO₂ en una de las líneas. Este trabajo pretende considerando el estado actual de la facilidad, proporcionar las herramientas para determinar cuál solución es la más adecuada.

Se inicia presentando una breve descripción de los hechos que motivan el presente trabajo (la normativa asociada, las expectativas del transportador y la disposición del productor); seguida por el resumen del estado actual del punto de transferencia de custodia de porvenir y la instrumentación asociada al análisis de contenido de CO₂ presente en la línea de gas de Apiay. Finalmente basados en toda la información recopilada y luego de un análisis de los diversos factores de influencia se proponen y estudian tres posibilidades para dar solución al requerimiento.

PALABRAS CLAVES:

Gas, CO₂, Custodia.

ABSTRACT

TITLE: Evaluation of solutions for analyzing redundant CO₂ content in the gas line of Porvenir (CPF Cusiana)

AUTHOR: César Augusto Almeida Ortega

FACULTY: Electronic Engineering

DIRECTOR: Claudia Rueda Guzmán

Production, transportation and distribution of natural gas currently have gas quality policies more demanding. Such policies promote the permanent monitoring of custody transfer points. The review of the custody transfer point of Cusiana has generated the requirement for redundancy in the analysis of CO₂ content in one line. This paper aims to consider the current status of the facility, provide the tools to determine which solution is best.

Start with a brief description of the events that led to this work (the associated regulations, the expectations of the transporter and the disposal of the producer), followed by a summary of the current state of the custody transfer point of Porvenir and associated instrumentation content analysis of CO₂ in the gas line of Apiay. Finally based on all information collected and after an analysis of the various factors of influence are proposed and studied three options to resolve the request.

KEYWORDS:

Gas, CO₂, Custody.

INTRODUCCIÓN

El incremento en la conciencia social y ambiental de las empresas vinculadas a la producción, transporte y distribución de gas natural, en conjunto con incentivos (“bonos verdes”) proporcionados por el gobierno, se derivan en políticas de calidad de gas más exigentes. Tales políticas promueven el monitoreo permanente de las propiedades del gas en puntos de transferencia de custodia. En la revisión de uno de los más importantes puntos de recibo de gas (Cusiana), se han detectado falencias en el aseguramiento metrológico del análisis de contenido de CO₂ en una de las líneas; como consecuencia el transportador impone como requisito un análisis redundante.

Se debe reconocer que previamente a cualquier modificación a la facilidad, es necesario evaluar: los requisitos impuestos por el transportador, requisitos impuestos por normas de referencia, capacidades actuales de la facilidad, futuros proyectos de expansión y metodología empleada actualmente para el aseguramiento de la calidad de Gas.

La necesidad de revisar y evaluar las posibles soluciones para dar cumplimiento al requerimiento de análisis redundante de contenido de CO₂ en la línea de gas de Porvenir impulsa el desarrollo del presente trabajo. Este pretende considerando el estado actual de la facilidad, proporcionar las herramientas para determinar cuál solución es la más adecuada.

OBJETIVO GENERAL

Elaborar un estudio de factibilidad para el análisis redundante del contenido de CO₂ de la línea de gas de Porvenir en el “skid” de analizadores asociado a los sistemas de medición de gas natural, que permita al productor determinar la posibilidad de dar cumplimiento al requerimiento

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estudio de la instrumentación disponible actualmente para el análisis de contenido CO₂ con que cuenta el “skid” analizadores del Productor.

Definir y evaluar la viabilidad de alternativas de solución para el análisis redundante de contenido de CO₂.

Estimar los costos de las posibles soluciones.

1. MARCO DE REFERENCIA

1.1 NORMATIVA VIGENTE EN CALIDAD DE GAS

La normativa propuesta por el gobierno colombiano que aplica para el análisis de contenido de CO₂ se resume en el “Reglamento Único de Transporte de Gas Natural” Resoluciones CREG No 071 de 1999 [1], CREG 054 de 2007 [2] y CREG 041 de 2008 [3]; debido a la generalidad de la norma, ésta no se encuentra enfocada a ser una guía que proporcione las pautas adecuadas para la consecución y evaluación de calidad de gas; sin embargo, sí realiza mención de las normas y estándares aplicables a tal fin e incluye valores de referencia para un gas de calidad. Es por esta razón que quizá como herramienta principal se aplica la norma API MPMS capítulo 14 sección 1 “Natural Gas Fluids Measurement – Collection and Handling of Natural Gas Samples for Custody Transfer” [4], la cual en una serie de numerales proporciona de forma general los requisitos a satisfacer para asegurar el correcto análisis de los componentes del gas natural y por ende la calidad de gas.

De acuerdo con la normativa colombiana, en un punto de transferencia de custodia es de carácter legal realizar el análisis y asegurar la calidad de gas tomando en cuenta aspectos como: poder calorífico del gas, gravedad específica, contenido de vapor de agua, contenido de CO₂, punto de rocío de hidrocarburo, contenido de H₂S y azufre total. No obstante de forma general cada uno de estos aspectos posee su propia normativa asociada (AGA, ANSI, ASTM, API, GPA), es común que frecuentemente se usen como complementos documentos de referencia que si bien no se encuentran relacionados de forma directa con la evaluación y consecución de calidad de gas natural, si rigen aspectos tan importantes como la caracterización metrológica de la instrumentación asociada a este tipo de análisis.

Cabe mencionar que la normativa disponible para el análisis de CO₂ hace referencia a aspectos específicos como:

- Accesorios e instalación de componentes que deriven en gas de calidad para el muestreo.
- Ubicación y profundidad de inmersión de la sonda de muestreo.
- Ubicación del analizador y temperatura de operación.
- Proceso de calibración, ajuste de cero y span.

- Análisis de muestras de gas de referencia o muestra de gas de interés.
- Longitud, forma y ubicación de la línea de venteo.
- Confirmación metrológica de los patrones de referencia (trazabilidad de la medición)

1.2 REQUISITOS PROPUESTOS POR EL TRANSPORTADOR

Tomando como referencia la normativa vigente para el análisis de contenido de CO₂ el transportador identifica un grupo de mejoras que conllevan a formular la solicitud al productor de realizar un análisis redundante. Esta determinación se basa en el hecho de que para el análisis actual no se usa un instrumento especializado para la tarea (los resultados reportados provienen de la cromatografía de gases), adicional a esta situación el sistema tiene las siguientes características:

- No posee sonda de muestreo.
- Aunque no se evidencia presencia de agua, no es posible descartar trazas de glicol o aceites.
- Existe dificultad en el aseguramiento metrológico, debido a la imposibilidad de determinar la exactitud del análisis por falta de especificación de la trazabilidad por parte del material de referencia.

Sin embargo la mayor inquietud del transportador viene relacionada con las “buenas prácticas metrológicas” (requisitos no legales) asociadas a las recomendaciones del material de referencia para la calibración de cero y span del instrumento que realiza el análisis.

1.3 OBJETIVO PLANTEADO POR EL PRODUCTOR

En consecuencia, el objetivo del productor es evaluar la posibilidad de dar respuesta a los requerimientos (legales y no legales) del transportador, alinear su análisis de contenido de CO₂ a estándares internacionales y finalmente ofrecer un producto de muy buena calidad que cumpla con los requisitos legales.

2. FACILIDAD ACTUAL

2.1 SKID DE MEDICIÓN

Para esta aplicación específica se debe reconocer al *skid* de medición (Ver Figura 1) como el conjunto de elementos que conforman el punto de transferencia de custodia de gas natural. Los elementos a los que hace referencia el Skid de medición son 3 y se describen de forma general a continuación:

Elemento primario: hace referencia principalmente al medidor de flujo, aunque se incluye el *spool* o tubería aguas arriba y aguas abajo. En este caso un medidor ultrasónico marca Daniel, modelo Senior Mark III, dos tramos rectos de tubería recta de 10" de diámetro aguas arriba (5D y 10D de longitud respectivamente) separados por una placa acondicionadora de flujo Zanker y un tramo de tubería recta de 10" de 5D de longitud constituyen el elemento primario.

Elemento secundario: Se encuentra conformado por la instrumentación asociada a las variables de presión y temperatura. La facilidad cuenta con un transmisor de temperatura marca Yokogawa, modelo EJX series y un transmisor de temperatura Yokogawa modelo YTA 110.

Elemento terciario: Abarca el computador de flujo, que para esta facilidad es un Omni 6000; dispuesto para realizar los cálculos asociados a los 2 *skid* de medición y el registro de cantidades transferidas.

Figura 1 Skid de medición Porvenir



Fuente: Wood Group PSN. Archivo fotográfico enero 2012

Actualmente la facilidad presenta las condiciones de operación para el *skid* de medición de porvenir que se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1 Condiciones de operación Skid de medición Porvenir

| Condición | Punto de operación |
|------------------------------------|--------------------------------|
| Presión | 1085 [psig] |
| Temperatura | 94,6 [°F] |
| Velocidad de flujo (promedio) | 67,68[ft/s] |
| Volumen no corregido (promedio) | 121478,17 [ft ³ /h] |
| Gravedad específica | 0,6922 |

Fuente: Wood Group PSN. Registro de condiciones de operación Skid Porvenir enero 2012

2.2 SKID DE ANALIZADORES

El skid de analizadores, se encuentra ubicado a pocos metros del patín de medición; y en él están los analizadores tanto para el skid de medición de Porvenir como para el de Apiay. El conjunto de analizadores en la facilidad se relacionan en el siguiente cuadro:

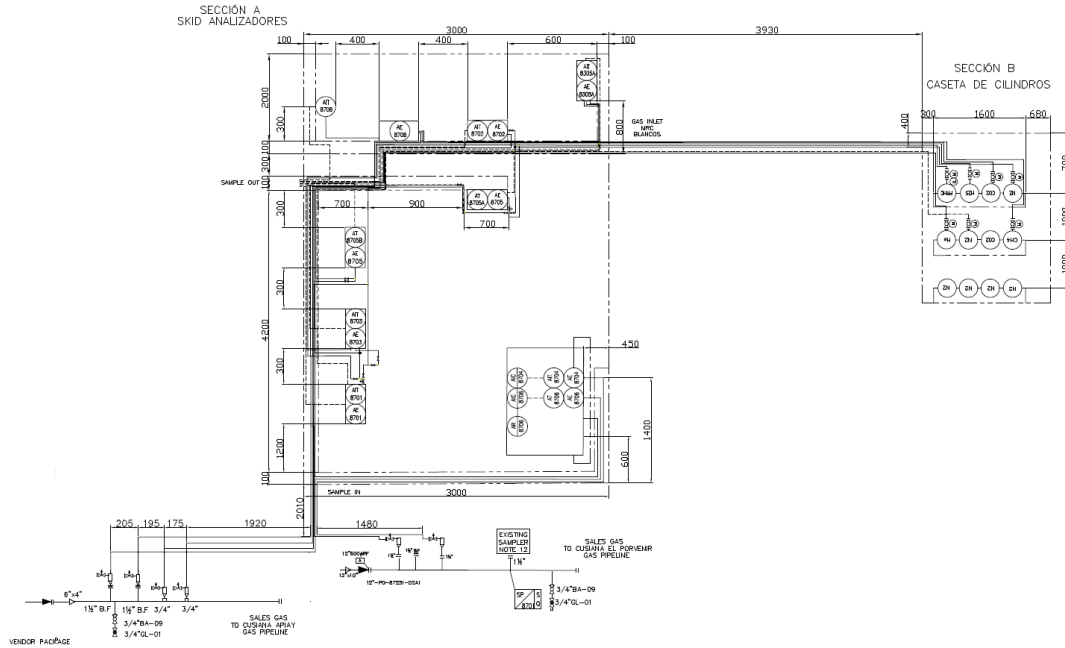
Cuadro 1 Analizadores disponibles en la facilidad

| Skid de medición | Variable | Analizador |
|-------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| Porvenir | Humedad | Ametek 3050-OLV |
| | Punto de rocío Hidrocarburo | Ametek 241CE |
| | Ácido sulfhídrico | Ametek 933 |
| Apiay | Humedad | Ametek 3050-OLV |
| | Punto de rocío de hidrocarburo | Ametek 241CE |
| | Ácido sulfhídrico y azufre total | Galvanic Aplied 903 |
| | Dióxido de Carbono | Rosemount X-Stream X2FD |
| Porvenir / Apiay | Cromatógrafo de Gases | Daniel 500 |

Fuente: Wood Group PSN. Inventario analizadores Skid Porvenir/ Apiay enero 2012

Es importante reconocer que los analizadores y el cromatógrafo exigen elementos adicionales al suministro eléctrico y al gas a analizar, ej. Elementos toma muestra, líneas de flujo, líneas de venteo, gases de referencia, gases de arrastre etc. La Figura 2 es una muestra del plano que proporciona la ubicación, las dimensiones y la configuración actual del Skid de analizadores y su caseta de cilindros asociada.

Figura 2 Planos Skid de Analizadores



Fuente: Corporación CDT de Gas

Como información complementaria, la Tabla 2 muestra la composición del gas que se produce actualmente en la facilidad, es oportuno mencionar que estos datos han sido obtenidos mediante análisis cromatográfico.

Tabla 2 Componentes del Gas Natural Skid de medición de Porvenir

| Componente | Mol % |
|------------------|---------|
| Metano | 81,4513 |
| Nitrógeno | 0,5695 |
| CO ₂ | 3,0168 |
| Etano | 9,8348 |
| Propano | 3,7633 |
| H ₂ O | 0 |
| H ₂ S | 0 |
| Hidrógeno | 0 |
| CO | 0 |
| Oxígeno | 0 |
| i-Butano | 0,5756 |
| n-Butano | 0,6024 |
| i-Pentano | 0,0998 |
| n-Pentano | 0,0686 |
| C6+ | 0,0179 |

| | |
|-------|--------|
| Helio | 0 |
| Argón | 0 |
| TOTAL | 99,968 |

Fuente: Wood Group PSN. Registro condiciones de operación skid Porvenir enero 2012

2.3 INSTRUMENTACIÓN ASOCIADA AL ANÁLISIS DE CO₂

2.3.1 Sondas de muestreo

Como elemento inicial del conjunto de instrumentos necesarios para el análisis de calidad de gas, la sonda de muestreo juega un papel fundamental en la exactitud de los resultados, debido a que previene el acarreo de líquidos desde la tubería hacia el acondicionador de la muestra, evitando su impacto directo en el análisis composicional y eliminando el riesgo de daño en el analizador [5].

En esta aplicación en particular las sondas de muestreo son marca Genie, y corresponden al modelo GPR. Son sondas de inserción con tecnología de membrana, puestas directamente sobre la tubería; con el propósito de separar los líquidos y las partículas indeseadas de la muestra de gas. Las condiciones de operación de la sonda reportadas por el fabricante se presentan en la Tabla 3.

Figura 3 Sonda de muestreo Genie GRP



Fuente: A+ Corporation [5]

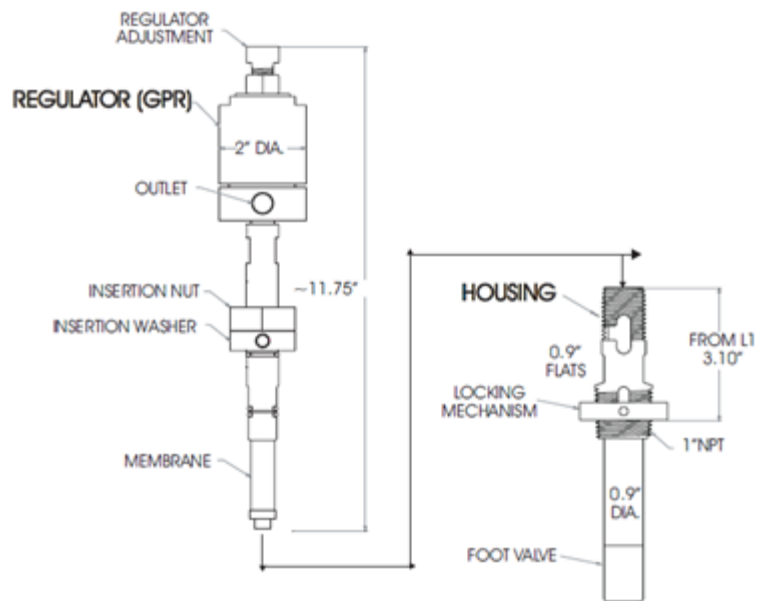
Tabla 3 Especificaciones técnicas Sonda de muestreo Genie

| Especificación | Valor |
|--------------------------|-------------------------------------|
| Presión de ruptura | 3500 psig |
| Temperatura máxima | 185 °F |
| Presión de salida | 0-10, 0-25, 0-50, 0-100, 0-500 psig |
| Volumen interno | 13,858 cc |
| Tamaño mínimo de tubería | 4 in |
| Puerto de salida | 1/4 in hembra npt |

Fuente: A+ Corporation [5]

La sonda básicamente se encuentra compuesta por la membrana, el regulador y la carcasa o “housing”. La carcasa se instala de forma vertical en la tubería (despresurizada) sobre una brida, y adicionalmente contiene en la parte inferior una válvula de bloqueo (generalmente referenciada como “foot valve”); sobre la carcasa se inserta la membrana que permite el paso de flujo hacia el regulador de presión. El diseño de la sonda permite la transferencia de calor de la tubería al regulador, lo que reduce el enfriamiento debido al efecto Joule-Thompson y por ende la aparición de condensados durante el proceso de regulación de presión.

Figura 4 Despiece Sonda de muestreo Genie GPR



Fuente: A+ Corporation [5]

2.3.2 Sistema de acondicionamiento de muestra

El gas natural está principalmente compuesto por metano (CH_4 70-90%), otros componentes como: etano (C_2H_6), propano (C_3H_8), butano (C_4H_{10}) e hidrocarburos pesados (hasta 20%). El dióxido de carbono (CO_2) puede estar presente en diversas cantidades desde ppm hasta un 8%. Adicionalmente en el gas natural se encuentran presentes el nitrógeno (N_2), ácido sulfhídrico (H_2S) y gases nobles como helio (He), argón (Ar) y neón (Ne). La presencia de metano, etano, propano y otros hidrocarburos en el gas natural, influyen en la medición de CO_2 (ej. 1:700 para el metano 1:100 para hidrocarburos pesados). De acuerdo con un proceso de investigación realizado por Rosemount Analytical [6], la interferencia de compuestos en el gas para el análisis de CO_2 que se obtiene al incluir en el sistema un acondicionador de muestra son los indicados en la Tabla 4

Tabla 4 Interferencia en la medición de CO₂ de acuerdo a la composición del gas natural

| Composición del gas Natural | | Interferencia en la medición de CO ₂ |
|-----------------------------|--------|---|
| C1 | 90% | 20 ppm |
| C2 | 4% | 10 ppm |
| C3-C5 | 4% | 15 ppm |
| N ₂ | 2% | - |
| H ₂ O | 0,02% | - |
| CO ₂ | 10 ppm | - |

Fuente: Rosemount Analytical [6]

Si la cantidad de CO₂ bajo medición se encuentra alrededor del máximo porcentaje de contenido de acuerdo al volumen (8%), la interferencia por la presencia de componentes de fondo puede ser despreciada; sin embargo de acuerdo las normas, la cantidad máxima de contenido de CO₂ es de 2% en volumen, por lo que es necesario determinar con exactitud su contenido y reducirlo mediante procesos técnicos.

Ahora bien, la medición de contenido de CO₂ en mezclas de gases de *background* o con nitrógeno no es posible. Variaciones en la composición del gas natural conllevan a errores variantes en la medición de CO₂, los cuales son demasiados altos para el análisis hasta 1%. Tomando en cuenta los posibles errores en la medición por interferencia, así como los efectos de gases de *background* del gas natural se plantea como solución un sistema de acondicionamiento de muestra con una configuración que use un agente de absorción de CO₂.

En el sistema externo de acondicionamiento de la muestra (Ver Figura 5), el flujo de gas natural es dividido en 2 corrientes, y en una de las corrientes el CO₂ es retirado por medio de un *scrubber*; esta corriente se inyecta en el puerto de gas de referencia. Por otra parte la corriente que aun contiene el CO₂ es inyectada en el puerto de entrada de la muestra de la celda del analizador. De esta forma las variaciones de gases de *background* en el gas natural, afecta ambos lados de la celda del analizador y se ven forzadas a ser canceladas.

Aunque las condiciones típicas de operación del sistema de acondicionamiento de muestra se encuentran especificadas por el fabricante en el manual del equipo, estas condiciones pueden diferir de las encontradas en campo; esto se debe a los procesos de caracterización de los instrumentos y la búsqueda de mejores resultados. Las condiciones de operación del sistema de acondicionamiento de muestra dispuesto en la facilidad se relacionan en el Cuadro 2.

Figura 5 Sistema de acondicionamiento de muestra Rosemount Analytical



Fuente: Rosemount Analytical [6]

Cuadro 2 Condiciones de operación sistema de acondicionamiento de muestra

| Especificación | Reportada por fabricante | Configurada en Campo |
|------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Flujo máximo | 3 l/m | 1,5 l/m |
| Presión de entrada | 2500 psi | 1050 psi |
| Presión de salida | ≤ 7 psi | 5 psi |
| Temperatura de trabajo | 80 °F | 87 °F |
| Tiempo de purga | 60 s @ 2,5 l/m | n/a |

Fuente: Wood Group PSN. Registro de condiciones de operación Skid Porvenir enero 2012

2.3.3 Analizador de CO₂

Como se mencionó anteriormente, el *skid* de analizadores dispone de un analizador de CO₂ X-stream XE (ver Figura 6), el cual se encuentra configurado para el análisis de la línea de gas natural de Apiay. Aunque este analizador soporta diversos principios de operación, su selección depende de la composición

del gas de interés, esto permite los mejores resultados ya que la medición se puede ajustar a las características del gas a analizar. Para esta aplicación en particular el principio de operación es medición por Infrarrojo o IR.

Figura 6 Analizador X-STREAM



Fuente: Rosemount Analytical [7]

El análisis por IR es un método no dispersivo de medición de absorción de luz; debido a que cada gas posee diferentes características de absorción es posible discriminar entre diferentes gases. Incluso al detectar solo las longitudes de onda de luz del gas de interés es posible identificar sus componentes, en cuanto a la cantidad de luz absorbida es proporcional a la concentración del componente en el gas [7]. El equipo instalado en la facilidad posee adicionalmente las características que se mencionan a continuación:

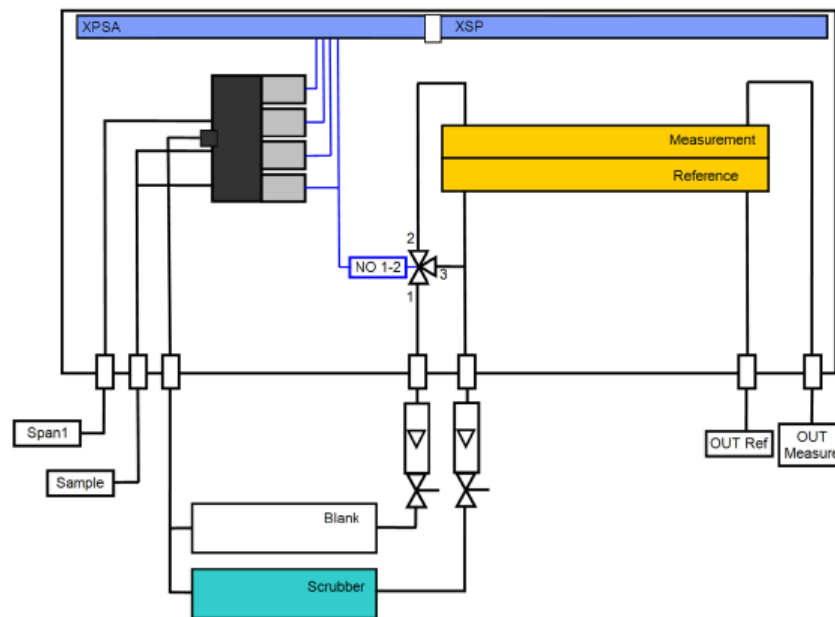
- Sensor de presión barométrica interno. Éste permite realizar la compensación de variaciones de presión que resultan en variaciones de densidad de la muestra; a mayor presión, mayor densidad presenta la muestra. Estas variaciones afectan directamente los resultados del análisis.
- Sensor interno de medición de temperatura, éste permite realizar la compensación de variaciones de temperatura que resultan en variaciones de densidad de la muestra; a mayor temperatura, menor densidad presenta la muestra. Estas variaciones afectan de forma considerable los resultados del análisis.
- Área de calentamiento, el cual regula la muestra a 60°C para evitar aparición de condensados y minimizar los impactos de las condiciones ambientales variables. Por otro lado, se constituye en un elemento para

realizar la purga en el sistema; operación conveniente en la medición de bajos niveles de CO₂.

- Interfaz de salidas y entradas analógicas, salidas digitales y relés de status, puertos de comunicación Modbus, protocolos serial rs485 y puertos USB.

El sistema de acondicionamiento de muestra y el analizador de CO₂ se encuentran configurados de tal forma que facilitan el proceso de transición de: análisis de muestra a calibración (ver Figura 7). Cuando se está realizando el proceso de análisis de muestra la válvula 3 se encuentra abierta, permitiendo que el flujo de gas se divida en dos corrientes (gas muestra y gas muestra con CO₂ removido) [7].

Figura 7 Diagrama de configuración conexión: Acondicionador de muestra – Analizador CO₂



Fuente: Rosemount Analytical [6]

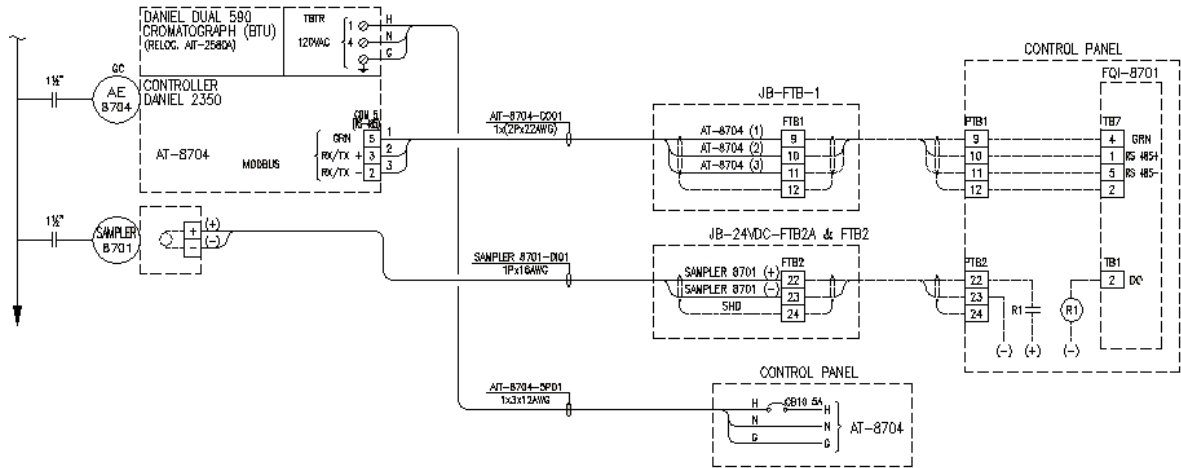
Para realizar el cero del transmisor se permite el paso del “blanco” o gas de calibración y se cierra el paso del gas de muestra, en caso de calibración del Alcance de medición, se permite el paso del gas de referencia (gas certificado con contenido de CO₂ igual al alcance de medición del analizador)

2.4 ANÁLISIS DE DATOS

Los datos actuales de análisis de contenido de CO₂ son inferidos del análisis cromatográfico que se realiza para la determinación de poder calorífico (BTU), la

información es transmitida al computador de flujo a través de comunicación digital por protocolo Modbus RS 485 como se indica en la Figura 8.

Figura 8 Loop Diagram análisis cromatográfico Porvenir



Fuente: Wood Group PSN [8]

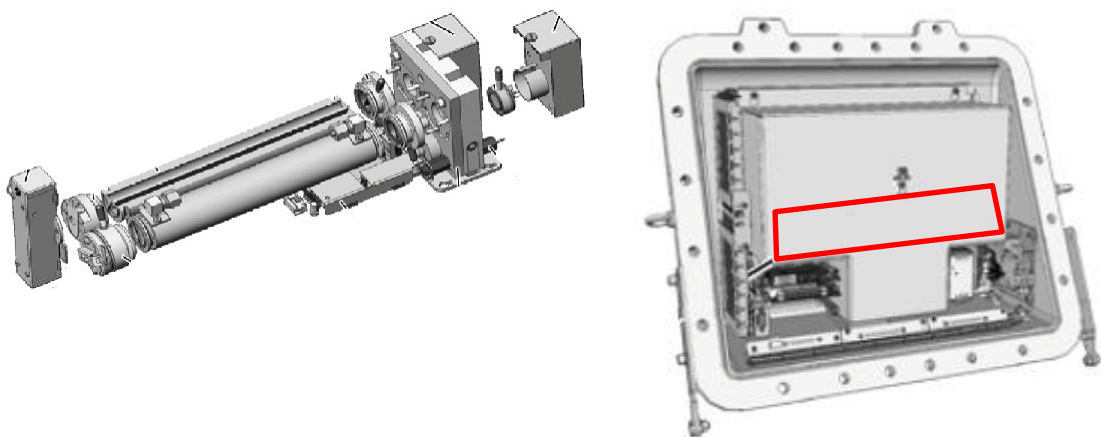
3. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

3.1 INCLUSIÓN DE UNA SEGUNDA CELDA DE MEDICIÓN EN EL ANALIZADOR

El X-stream ofrece la posibilidad de realizar múltiples análisis y de acuerdo con la hoja de datos y especificaciones del fabricante, estos análisis son configurables en cualquier combinación [7]. Debido a que los sistemas de medición para este caso en particular se adquirieron como un paquete, las configuraciones de los equipos traen exclusivamente las características necesarias para la operación que ha sido especificada al momento de la compra; para el caso del analizador de CO₂ disponible en la facilidad, éste venía asociado al Skid de medición de Apiay, por lo que su configuración de fábrica corresponde con el análisis de una única línea.

No es común incluir en un analizador dos (2) celdas de medición con el mismo propósito y principio de medición, sin embargo al referirse a la hoja de datos del analizador es posible ver que de acuerdo a la disposición de los componentes internos necesarios para la medición por IR, y el espacio disponible para celdas adicionales de medición (UV, conductividad térmica, paramagnética y electroquímica), la inclusión de una segunda celda de medición de contenido de CO₂ es viable [7]. En la Figura 9 se presentan los componentes de la celda de medición IR y su ubicación en el X-STREAM, adicionalmente la Tabla 5 resume las especificaciones técnicas.

Figura 9 Celda de medición IR y espacio interior X-STREAM



Fuente: Rosemount Analytical [7]

Tabla 5 Especificaciones técnicas celda de medición CO₂ (UV/IR)

| Especificación | Reportada por fabricante |
|------------------------|---------------------------------|
| Flujo de trabajo | 0,2 – 1,5 l/m |
| Presión de entrada | ≤ 7 psi |
| Temperatura de trabajo | 32 a 122 °F |
| Desviación de cero | ≤ 2% (Semanal) |
| Desviación Span | ≤ 0,5% (Semanal) |
| Tiempo de respuesta | 4 s < t ₉₀ < 7 s |

Fuente: Rosemount Analytical [7]

Al plantear al fabricante (Rosemount Analytical) la posibilidad de la inclusión de una segunda celda de medición, éste responde de forma positiva e indica que para realizar el proceso es necesario el envío del analizador a fábrica y un tiempo aproximado de espera de 6 a 8 semanas.

Como se mencionó anteriormente, adicional al analizador de CO₂ existen una serie de elementos que comprenden el sistema de muestreo. Aunque la inclusión de una segunda celda y la configuración del analizador en fábrica resuelven el análisis de contenido de CO₂, siguen pendientes aspectos como: toma y acondicionamiento de la muestra, aseguramiento metroológico de los resultados y análisis de datos.

De forma particular la sonda de muestreo puede llegar a ser opcional para esta solución y las demás soluciones en evaluación, en cuanto el Skid de medición ya cuenta con 2 sondas (ver Figura 10) para la toma de muestras de los análisis realizados (ver Cuadro 1 en la sección 2.2). Para tomar decisiones al respecto es necesario conocer el flujo máximo permitido por la sonda de muestreo y adicionalmente el flujo que requieren los análisis ya implementados. En este caso de estudio se usarán los valores que se encuentran configurados en campo y de ser necesario el valor de flujo especificado por fabricante en el manual del instrumento.

Como dato de partida, es oportuno reconocer que las sondas de muestro disponibles en la facilidad permiten un flujo de alrededor de 6 l/min¹ a las condiciones de operación del Skid de medición. El conjunto de analizadores y cromatógrafo se encuentra distribuido de acuerdo a la sonda de la cual toma la muestra de la siguiente manera.

¹ Calculado para un diferencial de presión de 2 psig en la membrana de la sonda de muestreo.

Figura 10 Sondas de muestreo Skid de medición Porvenir



Fuente: Wood Group PSN. Archivo fotográfico enero 2012

Cuadro 3 Requisitos de flujo analizadores

| Analizador | Flujo necesario (l/min) | Sonda de muestreo |
|------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| Humedad | 0,15 | Sonda numero 2 |
| Punto de rocío hidrocarburos | 5 | Sonda numero 2 |
| Ácido sulfhídrico | 2,5 | Sonda numero 2 |
| Cromatógrafo | 0,05 | Sonda numero 1 |

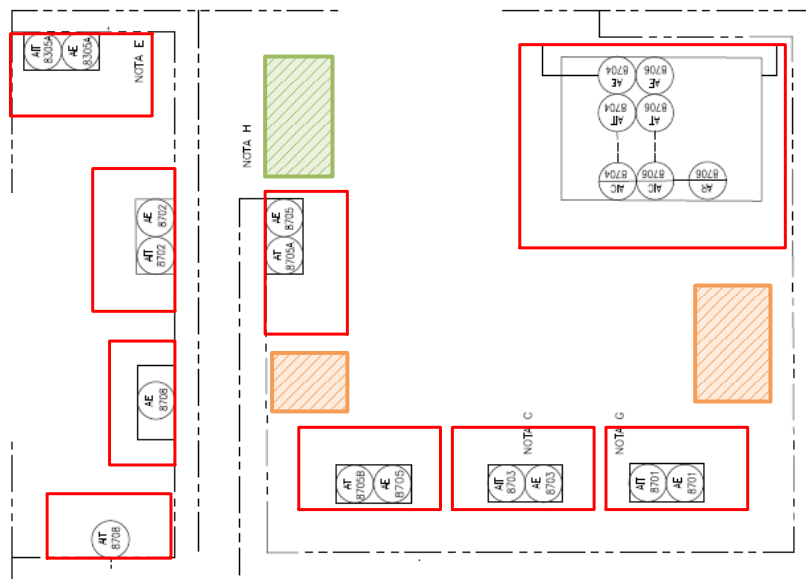
Fuente: Wood Group PSN. Registro condiciones de operación Skid Porvenir enero 2012

Por tanto, de acuerdo al flujo asociado a cada una de las sondas de muestreo y tomando como referencia un flujo típico 1,5 l/min para el analizador de CO₂, es posible concluir que no es necesaria la inclusión de una sonda de muestreo, debido a que el flujo necesario puede ser tomado de la sonda de muestreo asociada a la toma del cromatógrafo.

Por otra parte, el sistema de acondicionamiento de la muestra no es opcional para esta solución y se debe evaluar el espacio físico disponible para su instalación, así como el trazado de líneas de: muestra, blancos, cero y venteo. Basados en la información provista por la Figura 2 la modificación de los trazados de tubing: de la muestra, los blancos y el cero no generan mayores inconvenientes debido a la facilidad para la inclusión de derivaciones y válvulas de corte adicionales; sin embargo es necesario realizar ajustes en la presión de salida de los cilindros y se recomienda adicionalmente la inclusión de válvulas de aguja para regular el flujo de gas.

La inclusión del sistema de acondicionamiento de muestra supone un reto más interesante en cuanto la disposición física de los equipos asociados a los dos sistemas de medición ha copado casi la totalidad del *shelter* del *skid* de analizadores. En la Figura 11 se presenta resaltado en color rojo el espacio físico ocupado por cada analizador, en color naranja al espacio dispuesto para elementos adicionales próximos a instalar (reguladores con calentamiento y *manifold* para la instalación ocasional de cilindros con gases patrón) y finalmente en color verde el espacio disponible; el cual se ajusta a el espacio físico necesario para la instalación del sistema de acondicionamiento de la muestra. Instalar el sistema de acondicionamiento de muestra en esta ubicación requiere el montaje de bases de soporte y trazado de tubing adicional; en cuanto a este último requerimiento es necesario diseñar un trazado de tubing corto a fin de no alterar la calidad de la muestra que se entrega al analizador.

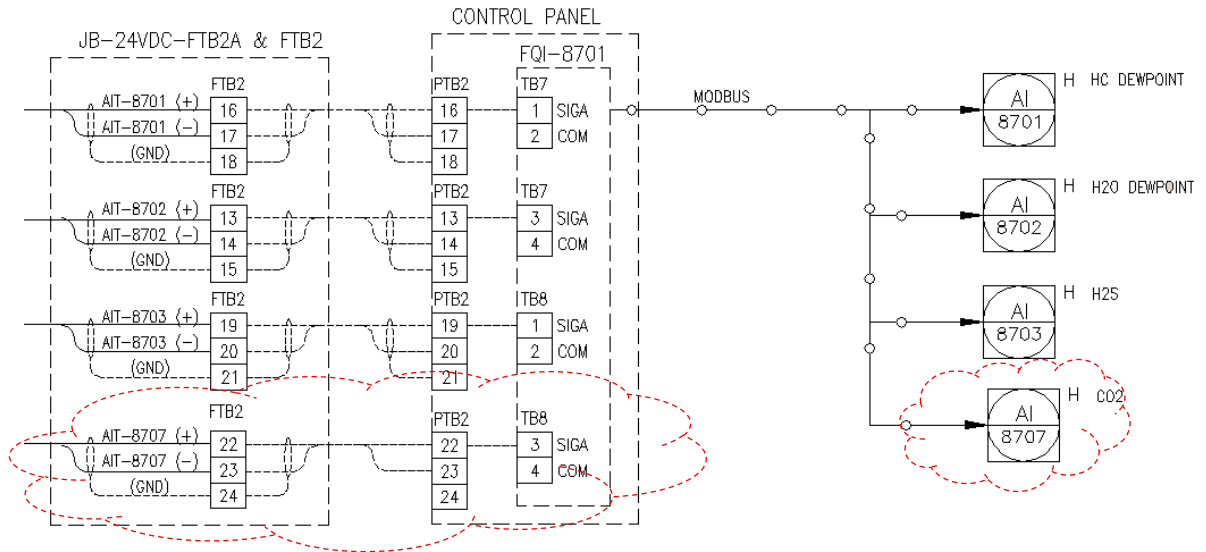
Figura 11: Distribución del espacio físico Skid de analizadores



Fuente: Autor

Para el análisis de datos se contempla la inclusión de la señal al computador de flujo, siguiendo la misma estructura empleada para los analizadores asociados al *skid* de medición. Se realizará la conexión de la señal de 4mA a 20mA en la *Junction Box* bornera FTB2 terminales 22-23-24 e inclusión de la señal en el computador de flujo FQI-8701 en la bornera TB8 terminales 3-4 (ver Figura 12).

Figura 12 Loop diagram inclusión señal de analizador CO₂ Porvenir



Fuente: Autor

Finalmente los costos asociados a la implementación de la solución propuesta en el presente numeral se resumen y presentan en la siguiente tabla.

Tabla 6 Costos asociados a la inclusión de una segunda de medición en el analizador existente.

| ACTIVIDAD | COSTO |
|--|------------|
| Inclusión de la segunda celda de medición en el analizador | 20.000.000 |
| Compra e instalación en campo del sistema de acondicionamiento de muestra. | 10.000.000 |
| Configuración e instalación de trazados de tubing. | 2.000.000 |
| Adecuación de señal 4mA a 20mA | 2.000.000 |
| Operación y mantenimiento | 1.000.000 |

Fuente: Autor

3.2 INSTALACIÓN DE UN ANALIZADOR

Probablemente la solución más directa es la inclusión de un sistema de análisis de contenido de CO₂ análogo o similar al usado en el Skid de medición de Apiay. Sin

embargo, es importante no precipitarse y tomar en cuenta factores de influencia que pueden llegar a convertir esta solución (de alguna forma obvia) en inviable.

La sonda de muestro, el sistema de acondicionamiento de muestra y el análisis de datos se resuelve de forma análoga a la propuesta en la solución planteada en el numeral anterior.

Se debe reconocer que de acuerdo con la Figura 11, no hay espacio físico disponible para la inclusión del segundo analizador (el único espacio disponible se asignó al sistema de acondicionamiento de muestra debido a que es necesario en cualquiera de las soluciones planteadas) por cuanto la inclusión de un segundo analizador supone una reforma al *shelter*, situación que aleja esta solución de las condiciones propuestas inicialmente para la implementación del análisis redundante del contenido de CO₂.

Los costos asociados a la inclusión de un nuevo analizador para la realización del análisis de contenido de CO₂ de la solución propuesta se resumen y presentan en la siguiente tabla.

Tabla 7 Costos asociados a la inclusión de un segundo sistema de análisis de CO₂

| ACTIVIDAD | COSTO |
|--|-----------------|
| Reforma del <i>shelter</i> | No determinados |
| Compra e instalación en campo del analizador | 27.000.000 |
| Compra e instalación en campo del sistema de acondicionamiento demuestra | 10.000.000 |
| Configuración e instalación de trazados de tubing. | 2.000.000 |
| Adecuación de señal 4mA a 20mA | 2.000.000 |
| Operación y mantenimiento | 1.500.000 |

Fuente: Autor

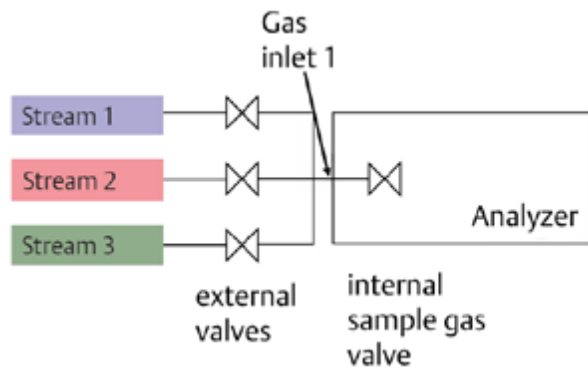
3.3 MULTIPLEXACIÓN DE LA LÍNEA DE ANÁLISIS EXISTENTE

Debido a la situación actual de la facilidad, y de forma más específica a las limitaciones que impone el *skid* de analizadores (locativas y energéticas), multiplexar la línea de análisis de contenido de CO₂ se percibe como una opción conveniente, aún más si se consideran aspectos relacionados a la operación y el mantenimiento.

En aplicaciones para las cuales es posible no realizar un análisis continuo de la muestra para el reporte de la calidad de gas, la multiplexación de las líneas de análisis en muchos casos se convierte en la solución más efectiva para determinación de calidad de gas en líneas independientes, realizando una variación de lo que se conoce como MLT (análisis multicomponente).

De forma particular, Rosemount Analytical muestra en una guía técnica asociada para el equipo X-Stream XE la forma de convertir la programación de un equipo MLT al lenguaje propio del PLC interno en el analizador [9]. En la guía técnica se describe la forma de programar el X-Stream XE para que realice análisis de líneas independientes de flujo (ver Figura 13).

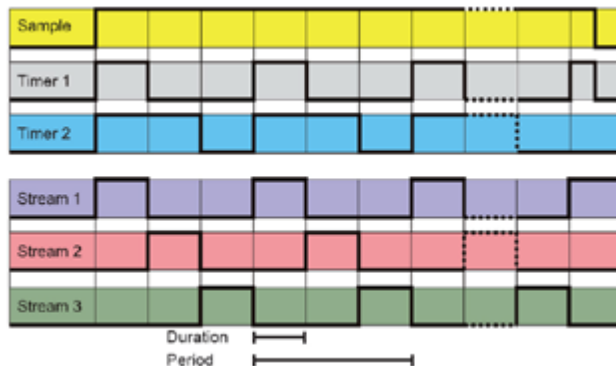
Figura 13 Configuración múltiples líneas de entrada a analizador



Fuente: Rosemount Analytical [9]

De forma particular la guía técnica de Rosemount Analytical plantea la multiplexación de 3 líneas independientes con 2 temporizadores (ver Figura 14); en este caso, para la solución requerida es posible seguir la estructura propuesta, usar un solo temporizador y dos válvulas de corte, una normalmente cerrada y otra normalmente abierta; a fin de dar paso continuo de muestra para el analizador [9].

Figura 14 Secuencia para la multiplexación de 3 líneas

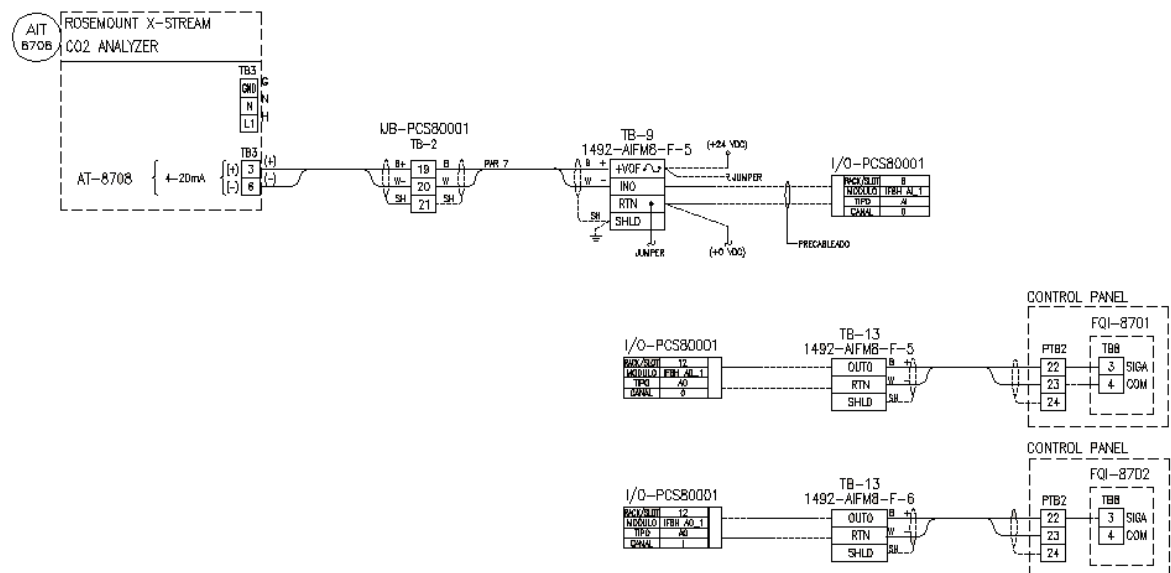


Fuente: Rosemount Analytical [9]

Como se mencionó previamente el analizador disponible en la facilidad posee únicamente las características mínimas de configuración, razón por la cual no tiene PLC interno; sin embargo esta situación no impide la implementación de la multiplexación de la línea en cuanto se dispone de un PLC externo en la facilidad.

De acuerdo con lo mencionado hasta este momento, el análisis de datos es el inconveniente aún sin resolver; debido a la diferencia que presenta con respecto a las otras dos soluciones propuestas anteriormente. Para esta solución no se encuentran disponibles salidas de corriente físicamente independientes para cada uno de los análisis de contenido de CO₂, por lo cual se hace necesario replantear la transmisión actual de datos desde el analizador hacia el computador de flujo y el CCR. Como alternativa se propone el envío de la señal de 4mA a 20mA del analizador al PLC externo usado para el control de las solenoides, programar dos señales analógicas de salida (una para Apiay y otra para Porvenir) que se conecten al computador de flujo de cada sistema de medición. De este modo el PLC externo generaría el temporizador para el multiplexado de la línea de análisis y adicionalmente entregaría a cada FQI la señal de corriente asociada al análisis de contenido de CO₂ de la línea correspondiente. En la Figura 15 se presenta el loop diagram propuesto para la distribución de la señal de 4mA a 20mA (se pretende que el PLC congele la señal de salida cuando el analizador tenga la muestra de la otra línea).

Figura 15 Loop diagram propuesta de distribución de señales análisis CO₂ Apiay / Porvenir



Fuente: Autor

Para asegurar correctamente los resultados es necesario determinar de forma precisa el temporizador a implementar para la apertura y cierre de las válvulas de corte de las líneas de muestreo. Se debe reconocer que este tiempo es impuesto por el tiempo de análisis del X-Stream y el tiempo de purga del sistema de acondicionamiento de muestreo y el X-Stream. De acuerdo con el flujo especificado por el analizador (1,5 l/m) el tiempo de purga especificado por el fabricante para el X-stream es de 150 s [7]. Para el sistema de acondicionamiento de muestreo se toman como referencia tiempos de purga de 120 s obtenidos por la corporación CDT de Gas en pruebas realizadas al mismo durante la evaluación realizada al skid de analizadores.

Es oportuno mencionar que la sonda de muestro, el sistema de acondicionamiento de muestra se resuelve de igual forma a la propuesta en la solución planteada en el numeral 3.1.

Finalmente los costos asociados a la implementación de la solución propuesta en el presente numeral se resumen y presentan en la siguiente tabla.

Tabla 8 Costos asociados a la multiplexación de la línea de entrada del X-STREAM

| ACTIVIDAD | COSTO |
|---|--------------|
| Programación PLC | 1.000.000 |
| Compra e instalación de válvulas solenoides de corte | 3.000.000 |
| Cableado señal de control válvulas | 1.000.000 |
| Configuración e instalación de trazados de tubing. | 1.000.000 |
| Adecuación de señal 4mA a 20mA analizador – PLC – computadores de flujo | 3.000.000 |
| Operación y mantenimiento | 500.000 |

Fuente: Autor

4. CONCLUSIONES

Debido a la constante evolución y búsqueda del aseguramiento de los resultados, es necesario durante el diseño y construcción de una facilidad (especialmente para un punto de transferencia de custodia) tener una visión a futuro y concebir desde el principio posibles modificaciones y/o expansiones con el fin de facilitar el manejo adecuado del cambio.

Al plantear diversas soluciones a un único requerimiento fue posible reconocer limitaciones propias de la facilidad (operativas y locativas), que finalmente deben convertirse en oportunidades de mejora y lecciones aprendidas para futuros proyectos o incluso otras modificaciones necesarias.

La sonda de muestreo con que cuenta actualmente la facilidad para la toma de muestra de gas al cromatógrafo, permite el flujo suficiente de gas para proporcionar la muestra tanto al cromatógrafo como a la instrumentación necesaria para el análisis de contenido de CO₂; evitando la inclusión de un nuevo punto y sonda de muestreo.

La multiplexación de la línea de muestreo, se convierte en la solución que menores exigencias presenta en aspectos relacionados con las limitaciones de la facilidad; sí bien es cierto requiere mayor trabajo en el análisis de datos y la determinación precisa de los tiempos de muestreo.

5. RECOMENDACIONES

Aumentar la capacidad de suministro eléctrico disponible en el Skid de analizadores, al igual que el cableado de *spare*.

Para futuras modificaciones evaluar, durante la selección de los equipos o instrumentos, las funciones extras y estudiar la posibilidad de realizar múltiples tareas y/o análisis con el fin de no subutilizar la instrumentación.

Debido a modificaciones previas y la inclusión de nuevos analizadores, es necesario rediseñar el trazado de líneas de gases de referencia, blancos y venteos del skid de analizadores; adicionalmente se debe separar la línea de toma de muestra de H₂S e incluir tubing pasivado en sus conexiones.

BIBLIOGRAFÍA

[1] COLOMBIA, COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS. Resolución 071 (3, diciembre, 1999). Por la cual se establece el reglamento único de transporte de gas natural (RUT). Bogotá, 1999. p. 48-51

[2] COLOMBIA, COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS. Resolución 054 (26, julio, 2007). Por la cual se complementan las especificaciones de calidad del gas natural inyectado al Sistema Nacional de Transporte, definidas en la Resolución CREG 071 de 1999. Bogotá, 2007.

[3] COLOMBIA, COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS. Resolución 041 (23, abril, 2008). Por la cual se modifica y complementa el reglamento único de transporte de gas natural (RUT). Bogotá, 2008. p. 7-12

[4] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, Manual of Petroleum Measurement Standards - Natural Gas Fluids Measurement - Collecting and Handling of Natural Gas Samples for Custody Transfer. API MPMS 14.1 Chapter 14 Section 1. 6 ed. Washington 2006.

[5] A+, Genie® Probe Regulator Model GPR™ - Technical specification. 2010

[6] ROSEMOUNT ANALYTICAL. Application note – Oil & Gas, Carbon dioxide (CO₂) measurement in natural gas. Emerson Process Management GmbH & Co., Germany, 2010.

[7] ROSEMOUNT ANALYTICAL. X-stream – Gas analyzer series instruction manual. Emerson Process Management GmbH & Co. Germany, 2010.

[8] WOOD GROUP PSN. Diagrama de lazo AE-8704 – Planta de venta de Gas. Casanare 2005.

[9] ROSEMOUNT ANALYTICAL. Technical guide – Converting existing MLT programs to X-STREAM XE PLC format. Emerson Process Management GmbH & Co. Germany, 2010.