

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE OPTIMIZACIÓN PARA EL  
MANEJO INTEGRAL DE LAS PLANTAS DE GAS Y LPG DE CUSIANA FRENTE  
A LAS FLUCTUACIONES DEL MERCADO**

**JOSE ALBERTO ALARCON ORTIZ**

**JUAN CARLOS SANABRIA GONZALEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUIMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETROLEOS  
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE HIDROCARBUROS  
BUCARAMANGA**

**2014**

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE OPTIMIZACIÓN PARA EL  
MANEJO INTEGRAL DE LAS PLANTAS DE GAS Y LPG DE CUSIANA FRENTE  
A LAS FLUCTUACIONES DEL MERCADO**

**JOSE ALBERTO ALARCON ORTIZ**

**JUAN CARLOS SANABRIA GONZALEZ**

**Trabajo de grado para optar  
por el título de Especialista en  
Gerencia de Hidrocarburos**

**DIRECTOR**

**ING. LUIS ELIAS YAÑEZ FERNANDEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUIMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETROLEOS  
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE HIDROCARBUROS  
BUCARAMANGA**

**2014**

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos agradecer a Dios Todopoderoso por habernos permitido llevar a cabo este proyecto.

A nuestras familias por su apoyo incondicional en el desarrollo de nuestras actividades académicas.

A todo el grupo de operaciones de Equión Energía Limited, en cabeza de los Gerentes de Operaciones, Superintendentes, grupos de ingeniería y Técnicos de Producción por su soporte presupuestal, técnico y administrativo en el desarrollo de las múltiples actividades realizadas.

## TABLA DE CONTENIDO

|                                                                                                                                  | pág |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| INTRODUCCIÓN .....                                                                                                               | 16  |
| 1. ESPECIFICACIONES GENERALES DEL PROYECTO.....                                                                                  | 18  |
| 1.1.Planteamiento del Problema. ....                                                                                             | 18  |
| 1.2.Justificación .....                                                                                                          | 19  |
| 1.1.Objetivos .....                                                                                                              | 19  |
| 1.1.1.General .....                                                                                                              | 19  |
| 1.1.2.Específicos .....                                                                                                          | 20  |
| 2. ESTRATEGIAS ECOPETROL-EQUION CON EL FIN GENERAR VALOR SIN<br>AFECTAR EL MERCADO .....                                         | 21  |
| 2.1Evaluaciones Operacionales.....                                                                                               | 22  |
| 2.1.1.Razones de corte en el suministro de gas ventas de Cupiagua y Cusiana. ...                                                 | 22  |
| 2.1.2.Comunicaciones. ....                                                                                                       | 23  |
| 2.1.3.Casos operacionales.....                                                                                                   | 23  |
| 2.1.3.1.Reducción parcial o total por parada del compresor en la estación de<br>Miraflores (Propiedad de TGI).....               | 23  |
| 2.1.3.2.Cusiana no puede entregar toda su nominación por cualquier problema<br>(restricción total o parcial no programado).....  | 24  |
| 2.1.3.3.Cupiagua no puede entregar toda su nominación por cualquier problema<br>(restricción total o parcial no programado)..... | 24  |
| 2.1.3.4.Reducciones por mantenimientos programados. ....                                                                         | 24  |
| 2.1.3.5.Cierre súbito por gas fuera de especificaciones. ....                                                                    | 24  |
| 2.1.3.6.Caso de emergencia por ruptura del gasoducto:.....                                                                       | 25  |
| 2.1.4.Mínimos Operativos Cupiagua-Cusiana. ....                                                                                  | 25  |
| 2.1.5.Acuerdos para el suministro de gas de ventas. ....                                                                         | 26  |
| 3. DISEÑO DEL SISTEMA DE RECIRCULACION DE LAS PLANTAS DE GAS<br>DE VENTAS EN CUSIANA.....                                        | 29  |
| 3.1.ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA DE GAS VENTAS CUSIANA.....                                                                         | 29  |
| 3.2.PROPUUESTA.....                                                                                                              | 30  |
| 3.2.1.Beneficios. ....                                                                                                           | 31  |

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.2. Documentos de Referencia.....                                         | 31 |
| 3.2.3. Planos de Referencia.....                                             | 31 |
| 3.3.BASES DE DISEÑO .....                                                    | 31 |
| 3.3.1.Criterios de Diseño. ....                                              | 32 |
| 3.3.2. Consideraciones para el Diseño.....                                   | 32 |
| 3.4.EVALUACIÓN TÉCNICA .....                                                 | 33 |
| 3.4.1. Estrategias de recirculación de gas.....                              | 33 |
| 3.4.2. Cantidad de gas ventas recirculado y válvula de control de flujo..... | 34 |
| 3.4.3. Dimensionamiento de la línea de recirculación de gas. ....            | 36 |
| 3.4.4. Descripción del flujo de Proceso. ....                                | 36 |
| 3.4.5. Puntos Tie-Ins de conexión requeridos. ....                           | 36 |
| 3.4.6. Sistema de Control. ....                                              | 37 |
| 3.4.7. Sistema de alivio.....                                                | 37 |
| 3.4.8. Dimensionamiento líneas de alivio. ....                               | 37 |
| 3.4.9. Filosofía de Shut Down. ....                                          | 38 |
| 3.5.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL DISEÑO .....                          | 38 |
| 4.CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE RECIRCULACION DE GAS DE VENTAS DE CUSIANA..... | 40 |
| 4.1.CRONOGRAMA .....                                                         | 40 |
| 4.2.PRESUPUESTO.....                                                         | 40 |
| 5.ESTRATEGIA OPERACIONAL DEL PROYECTO .....                                  | 42 |
| 5.1.PROBLEMAS OPERACIONALES DEL CPF CUSIANA. ....                            | 42 |
| 5.1.1. Problemas en la estación compresora de TGI.....                       | 42 |
| 5.1.2. Bajas ventas de gas: .....                                            | 43 |
| 5.2.ESTRATEGIA OPERACIONAL ACTUAL .....                                      | 44 |
| 5.2.1. Solución a problemas por parada de estación compresora de TGI. ....   | 45 |
| 5.2.2. Solución a problemas por bajas ventas de gas. ....                    | 45 |
| 6.EVALUACIÓN DE SEGURIDAD DE PROCESO.....                                    | 46 |
| 7.PRUEBA DE DESEMPEÑO .....                                                  | 47 |
| 7.1.TÉRMINOS DE REFERENCIA .....                                             | 47 |
| 7.1.1. Objetivo.....                                                         | 47 |
| 7.1.2. Alcance .....                                                         | 47 |
| 7.1.3. Pre- requisitos para la medición .....                                | 48 |

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 7.1.4.Evaluación de la medición .....                          | 48 |
| 7.1.5.Parámetros Gas ventas RUT .....                          | 48 |
| 7.1.6.Parámetros calidad LPG y Condensados Estabilizados ..... | 49 |
| 7.1.6.1LPG .....                                               | 49 |
| 7.1.6.2.NGL .....                                              | 49 |
| 7.2.RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN DE DESEMPEÑO.....             | 49 |
| CONCLUSIONES .....                                             | 76 |
| BIBLIOGRAFÍA .....                                             | 79 |

## INDICE DE FIGURAS

|                                                                                              | <b>pág</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Figura 1. Diagrama SGP .....                                                                 | 51         |
| Figura 2. Diagrama de bloques del proceso de CPF Cupiagua .....                              | 52         |
| Figura 3. Representación del sistema de gas de ventas Cusiana .....                          | 52         |
| Figura 4 . Desarrollo del proyecto .....                                                     | 53         |
| Figura 5. Recirculación SGP Cusiana.....                                                     | 53         |
| Figura 6. Resultados de volúmenes de producción obtenidos Enero y Mayo de 2013.....          | 54         |
| Figura 7. Resultados de volúmenes de producción obtenidos entre Junio y Octubre de 2013..... | 54         |
| Figura 8 Esquema propuesto 1.....                                                            | 55         |
| Figura 9. Esquema propuesto 2.....                                                           | 56         |
| Figura 10. Esquema propuesto 3.....                                                          | 57         |
| Figura 11. Evidencia Fotográfica .....                                                       | 58         |
| Figura 12. Evidencia Fotográfica 2 .....                                                     | 58         |
| Figura 13. Evidencia Fotográfica 3 .....                                                     | 59         |

## INDICE DE TABLAS

|                                                                                                           | <b>pág</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Tabla 1. Producción de Gas de Cupiagua. ....                                                              | 60         |
| Tabla 2. Producción de Gas de Cusiana .....                                                               | 60         |
| Tabla 3. Representación de las comparaciones entre las opciones .....                                     | 61         |
| Tabla 4. Representación de los criterios para el máximo flujo en función del ruido<br>.....               | 62         |
| Tabla 5. Representación de los criterios para el máximo flujo en función del ruido<br>(flujo lineal)..... | 62         |
| Tabla 6. Registro de Dimensionamiento de tubería de aguas arriba .....                                    | 63         |
| Tabla 7. Registro de Dimensionamiento de tubería de agua abajo .....                                      | 63         |
| Tabla 8. Tabla de capacidad de alivio del sistema.....                                                    | 63         |
| Tabla 9. Registro de tarea y duración .....                                                               | 64         |
| Tabla 10 Cronograma del proyecto parte 1 .....                                                            | 65         |
| Tabla 11. Cronograma del proyecto parte 2 .....                                                           | 66         |
| Tabla 12. Cronograma del proyecto parte 3 .....                                                           | 67         |
| Tabla 13. Registro de Presupuesto parte 1 .....                                                           | 68         |
| Tabla 14. Registro de Presupuesto parte 2 .....                                                           | 69         |
| Tabla 15. Registro de Presupuesto parte 3 .....                                                           | 70         |
| Tabla 16. Registro de Presupuesto recirculación de gas de ventas .....                                    | 71         |
| Tabla 17. Registro de presupuesto de Ingeniería .....                                                     | 71         |
| Tabla 18. What if recirculación de gas de ventas parte 1 .....                                            | 73         |
| Tabla 19. What if recirculación de gas de ventas parte 2 .....                                            | 74         |
| Tabla 20. Resultados Esperados .....                                                                      | 74         |
| Tabla 21. Resumen de volúmenes de producción obtenidos .....                                              | 75         |

## GLOSARIO

**BRITISH THERMAL UNIT:** (BTU) unidad térmica de medida, representa el poder calorífico de los hidrocarburos. Es el calor requerido para elevar la temperatura de una libra de agua en un grado Fahrenheit.

**CAJA WHISPER:** Dispositivo mecánico utilizado en válvulas de control para reducir el ruido que generan las grandes caídas de presión en las válvulas.

**CONDENSADO ESTABILIZADO:** Se refiere a cualquier mezcla de hidrocarburos relativamente ligeros que permanecen líquidos a temperatura y presión normales. Tendrán alguna cantidad de propano y butano disueltos en el condensado.

**CRICONDENTHERM:** Es el punto de temperatura máxima en la curva envolvente de la región de dos fases en el diagrama de composición presión – temperatura. Es la temperatura máxima a la cual dos fases pueden existir. Es decir que es la máxima temperatura por encima de la cual el líquido no puede ser formado.

**CUPIAGUA/CUSIANA:** Facilidades de procesamiento de crudo y gas construidas en la década de los 90's para explotar los yacimientos que llevan su mismo nombre.

**GAS NATURAL:** Una mezcla de hidrocarburos, generalmente gaseosos presentes en forma natural en estructuras subterráneas. El gas natural consiste principalmente de metano ( 80%) y proporciones significativas de etano, propano, y butano.

**HIPPS:** (High Integrity Pressure Protection System) es un tipo de sistema instrumentado de seguridad diseñado para prevenir sobre-presurización de una planta. El HIPPS cerrará la fuente de alta presión antes de que la presión de diseño del sistema sea excedida.

**HOT TAP:** Proceso mediante el cual se realiza una conexión de una tubería nueva en una línea viva.

**HP SEP:** Separador crudo-agua-gas de Alta presión.

**JT:** Es una planta de acondicionamiento de punto de rocío del gas, que usa el efecto conocido como joule Thompson que consiste en el enfriamiento del gas, provocado por la expansión del mismo a través de una válvula.

**JUMPER:** sistema de tubería que permite interconectar dos puntos.

**LINEA VIVA:** Denominación con la que se identifican tuberías que contienen líquidos o gases en su interior.

**LPG:** Hidrocarburo que, a condición normal de presión y temperatura, se encuentran en estado gaseoso, pero a temperatura normal y moderadamente alta presión es licuable. Usualmente está compuesto de propano, butano, polipropileno y butileno o mezcla de los mismos.

**MANAGEMENT OF CHANGE (MOC):** Proceso administrativo de manejo del cambio.

**NGL:** Son compuestos del gas natural que son convertidos desde el estado gaseoso al estado líquido. Esta separación ocurre en plantas de procesamiento de gas a través de métodos absorción y condensación

**NTC:** norma técnica colombiana expedida por el ICONTEC.

**PCV:** (Pressure Control Valve) es una válvula de control que se utiliza para mantener la presión de un recipiente en un valor constante.

**PSV:** (Pressure Safety Valve) es una válvula mecánica, la cual automáticamente libera la presión cuando se excede un valor de ajuste predeterminado, protegiendo el sistema en el cual se encuentre instalada.

**RUT:** Reglamento único de transporte de gas natural. Resolución No. 071 de 1999 – CREG071-99 Contiene las especificaciones de calidad y condiciones para el transporte del gas por gasoductos.

**SDV:** (Shut Down Valve) es una válvula cuya función de protección es suministrar un cierre automático de cualquier fluido de proceso, una vez que el proceso aguas abajo que protege se ha salido de control.

**SGP:** (Sales Gas Plant) instalación diseñada para el acondicionamiento de gas natural con el propósito de que pueda ser usado para el consumo industrial, vehicular y doméstico.

**TGI:** (Transportadora de Gas Internacional) empresa colombiana cuyo mayor accionista es el Grupo Energía de Bogotá, y que presta servicio público de transporte de gas.

**TRIM:** en general representa el conjunto de partes de una válvula que están en contacto con el fluido.

**TURBO- EXPANDERS:** es una turbina de flujo axial o centrífuga a través del cual un gas de alta presión es expandido para producir trabajo que es frecuentemente usado para impulsar un compresor.

**TURN DOWN:** Mínima capacidad a la cual se puede operar un sistema o equipo.

**TVP:** (True Vapor Pressure) es una medida común de la volatilidad de un petróleo crudo y es una especificación de entrega de los crudos al oleoducto. Es la presión parcial ejercida por un líquido volátil como función de la temperatura y es determinado mediante el ensayo ASTM-D2879.

**VELOCIDAD MATCH:** es una medida de velocidad relativa que se define como el cociente entre la velocidad de un objeto y la velocidad del sonido en un fluido específico.

## RESUMEN

**TITULO\*:** IMPLEMENTACION DE UNA ESTRATEGIA DE OPTIMIZACION PARA EL MANEJO INTEGRAL DE LAS PLANTAS DE GAS Y LPG DE CUSIANA FRENTE A LAS FLUCTUACIONES DEL MERCADO.

**AUTORES\*\*:** JOSE ALBERTO ALARCON ORTIZ  
JUAN CARLOS SANABRIA GONZALEZ

**PALABRAS CLAVES:** OPTIMIZACION PLANTAS DE GAS DE CUSIANA

Las alteraciones en la demanda de gas por parte del mercado nacional debido a temporadas de días festivos y la sobre oferta generada por la entrada en servicio de la planta de gas de Cupiagua afectó drásticamente la producción de NGLs y LPG de Cusiana, por tanto, fue necesario implementar un proyecto que redujera el impacto en producción de productos blancos del sistema.

Utilizando la metodología del mejoramiento continuo se diseñó e implementó un proyecto cuyo objetivo principal fue poder mantener el volumen de gas manejado a través de las plantas de Gas de Ventas de Cusiana en su capacidad nominal, para garantizar mantener la producción de productos blancos generados como resultado del tratamiento de dew point hidrocarburo realizado en cada una de las unidades y a su vez disponer el gas no consumido por el mercado en la corriente de reinyección del CPF de Cusiana.

De la misma manera fue necesario establecer estrategias de manera conjunta entre Ecopetrol (dueño de la planta de gas de Cupiagua) y Equión Energía (dueño de las plantas de gas de Cusiana), para poder de manera conjunta operar y mantener la demanda de gas del mercado nacional garantizando confiabilidad y eficiencia.

Una vez implementado el proyecto, fue realizada una prueba de desempeño a través de la cual se comprobó el beneficio buscado en producción de productos blancos los cuales no fueron drásticamente afectados por los periodos de bajas ventas de gas. Adicionalmente se logró estabilidad operacional y alta disponibilidad de planta al no ser necesario detener la operación de las unidades cuando la demanda de gas natural en los gasoductos es inferior a la capacidad nominal de las plantas.

---

\* Trabajo de Grado.

\*\* Facultad de ingenierías fisicoquímicas. Escuela de ingeniería de petróleos. Director: Luis Elías Yáñez Fernández.

## **ABSTRACT**

**TITLE\*:** IMPLEMENTATION OF OPTIMIZATION STRATEGY FOR INTEGRATED MANAGEMENT OF CUSIANA GAS AND LPG PLANTS UPON MARKET FLUCTUATIONS.

**AUTHORS\*\*:** JOSE ALBERTO ALARCON ORTIZ

JUAN CARLOS SANABRIA GONZALEZ

**KEY WORDS:** CUSIANA GAS PLANTS OPTIMIZATION.

Alterations in gas demand from the domestic market due to holiday seasons and oversupply caused by the entry into service of the Cupiagua gas plant, drastically affected the production of Cusiana's NGLs and LPG, therefore, it was necessary to implement a project that would reduce the impact on production of white products in the system.

Using the continuous improvement methodology, a project was designed and implemented which main goal was to keep the volume of gas handled through to Cusiana Gas Plants at its rated capacity to ensure continued production of white products generated as a result of treatment of hydrocarbon dew point made in each of the units, and in turn have the gas not consumed by the market in the CPF Cusiana reinjection current.

Similarly, it was necessary to develop strategies jointly by Ecopetrol (Gas Plant Cupiagua owner) and Equión Energy (Gas Plants Cusiana owner), to jointly operate and maintain the demand of the national market by ensuring reliability and efficiency.

Once the project is implemented, a performance test was conducted by which the benefit sought on production of white products were not drastically affected by periods of low sales of gas. Further operational stability and high availability plant was achieved to avoid stopping the operation of the units when demand for natural gas in pipelines is less than the rated capacity of the plants.

---

\* Graduation work.

\*\* Faculty of physicochemical engineering. School of petroleum engineering. Director: Luis Yáñez Elias Fernandez.

## INTRODUCCIÓN

El mercado del Gas Natural en Colombia es bastante joven y como tal su diversificación ha sido lenta debido a la falta de confianza generada por parte de los comercializadores ya sea por baja confiabilidad de las plantas que lo procesan o por fallas en el sistema de transporte<sup>3</sup>.

A pesar de lo anteriormente enunciado el consumo de gas natural se ha venido incrementando en la medida que el gas se ha colocado en el mercado a disposición del consumidor y por tanto cada vez que entra en servicio una nueva planta de gas se producen periodos de sobreoferta.

Adicionalmente, debido a que Colombia es un país con dos marcadas estaciones, en las épocas de sequía se dispara el consumo de gas debido a la entrada en servicio de las plantas térmicas de generación eléctrica, las cuales funcionan con gas natural y a su vez deben suplir la baja disponibilidad de las hidroeléctricas, las cuáles se ven afectadas por el bajo nivel de los embalses.

La sobreoferta de gas en el país ha generado una fuerte caída en los precios del mismo, afectando ostensiblemente los balances económicos de las compañías productoras a tal punto que hoy en día se comercializa el gas a US\$3.50 Mbtu, cuando en el año 2010 Equión pudo colocar en el mercado gas a cerca de US\$6.50 Mbtu, siendo lamentable que esa reducción no se haya reflejado en el precio a los consumidores.

El campo de producción Cusiana, tiene un yacimiento de gas asociado, que sumado a moderadas concentraciones de componentes no deseados en el gas de comercialización, hace necesario implementar complejos procesos de acondicionamiento del gas para ventas, que a su vez elevan sustancialmente el costo de procesamiento.

---

<sup>3</sup> EL ENTORNO DEL GAS NATURAL EN COLOMBIA.XVI Congreso Naturgas Cartagena 2013. Wood Mackenzie

Desde el año 2005 el Gas de Cusiana a través de los gasoductos del Porvenir y Apiay, suministra energía a Bogotá, Cundinamarca, Meta, eje cafetero, Boyacá y el parte del sur occidente del país, mientras que Chevron con sus yacimientos de Chuchupa y Ballena en la Guajira cubre la parte norte del país y el gas de exportación a Venezuela.

Con la entrada en servicio de la planta de gas de Cupiagua se ha presentado una gran sobreoferta de gas para el centro y sur occidente del país, lo cual afecta sustancialmente los balances económicos de Equión ya que se está viendo obligado a reducir drásticamente los volúmenes de gas colocado a gasoductos, situación que bajo pronósticos optimistas solo será superada en 2015 cuando el mercado nacional asimile el nuevo volumen de gas disponible para el consumo.

Por esta razón es imperativo diseñar un proyecto que permita reducir los impactos económicos generados por este momento coyuntural del mercado y crear acuerdos con Ecopetrol que permitan mantener la operación de las plantas de las dos compañías de manera conjunta, confiable y segura para de esta manera generar confianza y estimular el volcamiento de la industria hacia el consumo de gas natural<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> PERSPECTIVAS DE INCREMENTO DE RESERVAS DE GAS NATURAL. ECOPETROL. XVI Congreso Naturgas 2013

## **1. ESPECIFICACIONES GENERALES DEL PROYECTO**

### **1.1. Planteamiento del Problema.**

El sistema integrado de Gas de Ventas de Cusiana fue diseñado, construido y puesto en operación para suministrar 270 MMscfd de Gas Natural, 2200 barriles de Condensados estabilizados y 6500 barriles de LPG al mercado nacional, convirtiéndose en uno de los actores principales del mercado energético del país. Las fluctuaciones en el consumo, los mantenimientos en los gasoductos y la entrada en servicio de nuevas plantas de gas como la de Cupiagua perteneciente a Ecopetrol a finales de 2012, ha generado una sobreoferta de gas que no podrá asumir el mercado en el corto plazo, causando impactos directos en las ventas de gas, la producción de condensados estabilizados y LPG de la planta en Cusiana, así como también afectación en las facilidades instaladas en la misma por la continua alteración de los procesos, como consecuencia de la baja demanda. Adicionalmente, se generará un impacto económico en las tres líneas de producción (Gas, LPG y Condensados Estabilizados) que hará de la operación de las plantas un esquema poco rentable y de alta afectación reputacional, ya que ellas suministran el gas domiciliario al centro del país y el gas propano a gran parte del territorio nacional.

Teniendo en cuenta lo anterior: ¿Es necesario plantear una estrategia que permita maximizar el valor generado por las plantas de gas a través de proyectos y acuerdos operativos? Tenemos la certeza que sí y nuestra intención es demostrarlo en esta monografía.

## **1.2. Justificación**

Con la entrada en servicio de la planta de gas de Cupiagua, se ha generado sobre oferta de gas para el país, que en consecuencia ha impactado los volúmenes de gas entregados por la planta de Cusiana a los gasoductos, con fuertes impactos económicos para Equión.

Adicionalmente, la planta de gas de Cusiana produce NGL y LPG, los cuales se ven afectados directamente por los bajos volúmenes de gas procesados y por ende generando impacto en la producción.

Es imperativo elaborar e implementar un proyecto, mediante una estrategia que permita reducir al máximo los impactos económicos por bajas ventas de gas, baja producción de NGL y de LPG, de manera tal que haga la operación de los sistema de gas de ventas de Cusiana sostenible y evite el posible desabastecimiento de gas propano a las zonas del país donde no llega la red de gas natural.

Para capitalizar el beneficio es muy importante establecer una estrategia de operación conjunta, donde Equión y Ecopetrol puedan construir acuerdos que les permitan minimizar los impactos de la sobre oferta de gas y garantizar el suministro de manera eficiente y confiable para motivar el mercado.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. General**

Diseñar e implementar un sistema de operación que permita re direccionar el gas no consumido por el mercado, hacia las facilidades de reinyección de la planta (CPF de Cusiana), permitiendo que la producción de líquidos NGL & LPG pueda

mantenerse constante y las plantas no sean expuestas a alteraciones de proceso que puedan afectar su integridad operativa.

### **1.1.2. Específicos**

- Crear estrategias conjuntas entre Equión y Ecopetrol, que permitan mantener el suministro de Gas Natural al mercado colombiano, reduciendo al máximo los impactos generados a las compañías por la sobre oferta de gas.
- Diseñar conceptualmente y obtener aprobación de un proyecto que permita generar valor en los periodos de ventas de gas inferiores a la capacidad nominal de la planta, como producto de la sobre oferta de gas al mercado.
- Construir un sistema de recirculación de gas de ventas en Cusiana, que facilite optimizar la recuperación de los productos líquidos NGL y LPG durante el tiempo que se mantenga la sobre oferta de gas para el mercado nacional.
- Crear una estrategia operacional que permita atenuar drásticamente la inestabilidad operacional del CPF de Cusiana, manteniendo de esta manera los procesos estables, seguros y confiables.
- Estructurar una prueba de desempeño que permita determinar los beneficios obtenidos como resultado de la implementación del proyecto en volúmenes de productos blancos producidos.

## **2. ESTRATEGIAS ECOPETROL-EQUION CON EL FIN GENERAR VALOR SIN AFECTAR EL MERCADO**

En este capítulo ilustraremos como Ecopetrol y Equión tuvieron que construir una alianza estratégica que les permitiera operar de manera conjunta, dinámica, eficiente y sostenible, para maximizar la generación de valor de sus sistemas de gas de ventas, enfocados en ganar credibilidad ante el mercado para motivar el crecimiento de la demanda y de esta manera lograr en mediano plazo colocar el 100% de su capacidad de ventas de gas natural al servicio del país.

En la etapa final de la construcción de la planta de gas de Cupiagua, Ecopetrol y Equion realizaron reuniones conjuntas para definir la estrategia a seguir en sus operaciones, con el fin de generar el mayor valor posible para si mismas y a su vez garantizar el suministro de gas para el centro y sur occidente del país, para lo cual se tuvo en cuenta lo siguiente:

La capacidad nominal de la planta de gas de Cusiana es de 270 MMscfd.

La capacidad nominal de la planta de gas de Cupiagua es de 210 MMscfd.

La planta de gas de Cusiana aporta 240 MMscfd al gasoducto del Porvenir y 30 MMscfd al gasoducto de Apiay.

La planta de gas de Cupiagua solo podrá aportar gas hacia el gasoducto del Porvenir.

La demanda de gas a través del gasoducto del Porvenir en el año 2013 está estimada en 300 MMscfd

Los condensados generados en las plantas de gas de Cusiana alimentan una planta de LPG con una capacidad de entrega de 2200 barriles por día de NGL y 7500 barriles por día de LPG.

## **2.1 Evaluaciones Operacionales.**

En reunión con Equión y TGI se definieron diferentes casos operaciones, teniendo en cuenta la filosofía de control del suministro de gas de Cupiagua (ver figura 1)

### **2.1.1. Razones de corte en el suministro de gas ventas de Cupiagua y Cusiana.**

Producto de reuniones sostenidas entre Ecopetrol y Equion se generaron conclusiones incluidas en informe de acuerdos del cual se extractan las razones de corte de suministro de gas de ventas.<sup>5</sup>

Con presiones menores a 850 psig en la línea de gas se cierra la válvula de seccionamiento de Cupiagua.

La falla en paneles solares (energía) cierran las válvulas de seccionamiento en la línea de gas Cupiagua – Cusiana.

La Falla en los sistemas de suministro de gas de alimento a cada una de las plantas.

Al presentarse gas producto fuera de especificaciones se cierra la válvula de corte (según sea su procedencia Cupiagua y/o Cusiana)

El compresor de la planta de gas Cupiagua tiene su propia lógica de control y por debajo de 1050 psig, la válvula anti surge operaría abierta.

Se aclara que la normatividad para transferencia de custodia el medidor de gas no permite la existencia de un by pass.

La línea de suministro de gas Cupiagua posee un sistema de alta integridad HIPPS (2∞3) para protección de la línea propiedad de ECOPETROL, en el cambio

---

<sup>5</sup> INFORME. ECP\_EQUION. Casos operacionales líneas de ventas de gas CUP-CUS. Equipo de acuerdos operacionales. 2012.

de rating de 900# a 600# en el punto de entrega al transportador TGI. El cierre de la válvula de corte SDV (Shutdown valve) se actúa en caso de alta presión en un valor de 1330psig. TGI indica que el set point de cierre es alto y debe verificarse durante el comisionamiento.

Las plantas de gas de Cusiana salen de servicio cuando el gasoducto alcance una presión de 1215 psig.

El gasoducto opera entre 950-1200 psig

La capacidad del gasoducto propiedad de TGI es de 392 MMSCFD.

#### **2.1.2. Comunicaciones.**

Deben realizarse entre TGI/ EQUION/ECOPETROL para:

- Operación día a día
- Programación de nominaciones
- Contingencias y/o emergencias

#### **2.1.3. Casos operacionales.**

##### **2.1.3.1. Reducción parcial o total por parada del compresor en la estación de Miraflores (Propiedad de TGI).**

Causa presurización en el gasoducto y por lo tanto, restricción y/o cierre en el suministro de gas de Cupiagua y Cusiana.

En caso que la parada sea parcial, la capacidad del gasoducto disminuye de 390 a 160 MMSCFD, por lo tanto se requiere:

- Establecer qué empresa va en la base de ventas
- Establecer la proporción de restricción de flujo para cada empresa
- Realizar negociación de acuerdo operativo.

**2.1.3.2. Cusiana no puede entregar toda su nominación por cualquier problema (restricción total o parcial no programado).**

Causa una disminución de presión en el gasoducto y Cupiagua con la disponibilidad de la capacidad actual, puede producir mayor cantidad de gas, hasta lo programado en el set de la válvula de control de flujo.

**2.1.3.3. Cupiagua no puede entregar toda su nominación por cualquier problema (restricción total o parcial no programado).**

Causa una disminución de presión en el gasoducto y Cusiana con la disponibilidad de la capacidad actual, puede producir mayor cantidad de gas.

En caso que la parada sea parcial o total, se requiere:

- Establecer la forma de reponer el gas o costos del mismo a EQUIÓN.
- Realizar el plan de comunicaciones entre ECOPETROL/EQUIÓN/ TGI
- Realizar procedimiento operacional para establecer el valor requerido flujo para soportar la salida de servicio de Cupiagua.

**2.1.3.4. Reducciones por mantenimientos programados.**

Se requiere:

- Conocer el tiempo de la restricción
- Procedimiento para suministrar el gas faltante, o en su defecto un aparte del gas entre ECOPETROL y EQUIÓN según sea el caso.
- Establecer la forma de reponer el gas o costos del mismo a SON-ECOPETROL o EQUION según sea el caso.

**2.1.3.5. Cierre súbito por gas fuera de especificaciones.**

La empresa causante de gas fuera de especificaciones cerrará su entrada al gasoducto de TGI y la otra suministrará el gas faltante o una parte de mismo. Para lo cual se requiere:

- Aplicar procedimientos operativos en la empresa causante del gas fuera de especificaciones

Si el causante del gas fuera de especificaciones es EQUIÓN en Cusiana, tener en cuenta:

- Establecer la forma de reponer el gas o costos del mismo a ECOPETROL.
- Realizar el plan de comunicaciones entre ECOPETROL/EQUIÓN/ TGI
- Realizar procedimiento operacional para establecer el valor requerido en el set de flujo en la válvula de control, para soportar la salida de servicio de Cusiana.

Si el causante del gas fuera de especificaciones es ECOPETROL en Cupiagua, tener en cuenta:

- Establecer la forma de reponer el gas o costos del mismo a EQUIÓN.
- Realizar el plan de comunicaciones entre ECOPETROL/EQUIÓN/ TGI
- Realizar procedimiento operacional para establecer el valor requerido flujo para soportar la salida de servicio de Cupiagua.

#### **2.1.3.6. Caso de emergencia por ruptura del gasoducto:**

El sistema aplicará las lógicas de baja presión cerrando las válvulas de corte, se requiere establecer el plan de comunicaciones y de ayuda mutua para contingencias.

#### **2.1.4. Mínimos Operativos Cupiagua-Cusiana.**

Según el diseño de la planta de gas de Cupiagua tiene una capacidad de producción de gas ventas de 210 MMSCFD y un mínimo operativo a través de un

sistema Joule Thompson, para lograr especificaciones de dew point, con una producción de gas ventas de 110MMSCFD. (Ver figura 2)

El sistema de gas de ventas de Cusiana está compuesto por dos unidades de endulzamiento con amina, una turbina de compresión de gas, cinco plantas de ventas de gas y una planta de LPG como se observa en la figura 3.

Equión declara un mínimo operativo de 210 MMscfd, el cual es generado por las siguientes condiciones operativas:

Las plantas de gas de Cusiana en su etapa de compresión utilizan turbinas, las cuales en operación con mínima velocidad podrán manejar el equivalente al gas necesario para vender 210 MMscfd. Operar la turbina manejando valores inferiores de gas colocaría en riesgo la integridad de la máquina.

Bajo este escenario Equión declara que habrá pérdidas a razón de 8.15 barriles de NGL y 28.1 barriles de LPG por cada MMscfd de gas dejado de tratar en las plantas<sup>6</sup>.

#### **2.1.5. Acuerdos para el suministro de gas de ventas.**

Con el fin de asegurar la operación de las plantas de gas de Cupiagua y Cusiana, en especial cuando se presenten escenarios de bajas ventas, se acuerda lo siguiente:

Está definido que los mínimos operativos de las plantas son: 210 MMscfd para Cusiana y 110 MMscfd para Cupiagua.

---

<sup>6</sup> ACTA de definición de mínimos operativos SGP, 2012.

<sup>7</sup> ACTA de acuerdos para suministrar gas de ventas ECP-EQUION, 2012

Se establece que la planta de gas de Cusiana, por bajas demandas de mercado, puede ajustar la operación para entregar hasta un volumen mínimo de 160 MMscfd de manera puntual. Este escenario solo aplica para las pruebas del compresor durante el proceso de arranque y para las épocas de muy baja demanda del mercado, en las cuales los consumos totales sean inferiores al mínimo operativo declarado por Cusiana. Esta no es una condición de la operación normal, debido al impacto en la integridad de los equipos y a los costos de operación de la planta.

Actualmente el mínimo operativo de la planta de gas de Cupiagua está dado por el volumen gas ventas que maneja el compresor, que se estima en 110 MMscfd. No obstante, el volumen mínimo final resultará de las pruebas funcionales y operativas que se realicen siguiendo la curva de operación de dicho compresor. De esta manera se podrá establecer el volumen mínimo de entregas de gas en Cupiagua para épocas de baja demanda.

El inicio del proceso de operación de la planta de gas Cupiagua con sistema de Compresión, está prevista para iniciar el 11/Dic/12. Fecha en la cual se iniciarán pruebas funcionales en el compresor, las cuales deberán ser coordinadas con la Superintendencia de Operaciones de Cusiana, para no exceder la capacidad de recibo de gas en el gasoducto y prevenir paradas de la planta de gas de Cusiana por alta presión en el mismo.

Para el proceso de arranque y estabilización de la planta de gas de Cupiagua, esta entregará volúmenes de hasta 110 MMscfd, y se coordinará con las áreas comerciales y de operación de EQUION el volumen a entregar con las plantas de Cusiana.

Se coordinará con la debida anticipación, con las áreas comerciales y de operación de EQUION, para hacer la prueba operacional con capacidad máxima de carga del compresor de ventas de gas en Cupiagua; esta es una prueba puntual que es necesario realizar para el recibo formal del equipo. Debido a la

reducción de la demanda durante el periodo de Navidad y año nuevo, la prueba funcional del compresor deberá realizarse a más tardar el 18 de Diciembre, de lo contrario deberá trasladarse al mes de Enero cuando el mercado retorne a su capacidad normal de consumo de gas natural.

Una vez se establezca la operación de la planta de gas de Cupiagua y se defina el volumen mínimo de entrega de operación del compresor gas ventas, y de acuerdo a las demandas, las plantas operarán según los siguientes escenarios, los cuales pueden variar de acuerdo al mínimo operativo de la planta de gas de Cupiagua y solo aplicable para los días de bajas demandas, porque de acuerdo a las proyecciones dadas por las áreas comerciales, las ventas de gas en condiciones normales estarían por encima de los 320 MMscfd:

- En todos los casos, excepto por condiciones reales del mercado, tendrá prioridad en la venta del gas que se procesa en planta de gas de Cusiana, el volumen de propiedad de los Socios. El volumen de gas de propiedad de Ecopetrol que no se haya vendido será recirculado y reinyectado al yacimiento.
- Si las ventas totales son superiores a 270 MMscfd (que corresponde a la suma entre 110 MMscfd de Cupiagua y 160 MMscfd de Cusiana), entran en operación las dos plantas, es decir Cupiagua y Cusiana.
- Si el volumen de ventas de gas total está entre 270 (que corresponde a la suma entre 110 MMscfd de Cupiagua y 160 MMscfd de Cusiana) y 380 MMscfd, se le dará prioridad a las ventas de gas de Cusiana y la planta de gas de Cupiagua se mantendrá en su mínimo operativo de 110 MMscfd.

- Si las ventas totales de gas están por encima de 380 MMscfd, tendrá prioridad la planta de Cupiagua y la planta de gas de Cusiana se mantendrá en 270 MMscfd, que corresponde a la capacidad nominal de la planta.

Una vez se defina el mínimo operativo de la planta de gas de Cupiagua, se ajustarán los valores antes mencionados. Dicho valor deberá ser reportado por la operación del campo Cupiagua a EQUION y al área comercial de ECOPETROL.

### **3. DISEÑO DEL SISTEMA DE RECIRCULACION DE LAS PLANTAS DE GAS DE VENTAS EN CUSIANA.**

Como consecuencia de los acuerdos operativos realizados e ilustrados en el capítulo anterior, donde el sistema de gas de ventas de Cusiana acepta reducir su volumen diario de gas colocado al mercado y entendiendo que Cusiana posee una planta de LPG que depende su productividad directamente del volumen de gas de ventas manejado, se hace necesario diseñar un sistema que permita recircular el gas no vendido y de esta manera reducir drásticamente el impacto en producción de NGLs & LPG.

#### **3.1. ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA DE GAS VENTAS CUSIANA.**

El sistema integrado de Gas de Ventas Cusiana, tiene una capacidad total nominal de 270 MMCFD, que corresponde a las Plantas: SPG JT 40 MMscfd, LTO I (2 unidades Dew Point) y LTO II (1 una unidad de Dew Point) cada unidad de Dew Point tiene capacidad nominal de 70 MMscfd para proveer de gas al centro y sur-occidente del país en condiciones RUT, adicionalmente se cuenta con una planta de LPG en la cual se tratan los condensados producidos en el acondicionamiento del gas ventas y cuya capacidad nominal de 7,500 BPD de LPG y 2,200 BPD de NGL.

La unidad de medición cuenta con dos brazos, uno de 12" para el gasoducto el Porvenir y otro de 6" para el gasoducto Apiay. La capacidad del sistema de medición de gas de ventas varía con la presión. La unidad de medición opera con una presión promedio de 1100 psig y los set point de las alarmas de presión estan actualmente como se indica a continuacion:

LL: 700 psig

L: 1050 psig

H: 1185 psig

HH: 1220 psig

El gas ventas producido en las distintas unidades de la planta se recolectan y mezclan entre si en un cabezal común de 12" (1,220 psig @ 90°F), el cual se bifurca hacia dos brazos de independientes ubicados en el mismo patín de medición. El brazo de mayor diámetro (12") alimenta al gasoducto "El Porvenir" previa fiscalización en el medidor FQIR-8701 y el otro de menor diámetro (6") alimenta al gasoducto "Apiay" previa fiscalización en el medidor FQIR-8702. Los datos referidos tienen como fuente el informe correspondiente a la prueba de desempeño realizada por el grupo de operaciones<sup>8</sup>.

### **3.2. PROPUESTA**

Diseñar y construir una facilidad que permita recircular hacia los trenes de separación gas-liquido, el gas ventas que no sea recibido por los gasoductos como consecuencia de la sobre oferta de gas generada por la entrada de la planta de gas de Cupiagua y las bajas demandas del mercado en fines de semana, festivos y finales de año.

---

<sup>8</sup> EQUION, Gerencia de operaciones. Prueba de desempeño sistemas de gas de venta de Cusiana. 2012.

### **3.2.1. Beneficios.**

- Evitar las pérdidas de NGL y LPG generados por la baja demanda de gas del mercado o mantenimiento a los gasoductos.
- Mantener la estabilidad operacional, evitando la parada de las plantas de gas cuando se reduce el volumen de gas de ventas entregado.

### **3.2.2. Documentos de Referencia.**

- Reportes de producción años 2010, 2011 y 2012.
- FFM/F-PRU-642 Ingeniería básica y de detalle optimización fase I & II
- GP 43 09 Guidance on Practice for Hydraulic Design of Pipeline Systems
- GP 30-05 - Pressure Instruments
- GP 30-35 - Control Valves and Pressure Regulators

### **3.2.3. Planos de Referencia.**

- F-CCF-G0-PRE-25-268-1/1 P&ID COLLECTION HEADER AND SALES METERING
- F-CCF-P1-PRE-22-101-1/1 P&ID SLUG CATCHER GAS COOLER TRAIN B
- F-CCF-P1-PRE-22-106-1/1 P&ID HP SEPARATOR TRAIN B
- F-CCF-00-PRU-95-401-1/1 SHUT DOWN HIERARCHY DIAGRAM
- F-CCF-00-PRU-95-402-1/1 SHUT DOWN HIERARCHY DIAGRAM
- F-CCF-U1-PRE-53-315-1-1 HP FLARE COLLECTION HEADER

## **3.3. BASES DE DISEÑO**

### **3.3.1. Criterios de Diseño.**

El dimensionamiento de líneas será basado con los siguientes criterios:

Condensados:

- Caída de presión entre 0,5 y 2 psi/100 ft para dimensionamiento de líneas
- Caída de presión entre 2 y 5 psi/100ft para líneas cortas
- En cuanto a la velocidad en tuberías para líquidos, estos podrían operar entre 3ft/s y 16ft/s

Gases:

- Las velocidades para gases en tuberías pueden estar entre 7ft/s y 49ft/s
- Caída de presión de 0.5 psi/100ft para el dimensionamiento de líneas de gas o vapor.

Nota 1:

Para líneas excepcionalmente cortas, el límite de velocidad máxima, será de acuerdo como lo indica el API 14E.

### **3.3.2. Consideraciones para el Diseño.**

Las siguientes consideraciones son otros criterios operacionales adicionales que deben ser considerados en la evaluación de la propuesta dada:

- Se debe asegurar que la estrategia de recirculación tenga el menor impacto, tanto en la calidad del crudo producido así como en los trabajos requeridos para su implementación.
- Se debe buscar la posibilidad reutilizar equipo/válvulas/instrumentos que estarán disponibles en la planta fuera de línea, conocida como Fase 1.

### **3.4. EVALUACIÓN TÉCNICA**

El grupo de ingeniería de proceso realizó la evaluación técnica respectiva que incluyó entre otros los siguientes aspectos:

(Colombia, Departamento de Ingeniería Equion, 2012)

#### **3.4.1. Estrategias de recirculación de gas.**

Para este proyecto se han considerado tres posibles escenarios de recirculación de gas que son:

Recirculación de gas desde el manifold de salida (12"-PG-83024-D2A1) de las unidades turbo-expander 1, 2 & 3, hasta la línea de salida de gas del slug catcher del tren B de separación en fase II (30"-NG-22020-B0J1-PP), aguas arriba de SDV-2253A. (Anexo 2)

Recirculación de gas desde el manifold de salida (12"-PG-83024-D2A1) de las unidades turbo-expander 1, 2 & 3, hasta la línea de salida de gas del separador de alta presión (30"-NG-22019-B0J1), aguas arriba de la platina de medición FE-2257. (Anexo 3)

Recirculación de gas desde el *manifold* de salida (12"-PG-83024-D2A1) de las unidades *turbo-expander* 1, 2 & 3, hasta el cabezal de gas, aguas abajo de las torres contactoras de glicol CT-25101/25201/28301 (Anexo 4)

En la tabla 3 se presenta una relación comparativa entre las opciones, asumiendo que se tiene una recirculación máxima de 120MMSCFD de gas ventas.

De las opciones indicadas, la número 2 no presenta impactos negativos sobre la calidad del crudo producido consideración de diseño fundamental del presente Manejo del Cambio MoC; adicionalmente es la opción que requiere menor

cantidad de tubería. La necesidad de una válvula de alivio adicional PSV es imperativa como la última opción de protección del separador de alta presión y de las tuberías asociadas a este equipo.

#### **3.4.2. Cantidad de gas ventas recirculado y válvula de control de flujo.**

La cantidad de gas ventas recirculado es un valor que dependerá de los históricos de consumo y de la capacidad de las válvulas de control disponibles en campo. En cuanto a este último, el cliente ha sugerido considerar la válvula de control de presión de fase I, (Tag anterior: PCV-7150), que pertenece al patín nuevo de gas combustible que se encuentra fuera de operación. Esta válvula presenta las siguientes características:

##### **Actuator:**

Fisher Control

Serial #: 14183757

Type: 667

Size: 70

Bench Set: 7-15

Travel: 2

Oper. Range: 3 – 15 psi

##### **Body:**

Fisher Control

Serial #: 14183757

Type: ET

Size: 4

Port Size: 4 3/8

Rating: CL 600 / 1480 psi CWR

Plug: SST

Stem: SST

Body: STL

Seat: Comp

Para esta válvula se consideraron diferentes tres escenarios de flujo para ser analizados, usando un software del representante de esta marca. El criterio utilizado es que para los tres escenarios, la válvula de control debe operar con una apertura entre 25% y 75%; adicionalmente se verifica que el máximo nivel de ruido producido por la válvula no supere los 85 db. En la tabla 4 se presentan los resultados de la revisión.

Como se puede apreciar, a un flujo de 120MMscfd la válvula estaría produciendo un ruido por encima de 111 *dBA*, con una apertura del 66%.

Una opción para reducir el efecto del ruido de esta válvula es adaptando una caja *Whisper* mediante un cambio de *trim* (de 4 3/8 a 2 7/8), el cambio de caja cambia característica de flujo a lineal, dando unos resultados que se pueden observar en la tabla 5.

Con el ánimo de evitar una apertura superior del 66% de la válvula de control (es decir, un flujo mayor de 120 MMscfd), se propone la instalación de una platina de restricción como respaldo, que garantice mantener un flujo de 120MMSCFD (258530 lb/h). Ver anexo 7.

Como conclusión se tiene que la válvula de control PCV deberá operar entre un 30 y 66% de apertura (para flujos entre 20 y 120 MMSCFD), en caso de presentarse una descalibración o falla de la válvula se dispondrá de la platina de restricción que limite el flujo de gas que pase por la línea de reciclo.

#### **3.4.3. Dimensionamiento de la línea de recirculación de gas.**

El dimensionamiento de la tubería aguas arriba de la válvula de control de flujo se determina como se indica en la tabla 6; el dimensionamiento aguas abajo se puede observar en la tabla 7.

#### **3.4.4. Descripción del flujo de Proceso.**

El esquema de proceso propuesto considera recircular una fracción del gas ventas desde cabezal de ventas, en un punto localizado a la salida de los turbo-expanders (antes del patín de medición de gas), este punto es estratégico por su cercanía con el separador de alta presión del tren B. El gas de que sale de los turbo-expanders estará a una presión y temperatura aproximada de 1090 psig y 90 °F respectivamente. La presión de operación del separador de alta presión V-22201 es de 490 psig; esta presión deberá ser asegurada por la válvula de control que estrangulara el gas de ventas en la línea de recirculación. Este gas ventas no contiene humedad, condición garantiza la no formación de hidratos con la reducción de presión requerida. En caso de una sobrepresión del separador de alta presión, por medio de una señal se activará una válvula de shutdown SDV que corta la recirculación de gas. En caso de alguna falla de esta SDV, o de la válvula de control de presión del separador de alta presión (PV-2267), se asegurará la protección de éste y de las líneas asociadas, por medio de una válvula de seguridad PSV adicional con un orificio mínimo de tamaño P.

#### **3.4.5. Puntos Tie-Ins de conexión requeridos.**

TIE-IN 01: Hot tap para conexión (entrada de gas) de línea de recirculación de 10" con línea viva de gas ventas de 12"-PG-83024-D2A1.

TIE-IN 02: Hot tap para conexión (llegada de gas) de la línea de recirculación 12" con la línea de 30"-NG-22019-B0J1 del separador de alta presión P1-V-22201.

TIE-IN 03.Hot tap de 12" para conexión de la descarga de la PSV nueva con el manifold de tea de alta 30"- FH-53005-A2A1.

#### **3.4.6. Sistema de Control.**

La válvula de control requerida en la línea de recirculación será de control de presión con característica de tipo de igual porcentaje. Tendrá como función asegurar una presión constante del manifold de gas de ventas aguas arriba del patín de medición ME-87101, esta válvula de control de presión iniciará su apertura con presiones superiores de 1080 psig transmitidas por el PIT 2592 y su caída de presión será de 600 psi como se indica en el ítem 3.4.2.

El esquema de control será un arreglo de tipo neumático dadas las condiciones actuales de la válvula de control. Se espera que el rango de apertura de la válvula estará entre un 40-70%. La válvula de control tendrá un modo de falla cerrada.

#### **3.4.7. Sistema de alivio**

El separador de alta presión P1-V-22201 actualmente cuenta dos válvulas PSV 2263A/B con capacidad cada una de 10MMSCFD.

Se requiere una válvula de alivio adicional con un mínimo orificio P (6,38 in). La capacidad total de alivio del sistema sería de 160 MMscfd (ver tabla 8)

#### **3.4.8. Dimensionamiento líneas de alivio.**

El diámetro de tubería de entrada a la PSV nueva, será aquel que se aproxime al criterio del 3% max. de caída de presión con respecto al set de la válvula PSV y para la tubería de salida, el numero Match no deberá superar el valor de 0.6.

Para tal efecto se seleccionó diámetro de entrada a la válvula de alivio en 6" y de salida en 12" cumpliendo de esta manera con una capacidad de 140 MMscfd a una presión de entrada de 660 psig y salida de 30 psig.

#### **3.4.9. Filosofía de Shut Down.**

Una recirculación de gas a 1100 psig y con un caudal de 120 MMscfd, implican tener un sistema de protección. El arreglo propuesto considera una válvula de corte ó Shutdown (SDV) aguas arriba de la válvula reguladora de presión PCV. La válvula SDV deberá cerrar en una situación de alta-alta presión (600 psig) en el separador de alta presión P1-V-22201, señal que será transmitida por el PIT 2266. A continuación se presentan los *interlocks* relacionados con la válvula de corte (SDV) que se instalará sobre la nueva línea de recirculación y que generarán su cierre.

2G1: Muy Alta presión en el separador de alta presión P1-V-22201.

2E-2: Cierre de la SDV2253A del *cooler* de gas aguas abajo del *scrubber* del tren B.

2F-2: Cierre de la SDV2254A del *cooler* de crudo aguas abajo del *scrubber* del tren B.

#### **Materiales**

La tubería requerida debe ser acero al carbono C.S. rating 600 y 150.

### **3.5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL DISEÑO**

Se concluye que la opción 2 de la propuesta estudiada en el presente documento es técnicamente viable para mantener la recuperación de condensados por medio

de las unidades de *dew point*, en casos de bajo consumo de gas de ventas o durante mantenimientos en el oleoducto.

El esquema de operación presentado no genera consecuencias con la calidad del crudo producido por la planta.

Para el esquema seleccionado se requiere de una válvula de seguridad PSV adicional que es indicada en el literal 3.4.7.

La mayoría de los trabajos principales se pueden hacer con el sistema vivo.

Se requiere construir una interconexión *jumper* como se indica en el literal 3.4.3. con 10" de diámetro aguas arriba de la válvula de control y 12" aguas abajo de la válvula de control.

Se espera que la válvula PCV produzca ruido por encima de los 80 dB(A), por lo tanto se recomienda el uso doble protección auditiva en el área. Un elemento atenuante de esta situación es que la recirculación de gas no será de tipo continuo y su operación principalmente se dará los fines de semana, días en los que la planta tiene menos personal trabajando en el área.

#### **4. CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE RECIRCULACION DE GAS DE VENTAS DE CUSIANA**

La ingeniería de diseño del proyecto fue presentada a la Gerencia de Operaciones, quien a su vez obtuvo el visto bueno de la Vicepresidencia para iniciar el proceso de construcción del sistema, el cual se desarrolló de acuerdo al cronograma y presupuesto que mostraremos a continuación.

##### **4.1. CRONOGRAMA**

Se dio inicio a la implementación del proyecto el 24 de marzo de 2013 con la fase de ingeniería y culminó el 30 de mayo de 2013 una vez se realizaron las pruebas funcionales y los informes de cierre respectivos.

La ejecución se realizó de acuerdo a lo planeado en el cronograma, con una duración total de 53 días.

La inversión de tiempo por área en la implementación y puesta en marcha de la facilidad presenta un mayor peso en los aspectos contractuales (34%), de aseguramiento (29%) y de prefabricación, construcción y montaje (24%), cumpliendo con el 100% de las actividades y sub actividades planeadas en los tiempos establecidos. (Ver tablas 10, 11, 12)

##### **4.2. PRESUPUESTO**

Para la implementación de la estrategia de optimización para el manejo integral de las plantas de Gas y LPG de Cusiana frente a las fluctuaciones del mercado se

elaboró presupuesto clase III (\*) para construcción y montaje, tomando precios de referencia del mercado, con ello comparar las ofertas de los proponentes con mayor viabilidad y costo efectividad. De igual manera se realizó cálculo del costo comercial de ingeniería que incluyó 57 horas de técnicos y especialistas del área de ingeniería y 365 horas hombre de técnicos, profesionales y especialistas en el área de aseguramiento. El peso presupuestal de la ingeniería corresponde al 10% y el 90% restante a compras, construcción y montaje. Se presentaron 2 oferentes de los cuales se escogió el que garantizara inicio inmediato, cálculos más cercanos al presupuesto tipo 3 elaborado por la empresa y mayor desagregación de las actividades requeridas para el desarrollo del proyecto. (Ver tablas 13, 14, 15, 16 y 17)

---

(\*)Método de la American Association of Cost Engineers para presupuesto

## **5. ESTRATEGIA OPERACIONAL DEL PROYECTO**

El tener un sistema de recirculación para las plantas de gas de ventas y la baja demanda del mercado nos cambiaron la forma de operar y como tal fue necesario redireccionar nuestra estrategia operacional con el fin de evitar que las bajas ventas afectaran nuestra generación de valor a través de la producción de NGLs & LPG y adicionalmente prevenir desajustes operacionales ocasionados por agentes externos como la alta presurización de los gasoductos y la probable inestabilidad de las plantas de Gas de Cupiagua en su periodo de estabilización.

### **5.1. PROBLEMAS OPERACIONALES DEL CPF CUSIANA.**

Cuando el sistema de gas de ventas de Cusiana fue diseñado y puesto en servicio no se consideraron los diferentes escenarios operacionales que podrían desestabilizar el proceso y generar diferentes tipos de afectaciones, las cuales explicaremos a continuación.

#### **5.1.1. Problemas en la estación compresora de TGI.**

El sistema fue afectado en varias ocasiones por paradas de la estación compresora del gasoducto de El Porvenir” propiedad de TGI, lo cual generaba un inmediato incremento de presión en el gasoducto hasta llegar a 1215 psig, presión a la cual las plantas de gas de Cusiana poseen configurado un switch de alta presión (PAHH), que da parada a todo el sistema con las siguientes consecuencias: (Colombia, 2005)

Pérdidas económicas por bajas ventas de gas.

Pérdidas económicas por pérdidas de crudo producido debido a que la planta de crudo no está en capacidad de asimilar de manera instantánea el volumen de gas manejado por el sistema SGP, lo que ocasiona cierre de pozos productores para evitar parada total del CPF.

Quemas de gas en las teas, generadas mientras se produce el cierre de los pozos productores.

Afectación reputacional de la empresa Equion, en medios noticiosos de cubrimiento nacional por desabastecimiento de gas al centro del país.

#### **5.1.2. Bajas ventas de gas:**

La baja demanda de gas ocasionada por la escasa actividad industrial de los fines de semana, festivos y temporada de fin de año, hacía necesario suprimir parcialmente el tratamiento de gas, dando parada a algunas de nuestras plantas con las siguientes consecuencias: (Operaciones, Gerencia de, 2005-2012)

Pérdidas económicas por baja producción de NGL y LPG.

Baja eficiencia de planta al tener la necesidad de colocar equipos en *stand by*, cuando en su diseño se contempló una utilización por encima del 95%.

Daño prematuro en compresores y Turbo expanders por continuos procesos de parada y arranque.

Pérdida de integridad en las plantas al ser sometidas a continuos esfuerzos generados por los cambios de régimen operacional bajo los cuales fueron diseñados (Temperatura, presión).

Mayor riesgo de seguridad de procesos debido a la continua manipulación de sistemas y equipos que idealmente en operación normal no deben ser alterados.

## 5.2. ESTRATEGIA OPERACIONAL ACTUAL

Gracias a la implementación del Proyecto de Recirculación de Plantas de Gas de Cusiana se pudo obtener una herramienta que le ha permitido a la empresa construir una estrategia operacional robusta, la cual ha facilitado la operación de los equipos de manera continua, generando valor y protegiendo el sistema de paradas no planeadas.

Actualmente el sistema de gas de ventas de Cusiana trabaja al 100% de su capacidad nominal con una disponibilidad del 98.5%, recibiendo como gas de alimento 350 MMscfd para entregar a gasoductos 270 MMscfd de gas de ventas. (Equión, Gerencia de Producción, 2013)

Con los volúmenes anteriormente mencionados las plantas de gas entregan consistentemente 13500 BPD de condensados no estabilizados a la planta de LPG, la cual a su vez entrega en su producto final 2200 BPD de NGLs y 7500 BPD de LPG.

El enfoque operacional actual está direccionado a maximizar el volumen de productos blancos recuperados, independiente del volumen de ventas de gas.

Para garantizar la integración segura de la nueva facilidad a las operaciones del CPF, su operatividad fue incluida en el procedimiento maestro de arranque del Sistema de Gas de Ventas de Cusiana. (EQUION Cusiana, Superintendencia de Operaciones, 2012), y los riesgos adicionales fueron identificados y controlados a través de un ejercicio de Análisis de Riesgos de Proceso utilizando la metodología de *What If*, realizado dentro del proceso de manejo del cambio efectuado para el desarrollo del proyecto. (Procesos, 2012)

La operación se robusteció solucionando los problemas existentes de la siguiente manera.

### **5.2.1. Solución a problemas por parada de estación compresora de TGI.**

Con las facilidades de recirculación instaladas, cada vez que hay parada o falla de la estación compresora de Miraflores y el gasoducto incrementa la presión, la PV-8390 (PV del sistema de recirculación), abre cuando la presión alcanza 1150 psig y desvía el gas de ventas hacia el sistema de reinyección, evitando la parada de las plantas de gas y por ende evitando pérdidas de producción por cierre de pozos y baja producción de NGL y LPG.

Las pérdidas derivadas de las bajas ventas de gas serán acordadas entre los grupos comerciales de ECOPETROL y EQUION tal como se encuentra descrito documentos organizacionales<sup>10</sup>.

### **5.2.2. Solución a problemas por bajas ventas de gas.**

Los problemas derivados de las bajas ventas de gas se solucionaron de la siguiente manera:

En la nueva condición del sistema, a pesar de los escenarios de bajas ventas de gas las plantas trabajan a su máxima capacidad recirculando el gas no vendido y de esta manera evitando pérdidas de NGLs y LPG.

- Ahora, al tener el sistema de recirculación disponible las plantas de gas se mantienen en servicio y las bajas ventas solo producen la acción automática de la PV-8390 para recircular el gas no vendido, evitando paradas de equipos, garantizando estabilidad del proceso y evitando a su vez el daño prematuro de las máquinas y las afectaciones de integridad del sistema.

---

<sup>10</sup> INFORME. Ecopetrol – Equion. Protocolo de comunicaciones para ventas de gas ECP-Equion. 2013

## 6. EVALUACIÓN DE SEGURIDAD DE PROCESO

Una vez finalizada la ingeniería se realizó evaluación de seguridad de proceso utilizando la metodología *WHAT IF* (ver tabla 4), con el propósito de identificar los riesgos operacionales derivados de la implementación de la nueva facilidad y las protecciones requeridas para mitigarlos. Esta actividad estuvo liderada por el Ingeniero de proceso, con la participación de los supervisores de operación. (Ver *What if* del proyecto en tabla 18)

## **7. PRUEBA DE DESEMPEÑO**

Una vez implementado el proyecto de Recirculación de la Plantas de Gas de Cusiana, procedimos a establecer el beneficio alcanzado con el mismo, para lo cual tomamos como base el esquema anterior de operación y compararlo con la condición actual.

### **7.1. TÉRMINOS DE REFERENCIA**

#### **7.1.1. Objetivo**

Realizar prueba de desempeño al sistema de integrado de Gas Ventas que nos permita medir la producción diaria de NGL's / LPG con el sistema de recirculación de gas de ventas habilitado y comparar los resultados con los volúmenes de producción de los mismos productos en los meses anteriores a la implementación del proyecto.

#### **7.1.2. Alcance**

La medición de desempeño se hará con base en la producción obtenida en los cuatro (4) meses anteriores a la implementación del proyecto, comparándola con la producción obtenida en los cuatro (4) meses posteriores a la puesta en servicio del mismo.

Este proceso se realizará garantizando especificaciones de gas de ventas y GLP.

### **7.1.3. Pre- requisitos para la medición**

- Sistema de gas de ventas en condición de operación normal.
- Sistema de recirculación de gas de ventas operativo para el segundo periodo de medición.
- Entrega de gas de ventas y GLP en especificaciones.

### **7.1.4. Evaluación de la medición**

Para validar la prueba, se tendrán en cuenta parámetros de operación, parámetros de calidad, volúmenes entregados y análisis de laboratorio que se registrarán por el RUT.

### **7.1.5. Parámetros Gas ventas RUT**

- Punto de rocío por hidrocarburo: +20 °F @ a cualquier presión (cricondenthem)
- Poder Calorífico Bruto (HHV) 950 – 1,150 BTU/ft<sup>3</sup>
- Contenido de CO<sub>2</sub>: 2 mol % máximo
- Contenido de Sólidos: < 30 ppm @ 10 micrones, tamaño máximo
- Contenido de H<sub>2</sub>S: 4 ppmv (0.25 grain/100 ft<sup>3</sup>) máximo
- Contenido de Azufre: 16 ppmv máximo
- Contenido de Vapor de Agua: 6 lbs/MMSCF, máximo
- Condiciones de Entrega: Presión / 1150 psig @ 120 °F máx. / 40 °F mín.

### **7.1.6. Parámetros calidad LPG y Condensados Estabilizados**

#### **7.1.6.1. LPG**

- Presión de Vapor @ 100 °F: 208 psig máx. (NTC 2562 o ASTM D-2598), adicionalmente no debe exceder el valor calculado por la siguiente relación (NTC-2303):  $P_v = 1167 - 1880$  (densidad relativa a 60 °F / 60 °F)
- Temperatura @ 95% evaporación: 36 °F máx. @ presión atmosférica (NTC – 2563)
- Contenido de C<sub>2</sub> \*: 6 % vol. líq. Máximo. El debemos cumplir es 2% Máx exigido por ECOPETROL.
- Contenido de C<sub>5</sub> +: 2 % vol. líq. máximo
- Contenido de Agua: Ninguno

#### **7.1.6.2. NGL**

- Presión de Vapor @ 100 °F: 12 psia máximo
- Presión @ B.L.: 45 psig mínimo
- Temperatura @ B.L.: 90 °F mínimo

Como punto de referencia de los resultados esperados se anexan las tablas comparativas de los resultados esperados según las simulaciones de procesos realizadas al sistema en los diferentes escenarios de gas de ventas.(Ver tabla 20)

## **7.2. RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN DE DESEMPEÑO**

Teniendo en cuenta que el proyecto se construyó durante el segundo trimestre de 2013, la medición de desempeño se enfocó en comparar la producción de NGLs y LPG de los periodos Enero-Mayo de 2013 y Junio-Octubre de 2013, durante los cuales se obtuvieron los siguientes resultados. (Ver figuras 6 y 7)

De las gráficas extractamos los siguientes datos que nos ilustran claramente el beneficio. (Ver tabla 21)

El beneficio directo obtenido durante los cinco meses de prueba con recirculación instalada fue de 13550 barriles de NGLs y 46511 barriles de LPG.

Teniendo en cuenta los resultados de la prueba y las proyecciones de gas de ventas para el 2014 (Wood Mackenzie Consulting, 2013) el beneficio para este año será el siguiente.

Pronóstico de ventas de gas para 2014: 250 MMscfd

Beneficio de NGLs con 20 MMscfd recirculado: 105 barriles

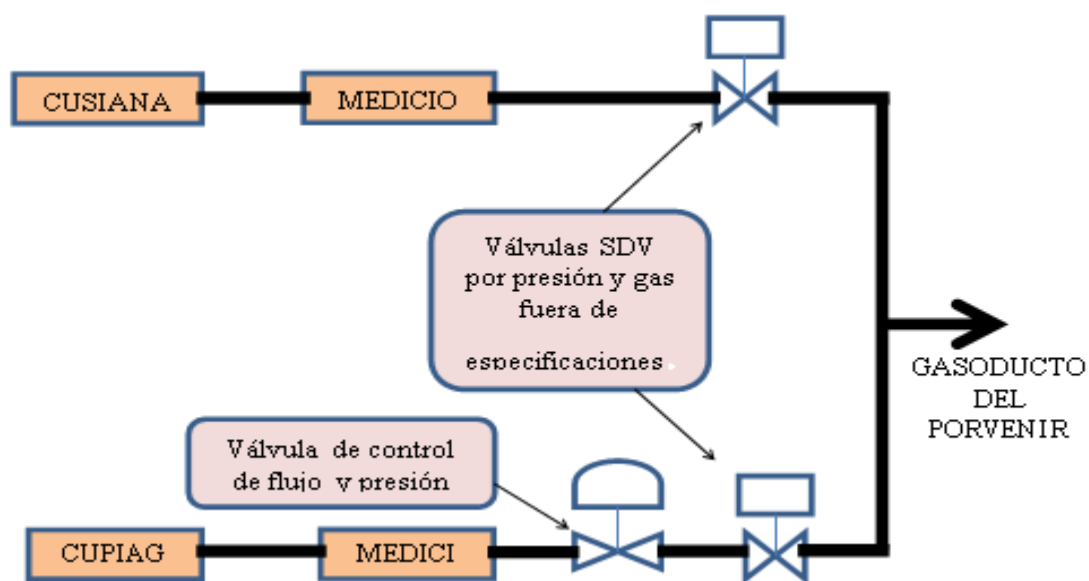
Beneficio de LPG con 20 MMscfd recirculado: 380 barriles

Pronóstico benefico total de NGLs: 36409 barriles

Pronóstico beneficio total de LPG: 146000 barriles

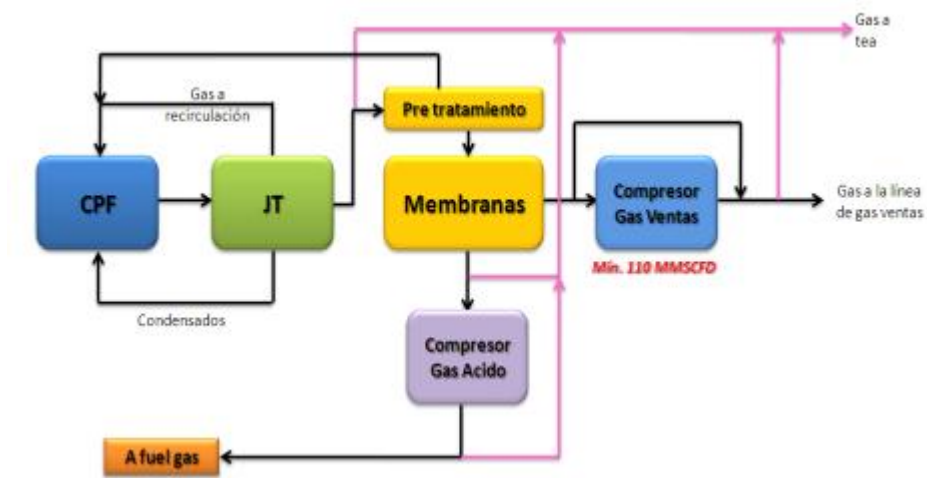
## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama SGP



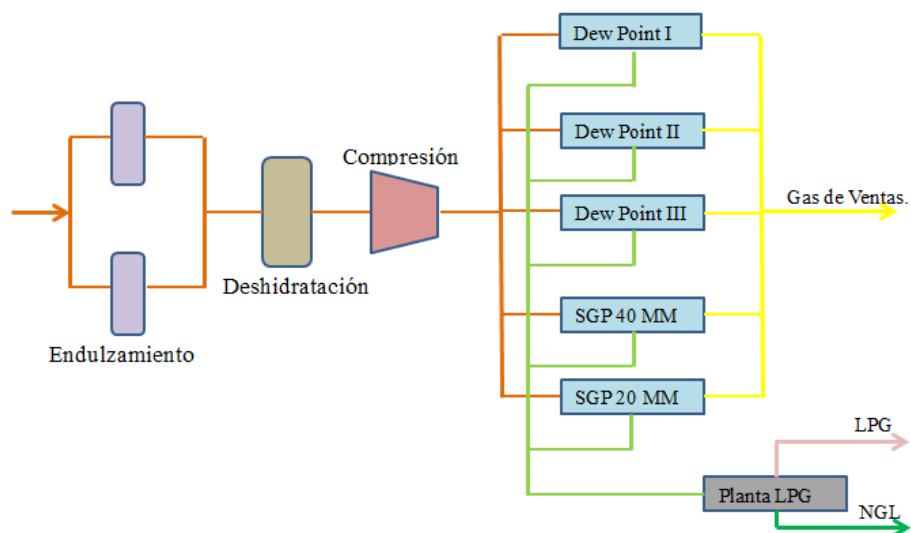
Fuente: Propia.

Figura 2. Diagrama de bloques del proceso de CPF Cupiagua



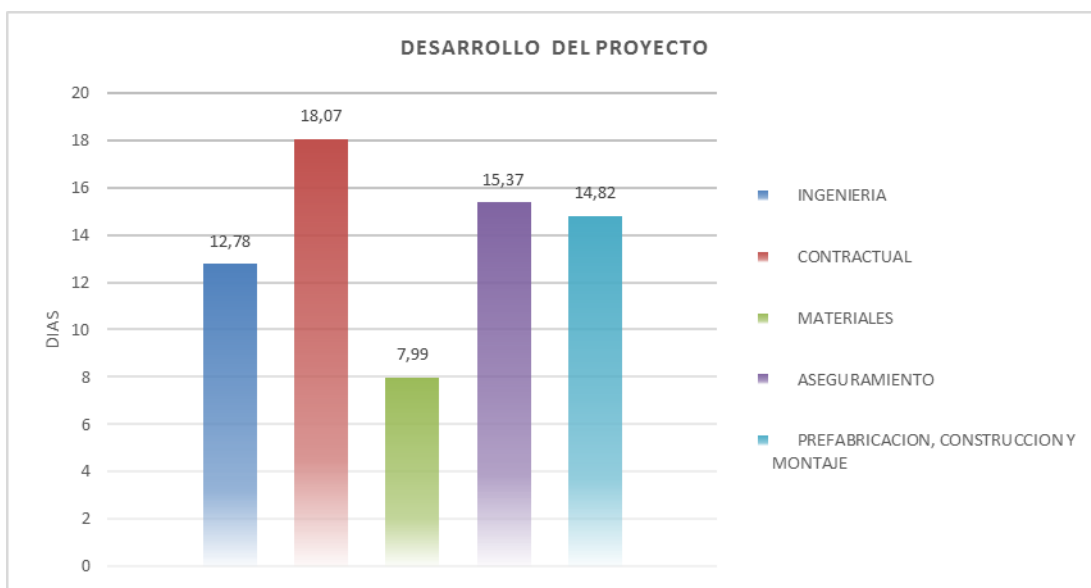
Fuente: Propia

Figura 3. Representación del sistema de gas de ventas Cusiana



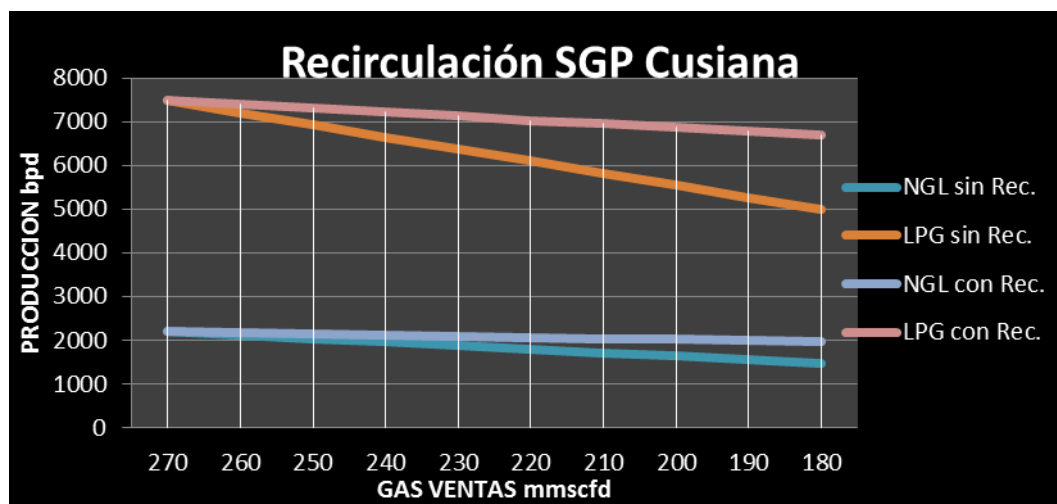
Fuente: Propia

**Figura 4 . Desarrollo del proyecto**



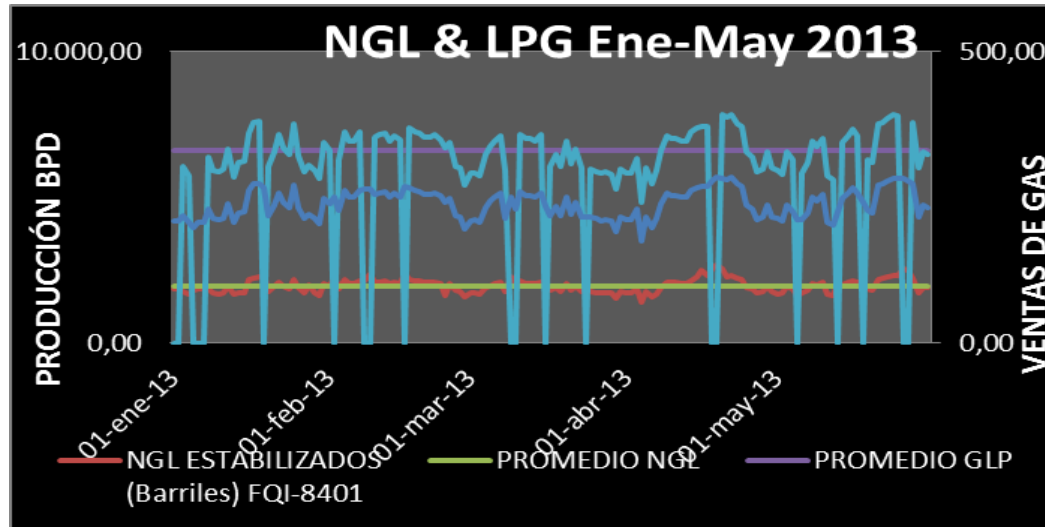
**Fuente: Propia**

**Figura 5. Recirculación SGP Cusiana**



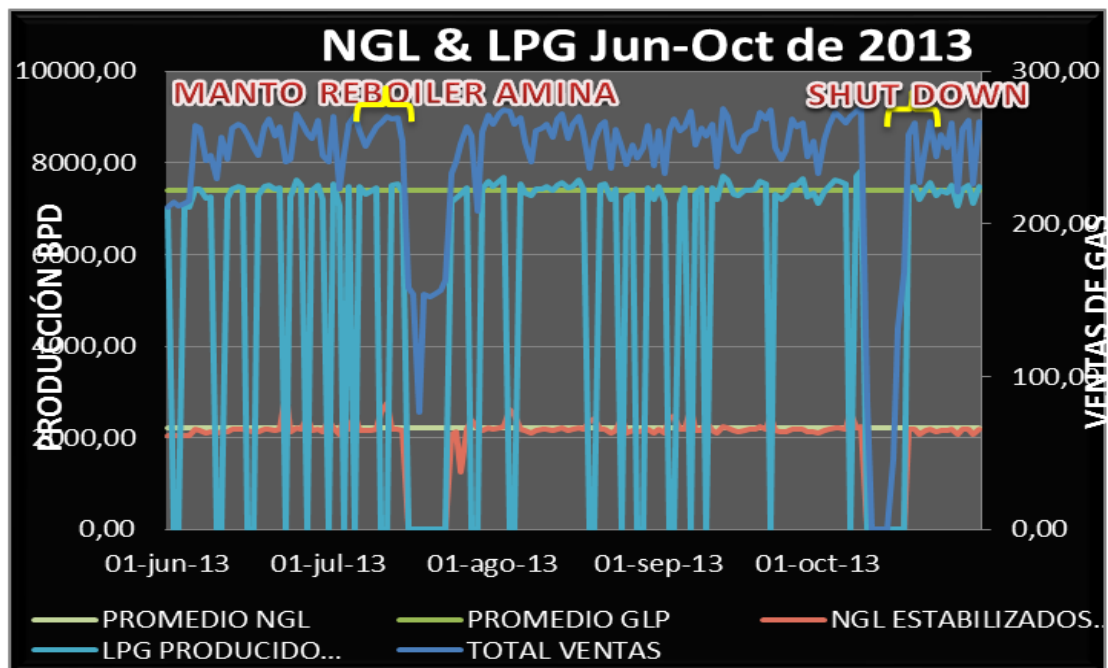
**Fuente: Propia**

Figura 6. Resultados de volúmenes de producción obtenidos Enero y Mayo de 2013.



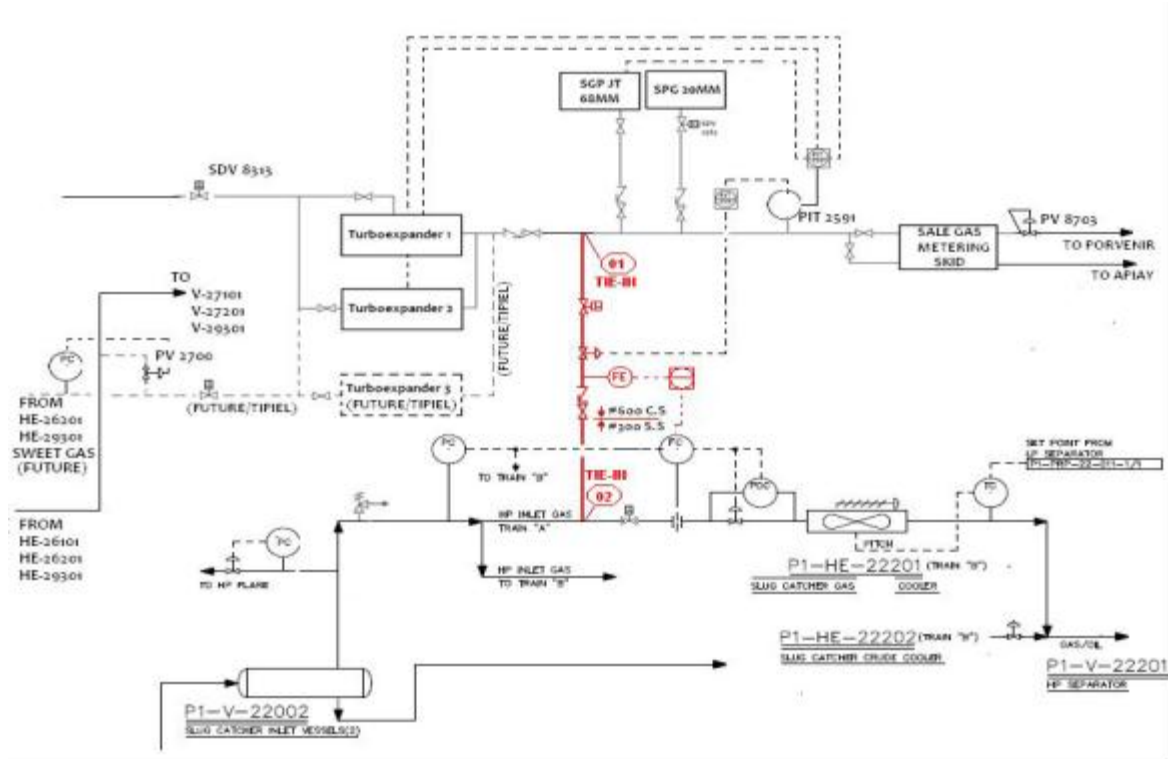
Fuente: Propia

Figura 7. Resultados de volúmenes de producción obtenidos entre Junio y Octubre de 2013.



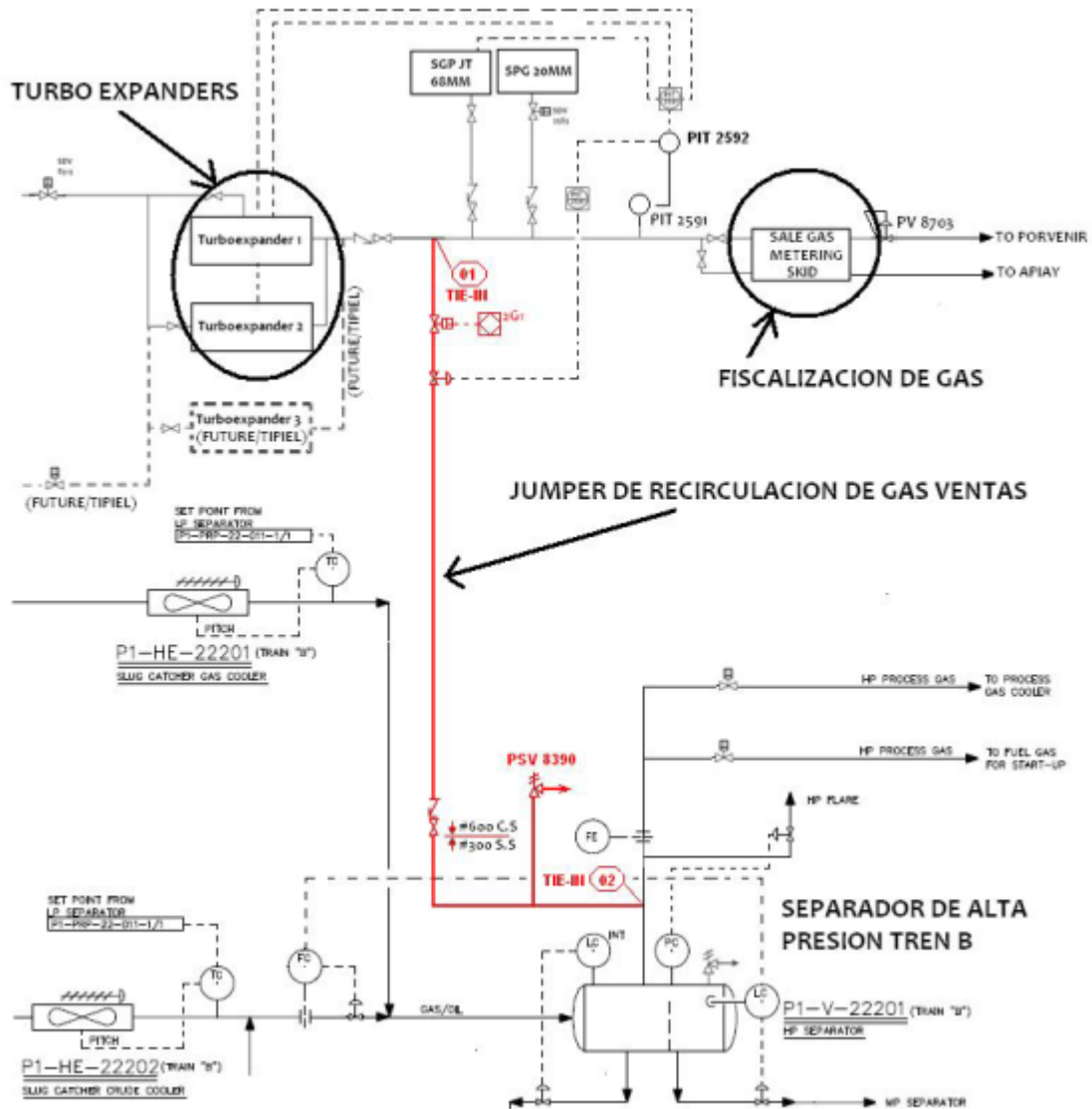
Fuente: Propia

Figura 8 Esquema propuesto 1



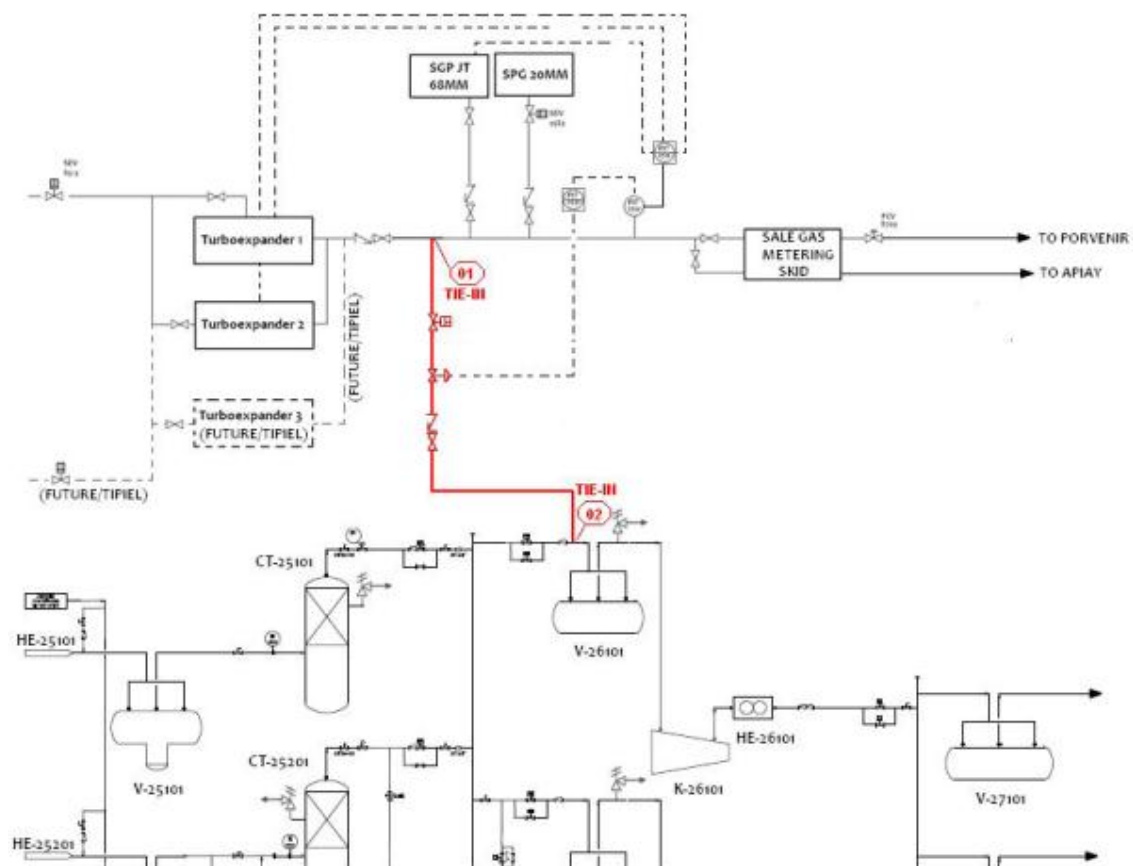
Fuente: Propia

Figura 9. Esquema propuesto 2



Fuente: Propia

Figura 10. Esquema propuesto 3



Fuente: Propia

**Figura 11. Evidencia Fotográfica**



Fuente: Autor

**Figura 12. Evidencia Fotográfica 2**



Fuente: Autor

**Figura 13. Evidencia Fotográfica 3**



Fuente: Autor

## LISTADO DE TABLAS

**Tabla 1. Producción de Gas de Cupiagua.**

|                                                               |                                                                   |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Capacidad de diseño                                           | 210 MMscfd                                                        |
| Flujo de gas comprometido durante la maduración del proyecto. | 140 MMscfd de gas ventas durante cinco años (67% de la capacidad) |
| Flujo de gas mínimo a ventas.                                 | 110 MMscfd                                                        |

Fuente: Autor

**Tabla 2. Producción de Gas de Cusiana**

|                               |                              |
|-------------------------------|------------------------------|
| Capacidad de diseño           | 270 MMscfd                   |
| Productos blancos             | 2200 BPD NGL<br>7500 BPD LPG |
| Flujo mínimo de gas a ventas. | 110 MMscfd                   |

Fuente: Autor

**Tabla 3. Representación de las comparaciones entre las opciones**

| <b>OPCION 1</b>                                                                                                                                             | <b>OPCION 2</b>                                                                                                                                                                                                                                                            | <b>OPCION 3</b>                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Efecto de la recirculación:<br>El TVP del crudo presenta un incremento del 15% comparada con el caso base (No recirculación de gas ventas)                  | Efecto de la recirculación:<br>No hay cambio apreciable en la calidad final del crudo.                                                                                                                                                                                     | Efecto de la recirculación:<br>No hay cambio apreciable en la calidad final del crudo.                                                   |
| PROTECCIONES:<br>Hay capacidad disponible de alivio en PSVS de línea de gas hacia el cooler HE-22201.                                                       | PROTECCIONES:<br>Para una sobrepresión, el HP SEP está provisto con las PSVS 2263A/B (con capacidad cada una de 10MMSCFD) y de una válvula reguladora de presión PV-2267 con capacidad de 200 MMSCFD, en caso de falla de esta última, el separador NO tendría protección. | PROTECCIONES:<br>Hay capacidad disponible de alivio en PSVS de la vasija V-26101                                                         |
| CONSUMO DE UTILITARIOS:<br>Hay consumo adicional de amina y glicol por reprocesamiento del gas recirculado.                                                 | CONSUMO DE UTILITARIOS:<br>Hay consumo adicional de amina y glicol por reprocesamiento del gas recirculado.                                                                                                                                                                | CONSUMO DE UTILITARIOS:<br>No hay consumo adicional de amina y/o glicol.                                                                 |
| REQUERIMIENTOS/EQUIPOS /MATERIALES ADICIONALES:<br>Válvula de control<br>Medidor de flujo<br>Válvula SDV<br>70 metros de tubería (aprox)<br>(C.S, ANSI 600) | REQUERIMIENTOS/EQUIPOS /MATERIALES ADICIONALES:<br>Válvula de control<br>Válvula SDV<br>Válvula de alivio PSV<br>30 metros de tubería 12" (aprox) y 20 metros tubería 10" (aprox) ambas (C.S, ANSI 600)<br>40 metros de tubería C.S ANSI150# para alivio a tea.            | REQUERIMIENTOS/EQUIPOS /MATERIALES ADICIONALES:<br>Válvula de control<br>Válvula SDV<br>300 metros de tubería (aprox)<br>(C.S, ANSI 600) |

Fuente: Propia

**Tabla 4. Representación de los criterios para el máximo flujo en función del ruido**

|                                        |        | Minimum  | Normal   | Maximum  |
|----------------------------------------|--------|----------|----------|----------|
| M                                      | M      | 19.620   | 19.620   | 19.620   |
| T                                      | deg F  | 60.000   | 60.000   | 60.000   |
| P1                                     | psig   | 1084.000 | 1084.000 | 1084.000 |
| dP                                     | psid   | 564.000  | 564.000  | 564.000  |
| Q                                      | MMscfd | 20.000   | 100.000  | 120.000  |
| Fk                                     |        | 0.929    | 0.929    | 0.929    |
| Vlv Lpa                                | dB(A)  | 95.3     | 109.3    | 111.0    |
| Cv                                     |        | 18.739   | 94.789   | 110.517  |
| Xt                                     |        | 0.643    | 0.625    | 0.671    |
| % Open                                 |        | 30       | 63       | 66       |
| Maximum Rated Flow Coefficient: 224 Cv |        |          |          |          |

Fuente: Autor

**Tabla 5. Representación de los criterios para el máximo flujo en función del ruido (flujo lineal)**

|                                        |        | Minimum  | Normal   | Maximum  |
|----------------------------------------|--------|----------|----------|----------|
| M                                      | M      | 19.620   | 19.620   | 19.620   |
| T                                      | deg F  | 60.000   | 60.000   | 60.000   |
| P1                                     | psig   | 1084.000 | 1084.000 | 1084.000 |
| dP                                     | psid   | 564.000  | 564.000  | 564.000  |
| Q                                      | MMscfd | 20.000   | 100.000  | 120.000  |
| Fk                                     |        | 0.929    | 0.929    | 0.929    |
| Vlv Lpa                                | dB(A)  | 77.9     | 91.8     | 93.4     |
| Cv                                     |        | 18.399   | 122.550  | 144.167  |
| Xt                                     |        | 0.674    | 0.370    | 0.384    |
| % Open                                 |        | 12       | 67       | 82       |
| Maximum Rated Flow Coefficient: 160 Cv |        |          |          |          |

Fuente: Autor

**Tabla 6. Registro de Dimensionamiento de tubería de aguas arriba**

| Diámetro tubería | Caída de presión (psi/100ft) | Velocidad de flujo (ft/sg) | Temp. de Operación. (°F) | Presión de Operación (Psig) | Flujo de gas (MMscfd) |
|------------------|------------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| 6"               | 11.0                         | 77                         | 90                       | 1100                        | 120                   |
| 8"               | 2.5                          | 44                         | 90                       | 1100                        | 120                   |
| 10"              | 0.8                          | 28                         | 90                       | 1100                        | 120                   |
| 12"              | 0.3                          | 20                         | 90                       | 1100                        | 120                   |

Fuente: Autor

**Tabla 7. Registro de Dimensionamiento de tubería de agua abajo**

| Diámetro tubería | Caída de presión (psi/100ft) | Velocidad de flujo (ft/sg) | Temp. de Operación. (°F) | Presión de Operación (Psig) | Flujo de gas (MMscfd) |
|------------------|------------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| 8"               | 11.0                         | 108                        | 49                       | 492                         | 120                   |
| 10"              | 3.2                          | 67.7                       | 49                       | 492                         | 120                   |
| 12"              | 1.2                          | 47.7                       | 49                       | 492                         | 120                   |

Fuente: Autor

**Tabla 8. Tabla de capacidad de alivio del sistema**

| PSV                      | SETTING (PSIG) | ALINEADA | ORIFICIO | MAX.<br>CAPACIDAD DE<br>GAS (MMscfd) |
|--------------------------|----------------|----------|----------|--------------------------------------|
| PSV Nueva                | 660            | SI       | P        | 140                                  |
| PSV-2263A<br>(Existente) | 660            | SI       | G        | 10                                   |
| PSV-2263B<br>(Existente) | 660            | NO       | G        | 10                                   |
|                          |                |          | TOTAL    | 160                                  |

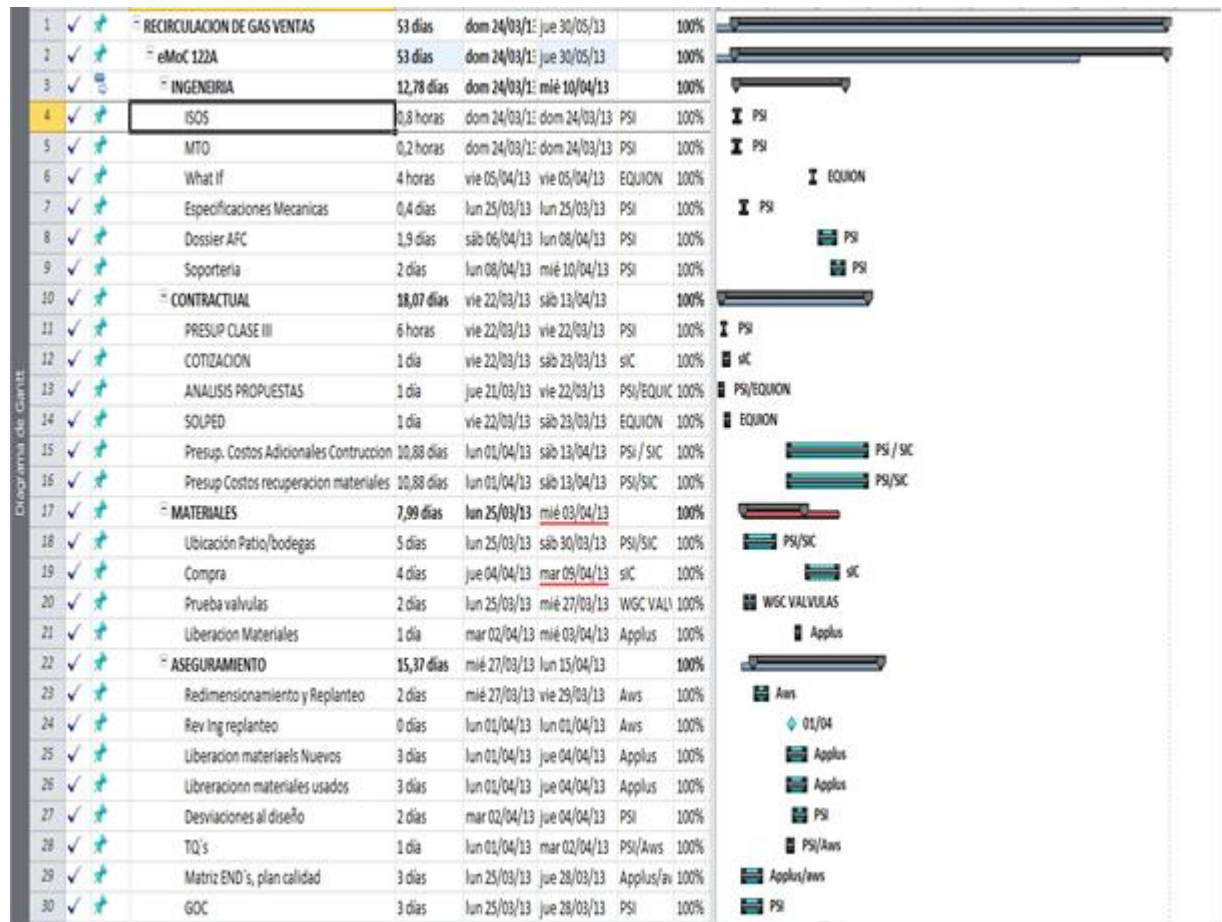
Fuente: Autor

**Tabla 9. Registro de tarea y duración**

| Nombre de tarea             | Duración | Comienzo | Fin      |
|-----------------------------|----------|----------|----------|
| RECIRCULACION DE GAS VENTAS | 53 días  | 24/03/13 | 30/05/13 |

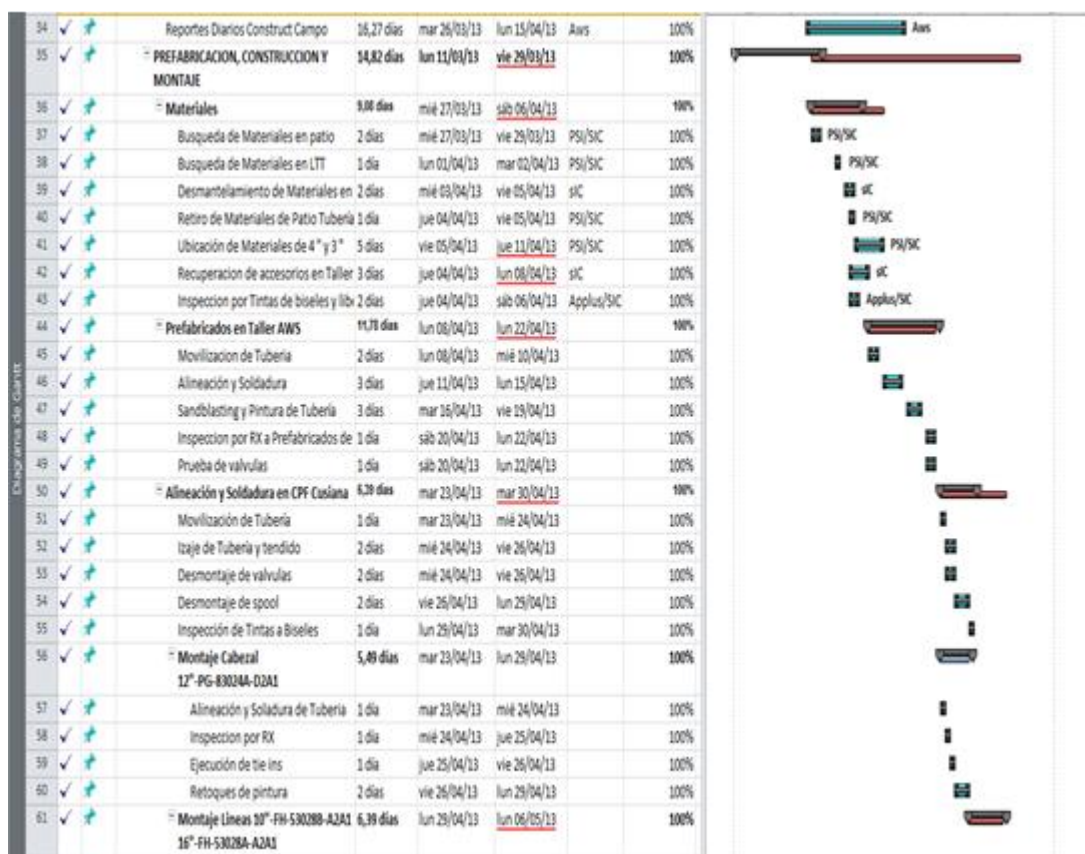
Fuente: Autor

Tabla 10 Cronograma del proyecto parte 1



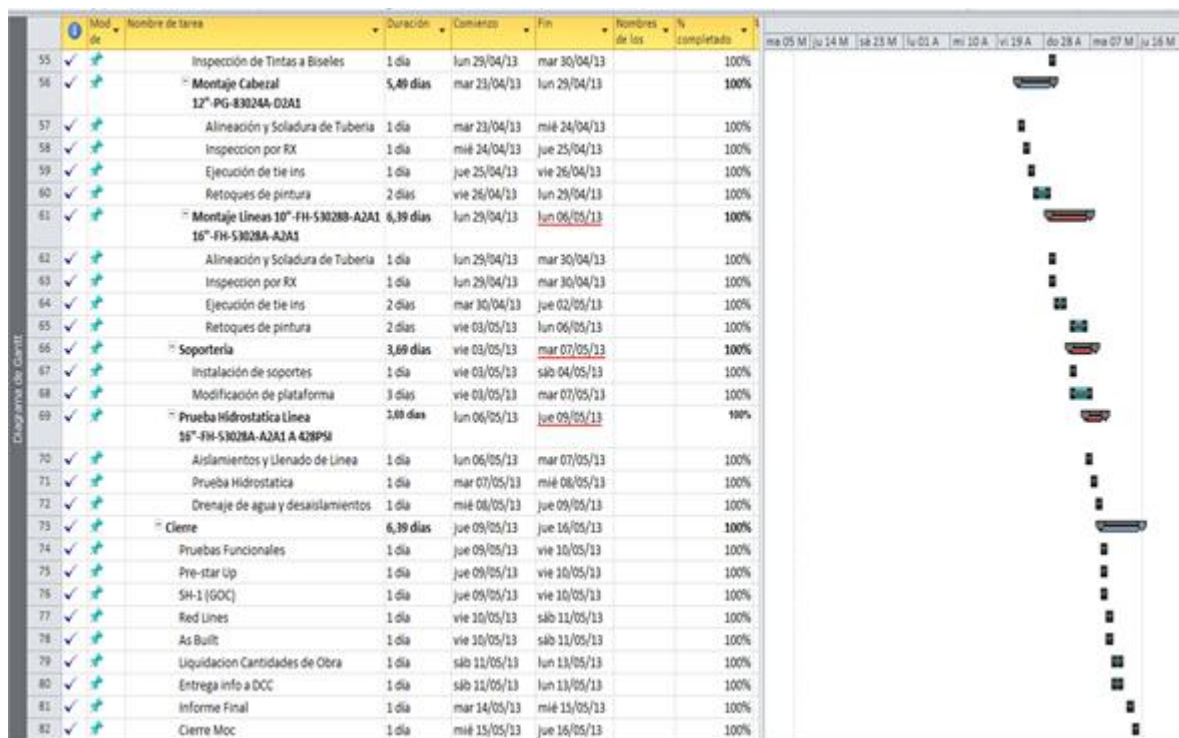
Fuente: Autor

Tabla 11. Cronograma del proyecto parte 2



Fuente: Autor

Tabla 12. Cronograma del proyecto parte 3



Fuente: Autor

Tabla 13. Registro de Presupuesto parte 1

| PSI PRESUPUESTO CLASE III |                                                                          |         |           |          |                    |                   |                 |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------|-----------|----------|--------------------|-------------------|-----------------|
| ITEM                      | DESCRIPCIÓN                                                              | UN<br>D | CAN<br>T. | DI<br>AS | PRECIO<br>UNITARIO | PRECIO<br>PARCIAL | TOTAL           |
| 1.0                       | 1.- PLANEACION, MOVILIZACION,<br>ALISTAMIENTO (Por HH funcionarios)      |         |           |          |                    |                   |                 |
| 1.10                      | SUPERVISOR                                                               | DIA     | 1,00      | 3,0<br>0 | 245.508            | 245.508           | 736.524         |
| 1.20                      | HSE                                                                      | DIA     | 1,00      | 3,0<br>0 | 194.368            | 194.368           | 583.105         |
| 1.30                      | CAMIONETA CON CONDUCTOR                                                  | DIA     | 1,00      | 5,0<br>0 | 420.000            | 420.000           | 2.100.000       |
| 1.40                      | CAMION GRUA MOVILIZACION MATERIALES,<br>montaje                          | UN      | 1,00      | 5,0<br>0 | 1.016.554          | 1.016.554         | 5.082.770       |
| 1.40A                     | CAMION GRUA MOVILIZACION MATERIALES,<br>montaje                          |         |           |          |                    |                   |                 |
|                           |                                                                          |         |           |          |                    |                   | \$ 7.765.874,71 |
|                           |                                                                          |         |           |          |                    |                   |                 |
|                           | 2.- PREFABRICADOS EN TALLER: (Pecios<br>unitarios de acuerdo a Contrato) |         |           |          |                    |                   |                 |
|                           |                                                                          |         |           |          |                    |                   |                 |
|                           | 2.1.1 Prefabricación de Spool Cabezal de Tea<br>16" dia. (Cant sold.)    |         |           |          |                    |                   |                 |
|                           | Soldadura de 16" Sch Std                                                 | UN      | 16        | 1        | 1.779.808,000      | 1.779.808         | 28.476.928      |
|                           | Soldadura de 12" Sch Std                                                 | UN      | 1         | 1        | 1.259.856,000      | 1.259.856         | 1.259.856       |
|                           | Soldadura de 3/4" Socket                                                 | UN      | 4         | 1        | 205.825,000        | 205.825           | 823.300         |
|                           | 2.1.2 Prefabricación Spoles cambio de Psv<br>(Existente)                 |         |           |          |                    |                   |                 |
|                           | Soldadura de 10" Sch Std                                                 | UN      | 6         | 1        | 1.049.080,000      | 1.049.080         | 6.294.480       |
|                           | Soldadura de 8" Sch Std                                                  | UN      | 4         | 1        | 839.904,000        | 839.904           | 3.359.616       |
|                           | Soldadura de 6" Sch Std                                                  | UN      | 5         | 1        | 629.964,000        | 629.964           | 3.149.820       |
|                           | Soldadura de 4" Sch Std                                                  | UN      | 2         | 1        | 419.976,000        | 419.976           | 839.952         |
|                           | Soldadura de 4" Sch XS                                                   | UN      | 2         | 1        |                    |                   |                 |
|                           | Soldadura de 3/4" Socket                                                 | UN      | 10        | 1        | 205.825,000        | 205.825           | 2.058.250       |
|                           | Soldadura de 6" Sch XS                                                   | UN      | 7         | 1        |                    |                   |                 |

Fuente: Autor

Tabla 14. Registro de Presupuesto parte 2

| PSI PRESUPUESTO CLASE III |                                                                                  |     |      |      |                 |                |                   |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----|------|------|-----------------|----------------|-------------------|
| ITEM                      | DESCRIPCIÓN                                                                      | UND | CANT | DIAS | PRECIO UNITARIO | PRECIO PARCIAL | TOTAL             |
|                           | 2.- PREFABRICADOS EN TALLER: (Pecios unitarios de acuerdo a Contrato)            |     |      |      |                 |                |                   |
|                           | 2.1.4 Prefabricación Spooler cambio de PCV.                                      |     |      |      |                 |                |                   |
|                           | Soldadura de 12" Sch 80                                                          | UN  | 6    | 1    | 1,421,160,000   | 1,421,160      | 8,526,960         |
|                           | Soldadura de 6" Sch 80                                                           | UN  | 4    | 1    | 710,040,000     | 710,040        | 2,840,160         |
|                           | Soldadura de 3/4" Socket                                                         | UN  | 6    | 1    | 205,825,000     | 205,825        | 1,234,950         |
|                           | 2.2 Hidrotest                                                                    | M3  | 8    | 1    | 970,874,000     | 970,874        | 7,766,992         |
|                           | 2.3 END.s (Gamagrafas, Líquidos, etc)                                            | DIA | 1    | 4    | 1,746,000,000   | 1,746,000      | 6,984,000         |
|                           | 2.3A Tintas                                                                      |     |      |      |                 |                |                   |
|                           | 2.4 Pintura : M2 (Incluye Sandblasting)                                          | M2  | 65   | 1    | 187,379,000     | 187,379        | 12,179,635        |
|                           | 2.5 Soportería metálica y mod plataforma piv's (Por Kgs)                         | KG  | 1500 | 1    | 12,416,000      | 12,416         | 18,624,000        |
|                           |                                                                                  |     |      |      |                 |                |                   |
|                           |                                                                                  |     |      |      |                 |                | \$ 104,418,895,00 |
|                           |                                                                                  |     |      |      |                 |                |                   |
|                           | 3.- Trabajos en Campo (Cuadrillas de montaje, plenamente definidas)              |     |      |      |                 |                |                   |
|                           | 3.1 Montaje línea de 16" (Cab Tee) (Cuadrillas de montaje, plenamente definidas) |     |      |      |                 |                |                   |
|                           | Cuadrillas de montaje diurnas                                                    | DIA | 3    | 2    | 2,966,480,000   | 17,918,880     | 17,918,880        |
|                           | Cuadrillas de montaje nocturna                                                   | DIA | 2    | 2    | 3,583,776,000   | 14,335,104     | 14,335,104        |
|                           | 3.2 Desmantelamiento cab tee de 12"                                              |     |      |      |                 |                |                   |
|                           | Cuadrillas de montaje diurnas                                                    | DIA | 3    | 2    | 2,966,480,000   | 17,918,880     | 17,918,880        |
|                           | Cuadrillas de montaje nocturna                                                   | DIA | 2    | 2    | 3,583,776,000   | 14,335,104     | 14,335,104        |
|                           | 3.3 Montaje Spool's y PSV existente/nueva                                        |     |      |      |                 |                |                   |
|                           | Cuadrillas de montaje diurnas                                                    | DIA | 2    | 2    | 2,966,480,000   | 11,945,920     | 11,945,920        |
|                           | 3.5 Montaje Spooler cambio de PCV.                                               |     |      |      |                 |                |                   |
|                           | Cuadrillas de montaje diurnas                                                    | DIA | 2    | 2    | 2,966,480,000   | 11,945,920     | 11,945,920        |
|                           | 3.6 cuadrilla de Recubrimientos                                                  | DIA |      |      |                 |                |                   |

Fuente: Autor

**Tabla 15. Registro de Presupuesto parte 3**

| PSI PRESUPUESTO CLASE III |                                                                                          |     |      |      |                 |                |                  |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|------|------|-----------------|----------------|------------------|
| ITEM                      | DESCRIPCIÓN                                                                              | UND | CANT | DIAS | PRECIO UNITARIO | PRECIO PARCIAL | TOTAL            |
|                           | 2.- PREFABRICADOS EN TALLER: (Pecios unitarios de acuerdo a Contrato)                    |     |      |      |                 |                |                  |
|                           |                                                                                          |     |      | 28   |                 |                | \$ 88.399.808,00 |
|                           | 4.-Items comunes                                                                         |     |      |      |                 |                |                  |
|                           |                                                                                          |     |      |      |                 |                |                  |
|                           | 4.1 Inspector QA/QC                                                                      | DIA | 1    | 6    | 217.214,000     | 1.303.284      | 1.303.284        |
|                           | 4.1 Inspector HSE                                                                        | DIA | 1    | 6    | 217.214,000     | 1.303.284      | 1.303.284        |
|                           |                                                                                          |     |      |      |                 |                |                  |
|                           |                                                                                          |     |      |      |                 |                | 2.606.568        |
|                           |                                                                                          |     |      |      |                 |                |                  |
|                           | 5.- Equipos (Equipos a ser utilizados en campo)                                          |     |      |      |                 |                |                  |
|                           |                                                                                          |     |      |      |                 |                |                  |
|                           | ESTIMADO, ENTRE EQUIPOS, CONSUMIBLES                                                     | 1   | 1    | 1    | 10.000.000      | 10.000.000     | 10.000.000       |
|                           | SUBTOTAL                                                                                 |     |      |      |                 |                | 213.191.149      |
|                           | SUBTOTAL + 10% DE IMPREVISTOS                                                            |     |      |      |                 |                | 234.510.264      |
|                           | 6. Materiales ( Pipe, Fittings, flanges, gaskets, valves, accesorios especiales, hottap) |     |      |      |                 |                | 284.867.003      |
|                           |                                                                                          |     |      |      |                 |                |                  |
|                           | 7.Ingeniería                                                                             |     |      |      |                 |                | 24.428.934       |
|                           |                                                                                          |     |      |      |                 |                |                  |
|                           |                                                                                          |     |      |      |                 |                |                  |
|                           |                                                                                          |     |      |      |                 |                |                  |
| VALOR TOTAL               |                                                                                          |     |      |      |                 | Col\$          | 543.806.201      |

Fuente: Autor

**Tabla 16. Registro de Presupuesto recirculación de gas de ventas**

| PRESUPUESTO RECIRCULACION DE GAS DE VENTAS |             |
|--------------------------------------------|-------------|
| Costo de Materiales                        |             |
| DESCRIPCION                                | TOTAL       |
| PIPE                                       | 86.460.927  |
| FITTINGS                                   | 14.181.243  |
| FLANGES                                    | 17.993.576  |
| GASKETs                                    | 7.861.568   |
| VALVES                                     | 125.932.546 |
| ACCESORIOS ESPECIALES                      | 7.437.143   |
| HOT TAP                                    | 25.000.000  |
| Valor en Pesos                             | 284.867.003 |

Fuente: Autor

**Tabla 17. Registro de presupuesto de Ingeniería**

| PRESUPUESTO INGENIERIA |                                    |         |              |                 |
|------------------------|------------------------------------|---------|--------------|-----------------|
| NO DE HH INGENIERIA:   |                                    | 57      |              |                 |
|                        |                                    |         |              |                 |
|                        |                                    | CANT HH | COSTO HH     | COSTO TOTAL     |
| D1                     | DIBUJANTE PIPING / STEEL           | 5       | \$ 23.650,44 | \$ 118.252,20   |
| CD                     | CONTROL DOCUMENTOS                 | 20      | \$ 23.650,44 | \$ 473.008,80   |
| P1                     | PROYECTISTA LIDER (PIPING / STEEL) | 5       | \$ 82.984,00 | \$ 414.920,00   |
| P2                     | PROYECTISTA (PIPING / STEEL)       | 22      | \$ 54.458,25 | \$ 1.198.081,50 |
| E3                     | INGENIERO (MECANICO / CIVIL)       | 0       | \$ 70.795,73 | \$ 0,00         |
| C1                     | COORDINADOR DE PROYECTO            | 5       | \$ 70.795,73 | \$ 353.978,65   |
| P3                     | INGENIERO STRESS ANALISIS          | 0       | \$ 82.984,00 | \$ 0,00         |
| T1                     | TRANSPORTE / CONDUCTOR             | 0       | \$ 51.865,00 | \$ 0,00         |
| SUB TOTAL              |                                    |         |              | \$ 2.558.241,15 |

**NO DE HH ASEGURAMIENTO: 365**

|                  |                                           | <b>CANT HH</b> | <b>COSTO HH</b> | <b>COSTO TOTAL</b>      |
|------------------|-------------------------------------------|----------------|-----------------|-------------------------|
| C2               | COORDINADOR DE ASEGURAMIENTO              | 83             | \$ 82.984,00    | \$ 6.887.672,00         |
| C3               | COORDINADOR DE CONSTRUCCION / INVENTARIOS | 88             | \$ 70.795,73    | \$ 6.230.024,24         |
| E4               | ING. ASEGURAMIENTO Y CONSTRUCCION         | 65             | \$ 70.795,73    | \$ 4.601.722,45         |
| T2               | TEC. SOPORTE DE SOPORTE                   | 90             | \$ 23.650,44    | \$ 2.128.539,60         |
| T1               | TRANSPORTE / CONDUCTOR                    | 14             | \$ 51.865,00    | \$ 726.110,00           |
| CD               | CONTROL DOCUMENTOS                        | 25             | \$ 51.865,00    | \$ 1.296.625,00         |
| <b>SUB TOTAL</b> |                                           |                |                 | <b>\$ 21.870.693,29</b> |

|                   |                         |
|-------------------|-------------------------|
| <b>GRAN TOTAL</b> | <b>\$ 24.428.934,44</b> |
|-------------------|-------------------------|

Fuente: Autor

Tabla 18. What if recirculación de gas de ventas parte 1

| Fecha: Abril 5, 2013                                                     |                                                                                                                                                            |                                                                                                             |                    |                    |                  |                                                                                                                                                                         |           |     |      |                                                                              |                        |
|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----|------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Cambio en Evaluación: eMoC Gas plant 122: Recirculación de gas de ventas |                                                                                                                                                            |                                                                                                             |                    |                    |                  |                                                                                                                                                                         |           |     |      |                                                                              |                        |
| Grupo de Evaluación:                                                     |                                                                                                                                                            | 1. Juan Carlos Sanabria                                                                                     | 3. Ricardo Becerra | 5. Catalina Prieto | 7. Oscar Huertas |                                                                                                                                                                         |           |     |      |                                                                              |                        |
|                                                                          |                                                                                                                                                            | 2. Jaime Pinzón                                                                                             | 4. William Higuera | 6. Jhonder Pacheco | 8.               |                                                                                                                                                                         |           |     |      |                                                                              |                        |
| RIESGO / What If                                                         | CONSECUENCIA POTENCIAL                                                                                                                                     | PROTECCIONES O BARRERAS EXISTENTES                                                                          | S * P = R          |                    |                  | CONTROLES ADICIONALES PARA PREVENIR Y MITIGAR EL RIESGO                                                                                                                 | S * P = R |     |      | RESPONSABLE                                                                  | FECHA DE CIERRE ACCION |
|                                                                          |                                                                                                                                                            |                                                                                                             | Sev                | Pro                | Risk             |                                                                                                                                                                         | Sev       | Pro | Risk |                                                                              |                        |
| 1                                                                        | Qué pasa si se construye toda la tubería y válvulas en la llegada al separador de alta en acero al carbón y hay paso de gas húmedo hacia el nuevo sistema. | Corrosión por gas húmedo, posible fuga, posible incendio, daño a las personas y al medio ambiente           |                    |                    |                  | 1. Instalación de tubería en acero al carbón con recubrimiento interno y con tubería y accesorios en ANSI 300<br>2. Inclusión del tramo en el plan de piezas muertas 3. |           |     |      | 1. Líder de tubería W G<br>2. Integrity Planning Lead & Inspection Execution | 1. Mayo 31 de 2013     |
| 2                                                                        | Qué pasa si la PV-2290 falla abierta                                                                                                                       | Posible ruptura por sobrepresión en el nuevo sistema, fuga, explosión, daño a las personas y a la propiedad |                    |                    |                  | * Evaluar la instalación de una platina para el máximo flujo de capacidad de la PSV-2290                                                                                |           |     |      | Líder de proceso W G                                                         | Mayo 25 de 2013        |
| 3                                                                        | Qué pasa si se presenta shutdown en el separador V-22201                                                                                                   | Posible ruptura por sobrepresión en el nuevo sistema, fuga, explosión, daño a las personas y a la propiedad |                    |                    |                  | SDV-2290 pegada a la lógica de shutdown del separador (tren) PSV-2290 con capacidad para aliviar 130 MMscfd Platina de restricción que limita el flujo a 130 MMscfd     |           |     |      | Líder de proceso W G                                                         | Mayo 25 de 2013        |

Fuente: Autor

**Tabla 19. What if recirculación de gas de ventas parte 2**

|                                                                                                                                                                                                                                                           |                                             |                                                                                         |  |       |   |       |                                                                                                                                            |   |   |   |                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--|-------|---|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|--------------------|
| 4                                                                                                                                                                                                                                                         | Se requiere recircular mayor volumen de gas | Pérdidas de producción de condensado porque la máxima capacidad de diseño es 130 MMscfd |  | G     | 4 | B     | Cambiar la platina y la PSV-2290 para nueva capacidad requerida teniendo en cuenta que las líneas y la PCV- 2290 pueden manejar 200 MMscfd | G | 3 | B | 1. Mayo 31 de 2013 |
| 10                                                                                                                                                                                                                                                        |                                             |                                                                                         |  |       |   |       |                                                                                                                                            |   |   |   |                    |
| NOTA 1<br>NOTA 2<br>NOTA 3<br>NOTA 4                                                                                                                                                                                                                      |                                             |                                                                                         |  |       |   |       |                                                                                                                                            |   |   |   |                    |
| APROBADOR:                                                                                                                                                                                                                                                |                                             | NOMBRE                                                                                  |  | FECHA |   | FIRMA |                                                                                                                                            |   |   |   |                    |
| Acepto este análisis y considero que el cambio se puede ejecutar cumpliendo con las Acciones Recomendadas.<br>Nota: El Aprobador debeser la misma persona que Aprueba el cambio ó en su defecto el Revisor encargado de liderar la evaluación de riesgos. |                                             |                                                                                         |  |       |   |       |                                                                                                                                            |   |   |   |                    |

Fuente: Autor

**Tabla 20. Resultados Esperados**

| <b>Factor</b> | <b>Gas Ventas<br/>MMscfd</b> | <b>NGL sin<br/>Rec. Bbls</b> | <b>LPG sin<br/>Rec. Bbls</b> | <b>NGL con<br/>Rec. Bbls</b> | <b>LPG con<br/>Rec. Bbls</b> |
|---------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 0.8929        | 180                          | 1467                         | 5004                         | 1964                         | 6697                         |
| 0.9037        | 190                          | 1548                         | 5263                         | 1988                         | 6778                         |
| 0.9143        | 200                          | 1630                         | 5540                         | 2011                         | 6857                         |
| 0.926         | 210                          | 1711                         | 5817                         | 2037                         | 6945                         |
| 0.9375        | 220                          | 1793                         | 6094                         | 2062                         | 7031                         |
| 0.9494        | 230                          | 1874                         | 6371                         | 2088                         | 7120                         |
| 0.9616        | 240                          | 1956                         | 6648                         | 2115                         | 7212                         |
| 0.9741        | 250                          | 2038                         | 6925                         | 2143                         | 7305                         |
| 0.9869        | 260                          | 2119                         | 7202                         | 2171                         | 7402                         |
| 1             | 270                          | 2200                         | 7500                         | 2200                         | 7500                         |

Fuente: Propia

**Tabla 21. Resumen de volúmenes de producción obtenidos**

|                              | <b>Factor NGLs<br/>BPD NGL /<br/>MMSCFD</b> | <b>Factor GLP<br/>BPD GLP /<br/>MMSCFD</b> | <b>Promedio<br/>diario Ventas<br/>de gas</b> | <b>Promedio<br/>diario NGLs</b> | <b>Promedio<br/>diario GLP</b> |
|------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| <b>Sin<br/>Recirculación</b> | 8.25                                        | 27.7                                       | 238.98                                       | 1972.59                         | 6610.84                        |
| <b>Con<br/>Recirculación</b> | 8.62                                        | 28.97                                      | 255.65                                       | 2203.98                         | 7406.23                        |
| <b>Diferencia</b>            | 0.37                                        | 1.27                                       | 16.67                                        | 231.39                          | 795.39                         |

Fuente: Autor

## CONCLUSIONES

La sobre oferta de gas para el país hace necesario construir estrategias encaminadas a maximizar valor para las compañías productoras y de esta manera mantener viable el negocio.

La innovación es uno de los pilares fundamentales para mantener la eficiencia y productividad de los sistemas de gas de ventas del país.

El reto de recuperar productos blancos en yacimientos de gas asociado como el de Cusiana, nos mueve a buscar nuevas tecnologías para maximizar su beneficio.

Una planta de proceso en su etapa madura, también puede ser objeto de mejoramientos tal como se demostró en el proyecto presentado hoy.

Gracias al éxito de proyectos como este, Equión ya esta consolidando proyectos comerciales de venta de NGL como diluyente de crudos pesados.

Para lograr aprobación de proyectos como el de recirculación de gas de ventas de Cusiana, es necesario plasmar claramente los beneficios económicos, operacionales, de integridad y seguridad de procesos.

La estabilidad operacional obtenida con el proyecto ha logrado disminuir el potencial de fallas en plantas y equipos, garantizando a su vez la disponibilidad de gas de ventas de manera instantánea cuando sea requerido.

Gracias a este proyecto se lograron maximizar los beneficios en recobro de productos blancos manejados a través de la planta de LPG.

Con este nuevo proyecto la producción de NGL y LPG no depende del volumen de ventas de gas, lo cual es un aliciente energético para el país, especialmente para los consumidores de LPG.

Los acuerdos de operación conjunta de suministro de gas logrados entre ECOPETROL y EQUION han permitido sortear diferentes problemas en las plantas sin afectar el suministro de gas al centro y sur occidente del país.

Ha sido un gran logro reputacional, poder realizar mantenimiento a las plantas de gas de las dos compañías, sin generar exposición negativa en medios noticiosos de cubrimiento nacional por restricción en el suministro de gas.

La construcción del Sistema de Recirculación de Gas de Ventas de Cusiana evita que las plantas de ventas de gas operen por debajo del Turn Down, previniendo el sometimiento de las mismas a efectos adversos tales como desbalances, vibraciones, inestabilidad de proceso, desviaciones de variables operativas.

Se mantiene operacionalmente estable la planta con parámetros de calidad RUT, debido a que se evita realizar maniobras operacionales que desestabilizan el proceso y puede causar daños a equipos rotativos como turbo - expander

Con el nuevo proyecto se evita someter las vasijas e intercambiadores de calor de las plantas de ventas de gas a procesos enfriamiento y calentamiento continuos produciendo esfuerzos en las juntas bridadas con posibilidad de fugas y reducción de la vida útil de los equipos.

Disminuye quemas de gas por los venteos y drenajes durante los procedimientos paradas y arranque de las unidades de ventas de gas.

Se disminuye el consumo de glicol causado por la desestabilización al parar y arrancar las unidades de ventas de gas (beneficio económico).

Permite ahorro de energía en los procesos de regeneración de amina del sistema de endulzamiento, debido a que el gas recirculado disminuye la carga acida del gas alimento, reduciendo la recirculación de amina requerida.

Optimiza el uso del recurso humano y el riesgo de exposición de personal en campo, debido a que no se requiere parar unidades de ventas de gas.

Se obtiene una flexibilidad operativa que permite operar las plantas de una manera tal, que se produce el gas de ventas con un alto poder calorífico manteniendo las especificaciones de ventas sin sacrificar la producción de condensados estabilizados y LPG.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARTHUR J. KINDNAY Y WILLIAM R Y OTROS. Fundamental of Natural Gas Processing. Group. 2006
- GUERRERO SUAREZ , Fernando Y LLANO CAMACHO ,Fernando. Estudios Gerenciales Gas Natural en Colombia Fernando, Fernando Llano Camacho. [En línea] Disponible en:<[http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S012359232003000200006&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S012359232003000200006&script=sci_arttext)> [Citado en 08 de Septiembre de 2013]
- LA ACTUALIDAD DEL GAS NATURAL EN COLOMBIA. [En línea] Disponible en: <[http://www.petrotecnica.com.ar/febrero10/febrero10/con%20publicidad/Colombia\\_80.pdf](http://www.petrotecnica.com.ar/febrero10/febrero10/con%20publicidad/Colombia_80.pdf)>[Citado en 08 de Septiembre de 2013]
- MEJORAMIENTO CONTINUO Y KAIZEN [En línea] Disponible en: <[http://www.talentsi.com/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=109:mejoramiento-continuo-y-kaizen&catid=1:latest-news&Itemid=187](http://www.talentsi.com/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=109:mejoramiento-continuo-y-kaizen&catid=1:latest-news&Itemid=187)> [Citado en 30 de Septiembre de 2013]
- MEJORAMIENTO CONTINUO.[En línea] Disponible en: <<http://www.monografias.com/trabajos/mejorcont/mejorcont.shtml>> [Citado en 26 de Septiembre de 2013]
- MERCADO DIAZ, Jorge Enrique ¿Pueden desarrollarse mercados competitivos de gas? ed: Universidad Externado de Colombia. 2003
- PRODUCCIÓN DE GAS NATURAL EN COLOMBIA. Junio 08 de 2013. [En Línea] Disponible en: <<http://www.naturgas.com.co/htms/contenido->

produccion-de-gas-natural-en-colombia\_254.html> [Citado en 19 de Junio de 2013]

- UPME. Ministerio de Minas y Energía. La Cadena del Gas Natural en Colombia. República de Colombia.
- VEHÍCULOS QUE OPERAN CON GAS NATURAL. Naturgas. [En línea] Disponible en: <[http://www.naturgas.com.co/htms/contenido-vehculos-que-operan-con-gas-natural\\_261.html](http://www.naturgas.com.co/htms/contenido-vehculos-que-operan-con-gas-natural_261.html)>[Citado en 08 de Junio de 2013]