

**METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN  
ADECUADA PARA EL GAS DE PROCESO EN EL CAMPO LA PUNTA.**

**LUIS EDUARDO HENRIQUEZ HERNÁNDEZ**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DEL GAS  
BUCARAMANGA**

**2016**

**METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN  
ADECUADA PARA EL GAS DE PROCESO EN EL CAMPO LA PUNTA.**

**LUIS EDUARDO HENRIQUEZ HERNÁNDEZ**

**Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Ingeniería Del Gas.**

**Director**

**JULIO CESAR PÉREZ ANGULO**

**Magíster En Ingeniería Énfasis en Hidrocarburos**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DEL GAS  
BUCARAMANGA**

**2016**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN.....	13
1. OBJETIVOS.....	14
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
2. MARCO DE REFERENCIA.....	15
2.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.....	15
3. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	16
3.1 IDENTIFICAR LA DISPONIBILIDAD DE ELEMENTOS CLAVES.....	16
3.2 IDENTIFICAR LAS CORRIENTES ASOCIADAS.....	16
3.3 IDENTIFICAR LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL PROCESO.....	16
3.4 ANÁLISIS COMPONENTE A COMPONENTE.....	17
3.5 DIAGNOSTICO GENERAL.....	18
4. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA.....	19
4.1 ELEMENTOS DISPONIBLES.....	19
4.2 CORRIENTES DEL PROCESO.....	19
4.3 PARÁMETROS DE OPERACIÓN.....	20
4.4 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO ESTADO ACTUAL.....	21
4.5 ANÁLISIS DEL GAS REFRIGERANTE.....	22
4.6 ANÁLISIS DEL COMPRESOR DE REFRIGERANTE.....	23
4.7 ANÁLISIS DEL CONDENSADOR.....	27
4.8 ANÁLISIS DE LA VÁLVULA DE EXPANSIÓN.....	28
4.9 ANÁLISIS DEL ACUMULADOR DE PROPANO.....	29
4.10 ANÁLISIS DEL CHILLER.....	30
4.11 SIMULACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL.....	32

5. SELECCIÓN DE LA UNIDAD DE ENFRIAMIENTO .....	36
5.1 EFECTO JT. ....	36
5.2 REFRIGERACIÓN MECÁNICA (PROPANO REFRIGERANTE).....	37
6. CONCLUSIONES .....	38
7. RECOMENDACIONES.....	39
BIBLIOGRAFÍA.....	40
ANEXOS.....	41

## LISTA DE GRÁFICAS

	<b>Pág.</b>
Gráfica 1. Posición Geográfica De La Planta.....	15
Gráfica 2. Esquema de un sistema de refrigeración mecánica.....	20
Gráfica 3. Cromatografía del gas al sistema de enfriamiento. ....	22
Gráfica 4 Comportamiento de la expansión de los refrigerantes disponibles. ....	23
Gráfica 5. Compresor de refrigerante. ....	24
Gráfica 6. Placa compresor de refrigerante. ....	24
Gráfica 7 Unidades y parámetros generales de simulación del compresor de refrigerante.....	25
Gráfica 8. Configuración del compresor.....	25
Gráfica 9. Condiciones operacionales del compresor.....	26
Gráfica 10. Condensador de refrigerante.....	27
Gráfica 11. Válvula de expansión. ....	28
Gráfica 12. Acumulador de propano. ....	30
Gráfica 13. Chiller (Intercambiador). ....	30
Gráfica 14. Diagrama general del sistema de refrigeración. ....	32
Gráfica 15 Diagrama de simulación Hysys del sistema completo.....	33

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Resumen de datos de operación .....	20
Tabla 2 Parámetros de los puntos representativos del sistema de refrigeración...21	21
Tabla 3. Información de la Válvula de expansión.....	29
Tabla 4. Información de la placa del intercambiador.....	31

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO A. Cromatografía Gas refrigerante .....	41
ANEXO B. cromatografías Gas proceso .....	42
ANEXO C. Informacion del compresor de refrigerante .....	43
ANEXO D. Hojas de características del condensador de refrigerante.....	44

## RESUMEN

**TITULO:** METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN ADECUADA PARA EL GAS DE PROCESO EN EL CAMPO LA PUNTA.

**AUTOR:** LUIS EDUARDO HENRIQUEZ HERNÁNDEZ\*\*

**PALABRAS CLAVES:** GLP, SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO, POZOS PETROLEROS

### DESCRIPCIÓN

La planta de Gas del campo La punta es una planta centrada en la producción de GLP (Gas Licuado de petróleo), Gasolina Natural y gas Combustible (Metano-Etano), partiendo del tratamiento del gas proveniente de los pozos de dicho campo, últimamente debido a la perforación de pozos se ha visto incrementado el flujo de gas tratado y con ello la afectación de la eficiencia del sistema de enfriamiento de planta, repercutiendo en la calidad de los productos obtenidos, esto debido a las altas temperatura que dicho sistema mantiene, las cuales no permiten condensar los hidrocarburos pesados asociados al gas, lo cual a su vez afecta de manera directa los equipos que dentro de la planta usan el gas combustible entregado por esta para generar energía eléctrica y trabajo en los sistemas de compresión.

Teniendo en cuenta el incremento de flujo es necesario realizar un análisis sobre el sistema de enfriamiento de la planta, el cual demanda en su defecto realizar adquisición de un equipo de enfriamiento que cuente con la capacidad suficiente para mantener los parámetros requeridos en el proceso para la obtención de los productos con la calidad demandada para su comercialización y uso en procesos internos.

En el desarrollo de este trabajo describe y aplica una metodología que permite analizar de manera detallada el sistema actual de enfriamiento a través de un análisis elemento a elemento permitiendo identificar fortalezas y debilidades, con todo lo anterior se busca seleccionar el sistema de enfriamiento más adecuado para la planta, el cual genere el menor impacto operativo y menor impacto económico a la compañía operadora de la planta.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico Químicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Especialización en Ingeniería del Gas. Director: Julio Cesar Pérez Angulo, Magíster En Ingeniería Énfasis En Hidrocarburos

## ABSTRACT

**TITLE:** METHODOLOGY FOR THE SELECTION OF AN ADEQUATE COOLING SYSTEM FOR PROCESS GAS AT LA PUNTA FIELD

**AUTHOR:** LUIS EDUARDO HENRIQUEZ HERNANDEZ\*\*

**KEYWORDS:** LPG, COOLING SYSTEMS, OIL WELLS

### DESCRIPTION

The gas plant at La Punta field is centered in the production of LPG (Liquefied Petroleum Gas), natural gasoline, and fuel gas (methane-ethane), from the treatment of the gas provided by the oil wells located at that field. Recently, due to the drilling of wells, the flow of treated gas has been increased, and consequently, the efficiency of the plant's cooling system has been compromised; having a negative effect in the quality of the obtained products, as a result of the high temperatures that affect the system and difficult the condensation of heavy hydrocarbons associated with the gas, which also affects directly the equipment that, within the plant, use the gas provided by the same in order to generate electric energy and work in the compression systems.

Due to the increasing of the flow, it is necessary to analyze the plant's cooling system, which requires by default the acquisition of a cooling equipment that satisfies the capacity for keeping the standard parameters in the processes of the obtainment of products that meet the required quality standards for commercialization and use in internal processes.

This work describes and applies a methodology that allows a detailed analysis of the current cooling system through an item by item examination, permits the identification of strengths and weaknesses, and therefore, the selection of the cooling system that fits with most adequacy the plant's necessities, generates the lowest operational impact and the lowest financial impact for the company that operates the plant.

---

\* Degree work

\*\* Faculty of Physical Chemical Engineering. School of Petroleum Engineering. Gas Engineering Specialization. Director: Julio Cesar Perez Angulo, Master in Engineering Emphasis On Hydrocarbons

## GLOSARIO

**GLP:** Combustible compuesto por mezclas de propano y butano, obtenido en la destilación de crudo o refinación de condensados del gas Natural.

**GASOLINA NATURAL:** Se considera un diluyente, compuestas por elementos C5+ muy baja viscosidad, es usada para diluir crudos pesados.

**BTU:** *British Thermal Unit* por sus siglas en ingles es la unidad que representa la cantidad de energía requerida para elevar 1 grado F una libra de agua a condiciones atmosféricas.

**PRESIÓN DE DESCARGA:** La presión que se presenta en la etapa final de una etapa de compresión dentro de un sistema de compresión.

**COMPRESOR DE GAS:** Equipo mecánico cuya función se centra en elevar la presión de un gas que presenta baja presión, hay diferentes tecnologías y aplicaciones.

**SISTEMA DE REFRIGERACIÓN:** dícese de la tecnología utilizada para reducir la temperatura del gas proceso, esta pueden ser: Sistemas mecánicos con gas refrigerante, expansión con una válvula JT y otros.

## **INTRODUCCIÓN.**

El Gas Natural hoy día se ha convertido en una fuente de energía muy importante en la canasta de combustibles, este es por lo general extraído de Yacimientos ya sean 100% gasíferos o gas asociado a la explotación de petróleo, el gas por lo general no cuenta con los parámetros en su composición química que permita el uso de manera inmediata una vez sale del yacimiento, por ello se cuentan con plantas de gas las cuales se encargan de tratar y procesar el gas para dar las condiciones comerciales que permitan su uso en las diferentes aplicaciones.

Las plantas de gas cuentan con sistemas de tratamiento y sistemas de procesamiento, entre sus procesos de tratamiento encontramos los sistemas de enfriamiento los cuales juegan un papel importante cualquiera sea su objetivo, en el caso de la planta de gas del campo La Punta el sistema de enfriamiento, es quien se encarga de licuar el gas para posteriormente ser enviado a un proceso de destilación donde son obtenidos los productos a comercializar.

De este sistema de enfriamiento dependen las cantidades y las calidades de los productos, por ello es importante realizar un buen análisis de estos una vez se decida adquirir o remplazar uno de ellos.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar una metodología que permita la Selección de un sistema de enfriamiento para realizar el tratamiento del gas de proceso en la planta de gas del campo La Punta, teniendo en cuenta el gas a tratar, parámetros actuales de proceso, productos a obtener y aspectos asociados a la ubicación de la planta.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

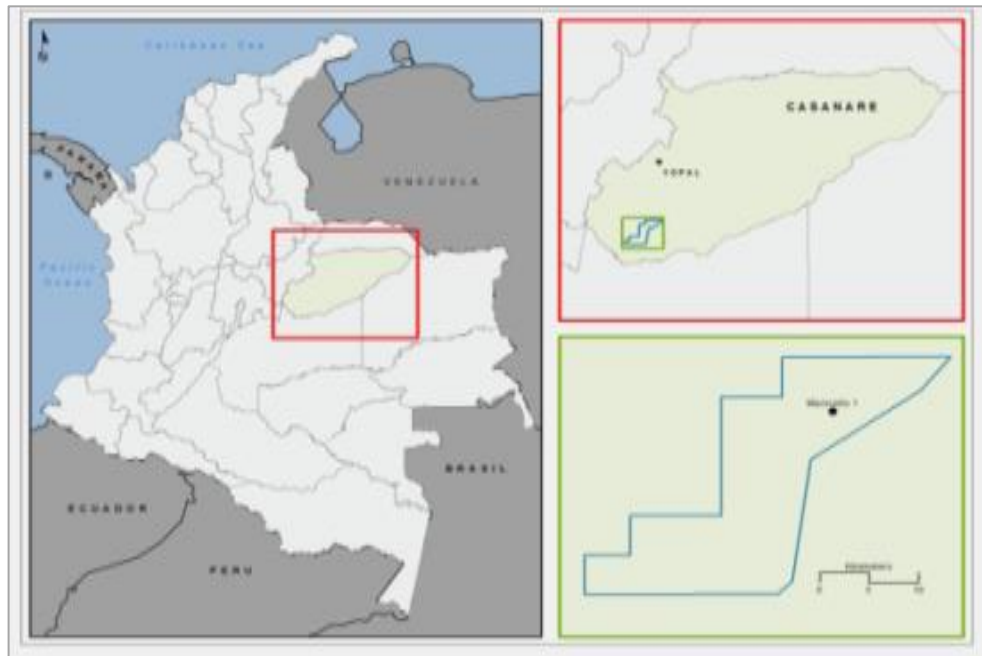
- ✓ Realizar una evaluación del sistema de refrigeración actual, que permita determinar oportunidades de mejora.
  
- ✓ Estudiar los diferentes sistemas de refrigeración disponibles y determinar los aspectos más importantes que permitan identificar las condiciones técnicas para su implementación en un proceso específico.
  
- ✓ Seleccionar el sistema de refrigeración más adecuado desde los puntos de vista técnico y económico.

## 2. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

La principal planta de PEGASUS BLENDING INT SAS ESP donde se produce GASOLINA NATURAL, GLP Y ENERGÍA ELÉCTRICA está ubicado aproximadamente a 30 Km de la cabecera municipal del Municipio de Maní en el departamento del Casanare con una altura aproximada de 300 m sobre el nivel del mar.

**Gráfica 1. Posición Geográfica De La Planta**



Fuente: Presentación Planta de Gas La Punta

### **3. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA.**

La metodología aplicar para definir la tecnología de enfriamiento a usar para casos donde hay una existente y se quieren obtener mejoras es la siguiente:

#### **3.1 IDENTIFICAR LA DISPONIBILIDAD DE ELEMENTOS CLAVES.**

- ✓ Aumentar o disminuir presión (Gas Proceso y Gas Refrigerante).
- ✓ Disponibilidad de energía Eléctrica.
- ✓ Disponibilidad de área adicional en caso de ampliación.
- ✓ Disponibilidad de agua.
- ✓ Corrientes calientes y frías.

#### **3.2 IDENTIFICAR LAS CORRIENTES ASOCIADAS**

- ✓ Corrientes de proceso.
- ✓ Corriente de gas refrigerante.

#### **3.3 IDENTIFICAR LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL PROCESO**

Para realizar una simulación del sistema es clave contar con la mayor cantidad de información relacionada al proceso, esto permitirá ser más acertados al momento de realizar un diagnóstico.

- ✓ Temperatura y presión del gas proceso a la entrada del intercambiador
- ✓ Temperatura y presión del gas proceso a la salida del intercambiador.
- ✓ Temperatura y presión del gas refrigerante después del condensador.
- ✓ Temperatura y presión del gas refrigerante a la descarga del compresor.
- ✓ Temperatura y presión del gas refrigerante a la salida del intercambiador

### **3.4 ANÁLISIS COMPONENTE A COMPONENTE.**

Conocer las condiciones de operación de cada componente, lo cual permitirá al momento de evaluar el sistema definir a fondo el componente e identificar si su estado actual de operación es o no el más adecuado para el sistema.

Es muy importante contar con la información del fabricante del equipo que soporte data de mucha importancia como los son sus capacidades.

Realizar análisis componente a componente del sistema Actual (Refrigeración Mecánica):

- ✓ Gas Refrigerante.
- ✓ Compresión.
- ✓ Condensador.
- ✓ Acumulador de propano líquido.
- ✓ Válvula de expansión.
- ✓ Chiller o intercambiador (gas proceso – gas refrigerante)- Inhibidor de Hidratos.
- ✓ Aislamiento térmico.

El análisis del sistema incluye modelamiento en el software disponible para evaluar el componente.

### **3.5 DIAGNOSTICO GENERAL**

- ✓ Realizar una comparación de las fortalezas y debilidades frente al otro sistema de enfriamiento.
- ✓ Concluir en base a la comparación realizada la selección del equipo.

## 4. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

### 4.1 ELEMENTOS DISPONIBLES.

El lugar donde opera el sistema de refrigeración cuenta con:

- ✓ Vías de acceso en buen estado.
- ✓ Energía eléctrica disponible a bajo costos adicional al consumo actual de 200 kw/h
- ✓ Agua potable hasta 5000 galones/ Mes
- ✓ Capacidad de comprimir hasta 2 millones de pies cúbicos gas proceso.
- ✓ Área adicional disponible para ampliación de hasta 200 metros cuadrados.
- ✓ Temperatura ambiente: 85 - 90 F.
- ✓ Elevación sobre el nivel del mar: 300 metros sobre el nivel del mar.

### 4.2 CORRIENTES DEL PROCESO.

Gas Refrigerante	:	300MSCFD. Flujo Inicial
Gas proceso	:	800MSCFD. Nuevo flujo
Gas proceso	:	500MSCFD. Flujo Viejo

### 4.3 PARÁMETROS DE OPERACIÓN.

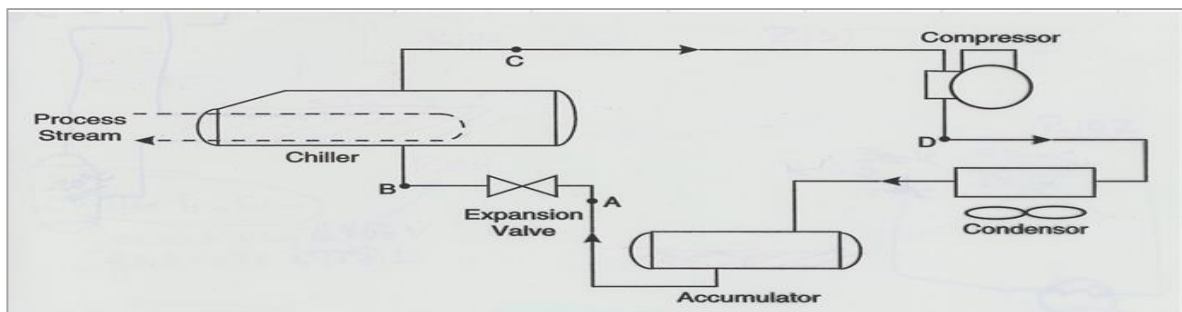
Para definir los parámetros de operación del sistema en general fueron tomados los promedios de las variables adquiridas en los últimos 5 meses, los cuales serán usados en la simulación del sistema, cuya simulación nos permitirá conocer a fondo la eficiencia, las falencias y las ventajas del sistema actual.

**Tabla 1. Resumen de datos de operación**

	P(succion)/PSI	P(interetapa)/PSI	P(descarga)/PSI	T(succion)/F	T(interetapa)/F	T(descarga)/F	P(chiler)/PSI	T(chiler)/F	AF-2 T(entrada)/F	AF-2 T(salida)/F
PROMEDIO	16,03	83,16	151,00	85,24	210,00	179,17	18,75	70,97	138,23	87,54
PROMEDIO	20,90	79,96	137,10	84,00	138,86	158,77	19,29	67,02	133,21	88,56
PROMEDIO	14,33	82,00	123,00	78,33	135,00	159,00	18,67	66,50	132,00	86,50
PROMEDIO	17,53	83,76	138,60	78,98	133,74	161,89	21,05	64,92	131,06	85,49
PROMEDIO	14,15	76,60	113,40	78,19	137,88	162,82	19,11	65,27	125,56	80,74
PROMEDIO	16,59	81,09	132,62	80,95	151,09	164,33	19,37	66,93	132,01	85,77

Fuente: Construida en base a los archivo de parámetros operacionales de la planta de gas del campo la punta.

**Gráfica 2. Esquema de un sistema de refrigeración mecánica.**



**Tabla 2 Parámetros de los puntos representativos del sistema de refrigeración.**

<b>Punto</b>	<b>Presion</b>	<b>UNIT</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Unit</b>
<b>Punto C</b>	16,59	PSI	80,95	F
<b>Punto D</b>	132,62	PSI	164,33	F
<b>punto A</b>	130	PSI	85,77	F
<b>Punto B</b>	19,37	PSI	-10	F

#### **4.4 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO ESTADO ACTUAL.**

El sistema de enfriamiento actual corresponde a un enfriamiento con propano refrigerante compuesto por los siguientes elementos:

- ✓ Gas Refrigerante.
- ✓ Compresión.
- ✓ Condensador.
- ✓ Acumulador de propano líquido.
- ✓ Válvula de expansión.
- ✓ Chiller o intercambiador (gas proceso – gas refrigerante)- Inhibidor de Hidratos.

El gas refrigerante es comprimido por un compresor reciprocante, luego llevado a temperatura ambiente por condensador, luego es lleva a un acumulador de propano para luego ser expandido a través de una válvula de expansión para intercambiar temperatura con un gras proceso que se busca licuar para posteriormente destilar dicho licuado.

## 4.5 ANÁLISIS DEL GAS REFRIGERANTE.

El gas utilizado como refrigerante es el mismo producto que obtiene de su proceso de fraccionamiento de condensados del gas cuya composición se encuentra en la siguiente figura.

**Gráfica 3. Cromatografía del gas al sistema de enfriamiento.**

CO <sub>2</sub>	Carbon Dioxide	0,16	0,15
N <sub>2</sub>	Nitrogen	0,00	0,00
C <sub>1</sub>	Methane	0,00	0,00
C <sub>2</sub>	Ethane	19,79	13,00
C <sub>3</sub>	Propane	51,79	49,91
iC <sub>4</sub>	i-Butane	13,58	17,25
nC <sub>4</sub>	n-Butane	11,85	15,07
iC <sub>5</sub>	i-Pentane	1,81	2,54
nC <sub>5</sub>	n-Pentane	0,83	1,31
C <sub>6</sub>	Hexanes	0,29	0,53
C <sub>7</sub>	Heptanes	0,09	0,21
C <sub>8</sub>	Octanes	0,01	0,03
C <sub>9</sub>	Nonanes	0,00	0,00
C <sub>10</sub>	Decanes	0,00	0,00
C <sub>11</sub>	Undecanes	0,00	0,00
C <sub>12+</sub>	Dodecanes plus	0,00	0,00

Totals : 100,00 100,00

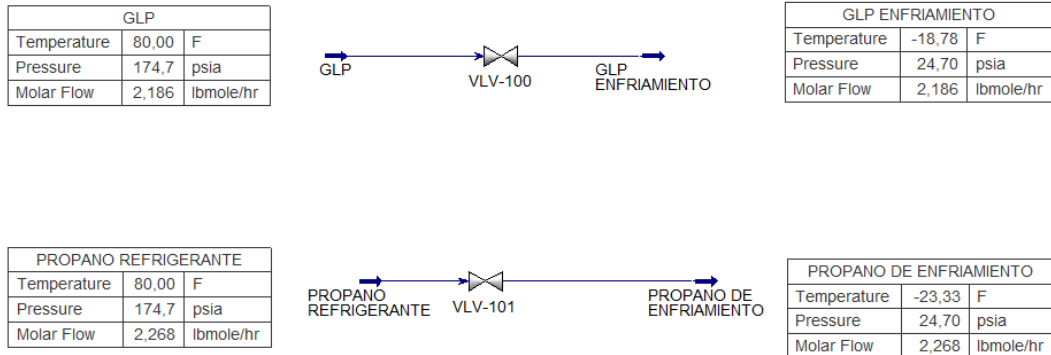
Note: 0.00 means less than 0.005.

Calculated Residue Properties		Mole Weight (g mol <sup>-1</sup> )	Density (g cm <sup>-3</sup> at 60°F )
C <sub>7+</sub>	Heptanes plus	90,4	0,7472
C <sub>10+</sub>	Decanes plus	-	-
C <sub>12+</sub>	Dodecanes plus	-	-

Calculated Whole Gas Properties		
Gas Gravity	1,5797	(Air=1 @ 14.73 psia & 60°F)
Whole Sample Mole Weight	45,75	g mol <sup>-1</sup>
Ideal Gas Density	1,9252	kg m <sup>-3</sup> @ 14.65psia, 60°F
Ideal Gross Calorific Value	2590,4	BTU.ft-3 @ 14.65psia, 60°F
Ideal Net Calorific Value	2384,3	BTU.ft-3 @ 14.65psia, 60°F
Pseudo Critical Press.	610,6	psia
Pseudo Critical Temp.	668,7	Rankine
Gas Compressibility Factor, Z	0,980239	@ 14.65 psia & 60°F
GPM (C2+)	28,63	
GPM (C3+)	23,37	
Additional Information		
Real Gross Calorific Value	2642,7	BTU.ft-3 @ 14.65psia, 60°F
Real Net Calorific Value	2432,4	BTU.ft-3 @ 14.65psia, 60°F

Fuente: Archivo de cromatografías de la planta de gas del campo la punta.

#### Gráfica 4 Comportamiento de la expansión de los refrigerantes disponibles.



Fuente: Captura de la pantalla de simulación del software Aspen Hysys V8.6

Realizando un análisis del gas refrigerante vs el gas propano de alta concentración usados en los procesos de refrigeración, podemos observar que el actual cuenta con un nivel de aceptación grande, dado que al expandirse presenta temperaturas similares al propano de alta concentración y que permite alcanzar las temperaturas requeridas en el sistema.

#### 4.6 ANÁLISIS DEL COMPRESOR DE REFRIGERANTE.

El compresor de refrigerante es un compresor JGA 4 del fabricante Ariel que cuenta con 4 cilindro, de los cuales dos (2) son utilizados para comprimir el refrigerante del sistema de refrigeración etapa uno y etapa 2. Los cilindros adicionales trabajan como dos etapas independientes para comprimir gas refrigerante, este compresor cuenta con un motor G342 del fabricante CATERPILLAR con aspiración natural, el cual fracciona su potencia en tres elementos (Gas Refrigerante, Gas proceso, Sistema de Aero enfriamiento para el gas).

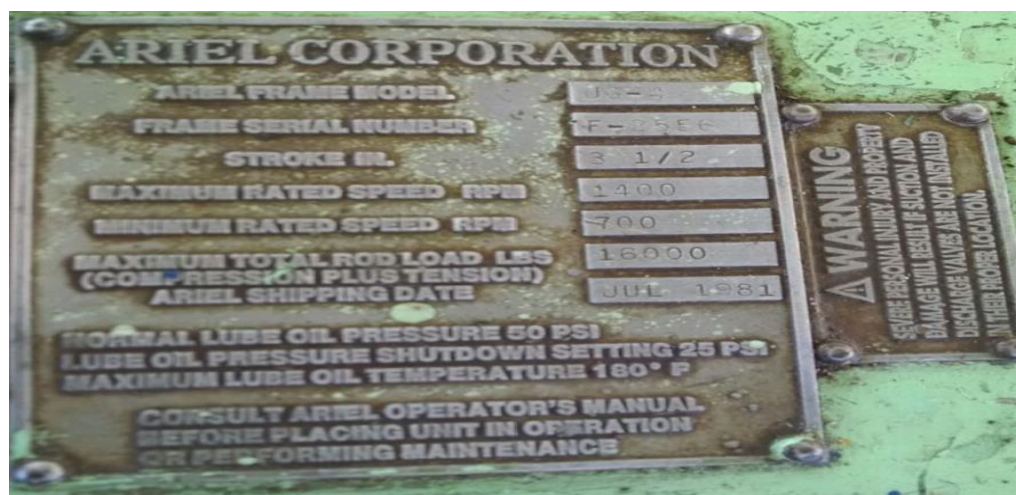
Para hacer un cálculo de la potencia consumida por solo la parte de refrigeración procederemos a usar un software de simulación de compresores del mismo fabricante teniendo en cuenta el histórico de las variables operacionales del compresor.

**Gráfica 5. Compresor de refrigerante.**



Fuente: Imagen tomada de la base de datos de imágenes del La planta de Gas del campo la punta.

**Gráfica 6. Placa compresor de refrigerante.**



Fuente: Imagen tomada de la base de datos de imágenes del La planta de Gas del campo la punta.

## Gráfica 7 Unidades y parámetros generales de simulación del compresor de refrigerante.

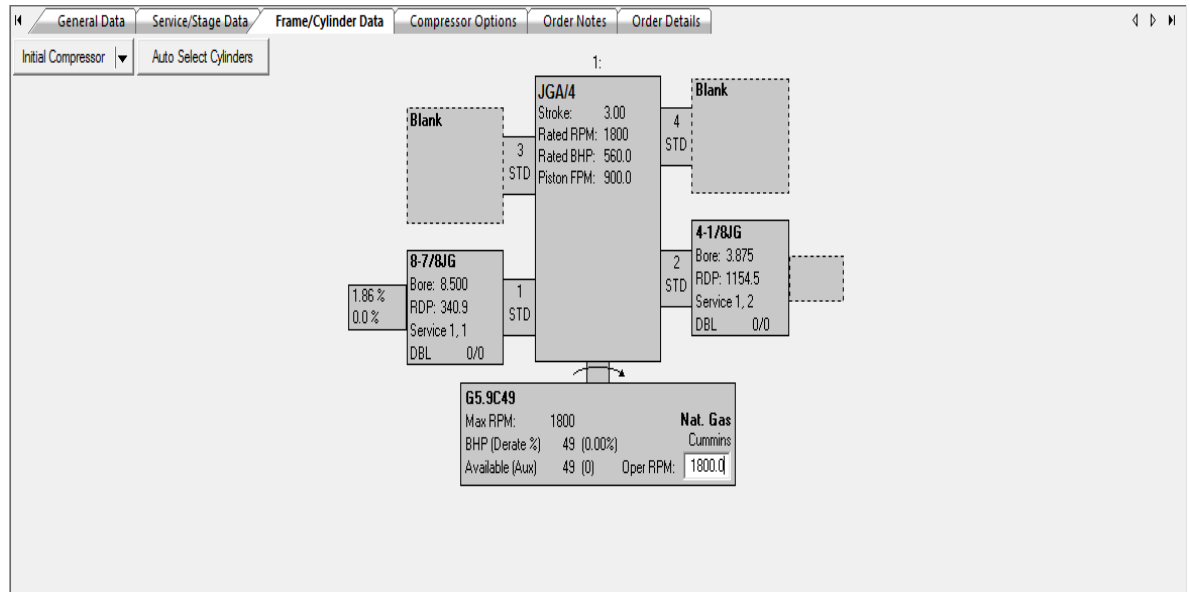
Performance Calculations from this program are Expected.  
Performance will be guaranteed in accordance with Packager Standards.

Contact	Email	Phone	Company	Address
Application Engineer	<			
Project Engineer	<			
<b>PACKAGER</b>				
Application Engineer	<			
Project Engineer	<			
<b>PROVIDER</b>				
Torsional				
Acoustical				

General Notes: Print

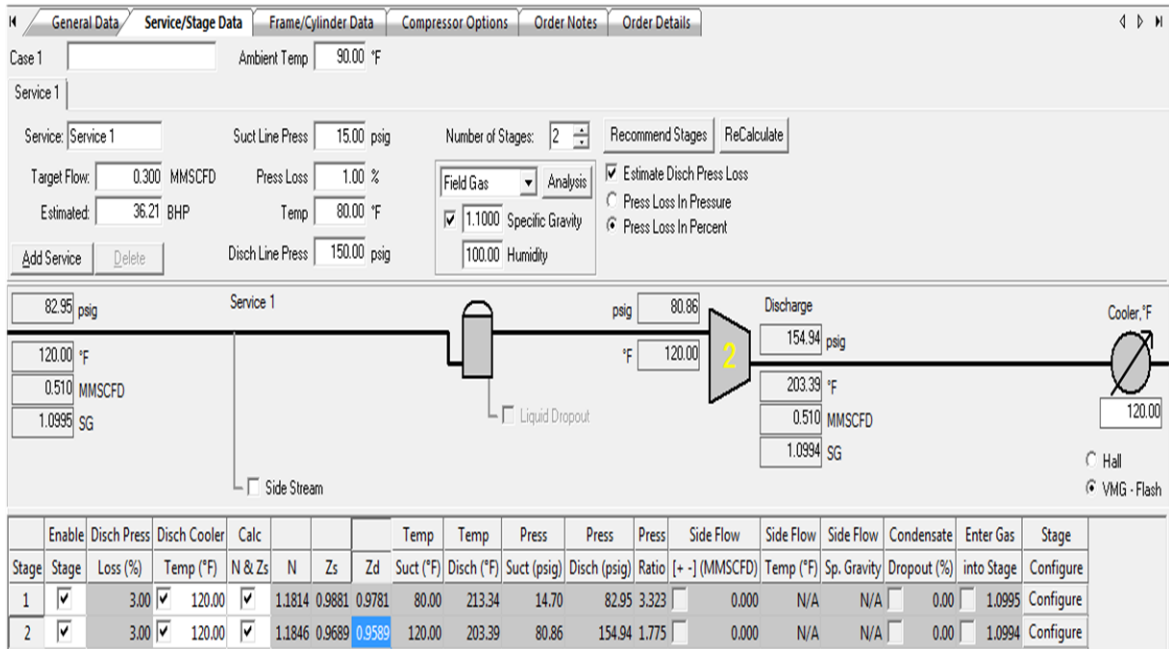
Fuente: Software/ Ariel

## Gráfica 8. Configuración del compresor.



Fuente: Software/ Ariel

## Gráfica 9. Condiciones operacionales del compresor.



Fuente: Software/ Ariel

El compresor demanda aproximadamente 38 HP del equipo bajo su actual condición de operación.

El *frame* del compresor cuenta con la capacidad suficiente para comprimir la masa de gas requerida del sistema, pero debido a que es un sistema dual donde la mitad del compresor trabaja con gas proceso lo mejor sería dejar el equipo con la carga mínima de gas proceso para permitir que la mayor parte de la potencia requerida se usada en el refrigerante.

#### 4.7 ANÁLISIS DEL CONDENSADOR.

El condensador es un aro enfriador el cual enfría la corriente de propano refrigerante a través del intercambio de la corriente de este con una corriente de aire la cual se encuentra aproximadamente a la temperatura ambiente del lugar donde se encuentra operando el equipo. La capacidad de enfriamiento según el fabricante es de: 655 000 BTU/hr.

Observando la temperatura de entrada y salida de este equipo clave en el proceso de enfriamiento se observa que este realiza el trabajo de una manera eficiente en cuanto al ajuste de temperatura que realiza se refiere.

**Gráfica 10. Condensador de refrigerante.**



Fuente: Imagen tomada de la base de datos de imágenes del La planta de Gas del campo la punta.

#### 4.8 ANÁLISIS DE LA VÁLVULA DE EXPANSIÓN.

La válvula de expansión es una válvula de 2 pulgadas del fabricante FISHER, esta es controlada neumáticamente a través de un controlador PID.

Observando sus parámetros operacionales esta presenta un funcionamiento dentro de los parámetros normales ya que se realiza la caída de presión deseada.

#### Gráfica 11. Válvula de expansión.



Fuente: Imagen tomada de la base de datos de imágenes del La planta de Gas del campo la punta.

Esta válvula cuenta con el aislamiento térmico requerido, ya que en dicho punto se presentan bajas temperaturas por la expansión del refrigerante, al mismo tiempo cuenta con reportes de inspección que garantizan su integridad.

**Tabla 3. Información de la Válvula de expansión**

VÁLVULA DE EXPANSIÓN CHILLER	
ACTUATOR	
SERIAL	8032161
ACTUATOR	OPENS
MAX ALLOW SUPPLY	110
BENCH SET	6
TYPE	667
SIZE	30
PORT WHEN POWERED	
TRAVEL	3/4
TO	15
BODY	
SERIAL	
TYPE	EZ
SIZE	1
MATERIAL BODY	STL
SEAT	SST
STEM/PLUG	SST 1/2 M-FORM TRTM
RATING	600
TAG	LV-205
DATE REMANUFACTURED	2--99
REFERTO S/N	63853 <sup>a</sup>

Fuente: Tomada del archivo correspondiente al equipo de la planta de gas del campo La punta.

#### **4.9 ANÁLISIS DEL ACUMULADOR DE PROPANO.**

El acumulador de propano refrigerante el cual se encuentra justo antes de que se dé la expansión en la válvula de expansión cuenta con un diámetro de 48 “y 2 m metros de altura este equipo.

**Gráfica 12. Acumulador de propano.**



Fuente: Imagen tomada de la base de datos de imágenes del La planta de Gas del campo la punta.

#### **4.10 ANÁLISIS DEL CHILLER.**

Consiste en un intercambiador tipo *Ketler*, con dos pasos por tubos, el equipo cuenta con un diámetro de 23 pulgadas para albergar el propano refrigerante en fase líquida el cual transfiere enfriamiento al Gas proceso.

**Gráfica 13. Chiller (Intercambiador).**



Fuente: Imagen tomada de la base de datos de imágenes del La planta de Gas del campo la punta.

**Tabla 4. Información de la placa del intercambiador**

<b>PLACA CHILLER</b>	
<b>NATIONAL BOARD</b>	N°391
<b>EFF TUBE SURFACE</b>	SQ.FT:172
<b>ITEM</b>	E-2
<b>SERIAL</b>	E-106
<b>SIZE</b>	10/23-192
<b>TYPE</b>	BKU
<b>DATE</b>	1981
<b>W.T</b>	3,500 LBS
<b>P.O</b>	8139-CF-1302
<b>DIV</b>	1
<b>WS-RT3</b>	
<b>SHELL SIDE /MAX DESIGN PRESS</b>	250/50
<b>TUBE SIDE</b>	600 P.S.I
<b>HIDRO TEST PRESS</b>	375
<b>TUBE SIDE</b>	900 P.S.I
<b>DESIGN TEMPERATURE</b>	*-20/-50
<b>TUBE SIDE</b>	150°F
<b>SHELL DESIGN /UCS-66C</b>	

Fuente: Tomada de la placa del equipo con nomenclatura E2 de la planta de gas del campo La punta.

Para la verificación de este equipo, se realiza una inspección mecánica que permita identificar si por su tiempo de en operación este presenta tubos condenados, que reduzcan su eficiencia.

Al mismo tiempo se inspecciona que su aislamiento térmico se encuentre en óptimo estado, esto con el fin de asegurar de que no existan perdidas al intercambio de energía con el ambiente.

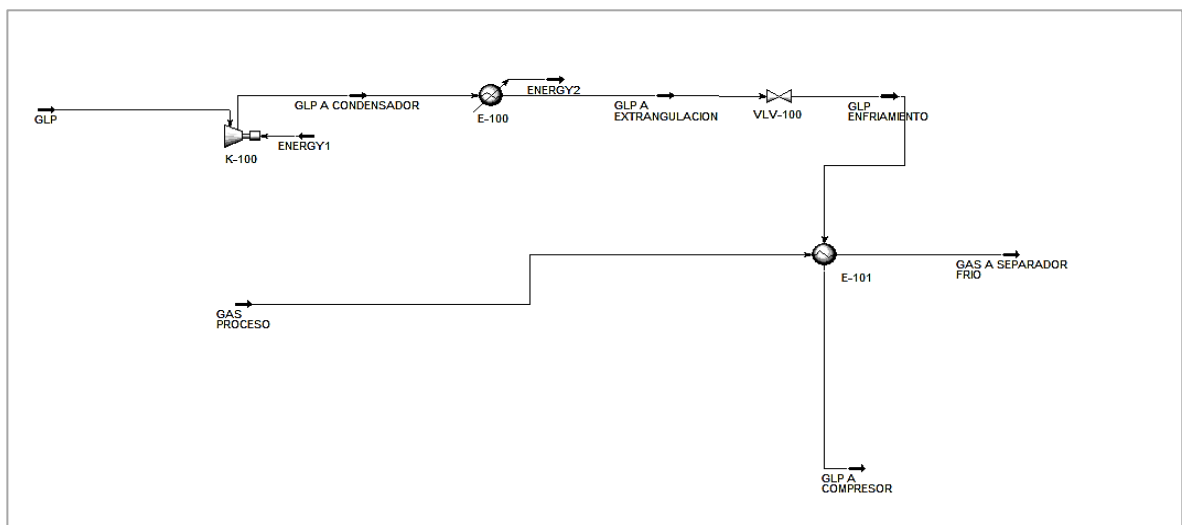
El equipo cuenta con una Duty de 450 000 BTU /H bajo las condiciones de operaciones según datos del fabricante.

#### 4.11 SIMULACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL

Para simular el sistema actual se procede a armar el proceso el software ASPEN HYSIS, utilizando como gas refrigerante (Anexo 1) y gas proceso (Anexo2) las cromatografías tomadas en proceso.

Este cuenta con dos corrientes principales, las cuales son el GLP (gas refrigerante) y el Gas proceso, luego se cargan los equipos principales tales como el compresor de refrigerante, condensador, válvula de expiación, acumulador, intercambiador y separador frio.

**Gráfica 14 Diagrama general del sistema de refrigeración.**



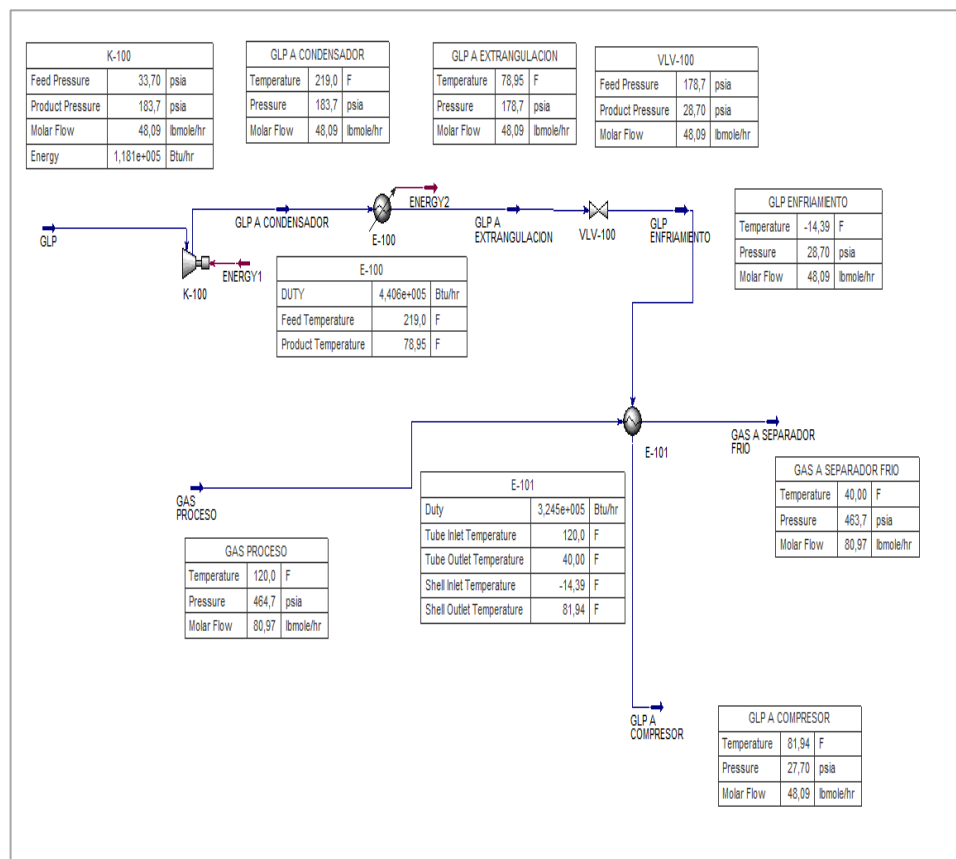
Fuente: Captura de la pantalla de simulación del software Aspen Hysys V8.6.

Una vez listo el proceso se procede a realizar diferentes corridas teniendo en cuenta que con los parámetros de operación no se llegaba a la temperatura deseada del gas proceso a 40 F.

Ajustando variables como la masa de refrigerante, la temperatura de entrada del gas proceso y otros, Se busca ajustar el proceso a las condiciones requeridas de las diferentes corrientes.

En la primera simulación se realizara con los parámetros operacionales actuales de operación.

**Gráfica 15 Diagrama de simulación Hysys del sistema completo.**



Fuente: Captura de la pantalla de simulación del software Aspen Hysys V8.6.

Después de realizar las diferentes corridas, estas nos permiten identificar que la masa de gas refrigerante no es suficiente para enfriar el Gas Proceso que ingresa, por lo cual se ajustó la temperatura de salida requerida en el gas proceso, para conocer la masa necesaria para realizar dicho enfriamiento.

Una vez realizado los ajuste se identifican las capacidades que demandan los equipos para poder realizar el enfriamiento del gas proceso, se procede a verificar que los equipos actuales estén dentro del orden o si es necesario proponer su remplazo por uno que cuente con las capacidades.

Después de la revisión se evidencian que los equipos actuales cuentan con las capacidades requeridas y que realizando algunos pequeños cambios y ajustes operacionales se logra el enfriamiento deseado, dichos cambios consisten en:

- ✓ Reducir la temperatura de gas proceso antes de ingresar al sistema de refrigeración (Aeroenfriador).
- ✓ Realizar los mantenimientos requeridos para incrementar la potencia del motor del compresor de refrigerante para manejar la masa de gas refrigerante requerida.
- ✓ Cambiar el acumulador de gas refrigerante ya que es muy pequeño para la masa que se requiere y es una ventaja contar con un buen acumulador el cual permita contar con suficiente refrigerante líquido.

Lo anterior permitiría manejar las cantidades de gases que están entrando al proceso y darle la temperatura adecuada para licuar la mayor cantidad de gas que valla al sistema de refrigeración.

Teniendo en cuenta la simulación se requieren equipos con las siguientes capacidades:

- ✓ Compresor de refrigerante: **53 Hp**
- ✓ Condensador: **500.000 BTU/h**
- ✓ Intercambiador: **350.000 BTU/h**
- ✓ Masa requerida: **2500 Lb/h**

Los datos anteriores se tomaron de la simulación realizada al sistema.

## **5. SELECCIÓN DE LA UNIDAD DE ENFRIAMIENTO**

Para la selección de la unidad de enfriamiento analizaremos la posibilidad de los diferentes tipos de enfriamientos usados.

### **5.1 EFECTO JT.**

Llevando a cabo un análisis sobre este sistema de enfriamiento es importante destacar que se requiere que el gas cuente con una presión elevada que permita realizar la expansión y al mismo tiempo permita dejar el gas a la presión óptima para el licuado de propanos y butanos.

En el análisis de estado actual el gas es llevado a la presión de licuado mediante compresores de gas proceso los cuales no presentan la capacidad de poder llevar el gas a las presiones requeridas para alcanzar la para aplicar JT.

Al mismo tiempo sus sistemas de refrigeración o Aero enfriadores no cuentan con la capacidad para entregar el gas en condiciones de temperatura que le permitan al efecto JT alcanzar las temperaturas de licuado a la presión de licuado algo que es muy importante ya que si no se logra el sistema sería ineficiente, todo esto se concluye al observar los promedios de temperatura de descarga de los compresores en la data adquirida de los parámetros de operación.

Lo anterior permite concluir que este sistema de refrigeración no sería fácil de implementar en este proceso y demandaría costos considerables en base a la inversión requerida.

## **5.2 REFRIGERACIÓN MECÁNICA (PROPANO REFRIGERANTE).**

La refrigeración mecánica es uno de los sistemas de enfriamiento más comunes en este tipo de aplicaciones de recuperación de condensados en el gas.

En este caso en particular se presenta las siguientes ventajas:

- ✓ Se dispone de un sistema ya instalado de refrigeración mecánica.
- ✓ Se produce en el lugar suficiente refrigerante.
- ✓ Se cuenta con una capacidad adicional de energía eléctrica de muy buen costo ya que es generada por la misma planta.

De acuerdo a lo anterior y a las simulaciones realizadas el sistema de refrigeración mecánica con propano refrigerante, es la mejor opción con la que se cuenta en este proceso ya que llevarla a condiciones óptimas requiere un grado inferior de inversión, considerando que con las otras tecnologías debería partir de cero.

## 6. CONCLUSIONES

1. La aplicación de la metodología permitió identificar las falencias del sistema y definir una hoja de ruta que permitan la optimización del sistema.
2. El sistema de enfriamiento no requiere un cambio 100%, se pueden obtener mejoras considerables con la adicción de equipos y ajustes en los parámetros operacionales.
3. El sistemas no funciona correctamente debido a: La masa de refrigerante requerida para enfriar el gas no es la suficiente y debe aumentarse dicha masa, lo que exige una demanda de capacidad de los equipos que componen el sistema de enfriamiento.
4. El gas proceso presenta una temperatura de 120 F bastante elevada lo cual demanda mayor masa de refrigerante para el enfriamiento y mayor capacidad en lo equipos que lo conforman.
5. Se determina que los equipos actuales cuentan con capacidad de procesar el gas actualmente producido por el campo, basados en la información que brindan sus fabricantes.

## 7. RECOMENDACIONES

1. Deberían realizarse pruebas con propano refrigerante de alta pureza teniendo en cuenta las simulaciones y así ganar eficiencia.
2. Bajar la temperatura del gas proceso al sistema de enfriamiento, a través de la instalación de un Aero enfriador ya que conociendo la disponibilidad de energía eléctrica y área sería de gran ayuda dentro del proceso y el impacto financiero-operativo no sería considerable.
3. Realizar el mantenimiento del compresor de refrigerante para poder disponer de su máxima potencia, al mismo tiempo separar el Aero enfriador del motor para que la potencia del motor se centre en el compresor e instalar un motor eléctrico.
4. Realizar mantenimiento a los Aero enfriadores actuales, para descartar taponamientos.

## BIBLIOGRAFÍA

ARNOLD, K., STEWAR, M., Design of Oil Handling Systems and Facilities, Surface Productions volume 2, 2 Edition, Gulf Publishing, Houston, Texas, 1999.

CAMPBELL, J., Technical Assistance Service for the Design, Operation and Maintenance of Gas Plants, John Campbell and Company, 2003.

GPSA Engineering Data Book, 12 Editions, Gas Processors Suppliers Association, Tulsa, Oklahoma, 2004.

ICONTEC. Trabajos escritos: presentación y referencias bibliográficas. Bogotá: ICONTEC, 2008. p. 1-36, p. 1-33, p. 1-23

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Sistema de gestión de la calidad fundamentos y vocabulario. NTC-ISO 9001. Bogotá D.C.: El Instituto, 2005. 36 p.

# ANEXOS

## ANEXO A. Cromatografía Gas refrigerante



### CORE LABORATORIES

COMPANY: PEGASUS BLENDING

#### Compositional Analysis of LA PUNTA to C12+

Sampling Date	7-mar-2014 17:00
Sampling Location	LA PUNTA
Cylinder Number	8378
Sample Description	GLP-PRODUCCION PLANTA GAS
Sampling Conditions	170 psig @ 88°F

Component	Mole %	Weight %
CO <sub>2</sub> Carbon Dioxide	0,16	0,15
N <sub>2</sub> Nitrogen	0,00	0,00
C <sub>1</sub> Methane	0,00	0,00
C <sub>2</sub> Ethane	19,79	13,00
C <sub>3</sub> Propane	51,79	49,91
iC <sub>4</sub> i-Butane	13,58	17,25
nC <sub>4</sub> n-Butane	11,85	15,07
iC <sub>5</sub> i-Pentane	1,61	2,54
nC <sub>5</sub> n-Pentane	0,83	1,31
C <sub>6</sub> Hexanes	0,29	0,53
C <sub>7</sub> Heptanes	0,09	0,21
C <sub>8</sub> Octanes	0,01	0,03
C <sub>9</sub> Nonanes	0,00	0,00
C <sub>10</sub> Decanes	0,00	0,00
C <sub>11</sub> Undecanes	0,00	0,00
C <sub>12</sub> + Dodecanes plus	0,00	0,00
Totals :	100,00	100,00

Note: 0.00 means less than 0.005.

Calculated Residue Properties	Mole Weight (g mol <sup>-1</sup> )	Density (g cm <sup>-3</sup> at 60°F)
C <sub>7</sub> + Heptanes plus	90,4	0,7472
C <sub>10</sub> + Decanes plus	-	-
C <sub>12</sub> + Dodecanes plus	-	-

Calculated Whole Gas Properties		
Gas Gravity	1,5797	(Air=1 @ 14.73 psia & 60°F)
Whole Sample Mole Weight	45.75	g mol <sup>-1</sup>
Ideal Gas Density	1,9252	kg m <sup>-3</sup> @ 14.65psia, 60°F
Ideal Gross Calorific Value	2590,4	BTU.ft <sup>-3</sup> @ 14.65psia, 60°F
Ideal Net Calorific Value	2384,3	BTU.ft <sup>-3</sup> @ 14.65psia, 60°F
Pseudo Critical Press.	610.6	psia
Pseudo Critical Temp.	668.7	Rankine
Gas Compressibility Factor, Z	0,980239	@ 14.65 psia & 60°F
GPM (C2+)	28,63	
GPM (C3+)	23,37	

Additional Information		
Real Gross Calorific Value	2642,7	BTU.ft <sup>-3</sup> @ 14.65psia, 60°F
Real Net Calorific Value	2432,4	BTU.ft <sup>-3</sup> @ 14.65psia, 60°F



Cra 20 Nro. 168-52/56, Bogotá D.C., Colombia  
 Teléfono PBX (57-1) 674 04 00  
 Celular (03-310) 264 09 01, Fax: (57-1) 673 00 60  
 Website: www.corelab.com



## ANEXO B. cromatografías Gas proceso

la)



### CORE LABORATORIES

COMPANY: PEGASUSBLENDING

#### Compositional Analysis of COMPRESOR WAUKESHA to C12+

Sampling Date	8-Feb-2014 11:00
Sampling Location	LA PUNTA
Cylinder Number	8370
Sample Description	MUESTRA DE GAS DESCARGA COMPRESOR
Sampling Conditions	220.0 psig @ 107.0°F

Component	Mole %	Weight %
CO <sub>2</sub> Carbon Dioxide	4.49	5.33
N <sub>2</sub> Nitrogen	2.39	1.80
C <sub>1</sub> Methane	16.86	7.30
C <sub>2</sub> Ethane	29.56	24.00
C <sub>3</sub> Propane	32.42	38.62
iC <sub>4</sub> i-Butane	6.38	10.01
nC <sub>4</sub> n-Butane	6.47	10.16
iC <sub>5</sub> i-Pentane	0.93	1.80
nC <sub>5</sub> n-Pentane	0.42	0.82
C <sub>6</sub> Hexanes	0.07	0.14
C <sub>7</sub> Heptanes	0.01	0.02
C <sub>8</sub> Octanes	0.00	0.00
C <sub>9</sub> Nonanes	0.00	0.00
C <sub>10</sub> Decanes	0.00	0.00
C <sub>11</sub> Undecanes	0.00	0.00
C <sub>12+</sub> Dodecanes plus	0.00	0.00
<b>Totals :</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

Note: 0.00 means less than 0.005.

Calculated Residue Properties	Mole Weight (g mol <sup>-1</sup> )	Density (g cm <sup>-3</sup> at 60°F)
C <sub>7+</sub> Heptanes plus	86.6	0.7538
C <sub>10+</sub> Decanes plus	-	-
C <sub>12+</sub> Dodecanes plus	-	-

Calculated Whole Gas Properties		
Gas Gravity	1.2792	(Air=1 @ 14.73 psia & 60°F)
Whole Sample Mole Weight	37.05	g mol <sup>-1</sup>
Ideal Gas Density	1.5590	kg m <sup>-3</sup> @ 14.65psia, 60°F
Ideal Gross Calorific Value	1979.4	BTU.ft <sup>-3</sup> @ 14.65psia, 60°F
Ideal Net Calorific Value	1816.4	BTU.ft <sup>-3</sup> @ 14.65psia, 60°F
Pseudo Critical Press.	657.0	psia
Pseudo Critical Temp.	574.4	Rankine
Gas Compressibility Factor, Z	0.988325	@ 14.65 psia & 60°F
GPM (C2+)	21.37	
GPM (C3+)	13.51	

Additional Information		
Real Gross Calorific Value	2002.8	BTU.ft <sup>-3</sup> @ 14.65psia, 60°F
Real Net Calorific Value	1837.9	BTU.ft <sup>-3</sup> @ 14.65psia, 60°F



Cra 20 Nro. 168-52/56, Bogotá D.C., Colombia  
 Teléfono PBX (57-1) 674 04 00  
 Celular (03-310) 264 09 01, Fax : (57-1) 673 00 60  
 Website: www.corelab.com



Colaborador  
 Laboratorio de Análisis de Gases  
 PEGASUSBLENDING S.A.S.  
 Calle 100 No. 100-100  
 Bogotá D.C., Colombia  
 Teléfono: (57-1) 674 04 00  
 Celular: (03-310) 264 09 01  
 Fax: (57-1) 673 00 60  
 Website: www.corelab.com

## ANEXO C. Información del compresor de refrigerante

	<b>ARIEL CORPORATION</b> <b>World Standard Compressors</b>	
	35 Blackjack Road	Mount Vernon, OH 43050

### JG/JGA



	JG		JGA		
Number of Throws	2	4	2	4	6
Rated Power (BHP)	252	504	280	560	840
Rated Power (kW)	188	376	209	418	626
Stroke (in)	3.5		3.0		
Stroke (mm)	89		76		
Maximum RPM	1,500		1,800		
Piston Speed (FPM)	875		900		
Piston Speed (m/s)	4.45		4.57		
Total Rod Load (lbs)	18,000		20,000		
Total Rod Load (N)	80,068		88,964		
Rod Load Tension (lbs)	9,000		10,000		
Rod Load Tension (N)	40,034		44,482		
Rod Load Compression (lbs)	10,000		11,000		
Rod Load Compression (N)	44,482		48,930		
Rod Diameter (in)	1.125				
Rod Diameter (mm)	29				

## ANEXO D. Hojas de características del condensador de refrigerante.

		<b>Final Results</b> Released to the following HTRI Member Company: Microsoft Microsoft			Page 1	
Xact E Ver. 5.00 25/01/2015 10:48 SN: Friendal					<b>US Units</b>	
: Simulation-Horizontal air-cooled heat exchanger forced draft counter-current to crossflow						
Process Data		Airside		Tubeside		
				GAS	Sens. Liquid	
Fluid name			Sens. Gas			
Fluid condition			225,000		5,558	
Total flow rate	(1000-lb/hr)					
Weight fraction vapor, In/Out	(-)	1,000	1,000	0,000	0,000	
Temperature, In/Out	(Deg F)	95,00	107,12	140,00	105,31	
Skin temperature, Min/Max	(Deg F)	100,83	122,74	100,82	123,42	
Wall temperature, Min/Max	(Deg F)	100,83	122,74	100,82	123,42	
Pressure, In/Out	(psia)	14,352	14,301	264,696	264,386	
Pressure drop, Total/Allowed	(inH2O)	1,399	0,000			
Tube pressure drop, Total/Allowed	(psi)			0,310	0,000	
Velocity - Midpoint	(ft/sec)	40,43		1,35		
- In/Out	(ft/sec)			1,48	1,31	
Film coefficient, Bare/Extended	(Btuft <sup>2</sup> -hr-F)	222,86	15,97	285,17		
Mole fraction inert	(-)					
Heat transfer safety factor	(-)		1		1	
Fouling resistance	(ft <sup>2</sup> -hr-F/Btu)		0,0000		0,0000	
<b>Overall Performance Data</b>						
Overall coef, Design/Clean/Actual	(Btuft <sup>2</sup> -hr-F)	8,083 /	8,088 /	8,088		
Heat duty, Calculated/Specified	(MM Btu/hr)	0,6555 /	0,0000			
Effective mean temperature difference	(Deg F)	19,25				
See Runtime Message Report for Warning Messages.						
<b>Unit and Bundle Construction Information</b>						
Bays in parallel/unit	(-)	1	Bundles in parallel/bay	(-)	1	
Extended area/unit	(ft <sup>2</sup> )	4212,77	Bare area/unit	(ft <sup>2</sup> )	301,849	
Extended area/bundle	(ft <sup>2</sup> )	4212,77	Bare area/bundle	(ft <sup>2</sup> )	301,849	
Tube passes/Tube rows	(-)	8 /	4	Number of tubes/bundle	(-)	120
Tube count, Odd rows/Even rows	(-)	30 /	30	Edge seals	(-)	Yes
Bundle width	(ft)	4,065	Fan guard	(-)	No	
Clearance	(inch)	0,3750	Louvers	(-)	No	
Header depth	(inch)	4,0000	Steam coil	(-)	No	
Header Box			Hall screen	(-)	No	
- Plate thickness	(inch)	0,5000	Tube support information			
- Tubesheet thickness	(inch)	0,875	- Number	(-)	2	
Plenum type		Box	- Width	(inch)	1,0000	
Weight/Bundle	(lb)	2818	Orientation (from horiz.)	(deg)	0,00	
Structure weight	(lb)	2673	Tube side volume	(ft <sup>3</sup> )	4,355	
Total weight, Dry / Wet	(lb)	7598 /				
Ladder/walkway weight	(lb)	2109	Cost Factor	(-)	47,1158	
<b>Tube Information</b>						
Straight length	(ft)	13,123	Tube type	(-)	High-finned	
Unfinned length	(inch)	0,0000	Unheated length	(inch)	3,7500	
Layout	(-)	Staggered	Area ratio (fin/bare)	(-)	13,9585	
Transverse pitch	(inch)	1,5748	Fins per unit length	(fin/inch)	10,0	
Longitudinal pitch	(inch)	1,3636	Fin root diameter	(inch)	0,7500	
Tube form	(-)	Straight	Fin height	(inch)	0,4124	
Outside diameter	(inch)	0,7500	Fin thickness at base	(inch)	0,0157	
Inside diameter	(inch)	0,6200	Fin thickness at tip	(inch)	0,0157	
Area ratio (out/in)	(-)	16,8829	Fin type	(-)	Plain round	
Over fin diameter	(inch)	1,5748	Fin efficiency	(%)	85,8	
Tube material		Carbon steel	Internal tube type		None	
Fin material		Aluminum 1060 - H14				