



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE**  
**NÚCLEO MONAGAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO**  
**MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA**

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE DESPRESURIZACIÓN DE  
LAS PLANTAS COMPRESORAS DEL COMPLEJO JUSEPÍN,  
DISTRITO NORTE, PDVSA ESTADO MONAGAS.**

**REALIZADO POR:**  
**GONZALEZ VELASQUEZ JHETTSO OTELIO**  
**C.I-16.818.106**

**Trabajo de Grado Presentado como Requisito para Optar al Título de  
Ingeniero de Petróleo**

**Maturín, Marzo de 2009**



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO MONAGAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO  
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA**

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE DESPRESURIZACIÓN DE  
LAS PLANTAS COMPRESORAS DEL COMPLEJO JUSEPÍN,  
DISTRITO NORTE, PDVSA ESTADO MONAGAS.**

**GONZÁLEZ VELÁSQUEZ JHETTSON OTILIO**

**C.I-16.818.106**

**REVISADO POR:**

---

**Ing. Valladares Javier**  
**Asesor Industrial**

---

**Ing. Flores Miguel**  
**Asesor Académico**

**Maturín, Marzo de 2009**



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO MONAGAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO  
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA**

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE DESPRESURIZACIÓN DE  
LAS PLANTAS COMPRESORAS DEL COMPLEJO JUSEPÍN,  
DISTRITO NORTE, PDVSA ESTADO MONAGAS.**

**GONZÁLEZ VELÁSQUEZ JHETTSO OTELIO**

**C.I: 16.818.106**

**APROBADO POR:**

---

**Dr. Pino Fernando  
Jurado Principal**

---

**Ing. De La Cruz Carlos  
Jurado Principal**

---

**Ing. Flores Miguel  
Asesor Académico**

**Maturín, Marzo de 2009**

## RESOLUCIÓN

DE ACUERDO AL ARTÍCULO 41 DEL REGLAMENTO DE TRABAJO DE GRADO: **“LOS TRABAJOS DE GRADO SON EXCLUSIVA PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD, Y SOLO PODRÁN SER UTILIZADOS PARA OTROS FINES CON EL CONSENTIMIENTO DEL CONSEJO DE NÚCLEO RESPECTIVO, QUIÉN LO PARTICIPARA AL CONSEJO UNIVERSITARIO”.**



## INDICE

<b>RESOLUCIÓN</b> .....	<b>iv</b>
<b>INDICE</b> .....	<b>v</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>viii</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>ix</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>x</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>2</b>
<b>EL PROBLEMA</b> .....	<b>2</b>
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.2.1 Objetivo General .....	3
1.2.2 Objetivos Específicos .....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	4
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>5</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>5</b>
2.1 ANTECEDENTES.....	5
2.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA .....	5
2.2.1 Generalidades del Complejo Jusepin.....	5
2.3 BASES TEÓRICAS .....	6
2.3.1 Generalidades del Gas Natural .....	6
2.3.1.1 Hidratos de Gas.....	6
2.3.2 Sistema de Despresurización .....	7
2.3.3 Sistemas de Compresión de Gas Natural.....	8
2.3.4 Procesos de Compresión más Comunes .....	8
2.3.5 Flujo de Fluidos Compresibles en Tuberías .....	9
2.3.5.1 Flujo Limite de Gases y Vapores.....	10
2.3.6 Flujo de Fluidos Compresibles en Válvulas y Accesorios .....	10
2.3.6.1 Orificios de Restricción .....	11
2.3.6.2 Clasificación del Flujo de Acuerdo a su Comportamiento .....	12
2.3.6.3 Regímenes de Flujos.....	12
2.3.7 Correlaciones de Flujo Multifásico en Tuberías Verticales y Horizontales .....	13
2.3.8 Términos Básicos .....	14
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>17</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>17</b>
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	17
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	17
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA .....	18
3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO .....	18

3.4.1 Descripción de las Condiciones Operacionales y Caracterización del Fluido de Entrada al Proceso de Compresión: .....	18
3.4.2 Definición de los Diferentes Escenarios de Despresurización .....	21
3.4.2.1 Paro no Programado de la Planta de Extracción Jusepín.....	21
3.4.2.2 Falla Eléctrica General.....	22
3.4.2.3 Cero Transferencia Hacia Muscar: .....	23
3.4.3 Estimación del Caudal de Gas a Despresurizar en Función de los Volúmenes de Gas Entrampados en las Plantas Compresoras Existentes y las Nuevas a Instalar. ....	24
3.4.3.1 Cálculo del Volumen de Gas Entrampado Para las Diferentes Etapas de Presión .....	25
3.4.3.2 Cálculo del Caudal de Gas a Despresurizar:.....	26
3.4.4 Simulación del Proceso de Despresurización del Gas.....	28
3.5 INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS EN LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	29
3.6 RECURSOS .....	30
Recursos Humanos .....	30
Recursos Financieros.....	30
Recursos Bibliográficos y Electrónicos.....	30
3.6.1 Descripción de las Herramientas Virtuales .....	30
Recursos Materiales.....	31
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>32</b>
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>32</b>
4.1 DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES OPERACIONALES Y LA CARACTERIZACIÓN DEL FLUIDO DE ENTRADA AL PROCESO DE COMPRESIÓN .....	32
4.1.1 Sistema Actual de Compresión de Gas .....	32
4.1.1.1 Sistema de Compresión de Planta Compresora Jusepín 1 .....	33
4.1.1.2 Sistema de Compresión de Planta Compresora Jusepín 2: .....	33
4.1.1.3 Sistema de Compresión de las Mini-Plantas Compresoras Jusepín 3/4/5.....	35
4.1.1.4 Sistema de Compresión de Planta Compresora Jusepín 6 (PCJ-6).....	36
4.1.1.5 Sistema de Compresión de Planta Compresora Jusepín 10 (PCJ-10).....	37
4.1.2 Sistema de Compresión de Gas a Ser Instalado .....	37
4.1.2.1 Planta Compresora Jusepín 1 (PCJ-1) .....	38
4.1.2.2 Planta Compresora Jusepín 11 (PCJ-11) .....	38
4.1.2.3 Planta Compresora Jusepín 12 (PCJ-12) .....	39
4.1.2.4 Planta Compresora Jusepín 13 (PCJ-13) .....	40
4.1.3 Descripción del Sistema de Despresurización Actual .....	40
4.1.3.1 Planta Compresora Jusepín 2 (PCJ-2) .....	41
4.1.3.2 Mini-Plantas Compresoras Jusepín 3,4 y 5.....	42
4.1.3.3 Planta Compresora Jusepín 6 (PCJ-6) .....	43

4.1.3.4	Planta Compresora Jusepín 10 (PCJ-10) .....	44
4.1.3.5	Despojador de Líquido o K.O.D (11-V-01).....	45
4.1.3.6	Mechero (M-03).....	46
4.1.4	Descripción del sistema de despresurización a instalar:.....	46
4.1.4.1	Planta Compresora Jusepín 1 (PCJ-1) .....	46
4.1.4.2	Planta Compresora Jusepín 11 (PCJ-11) .....	47
4.1.4.3	Planta Compresora Jusepín 12 y 13 (PCJ-12 y 13) .....	47
4.2	DEFINICIÓN DE LOS DIFERENTES ESCENARIOS DE DESPRESURIZACIÓN .....	47
4.2.1	Selección de Contingencia: .....	50
4.3	ESTIMACIÓN DEL CAUDAL DE GAS A DESPRESURIZAR EN FUNCIÓN DE LOS VOLÚMENES DE GAS ENTRAMPADOS EN LAS PLANTAS COMPRESORAS EXISTENTES Y LAS NUEVAS A INSTALAR.....	51
4.4	SIMULACIÓN DEL PROCESO DE COMPRESIÓN DEL GAS .....	54
4.4.1	Premisas Generales.....	54
4.4.2	Programa de Simulación Aplicado .....	56
4.4.3	Modelo Termodinámico Aplicado .....	56
4.4.4	Condiciones de Entrada en las Simulaciones .....	57
4.4.4.1	Condiciones de Entrada en las Simulaciones de los Sistemas de Compresión .....	57
4.4.4.3	Condiciones de Entrada en las Simulaciones del Sistema de Venteo .....	57
4.4.5	Resultados de la simulación de procesos.....	57
4.4.5.1	Simulación de los Sistemas de Compresión .....	57
4.4.5.2	Condiciones de las Corrientes de Venteo. ....	58
4.4.5.3	Formación de Hidratos. ....	59
4.4.5.4	Caudal de Gas a Ventear.....	62
4.4.5.5	Peso Molecular del Gas a Ventear.....	63
4.4.5.6	Poder Calorífico del Gas a Ventear .....	64
4.4.5.7	Cantidad de Líquido Generado en la Despresurización.....	65
	<b>CAPITULO V.....</b>	<b>68</b>
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>68</b>
5.1	CONCLUSIONES .....	68
5.2	RECOMENDACIONES .....	69
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>70</b>
	<b>APENDICES.....</b>	<b>72</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Tipos de orificios de restricción. ....	11
Figura 4.1 Curva de Formación de Hidratos MPCJ-3. ....	60
Figura 4.2 Curva de Formación de Hidratos PCJ6. ....	60
Figura 4.3 Flujo de Gas a Despresurizar. ....	62
Figura 4.4 Peso Molecular del Gas en las Interetapas ....	63
Figura 4.5 Poder Calorífico del Gas a Ventear. ....	65



## LISTA DE TABLAS

Tabla N° 2.1. Correlaciones de Flujo Multifásico en Tuberías .....	14
Tabla N° 3.1 Cromatografía en Base Húmeda de las Succiones de los Sistemas de Compresión Actuales del Complejo Jusepín.....	19
Tabla N° 3.2 Cromatografía en Base Húmeda de las Succiones de los Sistemas de Compresión a Ser Instalados en el Complejo Jusepín. ....	20
Tabla N° 4.1. Capacidad de la Planta Compresora Jusepín 1 .....	33
Tabla N° 4.2 Capacidad de la Planta Compresora Jusepín 2. ....	35
Tabla N° 4.3 Capacidad de las Mini-plantas Compresoras.....	36
Tabla N° 4.4 Capacidad de la Planta Compresora Jusepín 6 (PCJ-6).....	36
Tabla N° 4.5 Capacidad de la Planta Compresora Jusepín 10 (PCJ-10).....	37
Tabla N° 4.6 Capacidad de la Planta Compresora Jusepín 1 (PCJ-1).....	38
Tabla N° 4.7 Capacidad de la Planta Compresora Jusepín 11 (PCJ-11).....	39
Tabla N° 4.8 Capacidad de la Planta Compresora Jusepín 12. ....	39
Tabla N° 4.9 Capacidad de la Planta Compresora Jusepín 13. ....	40
Tabla N° 4.10 Escenario #1 .....	48
Tabla N° 4.11 Escenario #2 (Situación a Futuro) .....	49
Tabla N° 4.12 Escenario #3 .....	50
Tabla N° 4.13 Volumen de Gas atrapado en función de las diferentes etapas de presión existentes en MPCJ-5. ....	52
Tabla N° 4.14 Caudal de Gas a Despresurizar para el nivel de 1300 Lpca.....	53
Tabla N° 4.15 Corrientes de Alimentación al K.O.D, M-03 y Condensados generados a partir del Volumen Empacado a 600 Lpca. ....	58
Tabla N° 4.16 Formación de Hidratos en la Despresurización del Gas a 1300 Lpca. 61	



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO MONAGAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO  
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA**

**RESUMEN**

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE DESPRESURIZACIÓN DE  
LAS PLANTAS COMPRESORAS DEL COMPLEJO JUSEPÍN,  
DISTRITO NORTE, PDVSA ESTADO MONAGAS.**

**Autor:**

Jhettson Otilio González Velásquez  
Marzo 2009

**Asesor Académico**

Ing. Miguel Flores

**Asesor Industrial**

Ing. Javier Valladares

El portafolio de oportunidades PDVSA 2005-2024 establece el incremento de la capacidad de compresión del complejo Jusepín; Para ello se estima la incorporación de nuevas plantas compresoras (PCJ-11/12/13), así como también el reemplazo de la PCJ-1 por una planta de mayor capacidad. Producto de este incremento fue necesario evaluar el proceso de despresurización asociado al complejo de compresión Jusepín bajo el nuevo escenario de compresión. En primera instancia se realizó una descripción de las plantas compresoras que conforman el complejo y se caracterizó el fluido de entrada al proceso de compresión, luego se estudiaron los posibles escenarios de despresurización que pueden presentarse, definiéndose la falla eléctrica como escenario crítico. Bajo este escenario se calculó el caudal de gas a despresurizar en función de los volúmenes de gas atrapados en cada planta compresora, luego se procedió a simular el proceso de despresurización para varios niveles de presión, obteniéndose el balance de masa, sobre el cual se analizaron las propiedades del gas resultante, entre ellas, el poder calorífico, peso molecular, caudal, cantidad de líquido; así mismo también se evidenció la posible formación de hidratos en la etapa de 1300 lpc durante la despresurización del sistema.

## INTRODUCCIÓN

Desde sus inicios el proceso de industrialización dentro del modelo económico capitalista trajo consigo una gran demanda energética inminentemente necesaria para su desarrollo. En la actualidad el crecimiento industrial en paralelo con el desarrollo tecnológico han hecho al mundo y sobre todo a los países más industrializados aun más dependientes energéticamente. El consumo de combustible se incrementa cada día más, y esto a su vez es causa del decrecimiento de los yacimientos petrolíferos, los cuales se agotan, haciéndose inminente la necesidad de utilizar otros combustibles como alternativas energéticas.

El gas natural representa hoy en día una de las principales fuentes alternativas de combustible ante las grandes demandas mundiales. Actualmente en nuestro país existen una serie de proyectos a nivel de explotación de yacimientos gasíferos y desarrollo de plantas de procesamiento del mismo, en búsqueda de incrementar la producción nacional. El presente trabajo de grado forma parte de estos proyectos donde se plantea la necesidad de evaluar el proceso de despresurización asociado al Complejo de Compresión Jusepín, debido al incremento en su capacidad de compresión de gas natural, donde se pondrán en funcionamiento nuevas plantas de compresión que permitan manejar los nuevos volúmenes de gas, según establece el portafolio de oportunidades PDVSA 2005-2024.

El diseño apropiado del sistema de despresurización implica un análisis riguroso, tal análisis, no sólo protegerá las instalaciones y unidades de procesamiento sino que también involucra la salud y seguridad del personal de operaciones. Un sistema de “seguridad” no demanda necesariamente grandes cabezales y mechurrios, sino más bien el equipo adecuado en los lugares apropiados.

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los módulos de producción del Complejo Jusepín reciben el crudo proveniente del Campo El Furrial Este, el mismo es distribuido según los niveles de presión, identificados como: baja presión (35 lpca), media presión (120 lpca) y alta presión (500 lpca), para llevar a cabo la separación gas-líquido y posteriormente el crudo ser deshidratado y almacenado para su distribución. El gas producto de esta separación es enviado desde cada nivel de presión, al Sistema de Compresión del Complejo Jusepín para ser comprimido hasta presiones de 1300 Lpca para su uso final, entre ellos, la extracción de líquidos del gas natural (LGN), generación eléctrica, procesos de recuperación secundaria, etc.

Actualmente el sistema de Compresión del Complejo Jusepín, está constituido por las plantas compresoras 1,2 (PCJ-1/2), las mini-plantas 3,4,5 (MPCJ-3/4/5) y las plantas compresoras 6,8,9,10 (PCJ-6/8/9/10).

Como consecuencia del incremento de la producción de crudo en el Campo El Furrial Este, se espera un crecimiento de la producción del gas asociado al mismo. Según el Portafolio de Oportunidades (PDO) PDVSA 2005-2024, el nivel de 120 lpca que actualmente tiene una capacidad de 346 MMPCND se estima un aumento en la volumetría hasta 536 MMPCND, de igual forma para el nivel de 40 lpca se estima un aumento de 25 MMPCND a 37 MMPCND, en cuanto al nivel de 500 lpca se estima que para finales del año 2009 toda la volumetría asociada a este sea transferida al nivel de 120 lpca. En función de este incremento de volumen se incorporaran nuevas plantas compresoras tales como: PCJ-11/12/13, así como también se plantea el

reemplazo de la PCJ-1 actual por una planta de mayor capacidad. Este incremento en los volúmenes a comprimir se traduce en la necesidad de realizar una evaluación de la infraestructura de superficie actual que permita definir si la misma cumple con los criterios de diseño bajo las normas nacionales e internacionales para garantizar la despresurización efectiva de las plantas compresoras del Complejo Jusepín bajo el nuevo escenario de producción, con lo cual no se vea comprometida la seguridad de las instalaciones y del personal asociado a las operaciones.

## **1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.2.1 Objetivo General**

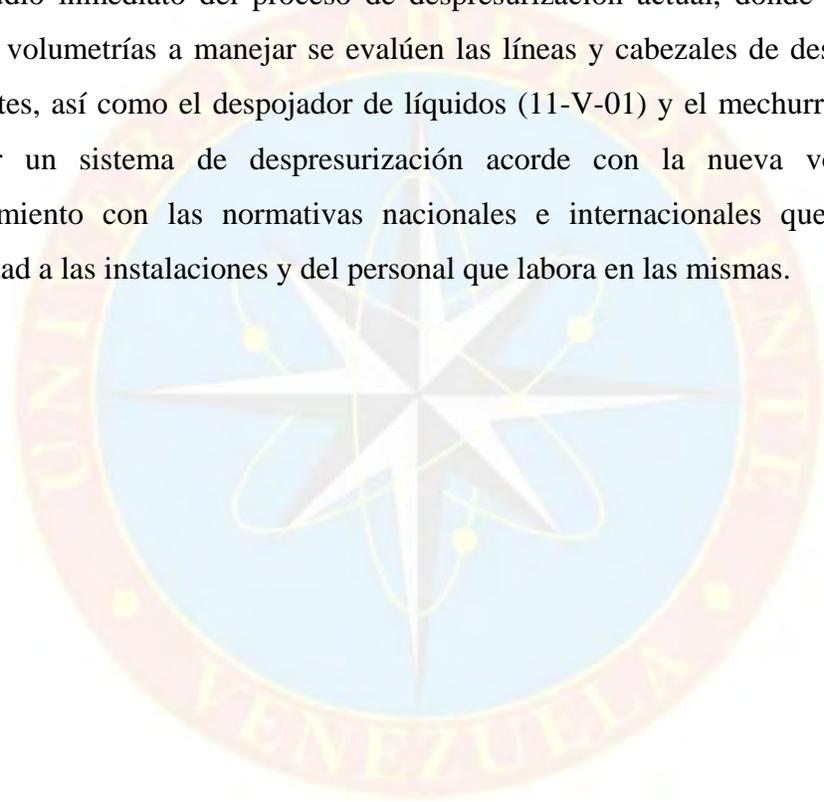
Evaluar el proceso de despresurización de las plantas compresoras del Complejo Jusepín, Distrito Norte, PDVSA, Estado Monagas.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- ✓ Describir las condiciones operacionales y la caracterización del fluido de entrada al proceso de compresión.
- ✓ Definir los diferentes escenarios de despresurización de las plantas compresoras asociadas al Complejo Jusepín.
- ✓ Calcular el caudal de gas a despresurizar en función de los volúmenes de gas atrapados en las plantas compresoras.
- ✓ Simular el proceso de despresurización del gas, utilizando el programa computarizado HYSYS versión 3.2.

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad muchas de las unidades de compresión existentes en el Complejo Jusepín operan a su máxima capacidad. Adicionalmente se espera un crecimiento de la producción de gas según Portafolio de Oportunidades de PDVSA (2005-2024), este incremento en el sistema de compresión indiscutiblemente implica un estudio inmediato del proceso de despresurización actual, donde en base a las nuevas volumetrías a manejar se evalúen las líneas y cabezales de despresurización existentes, así como el despojador de líquidos (11-V-01) y el mechurrio M-03, para obtener un sistema de despresurización acorde con la nueva volumetría, en cumplimiento con las normativas nacionales e internacionales que garantice la seguridad a las instalaciones y del personal que labora en las mismas.



## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES**

Constructora y Consultora INCENTER C.A. (2006) “Aumento de la Capacidad de Compresión Jusepín”. En este proyecto se desarrolló el diseño de las plantas compresoras Jusepín 12 y 13, el cual será tomado como base para el estudio del proceso de despresurización de las plantas compresoras del complejo Jusepín, debido a que estas formaran parte del mismo y su sistema de despresurización estará asociado al mechurrio M-03.

#### **2.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA**

##### **2.2.1 Generalidades del Complejo Jusepin**

El Complejo Jusepín se encuentra ubicado en la carretera nacional La Toscana, Jusepín, aproximadamente a 40 km de la ciudad de Maturín en dirección hacia la zona Oeste, del estado Monagas, a dicha instalación le corresponden las coordenadas UTM de ubicación, Este: 448500 y al Norte: 1076000. La Temperatura ambiente promedio es de 79 °F . y la presión atmosférica varía entre 14,60+/- 0,03 lpca, según documento de solicitud de oferta suministrado por PDVSA.

El clima varía entre sub-humedo y seco con poco o ningún exceso de agua, condiciones que son típicas de las regiones medias. El régimen de precipitación anual es de 1050 mm, la humedad relativa alcanza el 82% y la velocidad promedio del viento es de 10 pie/segundos, predominantemente con dirección Este Nor-este.

## **2.3 BASES TEÓRICAS**

### **2.3.1 Generalidades del Gas Natural**

El gas natural es una mezcla de hidrocarburos ligeros compuesto principalmente de metano, etano, propano, butanos y pentanos. Otros componentes tales como el CO<sub>2</sub>, el Helio, el Sulfuro de Hidrógeno y el Nitrógeno se encuentran también en el gas natural. La composición del gas natural nunca es constante, sin embargo, se puede decir que su componente principal es el metano. El metano es altamente inflamable, se quema fácil casi en su totalidad y emite muy poca contaminación. El gas natural previamente tratado no es ni corrosivo ni tóxico, su temperatura de combustión es elevada y posee un estrecho intervalo de inflamabilidad, lo que hace de él un combustible fósil seguro en comparación con otras fuentes de energía. Además, por su gravedad específica de 0,60, inferior a la del aire (1,00), el gas natural tiene tendencia a elevarse y puede, consecuentemente, desaparecer fácilmente del sitio donde se encuentra a través de cualquier grieta.

El gas natural es incoloro, inodoro, insípido y más ligero que el aire, es considerado como un combustible limpio bajo su forma comercializada. Sus emisiones de Óxidos de Nitrógeno (NO) son menores a las generadas por el petróleo y el Carbón. Las emisiones de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) son inferiores a la de otros combustibles fósiles.

#### **2.3.1.1 Hidratos de Gas**

Los hidratos de gas son un grupo especial de sustancias químicas que ocurren naturalmente, de agua y gases de poco peso molecular, llamados compuestos de inclusión, que tienen una estructura de jaula y que incluyen moléculas de gas metano. La molécula huésped en la estructura es agua, en forma de hielo y la inclusión son el

metano y otros gases como el etano y el dióxido de carbono. Son acumulaciones cristalinas que se asemejan al hielo, sin embargo, se pueden formar a temperaturas sobre el punto de congelación del agua. Generalmente todos los gases (exceptuando el Hidrógeno, Helio y Neón) forman hidratos, sin embargo, los más conocidos y abundantes en la naturaleza son los hidratos de metano.

### **2.3.2 Sistema de Despresurización**

El sistema despresurización de un complejo de compresión está constituido en primera instancia por las válvulas de cierre rápido, que permiten el cierre de la succión y descarga de las plantas compresoras y las válvulas de purga o apertura rápida, que con su apertura permiten la comunicación de todas y cada una de las líneas de transmisión de gas conectadas a las descargas de las diferentes plantas compresoras con el despojador general de líquidos y este a su vez es conectado a través de una línea con el mechurrio.

El despojador general de líquidos además de despojar el volumen de líquido contenido en el gas de alivio de modo de garantizar que el mismo llegue al mechurrio sin la presencia de condensados, cuenta con un sistema de bombas que le permite enviar los condensados atrapados por este hacia el sistema de manejo de condensado del complejo.

El sistema de mechurrio tiene por finalidad quemar el gas que se libera de todas las plantas compresoras como consecuencia de paros imprevistos o programados con la mínima cantidad de humo y sin ruidos a fin de cumplir con los requerimientos ambientales vigentes en la ley.

### 2.3.3 Sistemas de Compresión de Gas Natural

Una vez que se han cubierto las fases para poner en producción el pozo, es decir, que

el pozo se encuentra perforado y completado, se procede a instalar todas las instalaciones de superficie adecuadas para cada caso que se requiera. Entre los equipos de superficie más comunes en la industria petrolera se tienen: líneas de flujo, estaciones de flujo y de descarga, patios de tanques y plantas compresoras de gas. Dichas plantas son de gran utilidad cuando se requiere trasladar cierta cantidad de gas a un sitio de larga distancia garantizando su llegada al lugar de destino.

La función de un compresor es tomar una cantidad definida de fluido (comúnmente gas y/o aire) y conducirlo a una presión requerida superior, es decir, manejar un fluido y entregarlo a una presión mayor que la que tenía originalmente. El aumento de energía del gas se manifiesta por aumento de presión y en la mayoría de los casos por aumento de la temperatura. La compresión del gas natural se puede representar por un proceso termodinámico en donde el gas con una presión  $P_1$  se comprime y posteriormente se descarga a los niveles de presión  $P_2$  superiores requeridos.

### 2.3.4 Procesos de Compresión más Comunes

- a) **Isentrópico:** proceso en el que la entropía del fluido que forma el sistema permanece constante. Proceso adiabático reversible donde no existe transferencia de calor con el entorno.
- b) **Isotérmico:** Es el proceso que se realiza a temperatura constante. Para comprimir el gas se debe eliminar calor con el objeto de mantener constante la

temperatura. El cambio de temperatura es inversamente proporcional al de volumen específico.

- c) **Politrópico:** En realidad todos los procesos de compresión son intermedios entre ambos. El proceso politrópico tiene una expresión generalizada de todos los procesos posibles.

### 2.3.5 Flujo de Fluidos Compresibles en Tuberías

La determinación exacta de la pérdida de presión de un fluido compresible que circula por una tubería requiere un conocimiento de la relación entre presión y volumen específico, los casos extremos considerados normalmente son el flujo adiabático el cual ocurre en tuberías cortas y bien aisladas. Esto es debido a que no se transfiere calor desde o hacia la tubería, excepto la pequeña cantidad de calor que se produce por fricción que se añade al flujo, y el flujo isotérmico o flujo a temperatura constante, se considera que ocurre muy a menudo.

Para obtener el comportamiento del flujo de fluidos compresibles a través de tuberías se puede utilizar la fórmula de Darcy, como lo establece, CRANE, C. (1977). "Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías", sin embargo es necesario destacar que la misma posee limitaciones. Si la pérdida de presión calculada ( $P_2 - P_1$ ), donde  $P_1$  representa la presión de entrada y  $P_2$  la de salida. es menor que el 10% de la presión de entrada  $P_1$ , se obtiene con exactitud si el volumen específico que se introduce en la fórmula se basa en las condiciones de entrada o en las condiciones de salida, cualesquiera que sean conocidas, pero si la caída de presión calculada ( $P_2 - P_1$ ) es mayor que un 10% pero menor que un 40% de la presión de entrada  $P_1$ , la ecuación de Darcy puede aplicarse con precisión utilizando el volumen específico basado en una media de las condiciones de entrada y de salida.

### **2.3.5.1 Flujo Limite de Gases y Vapores**

El caudal de un fluido compresible que pasa por una tubería con una determinada presión en la entrada, se aproxima a un cierto valor máximo que no puede ser superado por más que se reduzca la presión en la salida.

La velocidad máxima de un fluido compresible en una tubería está limitada por la velocidad de propagación de una onda de presión que se mueve a la velocidad del sonido en el fluido. Como la presión decrece y la velocidad se incrementa a medida que el fluido se mueve aguas abajo por una tubería de sección constante, la velocidad máxima aparece en el extremo de salida de la tubería. Si la pérdida de presión es muy alta, la velocidad de salida coincide con la velocidad del sonido.

Esta velocidad aparece en el extremo de salida o en una reducción de sección, cuando la caída de presión es muy alta. La presión, temperatura y el volumen específico son los que existen en el punto en cuestión, cuando existe descarga de fluidos compresibles en el extremo de una tubería corta y de sección uniforme hacia un recinto de mayor sección, se considera que el flujo es adiabático.

### **2.3.6 Flujo de Fluidos Compresibles en Válvulas y Accesorios**

Cuando un fluido se desplaza uniformemente por una tubería recta, larga y de diámetro constante, la configuración del flujo indicada por la distribución de la velocidad sobre el diámetro de la tubería adopta una forma característica. CRANE, C. (1977), "Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías" establece que cualquier obstáculo en la tubería cambia la dirección de la corriente en forma total o parcial, altera la configuración característica de flujo y ocasiona turbulencia, causando una pérdida de energía mayor de la que normalmente se produce en un flujo por una

tubería recta, debido a que las válvulas y accesorios en una línea de tuberías alteran la configuración de flujo y producen una pérdida de presión adicional”.

### 2.3.6.1 Orificios de Restricción

Están constituidos por una placa delgada perforada la cual se instala en la tubería utilizando bridas especiales. Generalmente se construye de acero inoxidable con un espesor que oscila entre 1/8 y 1/2 de pulgada. Otros tipos de materiales tales como Monel, Níquel, Hastelloy se utilizan cuando se necesita prevenir la corrosión o contaminación.

Este tipo de accesorios son utilizados en procesos de despresurización debido a que los mismos al ser colocados dentro de una tubería provocan que el flujo se contraiga de repente conforme se aproxima al orificio y después se expande al diámetro total de la tubería. La corriente que fluye a través del orificio forma una vena contracta y la rápida velocidad del flujo resulta en una disminución de presión aguas abajo del orificio. Algunos tipos de orificios de restricción son los siguientes:



**Figura 2.1 Tipos de orificios de restricción.**

Fuente: Pérez j. Medición de fluidos.

El concéntrico sirve para líquidos, el excéntrico para los gases donde los cambios de presión implican condensación, cuando los fluidos contienen un alto porcentaje de gases disueltos y el segmentado su aplicación está en la manipulación de fluidos barrosos, y su ventaja radica en que no acumula sólidos en el lado aguas arriba del orificio de restricción.

### 2.3.6.2 Clasificación del Flujo de Acuerdo a su Comportamiento

Si un gas se expande a través de un inyector, de un orificio, o del extremo de una tubería, su velocidad y volumen específico aumentan, mientras que su presión varía en sentido descendiente. Para un sistema dado de condiciones aguas arriba del proceso (usando el ejemplo de un inyector), el caudal o la tasa de flujo que atraviesa el inyector aumentará hasta que se alcance una velocidad límite en el líquido que fluye en esa dirección, esta velocidad límite no es más que la velocidad del sonido y el caudal que corresponde a esta velocidad se conoce como caudal crítico.

El cociente entre la presión absoluta en la salida del inyector a velocidad sónica  $P_{cf}$  (Presión de Flujo Crítico) y la presión de entrada del inyector ( $P_1$ ) se denomina cociente de presión crítica.

Las ecuaciones y procedimientos específicos para el cálculo del área de dispositivos de relevación de presión (orificios de restricción), para flujo del vapor o del gas en tuberías van a depender en general de dos categorías. Si el flujo es crítico o subcrítico.

Si la presión aguas abajo del orificio resulta menor o igual a la presión de flujo crítico  $P_{cf}$ , entonces se estaría en presencia de un flujo crítico, pero si en caso contrario la presión en sentido descendiente excediera la presión de flujo crítico  $P_{cf}$ , entonces estaríamos en presencia de un flujo subcrítico.

### 2.3.6.3 Regímenes de Flujos

**Régimen de Flujo Laminar:** Este régimen se caracteriza por el deslizamiento de capas cilíndricas concéntricas una sobre otra de manera ordenada. La velocidad del

fluido es máxima en el eje de la tubería y disminuye rápidamente hasta anularse en la pared de la tubería.

**Régimen de Flujo Turbulento:** En el régimen turbulento hay un movimiento irregular e indeterminado de las partículas del fluido en direcciones transversales a la dirección principal del flujo; la distribución de velocidades en el régimen turbulento es más uniforme a través del diámetro de la tubería que en régimen laminar.

### **2.3.7 Correlaciones de Flujo Multifásico en Tuberías Verticales y Horizontales**

Los estudios realizados sobre el comportamiento del flujo multifásico en tuberías verticales tienen como objetivo predecir el gradiente de presión a través de la tubería de producción. Mientras que la principal aplicación de los perfiles de presión en tuberías horizontales, consiste en determinar la contrapresión necesaria del cabezal de la tubería de producción, para llevar los fluidos, desde el pozo hasta el separador. Diversos investigadores han desarrollado correlaciones de flujo multifásico en tuberías verticales, horizontales e inclinadas (Tabla 2.1), basándose en los principios termodinámicos y de flujo de fluidos, pero principalmente en observaciones empíricas.

**Tabla N° 2.1. Correlaciones de Flujo Multifásico en Tuberías**

Correlación	Fecha	Sustento	Diámetro de Tubería	Fluido	Dirección
Duns & Ross	1961	Datos de campo y laboratorio	Amplio rango	Aceite, gas y agua	Vertical
Hagedorn & Brown	1965	Datos de campo y laboratorio	1 a 4 pulgadas	Aceite, gas y agua	Vertical
Orkiszewski	1967	Revisión y modificación de otros modelos	Amplio rango	Aceite, gas y agua	Vertical
Aziz & Govier	1972	Datos de campo y laboratorio	Amplio rango	Aceite, gas y agua	Vertical
Beggs & Brill	1973	Datos de laboratorio	1 a 1,5 pulgadas	Gas y agua	Vertical
Lochart-Martinelli	1949	Datos de laboratorio	0,0586 a 1,1017 pulgadas	Aceite, gas y agua	Horizontal
Eaton	1966	Datos de campo y laboratorio	2 a 4 pulgadas	Aceite, gas y agua	Horizontal
Dukler	1969	Datos de laboratorio	Amplio rango	Aceite, gas y agua	Horizontal
Mukherjee-Brill	1983	Datos de laboratorio	1,5 pulgadas	Kerosén, Aceite lubricante y gas	Inclinado

### 2.3.8 Términos Básicos

**Calor de Combustión:** Calor que se desprende en una reacción química en la que se quema una materia en presencia de oxígeno, para obtener dióxido de carbono y agua.

**Calor Específico:** El calor específico o más formalmente la capacidad calorífica específica de una sustancia es una magnitud física que indica la capacidad de un

material para almacenar energía interna en forma de calor. De manera formal es la energía necesaria para incrementar en una unidad de temperatura una cantidad de sustancia.; usando el sistema internacional de unidades (SI) es la energía necesaria para elevar en un Kelvin la temperatura de 1 kg de masa.

**Compresión Adiabática:** Reducción de volumen de una sustancia, sin flujo de calor, hacia dentro o hacia fuera. Adiabático quiere decir que se opone a la transmisión del calor, que no recibe ni cede ninguna cantidad de calor.

**Esfuerzo:** Es el efecto que genera una fuerza de magnitud dada sobre un área de sección determinada.

**Fluido:** Es una sustancia que se deforma bajo la aplicación de un esfuerzo de corte, sin importar lo pequeño que pueda ser este esfuerzo. De este modo los fluidos abarcan las fases líquidas y gaseosas de las formas físicas en las cuales existe la materia.

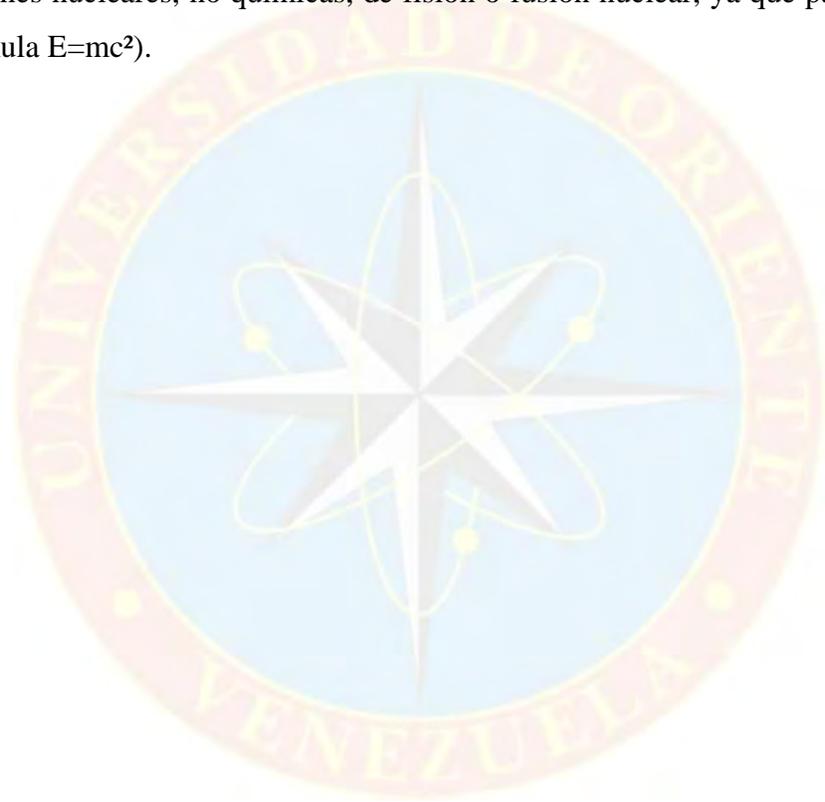
**Fluidos Compresibles:** Fluidos que no tienen un volumen propio, sino que ocupan el del recipiente que los contiene; son fluidos compresibles porque, a diferencia de los líquidos, sí pueden ser comprimidos.

**Fluidos Incompresibles:** Fluidos que poseen un volumen constante que no puede ser modificado apreciablemente por compresión.

**Flujo Estacionario:** Es considerado cuando las propiedades en cualquier punto de un campo de flujo no cambian con el tiempo.

**Inflamabilidad:** Es la temperatura mínima necesaria para que un combustible desprenda vapores que, al mezclarse con el oxígeno del aire u otro oxidante capaz de arder, originan una inflamación violenta de la mezcla.

**Poder Calorífico:** Es la cantidad de energía que la unidad de masa de materia puede desprender al producirse una reacción química de oxidación (quedan excluidas las reacciones nucleares, no químicas, de fisión o fusión nuclear, ya que para ello se usa la fórmula  $E=mc^2$ ).



## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La investigación se fundamentó en el tipo explicativo, Como lo expresa Sampieri (2003), en su libro Metodología de la Investigación: “los estudios explicativos están dirigidos a responder las causas de los eventos físicos o sociales su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se da este, o porque dos o más variables están relacionadas”. En este proyecto se requiere conocer la capacidad actual del sistema de despresurización para explicar su relación con la capacidad total del sistema de compresión del Complejo Jusepín y de todas y cada una de las plantas y miniplantas compresoras que lo constituyen, a fin de establecer si con la capacidad actual del sistema de despresurización se cumple con la condiciones necesarias para garantizar la despresurización efectiva del complejo de compresión bajo el nuevo escenario de producción, según portafolio de oportunidades (PDO 2005-2024).

#### **3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

Para cumplir con los objetivos planteados en la investigación se aplico un diseño no experimental de tipo transeccional, Como lo expresa Sampieri (2003), es decir, se recolectaran datos en un solo momento, y en un tiempo único, para luego evaluar bajo el nuevo escenario de producción el sistema actual de despresurización y emitir una recomendación

### **3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA**

La población seleccionada para la investigación está delimitada por el sistema de compresión del complejo Jusepín constituido por las plantas compresoras 1,2 (PCJ-1/2), las mini-plantas 3,4,5 (MPCJ-3/4/5), las plantas compresoras 6,8,9,10 (PCJ-6/8/9/10) y el sistema de despresurización asociado al mismo, constituido por las líneas de interconexión el despojador de líquidos 11-V-01 y el mechero M-03.

Para la muestra se tomaron todas las plantas compresoras excepto las plantas compresoras 8 y 9 PCJ-8/9, las cuales no serán objeto de evaluación, debido a que estas cuentan con un sistema de alivio y venteo independiente.

### **3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO**

#### **3.4.1 Descripción de las Condiciones Operacionales y Caracterización del Fluido de Entrada al Proceso de Compresión:**

Para el desarrollo de esta etapa se realizó en primera instancia la revisión del documento portafolio de oportunidades de PDVSA, PDO 2005-2024 y de los documentos asociados al proyecto de ingeniería “Aumento de la Capacidad de Compresión Jusepín”, realizado por la Constructora y Consultora INCENTER C.A, en el año 2007, en segunda instancia se realizó una serie de visitas al Complejo Jusepín donde se procedió al levantamiento de campo de todas y cada una de las plantas compresoras que constituyen el complejo de compresión, así como del sistema de despresurización asociado a las mismas.

El levantamiento de información se desarrollo de manera programada (Planta por Planta) durante 30 días hábiles, estudiando y describiendo detalladamente cada

proceso, desde el inicio de la compresión en cada planta compresora hasta el sistema de despresurización asociado a cada una de ellas.

Con respecto a la Caracterización del Fluido de Entrada al Proceso de Compresión se procedió de la siguiente manera:

Para la succión de los Sistemas de Compresión Actuales del Complejo Jusepín, las cromatografías en base húmeda de las Plantas Compresoras (PCJ-2, MPCJ-3/4/5, PCJ-6/10), fueron suministradas por PDVSA y se indican a continuación:

**Tabla N° 3.1 Cromatografía en Base Húmeda de las Succiones de los Sistemas de Compresión Actuales del Complejo Jusepín.**

GAS DE SUCCIÓN EN BASE HUMEDA				
COMPONENTE	PCJ-2	MPCJ-3/4/5	PCJ-6	PCJ-10
NITROGENO	0,000514	0,00051	0,00041	0,00209
METANO	0,57159	0,71085	0,79031	0,71171
CO <sub>2</sub>	0,04435	0,04742	0,04688	0,04761
ETANO	0,12642	0,10577	0,10002	0,11037
PROPANO	0,10430	0,06210	0,03287	0,06187
I-BUTANO	0,02565	0,01259	0,00581	0,01205
N-BUTANO	0,05135	0,02360	0,01006	0,02211
I-PENTANO	0,02041	0,00804	0,00314	0,00729
N-PENTANO	0,01910	0,00734	0,00276	0,00661
HEXANOS	0,01602	0,00653	0,00240	0,00579
HEPTANOS	0,00631	0,00192	0,00150	0,00228
OCTANOS	0,00081	0,00026	0,00058	0,00052
NONANOS	0,0007	0,00003	0,00056	0,00050
DECANOS	0,00052	0,00003	0,00047	0,00016
H <sub>2</sub> O	0,01184	0,01290	0,00219	0,00894
UNDECANOS	0,00002	0,00001	0,00003	0,00016
H <sub>2</sub> S	4,40E-05	3,60E-05	1,30E-05	3,00E-05
TOTAL	1	1	1	1

Fuente: Documento de solicitud de oferta.

Para definir las cromatografías en la succión de los Sistemas de Compresión de las Plantas Compresoras a ser instaladas, se consideraron los aspectos siguientes: para la Planta Compresora Jusepín 1 (PCJ-1) a ser reemplazada, así como para la planta

compresora Jusepín 11 (PCJ-11) se definió como cromatografía la suministrada por PDVSA para la PCJ-10, por su parte para las plantas Compresoras Jusepín 12 y 13 (PCJ-12/13) se considero la cromatografía asociada al proyecto de referencia “Aumento de la Capacidad de Compresión Jusepín”. A continuación se indican las cromatografías de las Plantas compresoras a ser Instaladas:

**Tabla N° 3.2 Cromatografía en Base Húmeda de las Succiones de los Sistemas de Compresión a Ser Instalados en el Complejo Jusepín.**

GAS DE SUCCION EN BASE HUMEDA				
COMPONENTE	PCJ-1 (REEMPLAZO)	PCJ-11	PCJ-12	PCJ-13
NITROGENO	0,00209	0,00209	0,00280	0,00245
METANO	0,71171	0,71171	0,50804	0,66683
CO <sub>2</sub>	0,04761	0,04761	0,04529	0,04919
ETANO	0,11037	0,11037	0,12728	0,11095
PROPANO	0,06187	0,06187	0,12538	0,08023
I-BUTANO	0,01205	0,01205	0,03019	0,01670
N-BUTANO	0,02211	0,02211	0,06079	0,03204
I-PENTANO	0,00729	0,00729	0,02369	0,01102
N-PENTANO	0,00661	0,00661	0,02189	0,00990
HEXANOS	0,00579	0,00579	0,01709	0,00688
HEPTANOS	0,00228	0,00228	0,00829	0,00291
OCTANOS	0,00052	0,00052	0,00270	0,00053
NONANOS	0,00050	0,00050	0,00004	0,00000
DECANOS	0,00016	0,00016	0,00000	0,00000
H <sub>2</sub> O	0,00894	0,00894	0,02609	0,01031
UNDECANOS	0,00016	0,00016	0,00100	0,00000
H <sub>2</sub> S	3,00E-05	3,00E-05	0,00000	0,00000
TOTAL	1	1	1	1

Fuente: Proyecto “Aumento de la Capacidad de Compresión Jusepín”.

### 3.4.2 Definición de los Diferentes Escenarios de Despresurización

Con la finalidad de establecer la contingencia que va a prevalecer, para la definición de las cargas de despresurización de las plantas y mini plantas compresoras del Complejo Jusepín, se plantearon tres (3) posibles escenarios de despresurización en base a un análisis concreto de todos y cada uno de los eventos que puedan causar el paro no programado de algunas de las plantas o mini-plantas compresoras que constituyen el Complejo de Compresión Jusepin.

#### 3.4.2.1 Paro no Programado de la Planta de Extracción Jusepín

Este escenario contempla el paro no programado de extracción Jusepín, cabe destacar que esta planta procesa 360 MMPCND para obtención de líquidos del gas natural. A continuación se indican las premisas de este escenario.

Premisas:

- Paro de Extracción Jusepín, con una afectación de gas de 360 MMPCND.
- No hay transferencia de gas desde Orocuai (Cero Flujo). Se mantendrá la transferencia de gas proveniente de Quiriquire, siendo esta de 75 MMPCND.
- Se establece una (1) máquina operativa en planta de inyección de gas Furrial.

Parada de las Mini-Plantas compresoras Jusepin 3, 4 y 5 (MPCJ-3/4/5) y una (1) maquina de planta compresora Jusepin 06 (PCJ-06), Total 168 MMPCND.

- Desvío de gas a Muscar 506 MMPCND.
- El volumen enviado por plantas compresoras Jusepín (100% PDVSA) es de 351 MMPCND, los cuales serán transferidos hacia Muscar.

- Cualquier excedente de gas de media se venteará desde los módulos de producción, de tal forma, que el gas proveniente de los módulos I, II y III es venteado por el M-01, mientras el gas de los módulos IV y V (Media) por el M-02, y finalmente el venteo de los módulos VI y VII es transferido al mechurrio M-06.

### **3.4.2.2 Falla Eléctrica General**

La pérdida del suministro eléctrico, afecta la continuidad de las operaciones de la planta, debido a la falta de energía requerida por los motores eléctricos de enfriadores, compresores, bombas de aceite lubricante, ocasionando el paro general de todas las instalaciones involucradas en el proceso.

En este escenario se verán afectadas todas las Plantas Compresoras, por lo que se desviará el gas no manejado desde cada uno de los Módulos de Producción a los mechurrios respectivos y la despresurización del gas entrampado se efectuará a través del mechurrio M-03. Las plantas afectadas son: MPCJ-3/4/5, PCJ-1/2/6/10 y las plantas futuras PCJ-11/12/13. A continuación se indica la condición asociada a este escenario:

Premisas:

- No hay transferencia de gas desde Orocuai (Cero Flujo).
- Se mantendrá la transferencia de gas proveniente de Quiriquire, siendo esta de 75 MMPCND.
- Se establece una (1) máquina operativa en IGF, la cual envía 130 MMPCND.

- Paro de 100 % de las plantas compresoras MPCJ-3/4/5 PCJ-2(C3/C4); PCJ-1/6/10/11/13 (Total 463 MMPCND).
- Paro de plantas compresoras PCJ-2 (C1/C2) Y PCJ-12 (62 MMPCND).
- Paro de PCJ-8/9 para un total de 196 MMPCND y Reva's para 12 MMPCND, las cuales aliviaran a sus propios mecurrios,
- El desvío de gas a Muscar es de 15 MMPCND.

#### **3.4.2.3 Cero Transferencia Hacia Muscar:**

En este escenario se verán afectadas las Plantas Compresoras siguientes: PCJ-2/6, MPCJ-3/4/5, las cuales despresurizarán el gas entrampado hacia el M-03, así como la planta compresora futura PCJ-12. A continuación se indica un resumen con las condiciones asociadas a este escenario:

Premisas:

- No hay transferencia de gas desde Orocuál (Cero Flujo).
- Alimentación a planta de extracción Jusepín: 358 MMPCND.
- Se mantendrá la transferencia de gas proveniente de Quiriquire, siendo esta de 75 MMPCND.
- Paro de PCJ-1/6, PCJ-2(C3/C4), MPCJ-3/4/5, para un total de: 301 MMPCND.
- Paro de PCJ-02(C1/C2), PCJ-12 para un total de: 62 MMPCND de gas.
- PCJ-09 100% alineada a Planta de Extracción Jusepín.

- Transferencia de 145 MMPCND a IGF, según calidad de gas (C3+ / H2O), TOGV y Quiriquire alineados 100% a IGF. Nota: IGF debe completar su alimentación (460 MMPCND) con gas de Planta Extracción Santa Bárbara para no parar un tren de compresión (120 MMPCND).

### **3.4.3 Estimación del Caudal de Gas a Despresurizar en Función de los Volúmenes de Gas Entrampados en las Plantas Compresoras Existentes y las Nuevas a Instalar.**

En base al escenario más crítico de despresurización se realizaron los cálculos necesarios para la estimación de las cargas de venteo que reflejen los volúmenes entrampados a despresurizar por cada etapa de presión en las diferentes plantas compresoras del Complejo Jusepín, en función a estos valores se calculó el caudal de gas a despresurizar (apéndice c), teniendo en cuenta las siguientes premisas:

Premisas:

- La relación de calores específicos del gas corresponde a  $K = 1,733$ .
- Las características del gas a despresurizar son las siguientes: peso molecular promedio del gas 23,68 lb/lbmol, densidad del gas 0,086 (lb/pe<sup>3</sup>) a condiciones estándar y una gravedad específica de 0,1095.
- La presión 1308.7 lpca y la temperatura 119,8 °F, fueron tomados del levantamiento de campo.
- Las dimensiones de los recipientes y líneas de proceso se tomaron del plano preliminar de ruta de Tuberías validado en levantamiento de campo.
- Los cálculos se realizaron en base al evento o contingencia de despresurización más crítico.

### 3.4.3.1 Cálculo del Volumen de Gas Entrampado Para las Diferentes Etapas de Presión

Para determinar el volumen de gas entrampado de las plantas compresoras se procede a calcular el volumen de cada etapa en función de las diferentes etapas de presión existentes en las mismas, según el inventario de líneas, equipos y recipientes realizado durante el levantamiento de campo.

Para realizar el cálculo de los volúmenes entrampados en los recipientes líneas y equipos se utilizaron las siguientes ecuaciones:

- Volumen del Enfriador Inter-Etapas

$$V = A * L * NP * NT$$

Ecuac. 3.1

Donde:

V= volumen entrampado en el equipo. (pie<sup>3</sup>)

A= Área del tubo. (pie<sup>2</sup>)

L= longitud del tubo (C/C). (pie)

NP= Numero de pasos

NT= Numero de tubos

- Volumen de los Depuradores:

$$V = (PI * D^2 * L) / 4$$

Ecuac. 3.2

Donde:

PI= Constante (3.14)

D= Diámetro del tubo (pulgadas)

L= longitud del tubo (C/C) (pie)

- Volumen en Líneas de Proceso

$$V = (\text{PI} * D^2 * L) / 4 \quad \text{Ecuac. 3.3}$$

### 3.4.3.2 Cálculo del Caudal de Gas a Despresurizar:

Para la despresurización de los equipos y sistemas compresores, se considero la norma API 521, según la cual establece un tiempo de 15 minutos se debe despresurizar el 50% de la presión de los equipos o recipientes empacados.

El caudal de gas a despresurizar se determinó mediante las siguientes ecuaciones de estado:

- Para una etapa de Presión:

$$Q_{\min} = \frac{P_1 * 520}{14.7 * T} * \left(\frac{1}{t}\right) * \left[ V_1 * \text{Ln}\left(\frac{P_1}{P_a}\right) \right] \quad \text{Ecuac. 3.4}$$

- Para dos etapas de Presión:

$$Q_{\min} = \frac{P_1 * 520}{14.7 * T} * \left(\frac{1}{t}\right) * \left[ V_1 * \text{Ln}\left(\frac{P_1}{P_2}\right) \right] + (V_1 + V_2) * \text{Ln}(P_2 / P_a)$$

Ecuac. 3.5

➤ Para tres etapas de Presión:

$$Q_{\min} = \frac{P_1 * 520}{14.7 * T} * \left(\frac{1}{t}\right) * \left[ V_1 * \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) \right] + (V_1 + V_2) * \ln(P_2 / P_3) + (V_1 + V_2 + V_3) * \ln(P_3 / P_a)$$

Ecuac. 3.6

Donde:

$Q_{\min}$  = Caudal inicial mínimo para venteo ( $\text{pie}^3/\text{min}$ ).

$T$  = Temperatura de desalojo del gas ( $^{\circ}\text{R}$ )

$t$  = Tiempo de despresurización (min.)

$P_a$  = Presión de venteo (lpca)

$P_1$  = Presión mayor (lpca)

$P_2$  = Presión intermedia (lpca)

$P_3$  = Presión menor (lpca)

$V_1, V_2, V_3$  = Volúmenes físicos atrapados correspondientes a  $P_1, P_2, P_3$  ( $\text{pie}^3$ ).

Luego se cálculo el flujo másico con la siguiente ecuación:

$$W_g = Q_{\min} * \rho_g$$

Ecuac. 3.7

Donde:

$Q_{\min}$  = Caudal inicial mínimo para venteo a condiciones estándar, ( $\text{pie}^3/\text{min}$ .)

$W_g$  = Flujo masico del gas a condiciones estándar, (lb/hora)

$\rho_g$  = Densidad del gas, ( $\text{lb}/\text{pie}^3$ )

Entonces se procede a calcular la densidad del gas a condiciones estándar ya que bajo condiciones de baja presión (14.7 Lpca), el gas tiene un comportamiento aproximadamente ideal y puede utilizarse la Ec. (3.34), que indica el manual: “Flujo de Fluidos, a través de accesorios y Tuberías”, de H Crane.

$$\rho_g = \frac{Pa \times Mw}{10.732 \text{ lpca} * \text{pie}^3 / \text{lbmol} * {}^\circ R * ({}^\circ R = +460 + {}^\circ F) \times Z} \quad \text{Ecuac. 3.8}$$

Donde:

$\rho_g$  = Densidad del Gas a Condiciones Estándar, (Lb/pie<sup>3</sup>)

$P_a$  = Presión Atmosférica, (lpca)

$M_w$  = Peso Molecular, (lb/lbmol)

$T$  = Temperatura a condiciones Estándar a 14.7 lpca a 60 °F, = 520 °R

$Z$  = Factor de Compresibilidad, (Adimensional)

#### 3.4.4 Simulación del Proceso de Despresurización del Gas

La simulación del proceso de despresurización del gas se realizó en dos etapas, en la primera etapa se simuló el sistema de compresión de todas las Plantas y Mini-Plantas Compresoras asociadas al Complejo Jusepin que forman parte del alcance de este proyecto (PCJ-1/2/6/10/11/12/13 y MPCJ-3/4/5), con lo cual se obtuvo la caracterización del fluido (gas) de entrada al sistema de venteo. En la segunda etapa se procedió a simular por niveles de presión (1300, 400, 270, 120 y 40) Lpca, el sistema de despresurización asociado a cada una de estas plantas.

La simulación de procesos se realizó utilizando el simulador HYSYS versión 3.2. En esta etapa se establecieron las corrientes que serán objeto del proceso de despresurización de las plantas compresoras actuales y las nuevas a ser incorporadas al proceso con sus condiciones de presión y temperatura (así como calidad, peso molecular, calor de combustión).

Se determinaron los volúmenes de líquido (agua y condensado) que se formarían en el proceso de despresurización, que servirán de base para la evaluación del despojador de general de líquidos (11-V-01).

Se identificaron las zonas de posible formación de hidratos, producto de la compresión del gas en los sistemas de despresurización que pudieran afectar la operación normal del proceso de venteo. Igualmente se definieron las propiedades del gas a ser quemado en el mechurrio M-03.

### **3.5 INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS EN LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN**

Las técnicas e instrumentos utilizados para recopilar la información teórica así como

lo concerniente a las características de las diferentes plantas compresoras y el sistema de despresurización asociado a ellas, fueron las siguientes:

**Revisión Bibliográfica:** Técnica que abarca la consulta de material escrito tales como textos, documentos, reportes y normas técnicas, en los cuales se examinan conceptos, fundamentos, información técnica y operacional referente al tema de investigación. También se revisó la información referente al complejo Jusepín.

**Recopilación de Datos Técnicos:** Esta consiste en la obtención de los datos referentes a las propiedades y características de los fluidos que se manejan (cromatografía del gas-propiedades químicas), así como también de los diferentes equipos que constituyen el sistema de compresión, dimensionamiento de las líneas de interconexión con el sistema de despresurización y las especificaciones técnicas de los equipos que conforman el mismo.

**Observación Directa:** Con esta técnica se logra una mayor comprensión del tema investigado, en vista de que permite palpar los procedimientos operacionales que determinan el día a día del Complejo Operacional de Jusepín.

### 3.6 RECURSOS

**Recursos Humanos:** En lo referente a los recursos humanos se contó con todo el apoyo del personal del ambiente de trabajo que labora en la Unidad de Ingeniería de INCENTER y el personal de PDVSA asociado al proyecto; además de, el profesorado de la Escuela de Ingeniería de Petróleo de la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas.

**Recursos Financieros:** El apoyo monetario fue obtenido gracias a la empresa Consultora y Constructora INCENTER C.A, la cual aportó mensualmente una cantidad de dinero que permitió la realización de esta investigación.

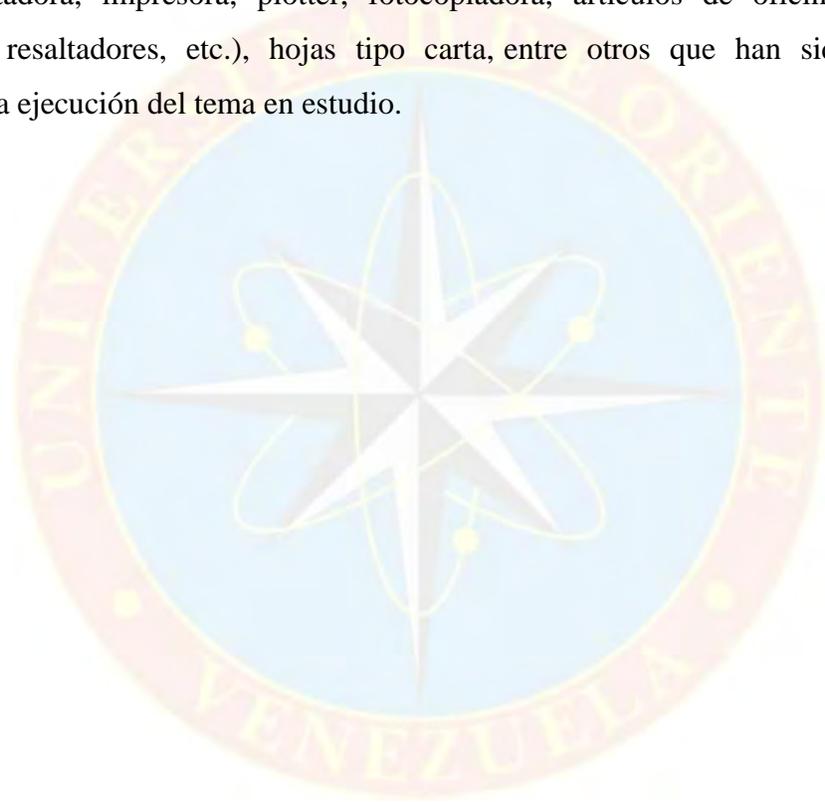
**Recursos Bibliográficos y Electrónicos:** En cuanto a la bibliografía se trabajó con textos y documentos de la Biblioteca de la universidad de Oriente. Así como, material escrito, reportes y propuestas encontradas en las empresas INCENTER Y PDVSA. Además, se tuvo acceso a los programas electrónicos tales como HYSYS versión 3.2, Microsoft Excel, entre otros, que permitieron la generación de resultados en el proyecto.

#### 3.6.1 Descripción de las Herramientas Virtuales

**Simulador HYSYS:** Es un ambiente para la simulación de proceso, diseñado para la industria petrolera en lo referente al manejo de crudo, gas y agua, puede crear modelos dinámicos para el monitoreo del funcionamiento de una planta. Es una herramienta para la supervisión y solución de problemas, mejora operacional,

planificación comercial y dirección del recurso, además permite manipular las variables del proceso, personalizar la simulación de acuerdo a los diferentes criterios de análisis del Ingeniero basado en los requerimientos planteados en el alcance de un proyecto.

**Recursos Materiales:** Entre los recursos materiales están: escritorio, computadora, impresora, plotter, fotocopidora, artículos de oficina (Lapiceros, libreta, resaltadores, etc.), hojas tipo carta, entre otros que han sido facilitados para la ejecución del tema en estudio.



## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### **4.1 DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES OPERACIONALES Y LA CARACTERIZACIÓN DEL FLUIDO DE ENTRADA AL PROCESO DE COMPRESIÓN**

##### **4.1.1 Sistema Actual de Compresión de Gas**

El Complejo Jusepín recibe crudo proveniente del Campo El Furrrial Este, el cual es distribuido a los módulos de producción de alta (500 lpca), media (120 lpca) y baja presión (35 lpca). El gas resultante de la separación gas-liquido en cada nivel de presión, es transferido al sistema de Compresión del Complejo de la manera siguiente:

- El Gas de Baja (35 lpca), se distribuye a la Planta Compresora Jusepín 1 (PCJ-1) y a las unidades de compresión C1 y C2, de Planta Compresora Jusepín 2 (PCJ-2).
- El Gas de Media (120 lpca), se distribuye a las unidades de compresión C3 y C4 de PCJ-2, a las Mini-plantas Compresoras Jusepín 3/4/5 (MPCJ-3/4/5) y a las Plantas Compresoras Jusepín 8/9/10.
- El Gas de Alta (500 lpca), se transfiere a la Planta Compresora Jusepín 6 (PCJ-6).

Las plantas alquiladas Jusepín 8 y 9 (PCJ-8 y PCJ-9) cuentan para el alivio y despresurización de forma independiente con los mecheros PCJ-8 (Hanover) y PCJ09 (Wilpro) respectivamente. Por su parte, las plantas compresoras PCJ-1/2, MPCJ-

3/4/5, PCJ-6 y PCJ-10, disponen del mechero M-03 para la quema del gas despresurizado, siendo estos últimos los sistemas asociados al proyecto, los cuales serán descritos a continuación.

#### 4.1.1.1 Sistema de Compresión de Planta Compresora Jusepín 1

Esta planta está constituida por una unidad de compresión (C9), con capacidad nominal de 5 MMPCND de gas. En la cual se recibe el gas desde los módulos de producción de baja (35 lpca) y se comprime hasta una presión de descarga de 1300 lpca, dispone para ello de un depurador general de succión y cuatro (4) etapas de compresión, constituidas cada una por un (1) depurador, un (1) compresor y un (1) enfriador. Actualmente, este sistema se encuentra fuera de operación y en proceso de desmantelamiento para su posterior reemplazo por una de mayor capacidad. A continuación se indica una tabla con las Condiciones Operativas y la Capacidad de PCJ-1:

**Tabla N° 4.1. Capacidad de la Planta Compresora Jusepín 1**

Planta	Unidad	Presión (lpca)		Capacidad Nominal (MMPCND)	Capacidad Total (MMPCND)	Capacidad Operativa (MMPCND)
		P <sub>s</sub>	P <sub>d</sub>			
PCJ-01	1 (C9)	35	1300	5	5	3,7

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.1.2 Sistema de Compresión de Planta Compresora Jusepín 2:

La Planta Compresora Jusepín 2 (PCJ-2) posee una capacidad de comprimir 46 MMPCND de gas, dispone para ello de un depurador general de succión (D-GS) y de cuatro (4) unidades de compresión: C1, C2, C3, C4. Las unidades C1 y C2

poseen una capacidad nominal de 10 MMPCND de gas, para un total de 20 MMPCND, cada unidad constituida por dos (2) etapas de compresión, a su vez cada etapa conformada por un depurador, un compresor y un enfriador. En la primera etapa de la unidad C1, el gas de 35 lpca es comprimido hasta 80 lpca a través del compresor K1-1, y enfriado hasta 120 °F en el enfriador E1-1, y luego trasferido a la segunda etapa, donde se comprime hasta 120 lpca en el compresor K1-2 y se enfría hasta 120 °F en el enfriador E1-2, finalmente se transfiere el gas hasta un depurador de descarga (D1-3) de la unidad C1, desde el cual se envía al cabezal de gas de descarga de media presión. Similar a este sistema, es el de la unidad de compresión C2.

Por su parte, las unidades de compresión C3 y C4, en condiciones normales de operación comprimen gas de 120 lpca proveniente desde los módulos de producción de media presión, y desde las unidades de compresión C1 y C2, hasta una presión de descarga de 1300 lpca. Disponen adicionalmente, de facilidades operacionales para la recepción de gas desde los módulos de baja presión (35 lpca) en cuyo caso el gas es comprimido hasta 520 lpca.

Las unidades C3 y C4, están constituidas por tres etapas de compresión, a su vez cada etapa está formada por un depurador, un compresor y un enfriador. En la primera etapa de la unidad C3, el gas de 120 lpca es comprimido hasta 200 lpca a través del compresor K3-1, para ser trasferido a la segunda etapa, donde se comprime hasta 500 lpca en el compresor K3-2, luego se transfiere a la tercera etapa donde la compresión es hasta 1300 lpca, en el compresor K3-3. Finalmente se transfiere el gas hasta un depurador de descarga (D3-4) de la unidad C3, desde donde se distribuye hasta el cabezal de descarga de gas de 1300 lpca. Similar a este sistema, es el de la unidad de compresión C4.

**Tabla N° 4.2 Capacidad de la Planta Compresora Jusepín 2.**

Planta	Unidad	Presión (Lpca)		Capacidad Nominal (MMPCND)	Capacidad Total (MMPCND)	Capacidad Operativa (MMPCND)
		P <sub>s</sub>	P <sub>d</sub>			
PCJ-02	2 (C1/C2)	35	120	10	20	18
	2(C3/C4)	35	520	4	8	6
		120	1300	9	18	16

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.1.1.3 Sistema de Compresión de las Mini-Plantas Compresoras Jusepín 3/4/5**

Las Mini-Plantas Compresoras Jusepín 3/4/5 (MPCJ-3/4/5), reciben gas de 120 lpca el cual es transferido primeramente al depurador de succión general (10-V-01) y desde este se distribuye a las Mini-Plantas.

Cada Mini-Planta Compresora tiene capacidad de procesar 50 MMPCND de gas de 120 lpca y comprimirlo hasta 1300 lpca, disponen para ello de dos (2) etapas de compresión; cada etapa está constituida por un depurador, un compresor y un enfriador. En la primera etapa, el gas es comprimido a 400 lpca y una temperatura de 270 °F, posteriormente es transferido a la segunda etapa, donde la compresión alcanza 1300 lpca y se enfría luego hasta 120 °F, finalmente se envía el gas al depurador final, para su distribución al cabezal de descarga de gas de 1300 lpca.

**Tabla N° 4.3 Capacidad de las Mini-plantas Compresoras.**

Planta	Unidad	Presión (lpca)		Capacidad Nominal (MMPCND)	Capacidad Total (MMPCND)	Capacidad Operativa (MMPCND)
		P <sub>s</sub>	P <sub>d</sub>			
MPCJ-03	1	120	1300	50	50	50
MPCJ-04	1	120	1300	50	50	50
MPCJ-05	1	120	1300	50	50	50

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.1.4 Sistema de Compresión de Planta Compresora Jusepín 6 (PCJ-6)

La Planta Compresora Jusepín 6 (PCJ-6), posee una capacidad de procesar un total de 120 MMPCND de gas, y dispone para ello de un depurador de succión general (D-GS), y de seis (6) unidades de compresión: C1, C2, C3, C4, C5, C6. Recibe gas desde los módulos de producción de alta presión (500 lpca) y lo comprime hasta 1300 lpca. Cada unidad de compresión tiene una capacidad de 20 MMPCND y consta de una etapa, constituida por: un (1) depurador de succión, un (1) compresor tipo recíprocante, un (1) enfriador y un (1) depurador de descarga.

**Tabla N° 4.4 Capacidad de la Planta Compresora Jusepín 6 (PCJ-6).**

Planta	Unidad	Presión (lpca)		Capacidad Nominal (MMPCND)	Capacidad Total (MMPCND)	Capacidad Operativa (MMPCND)
		P <sub>s</sub>	P <sub>d</sub>			
PCJ-06	6	500	1300	20	120	108

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.1.5 Sistema de Compresión de Planta Compresora Jusepin 10 (PCJ-10)

La Planta Compresora Jusepín 10 (PCJ-10), posee una capacidad de procesar 27 MMPCND de gas, y dispone para ello de un depurador general de succión (D-GS), y una (1) unidad de compresión, constituida por tres etapas, en las cuales se comprime el gas hasta 1300 lpca. Cada etapa está constituida por un depurador, un compresor y un enfriador, en la primera etapa, se comprime el gas de 120 lpca hasta 200 lpca a través del K1-1, para ser transferido a la segunda etapa, donde se comprime hasta 500 lpca en el K1-2, luego se transfiere a la tercera etapa donde la compresión es hasta 1300 lpca, en el compresor K1-3.

**Tabla N° 4.5 Capacidad de la Planta Compresora Jusepín 10 (PCJ-10).**

Planta	Unidad	Presión (Lpca)		Capacidad Nominal (MMPCND)	Capacidad Total (MMPCND)	Capacidad Operativa (MMPCND)
		P <sub>s</sub>	P <sub>d</sub>			
PCJ-10	1	120	1300	27	27	27

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2 Sistema de Compresión de Gas a Ser Instalado

De acuerdo al portafolio de oportunidades (P.D.O) 2005-2024, se provee un aumento de la capacidad de compresión de las Plantas del Complejo Jusepín, en función a este incremento de volumetría se incorporaran las plantas compresoras Jusepin 11/12 y 13 (PCJ-11/12/13), así como también se plantea el reemplazo de la PCJ-1 actual por una de mayor capacidad. A continuación se indican las condiciones operativas y los volúmenes a ser manejados en los nuevos sistemas:

#### 4.1.2.1 Planta Compresora Jusepín 1 (PCJ-1)

La Planta Compresora Jusepín 1 (PCJ-1) a ser instalada, tendrá la capacidad de comprimir 27 MMPCND de gas, desde una presión de 120 lpca hasta una presión de descarga de 1300 lpca, para ello dispondrá de un depurador general de succión (D-GS), y de una (1) unidad de compresión, constituida por tres etapas, cada una de éstas dispondrá de un depurador, un compresor y un enfriador. La estructura y variables operacionales de esta planta es una propuesta idéntica a planta compresora Jusepín 10.

**Tabla N° 4.6 Capacidad de la Planta Compresora Jusepín 1 (PCJ-1).**

Planta	Unidad	Presión (lpca)		Capacidad Nominal (MMPCND)	Capacidad Total (MMPCND)
		P <sub>s</sub>	P <sub>d</sub>		
PCJ-1	1	120	1300	27	27

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2.2 Planta Compresora Jusepín 11 (PCJ-11)

La Planta Compresora Jusepín 11 (PCJ-11) a ser instalada, tendrá la capacidad de procesar 81 MMPCND de gas, el cual será comprimido desde 120 lpca hasta una presión de descarga de 1300 lpca, para ello dispondrá de un depurador general de succión (D-GS), y de tres (3) unidades de compresión (C1/C2/C3), cada unidad constituida por tres etapas de compresión, y a su vez cada etapa dispondrá de un depurador, un compresor y un enfriador. La estructura y variables operacionales de esta planta es una propuesta idéntica a planta compresora Jusepín 10, pero con tres unidades de compresión.

**Tabla N° 4.7 Capacidad de la Planta Compresora Jusepín 11 (PCJ-11).**

Planta	Unidad	Presión (lpca)		Capacidad Nominal (MMPCND)	Capacidad Total (MMPCND)
		P <sub>s</sub>	P <sub>d</sub>		
PCJ-11	3	120	1300	27	81

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2.3 Planta Compresora Jusepín 12 (PCJ-12)

La Planta Compresora Jusepín 12 (PCJ-12) a ser instalada, tendrá la capacidad de comprimir 44 MMPCND de gas, desde una presión de 35 lpca hasta una presión de descarga de 120 lpca, constituida por dos (2) unidades de compresión (C1/C2), cada unidad estará constituida por una etapa de compresión, conformada por un depurador de succión, un depurador de descarga, un compresor y un enfriador. El diseño del sistema de compresión de esta planta, así como sus variables operacionales fue tomado de la Ingeniería conceptual del Proyecto “Aumento de la Capacidad de Compresión del Complejo Jusepín”, realizado por Incenter.

**Tabla N° 4.8 Capacidad de la Planta Compresora Jusepín 12.**

Planta	Unidad	Presión (lpca)		Capacidad Nominal (MMPCND)	Capacidad Total (MMPCND)
		P <sub>s</sub>	P <sub>d</sub>		
PCJ-12	2	35	120	22	44

Fuente: Proyecto “Aumento de la Capacidad de Compresión Jusepín”.

#### 4.1.2.4 Planta Compresora Jusepín 13 (PCJ-13)

La Planta Compresora Jusepín 13 (PCJ-13) a ser instalada, tendrá la capacidad de procesar 54 MMPCND de gas, el cual será comprimido desde 120 lpca hasta una presión de descarga de 1300 lpca, dispondrá para ello de dos (2) unidades de compresión (C1/C2), cada unidad estará constituida por dos etapas de compresión, y a su vez cada etapa dispondrá de un depurador, un compresor y un enfriador, luego al final de cada unidad se dispondrá de un depurador de descarga. El diseño del sistema de compresión de esta planta, así como sus variables operacionales fue tomado de la Ingeniera conceptual del Proyecto “Aumento de la Capacidad de Compresión del Complejo Jusepín”, realizado por Incenter.

**Tabla N° 4.9 Capacidad de la Planta Compresora Jusepín 13.**

Planta	Unidad	Presión (lpca)		Capacidad Nominal (MMPCND)	Capacidad Total (MMPCND)
		P <sub>s</sub>	P <sub>d</sub>		
PCJ-13	2	120	1300	27	54

Fuente: Proyecto “Aumento de la Capacidad de Compresión Jusepín”.

#### 4.1.3 Descripción del Sistema de Despresurización Actual

El sistema de despresurización de las Plantas y Mini-Plantas Compresoras, permite la descarga del gas durante un paro de emergencia, problemas operacionales, o mantenimiento que originen el cierre de las válvulas de bloqueo (SDV), en la succión y descarga de cada una de ellas y la apertura de las válvulas de despresurización (BDV) para descargar el gas atrapado en líneas, recipientes y equipos de las plantas compresoras, a diferentes etapas de presión.

El gas producto de cualquiera de los eventos indicados, es descargado a través de dos cabezales de alta y baja presión de 16 pulgadas de diámetro cada uno, hasta el KOD, donde se recolectan los líquidos que condensan en el proceso de expansión del gas, estos líquidos condensados son enviados a los separadores de baja de los módulos de producción 2, 3, 4 y 5 del Complejo Jusepín, y el gas va hacia el mechurrio M – 03, donde finalmente se realiza la operación de quema del gas.

A continuación se describen los sistemas de despresurización asociados a cada una de las plantas y mini plantas compresoras que constituyen el Complejo de Compresión Jusepin:

#### **4.1.3.1 Planta Compresora Jusepín 2 (PCJ-2)**

El sistema de despresurización de esta planta está constituido en primera instancia por

dos válvulas de bloqueo ubicadas en el cabezal de succión de las unidades de compresión C1 Y C2 y una válvula de despresurización ubicada en el mismo cabezal entre las dos válvulas de bloqueo, así mismo cuenta con 8 válvulas de bloqueo y 4 válvulas de despresurización distribuidas entre la succión y la descarga de cada unidad de compresión, es decir, 4 válvulas de bloqueo ubicadas en la entrada de cada depurador de succión asociado a su unidad de compresión correspondiente y 4 válvulas de bloqueo ubicadas en los depuradores de descarga de estas mismas unidades de compresión. Las válvulas de despresurización están ubicadas en las descargas de las cuatro unidades de compresión. (apéndice B-2.)

Es importante destacar que las válvulas asociadas al sistema de despresurización de esta planta no se encuentran automatizadas y su operación es de forma manual.

En caso de parada de emergencia, fallas eléctricas y/o falla general de planta que amerite la despresurización, la misma se hará con el cierre manual de la válvula de bloqueo 16"-150# , ubicada en la succión del depurador general y la válvula de bloqueo 8"- 150#, ubicada en el mismo cañón. De igual modo se procede a la apertura manual de la válvula de bloqueo 1"- 150#, para desalojar el gas entrampado en el cabezal de succión general.

En el caso que se realice la despresurización por sistemas de compresión, la misma se hará con el cierre manual de las válvulas de bloqueo 12"-150# y 6"- 600#, ubicadas en la entrada y salida de la unidad de compresión (C1), De igual modo se procede a la apertura de la válvula de bloqueo 1"-900#, para desalojar el gas entrampado en las diferentes etapas de presión existentes en la unidad, esta válvula descarga a la línea de venteo de 12" de la PCJ 2. De igual manera ocurre para los demás sistemas de compresión, en función de las diferentes etapas de presión asociadas a cada unidad de compresión.

#### **4.1.3.2 Mini-Plantas Compresoras Jusepín 3,4 y 5**

Cada Mini-Planta posee dos válvulas de bloqueo ubicadas en la succión del primer depurador y en la descarga del último depurador respectivamente, así mismo cuenta con dos válvulas de despresurización la primera ubicada en la línea de descarga del compresor correspondiente a la etapa 1 y la otra en el cabezal de descarga del depurador final. (apéndice B-1.)

En caso de parada de emergencia, fallas eléctricas o falla general de planta que amerite la despresurización, la misma se realiza de forma manual-remota, primero se efectúa el cierre de las válvulas SDV (16"-150#) y SDV (8"-150#), inmediatamente se procede a la apertura de las válvulas de acción rápida BDV (3"-300#), para desalojar el gas entrampado en el nivel de 1300 Lpca, y la válvula BDV (2"-1500#)

para desalojar el gas entrampado en los niveles de 500-120 Lpca: estas válvulas descargan a los cabezales de venteo de alta (1300 Lpca) y baja (500-120 Lpca) respectivamente de las Mini-Plantas Compresoras MPCJ-3, 4 Y 5.

#### **4.1.3.3 Planta Compresora Jusepín 6 (PCJ-6)**

Esta planta cuenta con un sistema de despresurización constituido en primer lugar por dos válvulas de bloqueo ubicadas en la succión del depurador general y en el cabezal de descarga final respectivamente, mas dos válvulas de despresurización ubicadas en la succión del depurador general y en el cabezal de descarga final, entre las dos válvulas de bloqueo. (apéndice B-3.)

Aparte cada unidad de compresión posee dos válvulas de bloqueo ubicadas en la succión y en la descarga final de la unidad de compresión, así mismo posee una válvula de despresurización ubicada entre las dos válvulas de bloqueo.

En caso de parada de emergencia, fallas eléctricas o falla general de la planta que amerite la despresurización, la misma se realiza de forma manual – remota, primero se efectúa el cierre de las válvulas SDV (16”-300#) y SDV (10”-900#). De igual modo se procede a la apertura de las válvulas de acción rápida BDV (2”-150#) y BDV (3”-900#), para desalojar el gas entrampado a (1300–500 Lpca respectivamente), en el cabezal general. Estas válvulas descargan al cabezal de venteo de baja (500-120 Lpca) de las Mini-Plantas Compresoras MPCJ-3, 4 Y 5.

En el caso que se necesite despresurizar por unidad de compresión por ejemplo el sistema de compresión (C1), se procede al cierre de las válvulas SDV (10”-300#) y SDV (8”-600#). De igual modo se procede a la apertura de la válvula de acción

rápida BDV (2"-900#), para desalojar el gas entrampado en esa unidad. De forma similar ocurre para las otras unidades de compresión.

#### **4.1.3.4 Planta Compresora Jusepín 10 (PCJ-10)**

Esta planta cuenta con un sistema de despresurización constituido en primer lugar por dos válvulas de bloqueo ubicadas en la succión del depurador general y en el cabezal de descarga final respectivamente, mas una válvula de despresurización ubicada entre el enfriador E3-1 y el cabezal de descarga final.

Aparte cuenta con dos válvulas de bloqueo ubicadas en la succión del depurador D1-1 y la descarga del enfriador E3-1 respectivamente, más dos válvulas de despresurización ubicadas, una a la salida del depurador D-1-1 y la otra en el cabezal de succión. (apéndice B-4.)

En caso de parada de emergencia, fallas eléctricas o falla general de planta que amerite la despresurización, la planta se bloqueará con el cierre de las válvulas SDV (20"-150#) ubicada a la salida del depurador D-SG y la válvula SDV (12"-900#) ubicada en el cañón general de descarga de 1300 Lpca, inmediato a esto se procederá a la apertura de la válvula BDV (4"-900#), ubicada en el cañón de descarga para aliviar el tramo comprendido entre el enfriador E3-1 y el cañón de descarga.

Para continuar con la despresurización del gas entrampado se abrirá la válvula BDV (3"-900#), ubicada en la corriente de salida del alivio del depurador D1-1. El cabezal de succión y la línea de entrada al depurador D1-1 se aliviaran mediante la apertura de la válvula BDV (3"-150#), ubicada en el cañón de succión general el cual fue seccionado previamente mediante el cierre de la válvula SDV (10"-300#),

ubicada en la entrada del depurador D1-1. La acción de todas estas válvulas se realiza de manera manual y local a través del operador.

#### **4.1.3.5 Despojador de Líquido o K.O.D (11-V-01)**

El K.O.D. (11-V-01), permite la extracción del líquido del gas de venteo proveniente de los sistemas de compresión siguientes: PCJ-1/2, MPCJ-3/4/5, PCJ-6/10. Estos sistemas transfieren el gas aliviado hasta el K.O.D a través de dos (2) tuberías de 16". La primera de éstas, transfiere el alivio del cabezal de venteo de alta de las Mini-Plantas Compresoras Jusepín 3/4/5 (MPCJ-3/4/5), por su parte, a la segunda línea converge el alivio de Planta Compresora Jusepín 6 y 10 (PCJ-6/10), Planta Compresora Jusepín 1 y 2 (PCJ-1/2), y del cabezal de venteo de baja de las MPCJ-3/4/5.

La línea de venteo de 12" de diámetro de PCJ-2 se une a la línea de venteo de PCJ-1 y converge al cabezal de venteo de baja (120-500 Lpca), de las Mini-Plantas Compresoras MPCJ- 3, 4 Y 5, a través de una tubería de 16". La planta compresora Jusepín 6 se une a la línea de alivio de PCJ 10 y converge al cabezal de de venteo de baja (120 – 500 Lpca), de las Mini-Plantas Compresoras, a través de una tubería de 16 " de diámetro.

La línea de venteo de Planta Compresora Jusepín 11 tentativamente se une a la línea de venteo de Planta Compresora Jusepín 6/10 y converge al cabezal de venteo de baja de las Mini-Plantas Compresoras.

Las líneas de venteo de planta compresora Jusepín 12 y 13 se unen a un cabezal común que tentativamente converge al cabezal de venteo de alta de las Mini-Plantas Compresoras.

El K.O.D (11-V-01), dispone de un diámetro de 8,20 pie y una longitud de 29,2 pie, con una presión de diseño de 58 Lpca. El líquido extraído en el despojador por la línea de recolección de condensados es enviado a los separadores de baja de los módulos de producción II, III, IV y V del Complejo Jusepín, a través de las bombas 11-P-01/02, las cuales inician el bombeo al alcanzarse un nivel de líquido de 50% de llenado, y se apagan de forma automática al llegarse al nivel de 20% de líquido contenido. El gas por su parte, es transferido hasta el mechero M-03, a través de una línea de 30" de diámetro, para su quema. (apéndice B-5.)

Para una comprensión del sistema de despresurización ver diagramas de flujo de proceso en la sección de planos.

#### **4.1.3.6 Mechero (M-03)**

El mechero M-03, recibe el gas transferido desde el K.O.D 11-V-01, para la quema del mismo. el cual no dispone de automatización ni de asistencia por aire, lo cual genera la quema de gas con presencia de humo y con estándares bajos de combustión. (apéndice B-6.)

#### **4.1.4 Descripción del sistema de despresurización a instalar:**

##### **4.1.4.1 Planta Compresora Jusepín 1 (PCJ-1)**

El sistema de despresurización así como las corrientes asociadas a la planta compresora Jusepín 1, serán equivalentes a las de planta compresora Jusepín 10, (incluyendo el volumen, 27 MMPCND) con presión de 120 lpca y comprime hasta un nivel de 1300 lpca.

#### **4.1.4.2 Planta Compresora Jusepín 11 (PCJ-11)**

El sistema de despresurización de esta planta será considerado a nivel general, es decir, válvulas de bloqueo que permitan el aislamiento de la planta y válvulas de despresurización para el desalojo del gas entrampado en la misma.

#### **4.1.4.3 Planta Compresora Jusepín 12 y 13 (PCJ-12 y 13)**

Cada planta posee un sistema de despresurización constituido por una válvula de bloqueo ubicada en la succión del depurador inicial y otra en la descarga del depurador final, de cada unidad de compresión, mas una válvula de despresurización ubicada en la descarga del depurador final de las dos unidades de compresión de cada planta.

## **4.2 DEFINICIÓN DE LOS DIFERENTES ESCENARIOS DE DESPRESURIZACIÓN**

Las tablas a continuación resumen los volúmenes de gas asociados de acuerdo a los escenarios de despresurización indicados:

Tabla N° 4.10 Escenario #1

GAS COMPRIMIDO	FLARE ASOCIADO	SISTEMAS OPERATIVOS		SISTEMAS AFECTADOS	
		PLANTAS	Q(MMPCND)	UNIDADES	Q(MMPCND)
1300 lpca	M-03	PCJ-1	27	-	-
		PCJ-2	16	-	-
		MPCJ-3	50	MPCJ-3	50
		MPCJ-4	50	MPCJ-4	50
		MPCJ-5	50	MPCJ-5	50
		PCJ-6	90	C1/ PCJ-6	18
		PCJ-10	27	-	-
		PCJ-11	81	-	-
		PCJ-13	54	-	-
	<b>SUB-TOTAL</b>	<b>445</b>	<b>168</b>		
	<b>PCJ-8</b>	PCJ-8	56	-	-
	<b>PCJ-9</b>	PCJ-9	140	-	-
	<b>SUB-TOTAL</b>	196	0		
	<b>TOTAL (1300 lpca)</b>	<b>641</b>	<b>168</b>		
120 lpca	M-03	PCJ-2	18	-	
		PCJ-12	44	-	
	<b>SUB-TOTAL</b>	<b>62</b>	<b>0</b>		
	<b>M-04</b>	REVA`S	12	REVA`S	0
	<b>SUB-TOTAL</b>	12	0		
<b>TOTAL (120 lpca)</b>	<b>74</b>	<b>0</b>			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 4.11 Escenario #2 (Situación a Futuro)

GAS COMPRIMIDO	FLARE ASOCIADO	SISTEMAS OPERATIVOS		SISTEMAS AFECTADOS		
		PLANTAS	Q(MMPCND)	UNIDADES	Q(MMPCND)	
1300 lpca	M-03	PCJ-1	-	-	27	
		PCJ-2	-	C3/C4	16	
		MPCJ-3	-	-	50	
		MPCJ-4	-	-	50	
		MPCJ-5	-	-	50	
		PCJ-6	-	-	108	
		PCJ-10			27	
		PCJ-11			81	
		PCJ-13	-	-	54	
		<b>SUB-TOTAL</b>	<b>0</b>		<b>420</b>	
		<b>PCJ-8</b>	PCJ-8	-	PCJ-8	56
		<b>PCJ-9</b>	PCJ-9	-	PCJ-9	140
		<b>SUB-TOTAL</b>	0		196	
<b>TOTAL (1300 lpca)</b>	<b>0</b>		<b>616</b>			
120 lpca	M-03	PCJ-2	0	C1/C2	18	
		PCJ-12	0	C1/C2	44	
	<b>SUB-TOTAL</b>	<b>0</b>		<b>62</b>		
	<b>M-04</b>	REVA'S	0	REVA'S	12	
	<b>SUB-TOTAL</b>	0		12		
<b>TOTAL (120 lpca)</b>	<b>0</b>		<b>74</b>			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 4.12 Escenario #3

GAS COMPRIMIDO	MECHURRIO ASOCIADO	SISTEMAS OPERATIVOS		SISTEMAS AFECTADOS	
		PLANTAS	Q(MMPCND)	UNIDADES	Q(MMPCND)
1300 lpca	M-03	PCJ-1	-	-	27
		PCJ-2	-	C3/C4	16
		MPCJ-3	-	-	50
		MPCJ-4	-	-	50
		MPCJ-5	-	-	50
		PCJ-6	-	-	108
		PCJ-10	27		-
		PCJ-11	81		-
		PCJ-13	54	-	-
	<b>SUB-TOTAL</b>	<b>162</b>		<b>301</b>	
	<b>PCJ-8</b>	PCJ-8	56	-	-
	<b>PCJ-9</b>	PCJ-9	140	-	-
	<b>SUB-TOTAL</b>	196		0	
<b>TOTAL (1300 lpca)</b>	<b>358</b>		<b>301</b>		
120 lpca	M-03	PCJ-2	0	C1/C2	18
		PCJ-12	0	C1/C2	44
	<b>SUB-TOTAL</b>	<b>0</b>		<b>62</b>	
	M-04	REVA`S	12	-	-
	<b>SUB-TOTAL</b>	12		0	
	<b>TOTAL (120 lpca)</b>	<b>12</b>		<b>62</b>	

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.1 Selección de Contingencia:

La falla eléctrica general (Escenario 2) involucra el alivio de un volumen de gas entrampado de 616 MMPCND correspondiente al nivel de 1300 lpca, de los cuales 420 MMPCND están asociados al mechero M-03 y los 196 MMPCND restantes están repartidos en los mecheros de las plantas compresoras Jusepin 8 y Jusepin 9. Para el nivel de 120 lpca se observa un volumen total de 74 MMPCND, de los cuales 62 MMPCND corresponden al mechero M-03, mientras que los otros 12 MMPCND están asociados al mechero M-04.

En el escenario 1 (Paro no programado de Planta Extracción Jusepín), se observa que solo existe afectación para el nivel de 1300 lpca con un volumen que está por debajo del 50% en comparación con el escenario 2, siendo este de 168 MMPCND todos correspondientes al mechero M-03.

Comparando el volumen de gas a despresurizar en el escenario 3 (Cero transferencia a Muscar) con respecto al escenario 2, es notorio que el mismo es mucho menor con apenas 301 MMPCND para el nivel de 1300 lpca y 62 MMPCND para el nivel de 120 lpca ambos asociados al mechero M-03.

De los escenarios antes planteados, es evidente que el más crítico que involucra mayor quema de gas durante el proceso de despresurización es el de falla eléctrica general, por lo cual la evaluación del sistema de despresurización del Complejo de Compresión Jusepín, se realizará con base a esta volumetría.

#### **4.3 ESTIMACIÓN DEL CAUDAL DE GAS A DESPRESURIZAR EN FUNCIÓN DE LOS VOLÚMENES DE GAS ENTRAMPADOS EN LAS PLANTAS COMPRESORAS EXISTENTES Y LAS NUEVAS A INSTALAR**

A continuación se describen los volúmenes entrampados en (líneas, depuradores y enfriadores) por etapas y niveles de compresión para la Miniplanta Compresora Jusepin 5.

**Tabla N° 4.13 Volumen de Gas atrapado en función de las diferentes etapas de presión existentes en MPCJ-5.**

<b>Presión (lpca)</b>	<b>Volumen En Tuberías (Pie<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen En Depuradores (Pie<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen En Enfriadores (Pie<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen Total A Despresurizar Por Nivel De Presión (Pie<sup>3</sup>)</b>
120	300,78	255,25	0,00	556,04
400	235,25	557,00	176,94	969,19
1300	125,07	323,98	88,47	537,52
<b>volumen Total</b>	661,11	1136,24	265,40	<b>2062,74</b>

Se puede observar en la tabla 4.13 que el mayor volumen de gas a despresurizar en la MPCJ-5 se encuentra en la interetapa de 400 lpca, debido a que para este nivel de presión el depurador y el enfriador tienen mayor capacidad. Sin embargo para los niveles de presión de 120 y 1300 Lpca los volúmenes de gas a despresurizar son semejantes, lo que nos indica que no existe gran diferencia en la proporción de equipos y líneas para estos niveles de presión.

De igual forma se tabularon los volúmenes de gas atrapados para las demás plantas compresoras existentes en el complejo Jusepin, bajo los diferentes niveles de presión, y los resultados se muestran en la sección de apéndices.

A continuación se muestran tabulados los resultados del caudal de gas a despresurizar para el nivel de 1300 Lpca con respecto a cada Planta y Mini-Compresora del Complejo.

**Tabla N° 4.14 Caudal de Gas a Despresurizar para el nivel de 1300 Lpca.**

PLANTA COMPRESORA	FLUJO MASICO (lb/h)	FLUJO VOLUMETRICO (Pie <sup>3</sup> /min)
PCJ-2	7539,72	1461,18
MPCJ-3	53593,64	10386,37
MPCJ-4	53593,64	10386,37
MPCJ-5	53593,64	10386,37
PCJ-6	130163,39	25225,46
PCJ-10	23429,77	4540,65
PCJ-1	30460	5903,10
PCJ-11	43844,45	8496,99
PCJ-13	70569,48	13676,25
<b>Total</b>	<b>359600,45</b>	<b>69690,01</b>

Se refleja en la tabla 4.14 que la planta compresora Jusepin 2 posee el menor caudal de gas a despresurizar para el nivel de presión de 1300 lpc. Esto concuerda con la descripción de la misma realizada en la sección 4.1 de este documento, donde se observa que solo las unidades de compresión C3 y C4 comprimen gas a 1300 Lpca. Así mismo la planta compresora Jusepin 6 quien comprime el mayor volumen de gas para 1300 Lpca es quien posee el mayor flujo de gas a despresurizar. Lo que

nos hace concluir que el volumen de gas a despresurizar es directamente proporcional a la capacidad de compresión de la planta para los diferentes niveles de presión.

De igual forma se tabularon los caudales de gas a despresurizar para cada nivel de presión (600, 500, 400, 270, 120 y 40) lpc. Los cuales se ven reflejados en la sección de apéndice.

#### **4.4 SIMULACIÓN DEL PROCESO DE COMPRESIÓN DEL GAS**

##### **4.4.1 Premisas Generales**

Para el desarrollo de las Simulaciones de los Sistemas de compresión de las Plantas Compresoras del Complejo Jusepín (Actuales y a ser instaladas), se consideraron las premisas siguientes:

- Se consideró la información obtenida en los levantamientos de campo realizados, los cuales permitieron la obtención y validación de información, referente a los sistemas de compresión actuales: PCJ-2, MPCJ-3/4/5, PCJ-6 y PCJ-10.
- Se consideraron para la succión de los Sistemas de Compresión actuales del Complejo Jusepín, las cromatografías en base húmeda de las Plantas Compresoras (PCJ-2, MPCJ-3/4/5, PCJ-6/10) suministradas por PDVSA (Ver tabla 4.10).
- Para definir las cromatografías en la succión de los Sistemas de Compresión de las Plantas Compresoras a ser instaladas, se consideraron los aspectos siguientes: para la Planta Compresora Jusepín 1 (PCJ-1) a ser reemplazada, así como para la planta compresora Jusepín 11 (PCJ-11) se definió como cromatografía la suministrada por PDVSA para la PCJ-10 (tabla 4.11), por su parte para las plantas Compresoras Jusepín 12 y 13 (PCJ-12/13) se consideró la

cromatografía asociada al proyecto de referencia “Aumento de la Capacidad de Compresión Jusepín” (tabla 4.11).

- Las simulaciones de los sistemas de compresión del Complejo Jusepín, se realizaron para la condición de estado estable, estado estacionario.
- Se seleccionó Peng-Robinson, como Modelo Termodinámico para las Simulaciones.
- Se estableció, una eficiencia adiabática en los compresores reciprocantes y centrífugos del 75 %.
- Se fijó una temperatura de entrada a las plantas compresoras de 110 °F.
- Se fijó una temperatura de salida de los enfriadores de 120 °F.
- Se estableció una caída de presión de 3 lpca, en los Depuradores y enfriadores de los Sistemas de Compresión, en función de la norma PDVSA L-TP 1.5.
- Se estableció en los depuradores una separación del líquido del 100%.

Para el desarrollo de las Simulaciones de los Sistemas de Venteo de las Plantas Compresoras del Complejo Jusepín (Actuales y a ser instaladas), se consideraron las premisas siguientes:

- Las cromatografías de los sistemas de venteo de las Plantas Compresoras del Complejo Jusepín, se obtuvieron a partir de la simulación de los sistemas de compresión, en los puntos donde de acuerdo al levantamiento de información se disponen las válvulas de venteo o Blow-down.
- En la simulación se consideró en el despojador de liquido o K.O.D (11-V-01), una separación del liquido del 100%.
- Se estableció una caída de presión de 3 Lpca, en el K.O.D (11-V-01).

- No se consideró la transferencia de calor entre el medio ambiente y el fluido luego de ocurrir la expansión del gas, ya que en la simulación de proceso no se incorporaron las tuberías ni accesorios, por lo tanto la temperatura reflejada en los resultados será similar a la resultante de la expansión adiabática, por lo que la cantidad de condensados generados en el K.O.D (11-V-01) y mostrado en este documento será bajo esta condición.
- La simulación del sistema de venteo de las Plantas Compresoras, se realizó en base al escenario de despresurización por falla eléctrica, siendo este el caso mas critico.

#### **4.4.2 Programa de Simulación Aplicado**

Para definir las condiciones termodinámicas de los sistemas de compresión y de los sistemas de venteo de las Plantas Compresoras, se realizaron las simulaciones del proceso en HYSYS versión 3.2.

#### **4.4.3 Modelo Termodinámico Aplicado**

La selección del modelo termodinámico, se emplea principalmente para la predicción del equilibrio líquido-vapor, depende de la naturaleza de los componentes y de las condiciones de presión y temperatura. Por lo tanto, se debe conocer todas las variaciones de presión y temperatura que puedan ocurrir en el proceso.

Se consideraron los modelos termodinámicos presentados por Hysys, para seleccionar aquellos cuya aplicabilidad se corresponda con los rangos de temperatura y presión previamente definidos. Por experiencias en simulaciones similares la correlación de Peng-Robinson, ha sido normalmente aceptada, dado que los resultados han reflejado el comportamiento en campo.

#### **4.4.4 Condiciones de Entrada en las Simulaciones**

##### **4.4.4.1 Condiciones de Entrada en las Simulaciones de los Sistemas de Compresión**

Para desarrollar la simulación de los Sistemas de Compresión del Complejo Jusepín se utilizaron condiciones de presión, cromatografía de succión, capacidad de sistemas de compresión, número de etapas, entre otras condiciones establecidas en la sección 4.1 de este documento.

##### **4.4.4.3 Condiciones de Entrada en las Simulaciones del Sistema de Venteo**

Las condiciones de presión, temperatura y cromatografía de los sistemas de venteo fueron obtenidas a partir de las simulaciones de los sistemas de compresión. Como condición de entrada se utilizó el flujo másico despresurizado en los sistemas y asociado a los volúmenes empacados por líneas de proceso, recipientes y equipos, siendo estos determinados en la sección 4.3 de este documento.

#### **4.4.5 Resultados de la simulación de procesos**

##### **4.4.5.1 Simulación de los Sistemas de Compresión**

Los resultados obtenidos de la simulación de los sistemas de compresión no fueron tabulados, debido a que no proporcionan valor agregado a este proyecto de investigación solo sirvieron como fuente de ingreso para la simulación del sistema de despresurización.

#### 4.4.5.2 Condiciones de las Corrientes de Venteo.

A continuación se indican las corrientes de venteo resultantes que alimentan al

despojador general de líquidos K.O.D (11-V-01) y luego al mechero M-03, así como la corriente de condensado recuperado, generadas a partir de la despresurización del gas empacado a diversos niveles de presiones. Es importante resaltar, que en este estudio no se consideró la transferencia de calor con el medio ambiente, por lo tanto la temperatura reflejada en el K.O.D y en el M-03 (así como la formación de condensados) será similar a la resultante de la expansión adiabática.

**Tabla N° 4.15 Corrientes de Alimentación al K.O.D, M-03 y Condensados generados a partir del Volumen Empacado a 600 Lpca.**

DESCRIPCIÓN		ALIMENTACION AL K.O.D DESDE CABEZAL DE BAJA		GAS HACIA EL M-03		CONDENSADOS HACIA TRI-FASICOS	
FASE		GASEOSA		GASEOSA		LIQUIDA	
PRESIÓN (lpca)	TEMP (°F)	20	69	17	69	17	69
<b>TOTAL</b>							
FLUJO MASICO (lb/hora)		24562,3		24562,3		NA	
PESO MOLECULAR		23,82		23,82		NA	
FRACCION MOLAR DEL GAS		1		1		NA	
FRACCION MOLAR DEL LIQUIDO		NA		NA		NA	
<b>LÍQUIDO</b>							
FLUJO MASICO DE LIQUIDO (lb/hora)		NA		NA		NA	
FLUJO VOLUMETRICO DEL LIQUIDO(GPM)		NA		NA		NA	
<b>CONDENSADO</b>							
FLUJO MASICO (LB/H)		NA		NA		NA	
FLUJO VOLUMETRICO (GPM)		NA		NA		NA	
DENSIDAD (lb/pie <sup>3</sup> )		NA		NA		NA	
GRAVEDAD ESPECÍFICA		NA		NA		NA	
VISCOSIDAD (CP)		NA		NA		NA	
PESO MOLECULAR		NA		NA		NA	
<b>AGUA</b>							

DESCRIPCIÓN	ALIMENTACION AL K.O.D DESDE CABEZAL DE BAJA	GAS HACIA EL M-03	CONDENSADOS HACIA TRI-FASICOS
FLUJO MASICO (lb/hora)	NA	NA	NA
FLUJO VOLUMETRICO (GPM)	NA	NA	NA
GRAVEDAD ESPECÍFICA (H <sub>2</sub> O =1.0)	NA	NA	NA
DENSIDAD (lb/pie <sup>3</sup> )	NA	NA	NA
VISCOSIDAD (CP)	NA	NA	NA
PESO MOLECULAR	NA	NA	NA
<b>GAS</b>			
FLUJO MASICO (lb/h)	24562,3	24562,3	NA
FLUJO VOLUMETRICO STAND (MMPCSD)	9,393	9,393	NA
DENSIDAD (lb/pie <sup>3</sup> ) @ T,P	0,147	0,134	NA
GRAVEDAD ESPECÍFICA	0,822	0,822	NA
VISCOSIDAD @ TEMP. (CP)	1,091E-02	1,090E-02	NA
PESO MOLECULAR	23,82	23,82	NA
PODER CALORIFICO (BTU/PIE <sup>3</sup> )	1181	1181	NA
FACTOR DE COMPRESIBILIDAD (Z)	0,988	0,989	NA

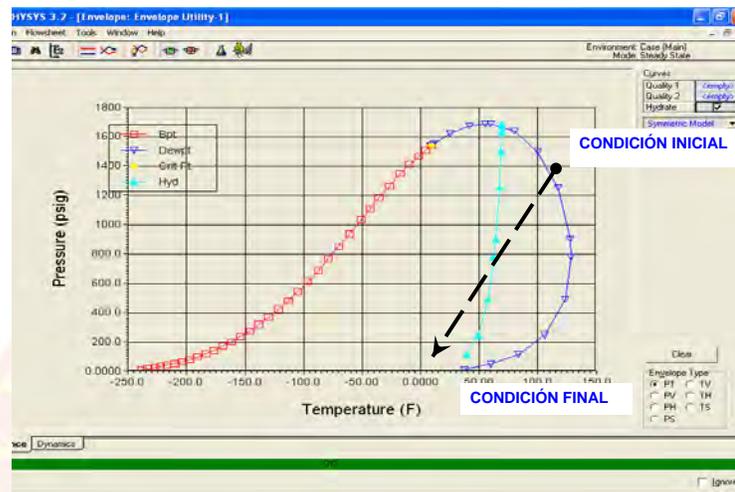
Las tablas restantes correspondientes a los niveles de presión de (1300, 400, 270, 120, 40) lpc, se reflejan en la sección de apéndices.

Para mayor comprensión de las corrientes de venteo ver diagramas de flujo de procesos (DFP) y esquema general de despresurización en la sección de planos de este documento.

#### 4.4.5.3 Formación de Hidratos.

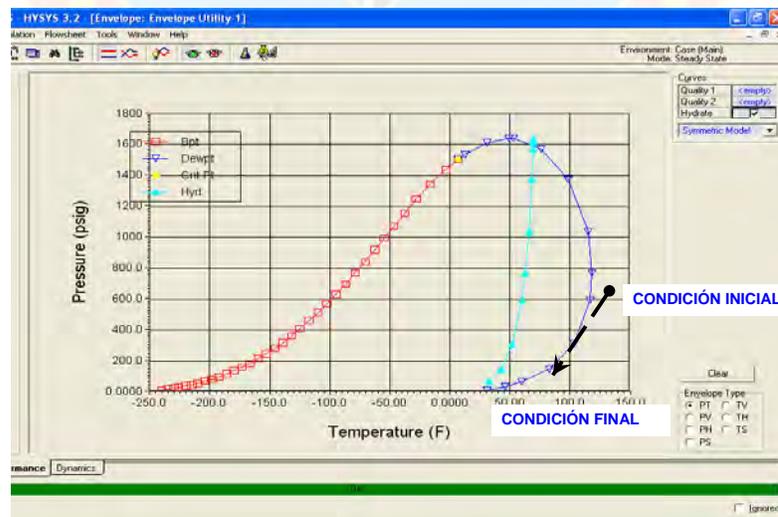
Para las corrientes de gas a ser despresurizadas se representó la curva de saturación de formación de hidratos, dentro de la curva de equilibrio liquido-vapor y se verificó la ubicación del punto de operación a las condiciones iniciales (antes de la expansión en la válvula de purga) y finales (luego de la expansión en la válvula de purga).

A continuación se representan dos casos, el primero de ellos correspondiente a la despresurización del gas empacado a 1300 lpc desde la válvula de purga BDV-110321 en Mini-Planta Compresora Jusepin-3, el cual se muestra en la figura 4.1:



**Figura 4.1 Curva de Formación de Hidratos MPCJ-3.**

El segundo caso corresponde a la despresurización del gas empacado a 600 Lpca desde la válvula BDV-(4E1010), el cual se muestra en la figura 4.2:



**Figura 4.2 Curva de Formación de Hidratos PCJ6.**

Estas representaciones se extendieron a todos las interetapas objeto de despresurización, las cuales pueden observarse en la sección de apéndices.

A continuación se resumen las válvulas de purga o de venteo donde resultó la formación de hidratos:

**Tabla N° 4.16 Formación de Hidratos en la Despresurización del Gas a 1300 Lpca.**

PLANTA COMPRESORA	VÁLVULA BLOW-DOWN	PRESIÓN DEL VOLUMEN EMPACADO (LPCA)
PCJ-1	BDV-(PCJ-1)	1300
MPCJ-3	BDV-(110321)	
MPCJ-4	BDV-(110321)	
MPCJ-5	BDV-(110321)	
PCJ-6	BDV-(PCJ-6)	
PCJ-10	BDV-(PCJ-10)	
PCJ-11	BDV-(PCJ-11)	
PCJ-13	BDV-110330	

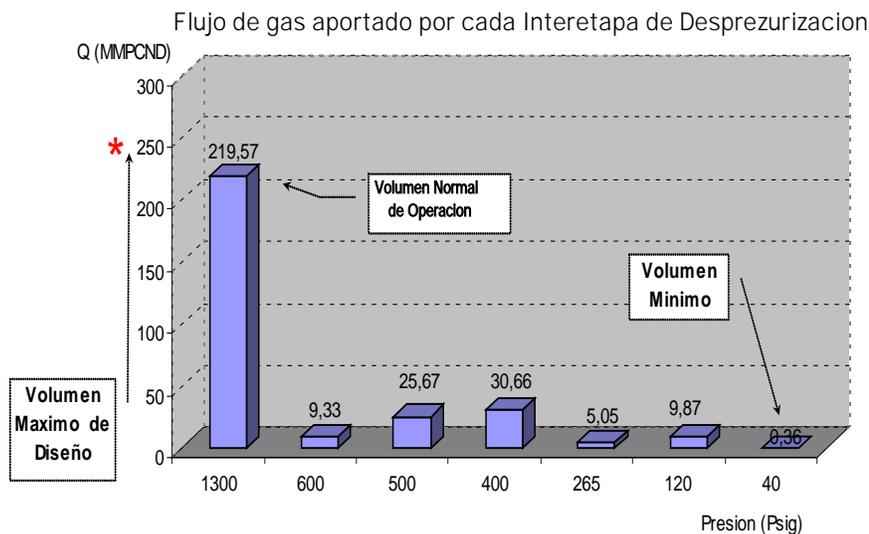
En todo proceso de despresurización, es conveniente revisar la formación de los hidratos que pudieran generar una obstrucción o dificultad al momento de efectuar esta operación.

De las etapas analizadas, según la simulación de proceso y el comportamiento termodinámico del gas y de los hidratos, se puede observar en la figura N° 4.1, correspondiente a la etapa de despresurización de 1300 Lpca la formación de hidratos en virtud de que la condición final (luego de la expansión) a las condiciones de presión y temperatura resultante, se encuentran por debajo de la curva de saturación y/o formación de hidratos. Tal efecto, resulta contraproducente para el proceso de

despresurización de ésta etapa, cuya consecuencia puede ser, como se indicó anteriormente, entaponamiento de válvulas de purga y/o orificios de restricción.

Por otra parte, en la figura N° 4.2, correspondiente a la etapa de despresurización de 600 Lpca, puede observarse que la condición inicial (antes de la expansión) y la condición final (luego de la expansión), se encuentran fuera del área de formación de hidratos, evidenciándose un comportamiento similar para los otros niveles de despresurización :500, 400, 265 y 120 Lpca (Ver sección de apendices), en donde el efecto producto de el cambio de presión y temperatura al momento de la despresurización no generará la presencia de hidratos.

#### 4.4.5.4 Caudal de Gas a Ventear



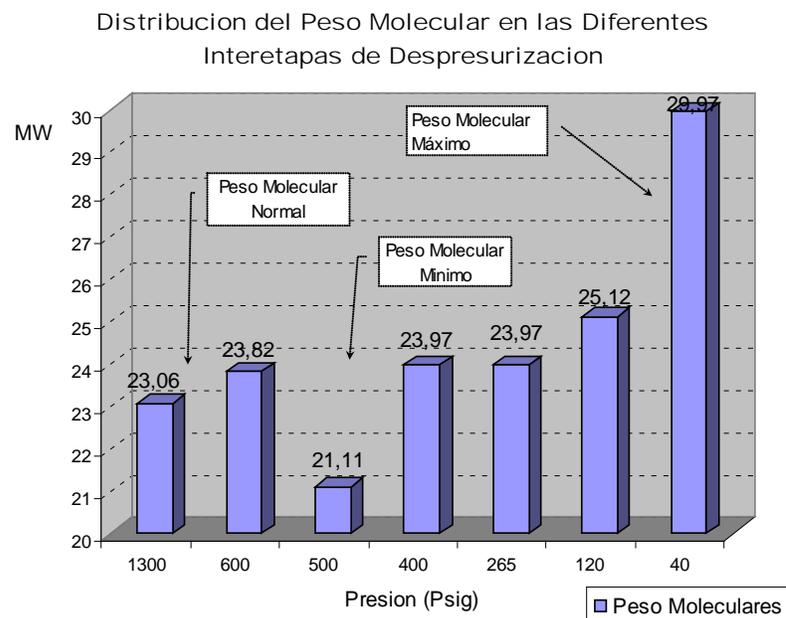
**Figura 4.3 Flujo de Gas a Despresurizar.**

En la figura 4.3 se ilustra que el mayor aporte de gas se presenta en la etapa de 1300 Lpca, resultando 219,57 MMPCND, esta cantidad se atribuye a que en esta etapa existe un mayor inventario de líneas y equipos, asociados a esta presión y

adicionalmente la variable presión incide notablemente en el caudal de gas en la ecuación de estado, dicho caudal se considerará como flujo normal de despresurización, estableciéndose por exceso el flujo máximo en 250 MMPCND de gas. El flujo mínimo a ser transferido al M-03, queda establecido en 0,36 MMPCND, el cual es correspondiente a la etapa de despresurización del gas empacado a 40 Lpca.

#### 4.4.5.5 Peso Molecular del Gas a Ventear

Este parámetro reviste importancia para el diseño y la tecnología a desarrollar en el mechorrio a ser instalado, ya que determina la posibilidad de quema sin humo en la combustión. De tal forma, que este factor permitirá a los fabricantes el diseño adecuado del mechorrio. En la figura N° 4.4 se indica la distribución de los pesos moleculares del gas a ser venteado en las diferentes etapas de la despresurización:

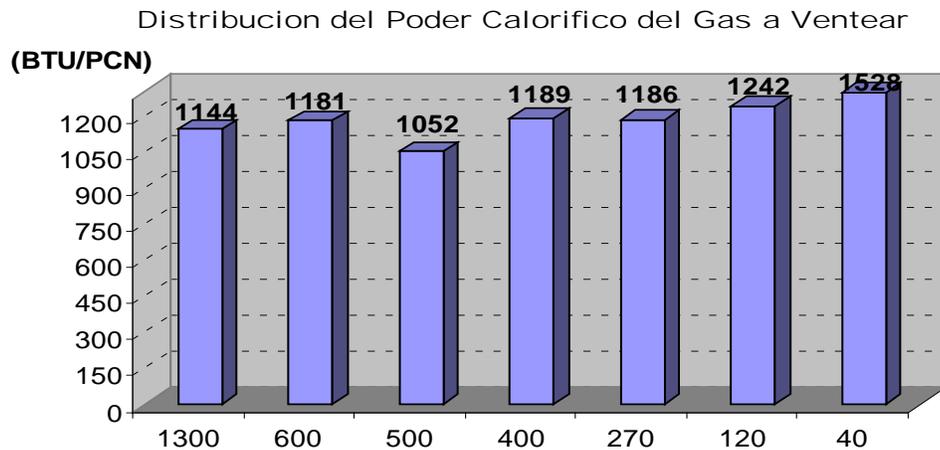


**Figura 4.4** Peso Molecular del Gas en las Interetapas

De la figura 4.4, se puede observar que el rango de variación del peso molecular oscila entre 21,11 lb/lbmol para una presión de 500 lpca, y 29,97 lb/lbmol para una presión de 40 lpca. Este valor mínimo registrado en la etapa de 500 lpca, obedece al aporte del gas proveniente de Planta Compresora Jusepín 6, el cual maneja gas proveniente de los Módulos de Separación de Alta (500 lpca), cuyas fracciones de gas se esperan sean más livianas con respecto al gas que se produce en los Módulos de Media (120 lpca) y Baja (35 lpca). De acuerdo a las composiciones de estos gases, el gas que resultó con mayor peso molecular tiene una composición de Metano de 55%, mientras el gas con menor peso molecular contiene 79% del componente Metano, lo cual implica, que el gas de 40 lpca con 55% de metano contiene mayor cantidad de fracciones pesadas, de tal forma que esto debe considerarse en la selección de la tecnología y el diseño del mechurrio, para garantizarse la quema del gas sin la presencia de humo.

#### **4.4.5.6 Poder Calorífico del Gas a Ventear**

El poder calorífico del gas, está relacionado con la calidad de la combustión al momento de la quema del gas en el mechurrio y la cantidad de calor que se puede generar con un volumen pre-determinado de gas el cual incidirá en los niveles de radiación. Este parámetro, al igual que el peso molecular, y el caudal, son de vital importancia y sirven de base para el diseño adecuado del mechurrio.



**Figura 4.5 Poder Calorífico del Gas a Ventear.**

En la figura N° 4.5, se puede observar que el Poder Calorífico del gas a quemar en las diferentes etapas de compresión oscila entre 1052 BTU/PCN para 500 lpca y un máximo de 1528 BTU/PCN para 40 lpca, indicativo de que este último es el que ofrece mayor poder calorífico. No obstante, los valores obtenidos entre las diferentes etapas de presión no difieren significativamente, lo cual implica que la calidad de combustión mantendrá uniformidad.

#### **4.4.5.7 Cantidad de Líquido Generado en la Despresurización**

En función a la simulación efectuada al proceso de despresurización, se pudo determinar las presiones bajo las cuales el gas empacado al despresurizarse generará condensados, siendo estas en las condiciones de presión de 1300 y 500 Lpca. En la figura N° 4.1, se puede observar que el punto de operación en la etapa inicial de 1300 Lpca y 120° F (antes de la expansión en la válvula de purga) se encuentra por encima de la curva de rocío, lo que indica que el hidrocarburo se encuentra en estado gaseoso, por su parte en la condición final a 20 Lpca y 15° F (luego de la expansión en la válvula de purga.), se desplaza el punto de operación a la región de mezcla

líquido-vapor (dentro del área de la envolvente), con lo cual se evidencia la formación de líquido.

En las otras etapas de despresurización, no se evidenció formación de líquidos-condensados (figura N° 4.2).

En las tablas de los apéndices A.15 Y A.17, que se encuentran en la sección de apendices, se observan las cantidades de líquidos transferidas al K.O.D para 1300 Lpca y 500 Lpca (desde el cabezal de gas de alta y baja presión) y bajo la condición de expansión adiabática (lo cual no representa el comportamiento real del fluido). Observándose, que la mayor formación de líquido se genera en la despresurización del gas de 1300 Lpca (Ver apéndice A.15), aportando el cabezal de alta una cantidad de  $5.92E+03$  Lb/h (586 gpm) de líquidos al K.O.D y por su parte el cabezal de baja  $2.82E+03$  Lb/h (263 gpm). Para un total de alimentación al despojador de líquido de  $8.74E+03$  (849 gpm). Es importante resaltar, que este valor servirá de referencia, ya que la cantidad de líquido formado en esta simulación no considera el efecto de la transferencia de calor del fluido con el medio ambiente, desde que ocurre la expansión hasta el K.O.D, por consiguiente, esta cantidad reportada está asociada a la temperatura de 14°F.

En relación a las corrientes de líquidos-condensados recuperadas del K.O.D, de acuerdo a la simulación, se presenta una merma con respecto al líquido total de entrada, es decir, la corriente de líquido que sale del equipo es de 7223 Lb/h (694 gpm) (Ver apéndice A.15). Esto se debe a la vaporización del líquido que se presenta en el equipo, producto de la separación que ocurre.

La corriente de condensado que sale del equipo está compuesto por 6845 Lb/h (688.7 BPD) de condensado y 378.5 Lb/h de agua (25.08 BPD). El peso molecular del condensado es de 92.79 Lb/Lbmol, lo cual indica que es un líquido volátil. Esta

corriente de líquido (condensado / agua) finalmente será bombeado a los separadores de baja de los módulos II,III, IV y V del Complejo.

Por otra parte en la etapa de 500 Lpca, que corresponde al gas entrampado en la planta compresora Jusepín 6, se tiene presencia de condensados equivalente a 96,8 Lb/h (9,20 gpm), y la cantidad de líquidos que se retira en el KOD equivale a 74,10 Lb/h (7,03 gpm).



## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

El sistema de despresurización de Planta Compresora Jusepín 2 (PCJ-2) funciona de manera manual, es decir, no existe automatización del sistema.

El sistema de despresurización de las Mini-Plantas Compresoras Jusepín 3, 4 y 5 (MPCJ-3, 4, 5), Planta Compresora Jusepin 10 (PCJ-10) y Planta Compresora Jusepin 6 (PCJ-6) funcionan de manera manual remota.

El mechero M-03 no dispone de automatización ni de asistencia por aire, lo cual genera la quema de gas con presencia de humo y con estándares bajos de combustión.

El escenario crítico para la despresurización de las plantas y Mini-Plantas compresoras que conforman el complejo Jusepín se presenta cuando existe una falla eléctrica general.

El mayor caudal de gas se genera durante el proceso de despresurización para la etapa de 1300 Lpca, resultando 219,57 MMPCND.

La posible formación de hidratos durante el proceso de despresurización se evidencia solo en la etapa de presión de 1300 Lpca.

## 5.2 RECOMENDACIONES

Automatizar el sistema de despresurización asociado a todas las planta compresoras existentes en el complejo Jusepin.

Evaluar tecnologías de mecheros tipo sónico multipunto para el reemplazo del mechero M-03.

Realizar la evaluación hidráulica del proceso de despresurización donde se consideren los tramos de tuberías y el intercambio de calor con el medio ambiente para obtener con mayor exactitud el comportamiento del gas durante el proceso de despresurización.

Calcular las áreas correspondientes a los orificios de restricción que se encuentran en las válvulas de despresurización de acuerdo a lo establecido en las normas API 520 Y 521.

Injectar químicos, que inhiban la formación de hidratos, en especial en las líneas de venteos de las plantas compresoras PCJ-1, PCJ-2, MPCJ-3/4/5, PCJ-6/10/11/13 que son aquellas donde se alcanza a despresurizar el gas empacado a una presión de 1300 Lpca.

## BIBLIOGRAFÍA

BRANAN C. (1994). **Manual de Soluciones Rápidas y Exactas Para los Problemas Cotidianos en la Ingeniería de Procesos** (2 ed). México: Mc Graw Hill.

CRANE, C. (1977). **Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías** México: Mc Graw Hill.

GPSA (2004). **Engineering Data Book** (Primera edición electrónica). El autor.

HERNÁNDEZ, S. (2003). **Metodología De La Investigación** (3 ed). México: Mc Graw Hill.

INCENTER C.A. **Aumento de la Capacidad de Compresión del Complejo Jusepín**: proyecto de ingeniería no publicado.

MARTINEZ, M. (1995). **Ingeniería de Gas Natural Características y Comportamiento de los Hidrocarburos** Venezuela: Germor C.A.

PDVSA-Intevep (1997). **Campos Petrolíferos de Venezuela** [Libro en línea]. Consultado el 01 de febrero de 2008 en: <http://www.pdv.com/lexico/camposp/ubicacion.htm>

PDVSA GAS. **Portafolio de Oportunidades (PDO)**: documento no publicado.

PDVSA (2006). **Manual de diseño de procesos**. Principios básicos (MDP-03-S-01).

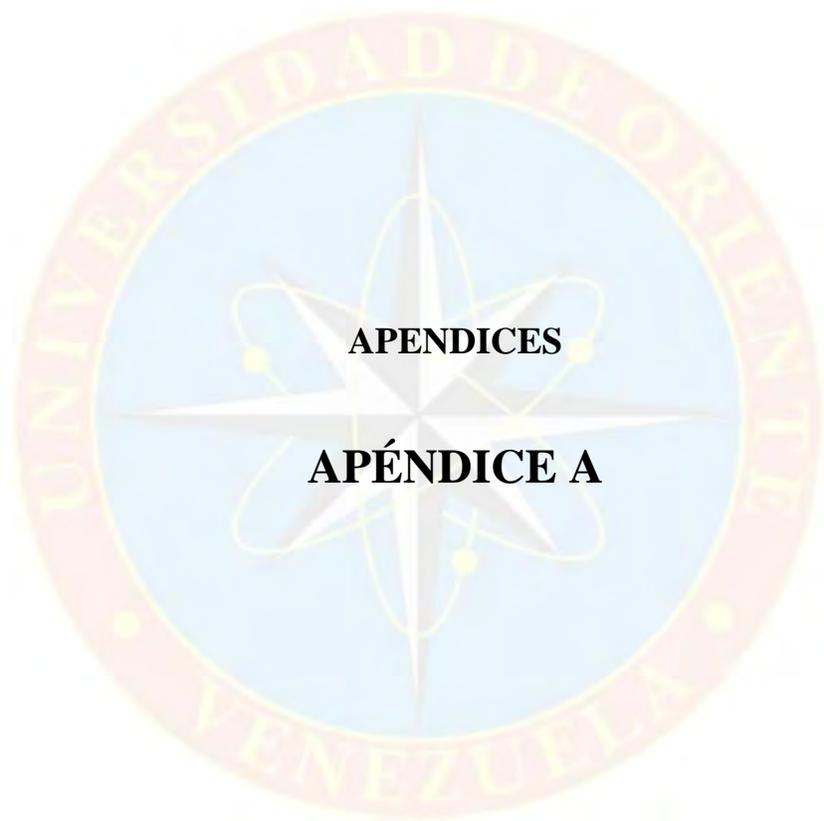
Venezuela. El autor.

PEREZ J. (2000). **Medición de fluidos**: Trabajo de investigación no publicado,

PDVSA-San Tomé

PERRY R. (1992). **Manual del Ingeniero Químico** (6 ed). México: Mc Graw Hill.





**APENDICES**

**APÉNDICE A**

**Balance general de cargas a ventear del sistema de despresurización de las Plantas y Mini-Plantas Compresoras actuales del Complejo Jusepín.**

**Planta Compresora Jusepín 2:**

A.1 Volumen de Gas entrampado en función de los diferentes niveles de presión existentes en PCJ-2.

SISTEMA DE COMPRESIÓN	PRESIÓN (LPCA)	VOLUMEN EN TUBERÍAS (PIE <sup>3</sup> )	VOLUMEN EN DEPURADORES (PIE <sup>3</sup> )	VOLUMEN EN ENFRIADORES (PIE <sup>3</sup> )	VOLUMEN TOTAL A DESPRESURIZAR POR NIVEL DE PRESIÓN (PIE <sup>3</sup> )
DEPURADOR GENERAL	40	327.45	431.18	0	758.64
C1/C2	40	50.6	120.6	0	170.88
	71	51.7	67.06	26.88	145.66
	120	39.92	42.92	23.32	106.18
C3/C4	120	17.04	62.14	0	79.18
	273	24.19	38.2	16.78	73.3
C3/C4	600	11.7	23.26	10.92	45.88
	1300	18.52	18.84	38.28	75.62
	<b>VOLUMEN TOTAL</b>	<b>541.12</b>	<b>804.2</b>	<b>116.18</b>	<b>1455.34</b>

### Mini-Plantas Compresoras Jusepín 3, 4 y 5:

A.2 Volumen de Gas entrampado en función de las diferentes etapas de presión existentes en MPCJ-3, 4 y 5.

<b>PRESIÓN (LPCA)</b>	<b>VOLUMEN EN TUBERÍAS (PIE<sup>3</sup>)</b>	<b>VOLUMEN EN DEPURADORES (PIE<sup>3</sup>)</b>	<b>VOLUMEN EN ENFRIADORES (PIE<sup>3</sup>)</b>	<b>VOLUMEN TOTAL A DESPRESURIZAR POR NIVEL DE PRESIÓN (PIE<sup>3</sup>)</b>
120	300,78	255,25	0,00	556,04
400	235,25	557,00	176,94	969,19
1300	125,07	323,98	88,47	537,52
<b>VOLUMEN TOTAL</b>	<b>661,11</b>	<b>1136,24</b>	<b>265,40</b>	<b>2062,74</b>

### Planta Compresora Jusepín 6:

A.3 Volumen de Gas entrampado en función de los diferentes niveles de presión existentes en PCJ-6.

<b>PRESIÓN (LPCA)</b>	<b>VOLUMEN EN TUBERÍAS (PIE<sup>3</sup>)</b>	<b>VOLUMEN EN DEPURADORES (PIE<sup>3</sup>)</b>	<b>VOLUMEN EN ENFRIADORES (PIE<sup>3</sup>)</b>	<b>VOLUMEN TOTAL A DESPRESURIZAR POR NIVEL DE PRESIÓN (PIE<sup>3</sup>)</b>
500	1019,52	841,19	0	1860,71
1300	680,7	66	558,78	1305,48
<b>VOLUMEN TOTAL</b>	<b>1700,22</b>	<b>907,19</b>	<b>558,78</b>	<b>3166,19</b>

### Planta Compresora Jusepín 10:

A.4 Volumen de Gas atrapado en función de los diferentes niveles de presión existentes en PCJ-10.

<b>PRESIÓN (LPCA)</b>	<b>VOLUMEN EN TUBERÍAS (PIE<sup>3</sup>)</b>	<b>VOLUMEN EN DEPURADORES (PIE<sup>3</sup>)</b>	<b>VOLUMEN EN ENFRIADORES (PIE<sup>3</sup>)</b>	<b>VOLUMEN TOTAL A DESPRESURIZAR POR NIVEL DE PRESIÓN (PIE<sup>3</sup>)</b>
120	641,52	108,91	0	750,43
273	43,62	38,04	86,07	167,74
600	38,13	24,48	27,23	89,85
1300	191,96	0	43,03	234,99
<b>VOLUMEN TOTAL</b>	<b>915,23</b>	<b>171,43</b>	<b>156,33</b>	<b>1243,01</b>

**Balance general de cargas a ventear del sistema de despresurización de las Plantas Compresoras nuevas a instalar en el Complejo Jusepín.**

### Planta Compresora Jusepín 1:

A.5 Volumen de Gas atrapado en función de los diferentes niveles de presión existentes en PCJ-1.

<b>PRESIÓN (LPCA)</b>	<b>VOLUMEN EN TUBERÍAS (PIE<sup>3</sup>)</b>	<b>VOLUMEN EN DEPURADORES (PIE<sup>3</sup>)</b>	<b>VOLUMEN EN ENFRIADORES (PIE<sup>3</sup>)</b>	<b>VOLUMEN TOTAL A DESPRESURIZAR POR NIVEL DE PRESIÓN (PIE<sup>3</sup>)</b>
120	833,98	141,59	0	975,56
273	56,71	49,46	111,90	218,06
600	49,56	31,83	35,40	116,80
1300	249,55	0	55,95	305,5
<b>VOLUMEN TOTAL</b>	<b>1189,79</b>	<b>22,87</b>	<b>203,26</b>	<b>1615,92</b>

### Planta Compresora Jusepín 11:

A.6 Volumen de Gas atrapado en función de los diferentes niveles de presión existentes en PCJ-11.

<b>PRESIÓN (LPCA)</b>	<b>VOLUMEN EN TUBERÍAS (PIE<sup>3</sup>)</b>	<b>VOLUMEN EN DEPURADORES (PIE<sup>3</sup>)</b>	<b>VOLUMEN EN ENFRIADORES (PIE<sup>3</sup>)</b>	<b>VOLUMEN TOTAL A DESPRESURIZAR POR NIVEL DE PRESIÓN (PIE<sup>3</sup>)</b>
120	844,18	730,79	0	1574,94
273	170,13	148,37	335,70	654,19
600	148,69	95,49	106,22	350,40
1300	271,89	0,00	167,85	439,74
<b>VOLUMEN TOTAL</b>	<b>1434,89</b>	<b>974,62</b>	<b>609,77</b>	<b>3019,28</b>

### Planta Compresora Jusepín 12:

A.7 Volumen de Gas atrapado en función de los diferentes niveles de presión existentes en PCJ-12.

<b>PRESIÓN (LPCA)</b>	<b>VOLUMEN EN TUBERÍAS (PIE<sup>3</sup>)</b>	<b>VOLUMEN EN DEPURADORES (PIE<sup>3</sup>)</b>	<b>VOLUMEN EN ENFRIADORES (PIE<sup>3</sup>)</b>	<b>VOLUMEN TOTAL A DESPRESURIZAR POR NIVEL DE PRESIÓN (PIE<sup>3</sup>)</b>
40	193,94	612,61	0	806,55
120	227,04	343,06	180,38	750,48
<b>VOLUMEN TOTAL</b>	<b>420,98</b>	<b>955,67</b>	<b>180,38</b>	<b>1557,03</b>

### Planta Compresora Jusepín 13:

A.8 Volumen de Gas atrapado en función de los diferentes niveles de presión existentes en PCJ-13.

<b>PRESIÓN (LPCA)</b>	<b>VOLUMEN EN TUBERÍAS (PIE<sup>3</sup>)</b>	<b>VOLUMEN EN DEPURADORES (PIE<sup>3</sup>)</b>	<b>VOLUMEN EN ENFRIADORES (PIE<sup>3</sup>)</b>	<b>VOLUMEN TOTAL A DESPRESURIZAR POR NIVEL DE PRESIÓN (PIE<sup>3</sup>)</b>
120	176,15	578,92	0	755,07
410	236,43	250,15	150,43	637,00
<b>1300</b>	<b>106,74</b>	<b>165,40</b>	<b>435,63</b>	<b>707,78</b>

**Balance general del caudal de gas a despresurizar para cada nivel de presión (600, 500, 400, 270, 120 y 40) lpca.**

A.9 Caudal de Gas a Despresurizar para el nivel de 600 lpca.

<b>PLANTA COMPRESORA</b>	<b>FLUJO MASICO (lb/h)</b>	<b>FLUJO VOLUMETRICO (Pie<sup>3</sup>/min)</b>
PCJ-1	1647,72	319,33
PCJ-2	4194,71	812,93
PCJ-11	12584,12	2438,78
<b>Total</b>	<b>18426,55</b>	<b>3571,04</b>

A.10 Caudal de Gas a Despresurizar para el nivel de 500 lpca.

<b>PLANTA COMPRESORA</b>	<b>FLUJO MASICO (lb/h)</b>	<b>FLUJO VOLUMETRICO (Pie<sup>3</sup>/min)</b>
PCJ-6	52422,90	10159,48
<b>Total</b>	<b>52422,90</b>	<b>10159,48</b>

A.11 Caudal de Gas a Despresurizar para el nivel de 400 lpca.

PLANTA COMPRESORA	FLUJO MASICO (lb/h)	FLUJO VOLUMETRICO (Pie <sup>3</sup> /min)
MPCJ-3	20008,58	3877,63
MPCJ-4	20008,58	3877,63
MPCJ-5	20008,58	3877,63
PCJ-13	13150,64	2548,57
<b>Total</b>	<b>73176,39</b>	<b>14181,47</b>

A.12 Caudal de Gas a Despresurizar para el nivel de 270 lpca.

PLANTA COMPRESORA	FLUJO MASICO (lb/h)	FLUJO VOLUMETRICO (Pie <sup>3</sup> /min)
PCJ-1	2555,31	495,21
PCJ-2	858,96	166,46
PCJ-10	1965,64	380,94
PCJ-11	7666,03	1485,66
<b>Total</b>	<b>13045,93</b>	<b>2528,28</b>

A.13 Caudal de Gas a Despresurizar para el nivel de 120 lpca.

PLANTA COMPRESORA	FLUJO MASICO (lb/h)	FLUJO VOLUMETRICO (Pie <sup>3</sup> /min)
PCJ-1	3070,67	595,09
PCJ-2	583,43	113,07
MPCJ-3	1750,19	339,18
MPCJ-4	1750,19	339,18
MPCJ-5	1750,19	339,18
PCJ-10	2362,05	457,76
PCJ-11	4957,28	960,71
PCJ-12	2362,21	457,79
PCJ-13	2376,65	460,59
<b>Total</b>	<b>27211,00</b>	<b>9,87</b>

A.14 Caudal de Gas a Despresurizar para el nivel de 40 lpc.a.

PLANTA COMPRESORA	FLUJO MASICO (lb/h)	FLUJO VOLUMETRICO (Pie <sup>3</sup> /min))
PCJ-2	110,32	21,37
PCJ-12	95,72	18,55
<b>Total</b>	<b>206,03</b>	<b>39,92</b>

**Corrientes de Venteo resultantes de la Despresurización:**

A.15 Corrientes de Alimentación al K.O.D, M-03 y condensados generados a partir del Volumen Empacado a 1300 lpc.a.

DESCRIPCIÓN		ALIMENTACION AL K.O.D DESDE CABEZAL DE GAS DE ALTA		ALIMENTACION AL K.O.D DESDE EL CABEZAL DE GAS DE BAJA		ENTRADA AL M-03		CONDENSADO DEL K.O.D	
FASE		MEZCLA		MEZCLA		GASEOSA		LIQUIDA	
PRESIÓN (LPCA)	TEMP (°F)	20	12	20	21	17	14	17	14
TOTAL									
FLUJO MASICO (LB/H)		296679,00		264478,1		553933,54		7223,53	
PESO MOLECULAR		24,13		21,92		23,02		79,70	
FRACCION MOLAR DEL GAS		0,993		0,997		1		0	
FRACCION MOLAR DEL LIQUIDO		0,007		0,003		0		1	
LÍQUIDO									
FLUJO MASICO DE LIQUIDO (LB/H)		5920		2829,20		NA		7223,5	
FLUJO VOLUMETRICO DEL LIQUIDO(GPM)		586		263		NA		694	
CONDENSADO									
FLUJO MASICO (LB/H)		5736		2625		NA		6845	
FLUJO VOLUMETRICO (GPM)		574,20		249,01		NA		668,78	
DENSIDAD (LB/PIE <sup>3</sup> )		42,7		45,06		NA		43,75	
GRAVEDAD ESPECÍFICA		0,686		0,724		NA		0,703	
VISCOSIDAD (CP)		0,356		0,684		NA		0,5481	
PESO MOLECULAR		83,27		109,2		NA		92,79	
AGUA									
FLUJO MASICO (LB/H)		183,6		204,2		NA		378,5	

DESCRIPCIÓN	ALIMENTACION AL K.O.D DESDE CABEZAL DE GAS DE ALTA	ALIMENTACION AL K.O.D DESDE EL CABEZAL DE GAS DE BAJA	ENTRADA AL M-03	CONDENSADO DEL K.O.D
FLUJO VOLUMETRICO (GPM)	12,158	13,568	NA	25,086
GRAVEDAD ESPECÍFICA (H <sub>2</sub> O =1.0)	1,037	1,033	NA	1,036
DENSIDAD (LB/PIE <sup>3</sup> )	64,55	64,33	NA	64,5
VISCOSIDAD (CP)	0,356	0,7634	NA	-
PESO MOLECULAR	18,02	18,02	NA	18,02
GAS				
FLUJO MASICO (LB/H)	291000	261648,9	553933,54	NA
FLUJO VOLUMETRICO STAND (MMPCSD)	111,2	76,010	219	NA
DENSIDAD (LB/PIE <sup>3</sup> ) @ T,P	0,1657	0,148	0,145	NA
GRAVEDAD ESPECÍFICA	0,822	0,750	0,794	NA
VISCOSIDAD @ TEMP. (CP)	9,79E-03	1,009E-02	9,878E-03	NA
PESO MOLECULAR	23,81	21,74	23,02	NA
PODER CALORIFICO (BTU/PIE <sup>3</sup> )	1182	1083	1144	NA
FACTOR DE COMPRESIBILIDAD (Z)	0,985	0,987	0,986	NA

A.16 Corrientes de Alimentación al K.O.D, M-03 y condensados generados a partir del Volumen Empacado a 500 Lpca.

DESCRIPCIÓN		ALIMENTACION AL K.O.D DESDE CABEZAL DE BAJA		GAS HACIA EL M-03		CONDENSADOS HACIA TRI-FASICOS	
FASE		MEZCLA		GASEOSA		LIQUIDA	
PRESIÓN (LPCA)	TEMP (°F)	20	61	17	61	17	61
TOTAL							
FLUJO MASICO (LB/H)		52951,00		52876,9		74,10 (NOTA 1)	
PESO MOLECULAR		21,13		21,11		125,70	
FRACCION MOLAR DEL GAS		0,999		1		0	
FRACCION MOLAR DEL LIQUIDO		0,001		0		1	
LÍQUIDO							
FLUJO MASICO DE LIQUIDO (LB/H)		96,8		NA		74,1	
FLUJO VOLUMETRICO DEL LIQUIDO(GPM)		9,20		NA		7,03	
CONDENSADO							
FLUJO MASICO (LB/H)		96,75		NA		74,1	
FLUJO VOLUMETRICO (GPM)		9,196		NA		7,032	
DENSIDAD (LB/PIE <sup>3</sup> )		44,97		NA		45,04	
GRAVEDAD ESPECÍFICA		0,722		NA		0,723	
VISCOSIDAD (CP)		0,728		NA		0,742	

DESCRIPCIÓN	ALIMENTACION AL K.O.D DESDE CABEZAL DE BAJA	GAS HACIA EL M-03	CONDENSADOS HACIA TRI-FASICOS
PESO MOLECULAR	124,7	NA	125,7
AGUA			
FLUJO MASICO (LB/H)	NA	NA	NA
FLUJO VOLUMETRICO (GPM)	NA	NA	NA
GRAVEDAD ESPECÍFICA (H <sub>2</sub> O =1.0)	NA	NA	NA
DENSIDAD (LB/PIE <sup>3</sup> )	NA	NA	NA
VISCOSIDAD (CP)	NA	NA	NA
PESO MOLECULAR	NA	NA	NA
GAS			
FLUJO MASICO (LB/H)	52854,25	52876,9	NA
FLUJO VOLUMETRICO STAND (MMPCSD)	22,81	22,820	NA
DENSIDAD (LB/PIE <sup>3</sup> ) @ T,P	0,132	0,121	NA
GRAVEDAD ESPECÍFICA	0,728	0,728	NA
VISCOSIDAD @ TEMP. (CP)	1,09E-02	1,093E-02	NA
PESO MOLECULAR	21,1	21,11	NA
PODER CALORIFICO (BTU/PIE <sup>3</sup> )	1046	1052	NA
FACTOR DE COMPRESIBILIDAD (Z)	0,990	0,991	NA

A.17 Corrientes de Alimentación al K.O.D, M-03 y condensados generados a partir del Volumen Empacado a 400 Lpca.

DESCRIPCIÓN		ALIMENTACION AL K.O.D DESDE CABEZAL DE GAS DE ALTA		ALIMENTACION AL K.O.D DESDE EL CABEZAL DE GAS DE BAJA		GAS HACIA EL M-03		CONDENSADOS HACIA TRI-FASICOS	
FASE		GASEOSA		GASEOSA		GASEOSA		LIQUIDA	
PRESIÓN (LPCA)	TEMP (°F)	20	85	20	89	17	88	17	88
TOTAL									
FLUJO MASICO (LB/H)		15578,00		65109,0		80687,0		NA	
PESO MOLECULAR		25,35		23,66		23,97		NA	
FRACCION MOLAR DEL GAS		1		1		1		NA	
FRACCION MOLAR DEL LIQUIDO		0		0		0		NA	
LÍQUIDO									
FLUJO MASICO DE LIQUIDO (LB/H)		NA		NA		NA		NA	
FLUJO VOLUMETRICO DEL LIQUIDO(GPM)		NA		NA		NA		NA	
CONDENSADO									
FLUJO MASICO (LB/H)		NA		NA		NA		NA	
FLUJO VOLUMETRICO (GPM)		NA		NA		NA		NA	

DESCRIPCIÓN	ALIMENTACION AL K.O.D DESDE CABEZAL DE GAS DE ALTA	ALIMENTACION AL K.O.D DESDE EL CABEZAL DE GAS DE BAJA	GAS HACIA EL M-03	CONDENSADOS HACIA TRI-FASICOS
DENSIDAD (LB/PIE <sup>3</sup> )	NA	NA	NA	NA
GRAVEDAD ESPECÍFICA	NA	NA	NA	NA
VISCOSIDAD (CP)	NA	NA	NA	NA
PESO MOLECULAR	NA	NA	NA	NA
AGUA				
FLUJO MASICO (LB/H)	NA	NA	NA	NA
FLUJO VOLUMETRICO (GPM)	NA	NA	NA	NA
GRAVEDAD ESPECÍFICA (H <sub>2</sub> O =1.0)	NA	NA	NA	NA
DENSIDAD (LB/PIE <sup>3</sup> )	NA	NA	NA	NA
VISCOSIDAD (CP)	NA	NA	NA	NA
PESO MOLECULAR	NA	NA	NA	NA
GAS				
FLUJO MASICO (LB/H)	15578	65109	80687	NA
FLUJO VOLUMETRICO STAND (MMPCSD)	5,597	25,060	30,660	NA
DENSIDAD (LB/PIE <sup>3</sup> ) @ T,P	0,1524	0,141	0,131	NA
GRAVEDAD ESPECÍFICA	0,875	0,816	0,827	NA
VISCOSIDAD @ TEMP. (CP)	1,11E-02	1,132E-02	1,127E-02	NA
PESO MOLECULAR	25,35	23,66	23,97	NA
PODER CALORIFICO (BTU/PIE <sup>3</sup> )	1252	1175	1189	NA
FACTOR DE COMPRESIBILIDAD (Z)	0,982	0,990	0,990	NA

A.18 Corrientes de Alimentación al K.O.D, M-03 y condensados generados a partir del Volumen Empacado a 270 Lpca.

DESCRIPCIÓN		ALIMENTACION AL K.O.D DESDE CABEZAL DE BAJA		GAS HACIA EL M-03		CONDENSADOS HACIA TRI-FASICOS	
FASE		GASEOSA		GASEOSA		LIQUIDA	
PRESIÓN (LPCA)	TEMP (°F)	20	99	17	99	17	99
TOTAL							
FLUJO MASICO (LB/H)		13337,0		13337,0		NA	
PESO MOLECULAR		23,97		23,97		NA	
FRACCION MOLAR DEL GAS		1		1		NA	
FRACCION MOLAR DEL LIQUIDO		0		0		NA	
LÍQUIDO							
FLUJO MASICO DE LIQUIDO (LB/H)		NA		NA		NA	

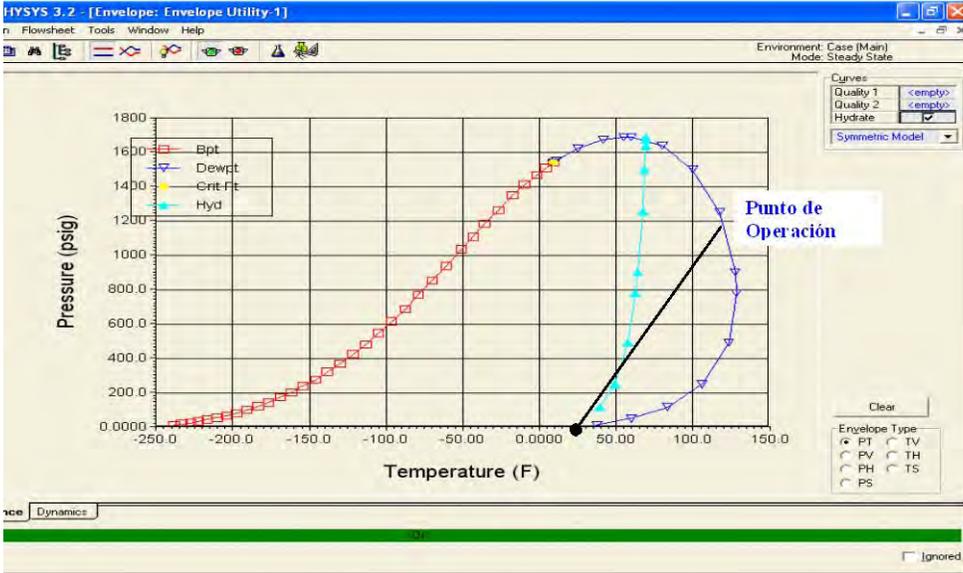


DESCRIPCIÓN	ALIMENTACION AL K.O.D DESDE CABEZAL DE GAS DE ALTA	ALIMENTACION AL K.O.D DESDE EL CABEZAL DE GAS DE BAJA	GAS HACIA EL M-03	CONDENSADOS HACIA TRI-FASICOS
FLUJO MASICO (LB/H)	7612,00	19599,0	27211,0	NA
PESO MOLECULAR	28,51	24,01	24,66	NA
FRACCION MOLAR DEL GAS	1	1	1	NA
FRACCION MOLAR DEL LIQUIDO	0	0	0	NA
LÍQUIDO				
FLUJO MASICO DE LIQUIDO (LB/H)	NA	NA	NA	NA
CONDENSADO				
FLUJO MASICO (LB/H)	NA	NA	NA	NA
DENSIDAD (LB/PIE <sup>3</sup> )	NA	NA	NA	NA
GRAVEDAD ESPECÍFICA	NA	NA	NA	NA
VISCOSIDAD (CP)	NA	NA	NA	NA
PESO MOLECULAR	NA	NA	NA	NA
AGUA				
FLUJO MASICO (LB/H)	NA	NA	NA	NA
GRAVEDAD ESPECÍFICA (H <sub>2</sub> O =1.0)	NA	NA	NA	NA
DENSIDAD (LB/PIE <sup>3</sup> )	NA	NA	NA	NA
VISCOSIDAD (CP)	NA	NA	NA	NA
PESO MOLECULAR	NA	NA	NA	NA
GAS				
FLUJO MASICO (LB/H)	7612,00	19599,0	27211,0	NA
FLUJO VOLUMETRICO STAND (MMPCSD)	2,432	7,433	9,865	NA
DENSIDAD (LB/PIE <sup>3</sup> ) @ T,P	0,167	0,126	0,120	NA
GRAVEDAD ESPECÍFICA	0,804	0,840	0,835	NA
VISCOSIDAD @ TEMP. (CP)	1,110E-02	1,163E-02	1,149E-02	NA
PESO MOLECULAR	28,51	23,79	25,12	NA
PODER CALORIFICO (BTU/PIE <sup>3</sup> )	1409	1168	1170	NA
FACTOR DE COMPRESIBILIDAD (Z)	0,986	0,991	0,991	NA

A.20 Corrientes de Alimentación al K.O.D, M-03 y condensados generados a partir del Volumen Empacado a 40 Lpca.

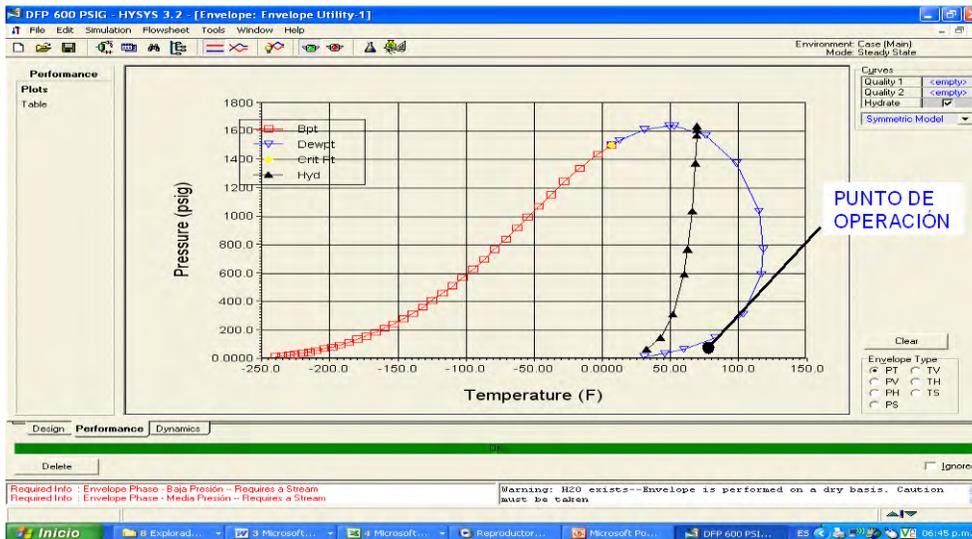
DESCRIPCIÓN		ALIMENTACION AL K.O.D DESDE CABEZAL DE GAS DE ALTA		ALIMENTACION AL K.O.D DESDE EL CABEZAL DE GAS DE BAJA		GAS HACIA EL M-03		CONDENSADOS HACIA TRI-FASICOS	
FASE		GASEOSA		GASEOSA		GASEOSA		LIQUIDA	
PRESIÓN (LPCA)	TEMP (°F)	20	108	20	86	17	97	17	97
TOTAL									
FLUJO MASICO (LB/H)		604,00		594,00		1198,0		NA	
PESO MOLECULAR		30,81		29,16		29,97		NA	
FRACCION MOLAR DEL GAS		1		1		1		0	
FRACCION MOLAR DEL LIQUIDO		NA		NA		NA		NA	
LÍQUIDO									
FLUJO MASICO DE LIQUIDO (LB/H)		NA		NA		NA		NA	
CONDENSADO									
FLUJO MASICO (LB/H)		NA		NA		NA		NA	
DENSIDAD (LB/PIE <sup>3</sup> )		NA		NA		NA		NA	
GRAVEDAD ESPECÍFICA		NA		NA		NA		NA	
VISCOSIDAD (CP)		NA		NA		NA		NA	
PESO MOLECULAR		NA		NA		NA		NA	
AGUA									
FLUJO MASICO (LB/H)		NA		NA		NA		NA	
GRAVEDAD ESPECÍFICA (H <sub>2</sub> O =1.0)		NA		NA		NA		NA	
DENSIDAD (LB/PIE <sup>3</sup> )		NA		NA		NA		NA	
VISCOSIDAD (CP)		NA		NA		NA		NA	
PESO MOLECULAR		NA		NA		NA		NA	
GAS									
FLUJO MASICO (LB/H)		604		594,00		1198,0		NA	
FLUJO VOLUMETRICO STAND (MMPCSD)		0,178		0,185		0,364		NA	
DENSIDAD (LB/PIE <sup>3</sup> ) @ T,P		0,266		0,1755		0,161		NA	
GRAVEDAD ESPECÍFICA		0,811		0,806		0,806		NA	
VISCOSIDAD @ TEMP. (CP)		1,08E-02		1,08E-02		1,077E-02		NA	
PESO MOLECULAR		30,81		29,16		29,97		NA	
PODER CALORIFICO (BTU/PIE <sup>3</sup> )		1610		1446		1530		NA	
FACTOR DE COMPRESIBILIDAD (Z)		0,984		0,984		0,985		NA	

Representaciones graficas de las curvas de formación de hidratos para cada nivel de presión:

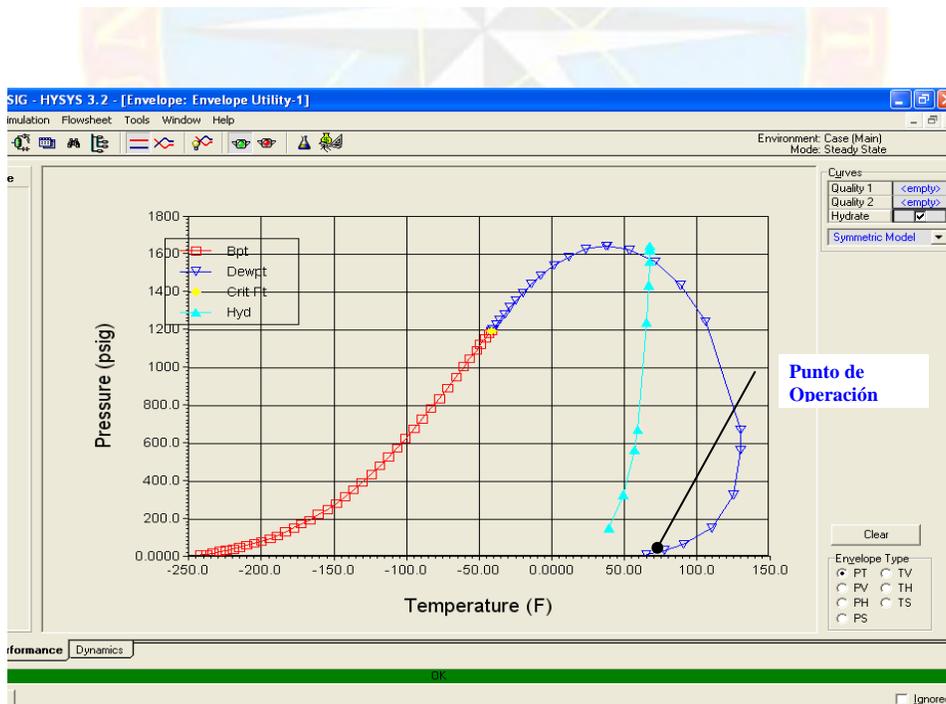


A.21 Curva de Formación de Hidratos para un Nivel de Despresurización de 1300 Lpcaa  
Caso BDV- (MPCJ 3).

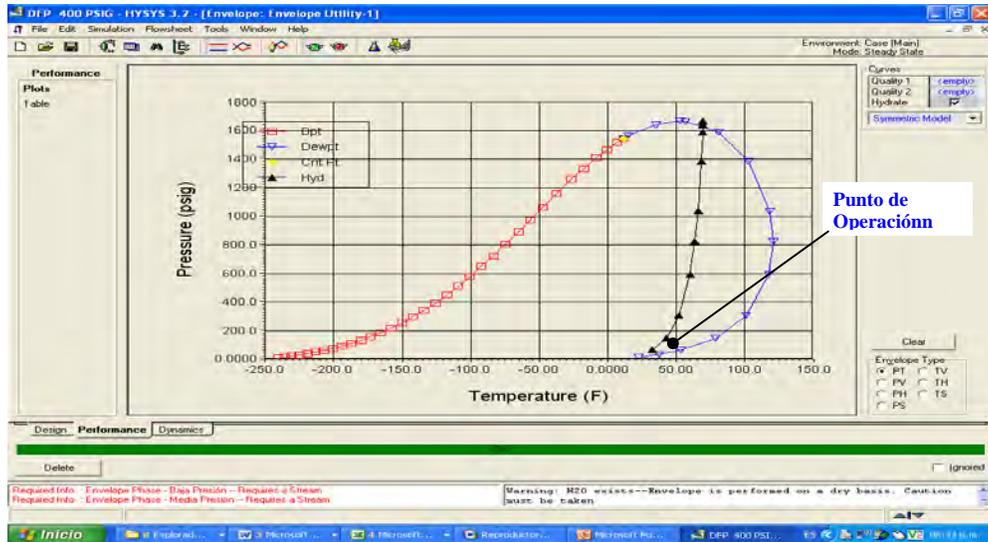




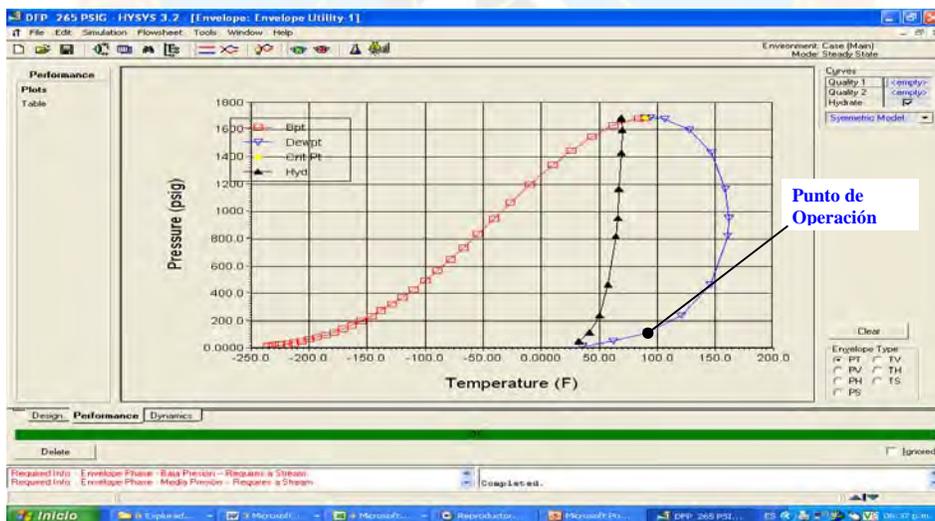
A.22 Curva de Formación de Hidratos para un Nivel de Despresurización de 600 Lpcaa  
Caso BDV- (MPCJ-10).



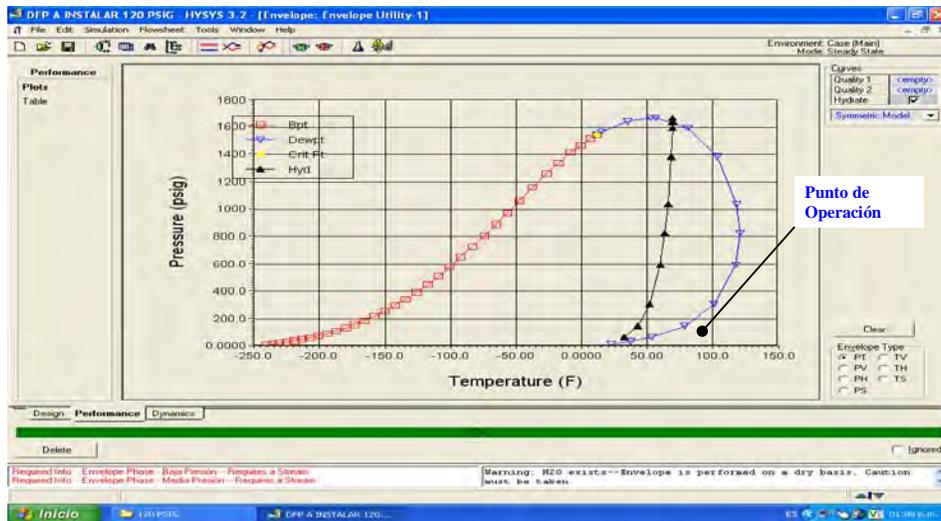
A.23 Curva de Formación de Hidratos para un Nivel de Despresurización de 500 Lpcaa  
Caso BDV- (MPCJ-6).



A.24 Curva de Formación de Hidratos para un Nivel de Despresurización de 400 Lpcaa  
Caso BDV- (MPCJ-3).



A.25 Curva de Formación de Hidratos para un Nivel de Despresurización de 270 Lpcaa  
Caso BDV- (PCJ-2).



A.26 Curva de Formación de Hidratos para un Nivel de Despresurización de 120 Lpcaa  
Caso BDV- (MPCJ-3).





**APÉNDICE B**

**Registro fotográfico del sistema de despresurización de las Plantas y Mini-Plantas  
Compresoras que constituyen el Complejo Jusepín.**

**B.1 Registro Fotográfico Mini Planta Compresora Jusepín 3/4/5.**



Válvula de  
Despresurización



Cabezales de Venteo de  
Alta y Baja Presión



Cabezal de Despresurización



Cabezal de Gas de Succión

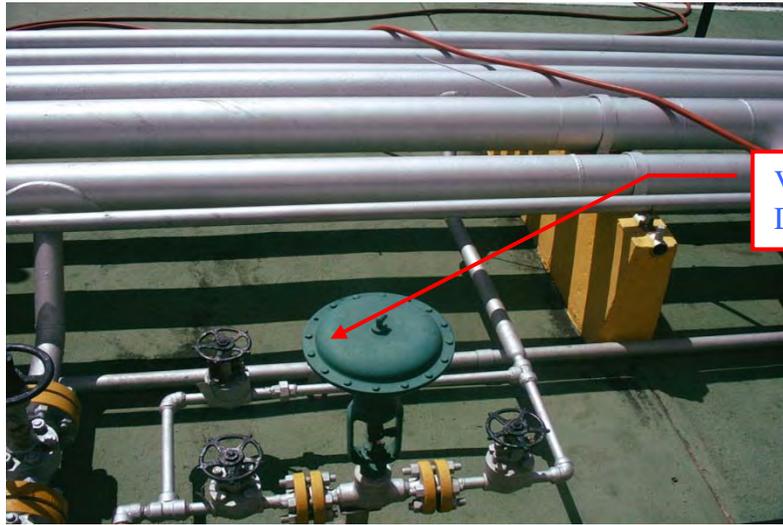
B.2 Registro Fotográfico Planta Compresora Jusepín 2. (PCJ-2).



Depurador General



Cabezal de Despresurización



Válvula de  
Despresurización

B.3 Registro Fotográfico Planta Compresora Jusepín 6. (PCJ-6)



Depurador General

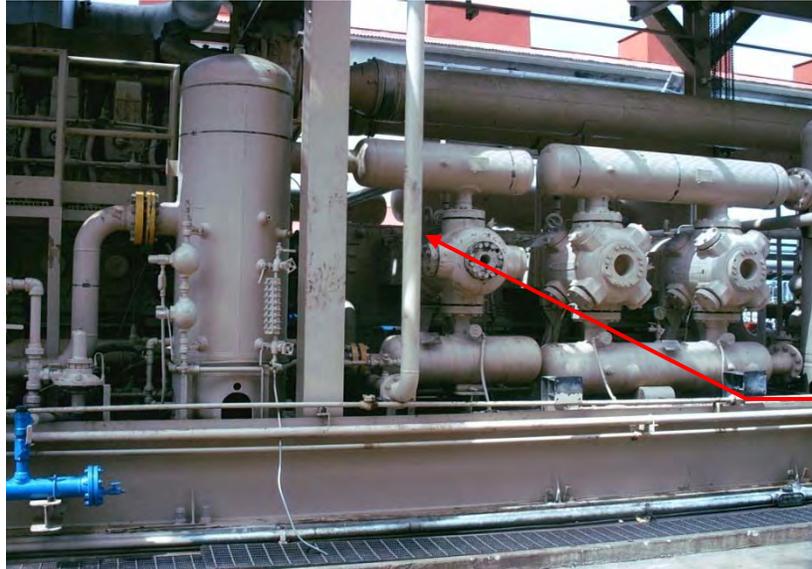


Válvula de  
Despresurización



Cabezal de  
Despresurización

B.4 Registro Fotográfico Planta Compresora Jusepín 10. (PCJ-10)



Sistema de  
Compresión



Cabezal de  
Despresurización



Línea de Despresurización



Válvula de Despresurización

B.5 Registro Fotográfico Despojador General de Líquidos (K.OD).



Cabezales de  
Despresurización de  
Baja y de Alta  
Desde Plantas  
Compresoras

Cabezal de  
Despresurización  
Hacia Mechurrio

B.6 Registro Fotográfico Mechurrio M-03.



Cabezal de  
Despresurización  
desde K.O.D



**APÉNDICE C**

C.1 Muestra de cálculo del volumen de gas atrapado en Miniplanta Compresora Jusepin 5 (MPCJ-5).

### Enfriadores

Para el cálculo de este volumen se utilizaron las siguientes dimensiones de los equipos:

Dimensiones de Enfriadores.

Tag`S Enfriador	Presión lpca	# de Tubos	# de Pasos	Diam. del Tubo (Pulgadas)	Longitud de Tubos (pie)
E-0501	400	712	1	1,125	36,000
E-0502	1300	356	1	1,125	36,000

Para el nivel de 400 Lpcm:

$$V = 0.007 \text{ ft}^2 * 36 \text{ ft} * 1 * 712$$

$$V = 176.94 \text{ ft}^3$$

Para el nivel de 1300 Lpcm:

$$V = 0.007 \text{ ft}^2 * 36 \text{ ft} * 1 * 356$$

$$V = 88.47 \text{ ft}^3$$

### Depuradores

Para el cálculo de este volumen se utilizaron las siguientes dimensiones de los equipos:

Tag`S Equipo	Presión lpca	Diámetro (Pulgadas)	Longitud (pie)
50-S-01	120	60	13
50-S-02	400	72	19,7
50-S-03	1300	60	16,5

Para el nivel de 120 Lpca depurador (50-S-01):

$$V = \frac{3.14159 * (60 \text{ Plg})^2 * 13 \text{ ft} * (1 \text{ ft})^2}{4 * (144 \text{ Plg})^2}$$

$$V = 255.25 \text{ ft}^3$$

Para el nivel de 400 Lpca depurador (50-S-02):

$$V = \frac{3.14159 * (72 \text{ Plg})^2 * 19.7 \text{ ft} * (1 \text{ ft})^2}{4 * (144 \text{ Plg})^2}$$

$$V = 557 \text{ ft}^3$$

Para el nivel de 1300 Lpca depurador (50-S-03):

$$V = \frac{3.14159 * (60 \text{ Plg})^2 * 16.5 \text{ ft} * (1 \text{ ft})^2}{4 * (144 \text{ Plg})^2}$$

$$V = 323.98 \text{ ft}^3$$

## Líneas de proceso

Volumen entrampado en tuberías que operan @ 120Lpc = 300.78 ft<sup>3</sup>

Volumen entrampado en tuberías que operan @ 400Lpc= 235.25 ft<sup>3</sup>

Volumen entrampado en tuberías que operan @ 1300 Lpc= 125.07 ft<sup>3</sup>

El volumen total para las líneas de proceso será la adición de cada uno de los volúmenes calculados a las diferentes etapas de presión:

Entonces:

$$V_1 = (\text{Volumen Enfriadores} + \text{Volumen Depuradores} + \text{Volumen Lineas Pr oceso}) @ 120 \text{psig}$$

$$V_1 = (0 + 255.25 + 300.78) @ 120 \text{psig}$$

$$V_1 = 556.04 \text{ft}^3$$

$$V_2 = (\text{Volumen Enfriadores} + \text{Volumen Depuradores} + \text{Volumen Lineas Pr oceso}) @ 400 \text{psig}$$

$$V_2 = (176.94 + 557 + 235.25) @ 400 \text{psig}$$

$$V_2 = 969.19 \text{ft}^3$$

$$V_3 = (\text{Volumen Enfriadores} + \text{Volumen Depuradores} + \text{Volumen Lineas Pr oceso}) @ 1300 \text{psig}$$

$$V_3 = (88.47 + 323.98 + 125.07) @ 1300 \text{psig}$$

$$V_3 = 537.52 \text{ft}^3$$

El Volumen total del sistema (enfriador, recipientes y líneas), será la suma de los volúmenes, anteriormente definidos como V1, V<sub>2</sub> y V<sub>3</sub>:

$$VT = (556.04 \text{ ft}^3 + 969.19 \text{ ft}^3 + 537.52 \text{ ft}^3)$$

$$VT = 2062.74 \text{ ft}^3$$

C.2 Muestra de cálculo del caudal de gas a despresurizar para la etapa de presión de 1300 lpca en la Mini-planta Compresora Jusepín 5 (MPCJ-5).

$$Q_{\text{min}} = \frac{1308.7 \text{ Psia} * 520^\circ \text{ R}}{14.7 \text{ Psia} * (\circ \text{ R} = 119.8^\circ \text{ F} + 460^\circ \text{ F})} * \left( \frac{1}{15 \text{ min}} \right) * \left[ 537.52 \text{ ft}^3 * \text{Ln} \left( \frac{1308.7 \text{ Psia}}{34.7 \text{ Psia}} \right) \right]$$

$$Q_{\text{min}} = 10386.37 \text{ ft}^3 / \text{min}$$

Luego se cálculo el flujo másico con la siguiente ecuación:

$$W_g = Q_{\text{min}} * \rho_{\text{gas}}$$

Entonces

$$W_g = 10368.37 \text{ ft}^3 / \text{min} * 0.086 \text{ Lb} / \text{ft}^3 * \left( \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} \right)$$

$$W_g = 53593.66 \text{ Lb} / \text{hr}$$