



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**“DISEÑO DE LA BOMBA DE ANILLO LÍQUIDO  
PARA GARANTIZAR LA OPERACIÓN DE LA  
TORRE DE VACÍO DE UNA REFINERÍA”**

**TESIS**

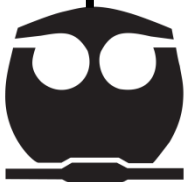
**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTA**

**EFRAIN RAMIREZ CHAVEZ**

**MÉXICO, D.F.**

**2013**





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:**           **Profesor: JOSE ANTONIO ORTIZ RAMIREZ**

**VOCAL:**               **Profesor: HECTOR GERARDO MENDEZ FREGOSO**

**SECRETARIO:**       **Profesor: JOSE FERNANDO BARRAGAN AROCHE**

**1er. SUPLENTE:**      **Profesor: NESTOR NOE LOPEZ CASTILLO**

**2° SUPLENTE:**       **Profesor: HUMBERTO HINOJOSA GOMEZ**

**SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:**

**4º PISO ALA SUR, TORRE DE INGENIERÍA, CIUDAD UNIVERSITARIA**

**ASESOR DEL TEMA:**

---

**DR. JOSE FERNANDO BARRAGAN AROCHE**

**SUPERVISOR TÉCNICO:**

---

**ING. GUILLERMO GARZA PUIG**

**SUSTENTANTE (S):**

---

**EFRAIN RAMIREZ CHAVEZ**

## Contenido

Nomenclatura.....	1
I. Objetivo .....	3
1. Introducción.....	4
1.1. Refinación del Petróleo.....	4
2. Procesos de Destilación Atmosférica y al Vacío .....	7
2.1. Descripción del Proceso.....	8
2.2. Destilación Atmosférica .....	8
2.2.1. Tren de precalentamiento .....	9
2.2.2. Desalado.....	9
2.2.3. Despunte.....	10
2.2.4. Horno de calentamiento .....	11
2.2.5. Torre atmosférica.....	12
2.3. Destilación al Vacío.....	13
2.3.1. Calentadores de Crudo Reducido.....	13
2.3.2. Torre de Vacío .....	14
2.3.3. Sistema de Vacío.....	17
2.4. Variables de Operación en Torre de Destilación.....	18
3. Sistema de Desfogue.....	20
4. Compresor de anillo líquido .....	22
4.1. Sistema de líquido de sello .....	24
4.2. Sistemas de recuperación de gas.....	25
5. Planteamiento del problema .....	30
6. Bases termodinámicas .....	33
7. Cálculo de la bomba de anillo líquido.....	37
7.1. Determinación de la composición base húmeda a la entrada de la bomba de anillo líquido.....	39
7.2. Criterios de diseño.....	40
7.3. Datos de diseño .....	42
7.4. Cálculos de las propiedades de la mezcla .....	42
7.5. Evaluación del flujo de entrada .....	44

7.6.	Ajuste de las condiciones iniciales del gas por la interacción con el anillo líquido para la determinación de la potencia de la bomba de anillo líquido. ....	46
7.7.	Selección del cuerpo de la bomba de anillo líquido de acuerdo a las especificaciones del “compresor de Elliot” .....	51
7.8.	Cálculo del factor de compresibilidad promedio.....	51
7.9.	Cálculo de la potencia requerida. ....	54
7.10.	Cálculo de la temperatura de descarga. ....	55
7.11.	Cálculo del flujo volumétrico a la descarga de la bomba de anillo líquido. ....	55
8.	Especificación de la bomba de anillo líquido .....	56
9.	Análisis de resultados y conclusiones.....	57
10.	Bibliografía.....	58
	Glosario.....	60
	ANEXOS .....	63
	ANEXO 1 Estadístico de la información recopilada.....	64
	ANEXO 2 Tablas y gráficos complementarios.....	67
	ANEXO 3 Especificación técnica.....	72
	ANEXO 4 Hojas de Datos. Bomba de anillo líquido. ....	74
	ANEXO 5 Hoja de Datos. Bomba de Agua de Proceso.....	81

## Nomenclatura

### Símbolos

$C_p$	Calor específico a presión constante kJ/(kgmol*K)
$C_v$	Calor específico a volumen constante kJ/(kgmol*K)
$\dot{w}$	Flujo molar kgmol/h
$H$	Cabeza kN*m/kg
$k$	Exponente adiabático, adimensional
$n$	Exponente politrópico, adimensional
$P$	Presión bar
$PM$	Peso molecular kg/kgmol
$Q$	Capacidad m <sup>3</sup> /h
$q$	Flujo de calor kJ/h
$R$	Constante de los gases m <sup>3</sup> *bar/(kgmol*K)
$r$	Relación de presión, adimensional
$T$	Temperatura absoluta K
$t$	Temperatura $K$
$v$	Volumen específico m <sup>3</sup> /kg
$w$	Flujo másico kg/h
$x$	Factor de incremento de la temperatura
$Z$	Factor de compresibilidad, adimensional
$\eta$	Eficiencia, adimensional
$\rho$	Densidad kg/m <sup>3</sup>
$\omega$	Factor acéntrico, adimensional
$y$	Fracción mol de gas, adimensional

## Subíndices

ad	Proceso adiabático
al	Anillo líquido
ap	Agua de proceso
c	Propiedad crítica
g	Gas
i, inf	Inferior
ℓ	Líquido
m	Propiedad media ponderada
op	Condición de operación
p	Proceso politrópico
r	Propiedad reducida
s, sup	Superior
T	Propiedad total
0	Condición de diseño/entrada
1	Condición de cálculo inicial
2	Condición de descarga

## I. Objetivo

El objetivo principal de esta tesis, es proporcionar un método práctico para el cálculo de una bomba de anillo líquido. Para simplificar el cálculo se incluyen tablas y gráficas.

Se desarrollará el procedimiento de cálculo para el diseño de una bomba de anillo líquido de acuerdo:

- a) Al método de la "N"
- b) En lo establecido en la normatividad de PEMEX<sup>1</sup>
- c) y al estándar API 681<sup>2</sup>

Partiendo de las condiciones de compresión de los bancos de condensadores del sistema de vacío de una torre de vacío de una refinería así como el envío de esta corriente a la planta de desintegración catalítica (FCC), bajo condiciones de operación normal de la planta.

---

<sup>1</sup> NRF-131-PEMEX-2007 Compresores Centrífugos.

<sup>2</sup> API 681 Bombas de anillo líquido y compresores para petróleo, químicos y servicios de la industria del gas. 1996.



## **1. Introducción**

Actualmente el desarrollo tecnológico, económico y el crecimiento poblacional, demandan una cantidad impresionante de materias primas y energía, por ende la disposición de energéticos y materias primas derivadas del petróleo es fundamental como motor del crecimiento económico de un país, tal es el caso de México, nación que dispone de yacimientos de petróleo y gas natural como parte de sus recursos naturales no renovables.

Ante tal panorama resulta claro que el desarrollo industrial se ha convertido en el propulsor de la economía moderna, sin embargo la industria de refinación del país atraviesa por una situación crítica que dificulta cada vez más su capacidad de cumplir los objetivos de eficiencia y rentabilidad en el abastecimiento de la demanda interna de derivados del petróleo; sin embargo, existen ahorros potenciales en los procesos de refinación cuya utilización representa la oportunidad de implantar tecnologías que mejoren en forma integral la calidad de la producción, aumentando la competitividad de la Industria de la Refinación y maximizando el valor agregado de los productos que se obtienen.

### **1.1. Refinación del Petróleo**

El petróleo es un líquido viscoso, de color pardo oscuro, de olor desagradable, tóxico, irritante e inflamable. Se encuentra en yacimientos a diferentes profundidades en el subsuelo. Está formado, esencialmente, por una mezcla de hidrocarburos, pero también contiene pequeñas cantidades de otros elementos que se combinan con ellos, tales como azufre, oxígeno, nitrógeno, níquel, vanadio, arsénico y cromo<sup>3</sup> además el petróleo se conoce también con el

---

<sup>3</sup> Diccionario de Términos de Pemex Refinación (PDF).  
<http://www.itek.com.mx/INDUSTRIA/DICCIONARIO%20PEMEX.pdf>

sobrenombre de oro negro, por el valor que tiene para la economía de todos los países. Factor importante para el desarrollo económico y social de México.

De acuerdo con la estructura predominante en la mezcla de hidrocarburos, el petróleo se puede clasificar en base parafínica, nafténica o aromática. En los hidrocarburos de tipo parafínicos las moléculas de carbono forman cadenas rectas, que pueden tener o no ramificaciones, y tienen poca afinidad química. Los compuestos nafténicos o cicloparafínicos tienen como base una molécula circular en la cual todos los enlaces de carbono están saturados con hidrógeno, mientras que en los aromáticos las moléculas contienen, básicamente, un anillo con seis átomos de carbono.

Según sea el origen del petróleo crudo, serán diferente su composición y sus propiedades; algunas de sus propiedades más importantes son su densidad, que generalmente se expresa en gravedad específica a grados API y su contenido de azufre. Al crudo de mayor densidad se le denomina crudo pesado, que contiene moléculas de alto peso molecular como naftenos, compuestos aromáticos y asfaltenos, principalmente. Al crudo con alto contenido relativo de azufre se le conoce como crudo amargo y al de menor contenido, crudo dulce.

La refinación del petróleo la constituye el conjunto de procesos físicos y químicos a los cuales se someten los crudos obtenidos en las labores de perforación, a fin de convertirlos en productos de características comerciales deseables. Por ello la industria de refinación involucra una serie de procesos a los que se somete al petróleo. Los procesos que se incluyen más frecuentemente son<sup>4</sup>:

- **Destilación primaria o atmosférica**
- **Destilación secundaria o al vacío**
- Desulfuración (hidrodesulfuración)
- Reformación de naftas
- Alquilación

---

<sup>4</sup> James G. Speight. "The chemistry and technology of petroleum". 4a Ed. 2007.

- Isomerización
- Desintegración catalítica
- Desintegración térmica
- Reducción de viscosidad

La configuración de una refinería depende del tipo de crudo a procesar y de las características de los productos, de ahí que sea necesario aplicarle distintos tratamientos con el propósito de dar a los productos obtenidos las cualidades comerciales que requiere cada tipo de mercado. Piénsese aquí en las normas de calidad que rigen para cada legislación.

Para llevar a cabo esta transformación y conversión es necesario confrontar las cualidades inherentes a los crudos de los que se disponga para el tratamiento, las condiciones, demanda, proyección económica de los productos, así como las convenciones normativas de los mercados a los que estén destinados.

## 2. Procesos de Destilación Atmosférica y al Vacío

La destilación se define como una operación que consiste en la separación de componentes de una mezcla líquida por vaporización parcial y la recuperación separada del vapor y el residuo. Mediante este proceso se logra aumentar la concentración del componente más ligero o volátil en la fase de vapor y del pesado o residuo en la fase líquida. La eficiencia de separación dependerá de la volatilidad relativa de los componentes y del diseño del equipo de destilación. Este proceso puede aplicarse en muchas mezclas de productos, binarias o multicomponentes<sup>5</sup>.

El primer proceso de separación en una refinería y de mayor importancia es la destilación del crudo. Los objetivos de la destilación atmosférica y al vacío es separar el crudo en varias corrientes, llamadas productos primarios o fracciones, es por esto que a esta separación se le denomina también fraccionamiento del crudo. Los productos de la destilación son los siguientes:

**Destilación atmosférica:** destilación del crudo para la producción de los siguientes cortes: una mezcla de naftas (nafta de despunte y nafta ligera), nafta pesada, kerosina, gasóleo ligero primario (GOL "AA"), gasóleo pesado primario (GOP "AA") y residuo primario.

**Destilación al vacío:** destilación del residuo primario para producir gasóleo ligero de vacío (GOL "AV"), gasóleo pesado de vacío (GOP "AV") y residuo de vacío.

Estas fracciones contienen impurezas, principalmente compuestos de azufre y metales y no reúnen las especificaciones requeridas para ser utilizadas como productos finales; por eso constituyen la materia prima para otros procesos en donde se eliminan esas impurezas y se adecúa a las especificaciones de calidad requerida.

---

<sup>5</sup> Ernest E. Ludwig. "Applied Process Design for chemical and petrochemical plants". Vol. 3 Third. Edición Butterworth-Heinemann, 309 USA.

## 2.1. Descripción del Proceso

## 2.2. Destilación Atmosférica

La unidad de destilación atmosférica de una refinería está diseñada para obtener máximo rendimiento de destilados (naftas o gasolina y diesel), utilizando el proceso de destilación fraccionada de crudo. En este proceso el crudo es sometido a los siguientes procesos: (Ver Figura 2.1)

- Tren de precalentamiento
- Desalado
- Despunte
- Horno de calentamiento
- Torre Atmosférica

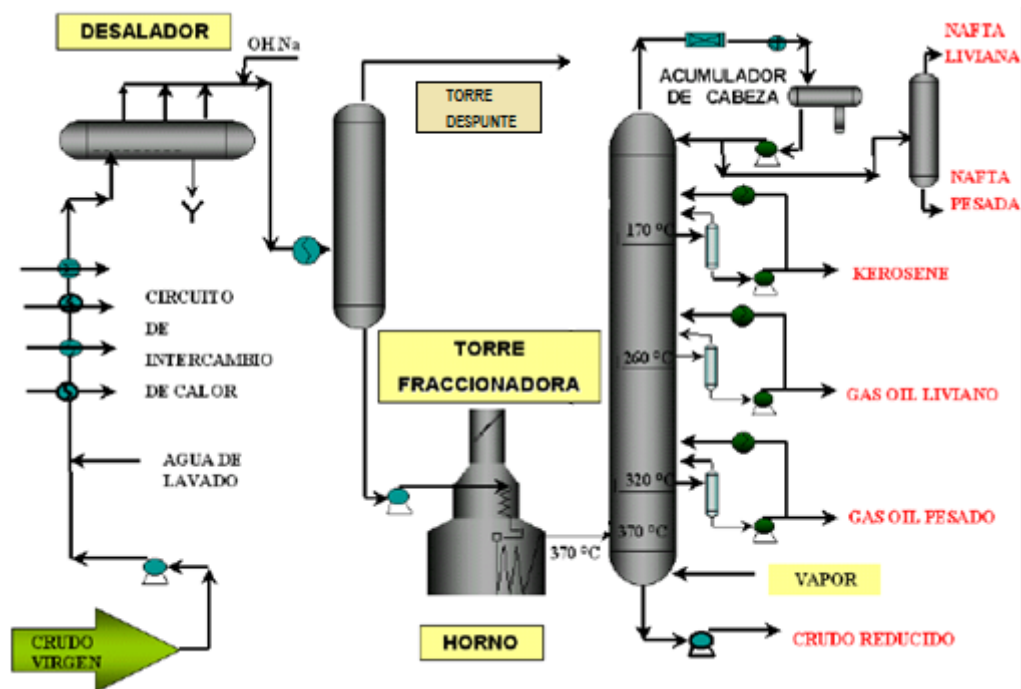


Figura 2.1 Unidad de Destilación Atmosférica.

### **2.2.1. Tren de precalentamiento**

El proceso se inicia con el precalentamiento del crudo, proveniente de tanques de almacenamiento a la succión de las bombas de carga a una temperatura de 20°C y  $0.93 \overline{\text{kg}}/\text{cm}^2$ . Antes de que el crudo se envíe a los trenes de precalentamiento se le inyecta en la succión de las bombas agua tratada, solución de sosa cáustica al 5% peso y desemulsificante con una concentración de 15 ppm. Esto con el fin de solubilizar las sales del crudo y las que se depositan a lo largo de cada tren. En los trenes de intercambio térmico el crudo se calienta contra los productos de la destilación de la misma torre atmosférica para alcanzar la temperatura requerida para el desalado del crudo, en el intervalo de 139 a 146°C.

### **2.2.2. Desalado**

En el sistema de desalado el crudo disminuye su concentración de sales, agua e impurezas, se elimina las sales como NaCl, a un valor mínimo del orden de 1 lb NaCl/1000 Lbs de crudo y menos de 0.05% volumen de agua y sedimentos. Lo anterior es con el fin de evitar daños por corrosión principalmente en los equipos de calentamiento y destilación.

El desalado se lleva a cabo en dos trenes en paralelo con dos etapas en serie cada uno. El sistema de desalado en serie está implementado de manera que normalmente la inyección de agua fresca a las desaladoras se efectúe en serie es decir, el agua se adiciona a la segunda etapa y de ésta a la primera. El crudo que sale de la primera desaladora pasa a la primera etapa de desalado, el crudo desalado sale por el domo de este equipo. (Ver figura 2.2)

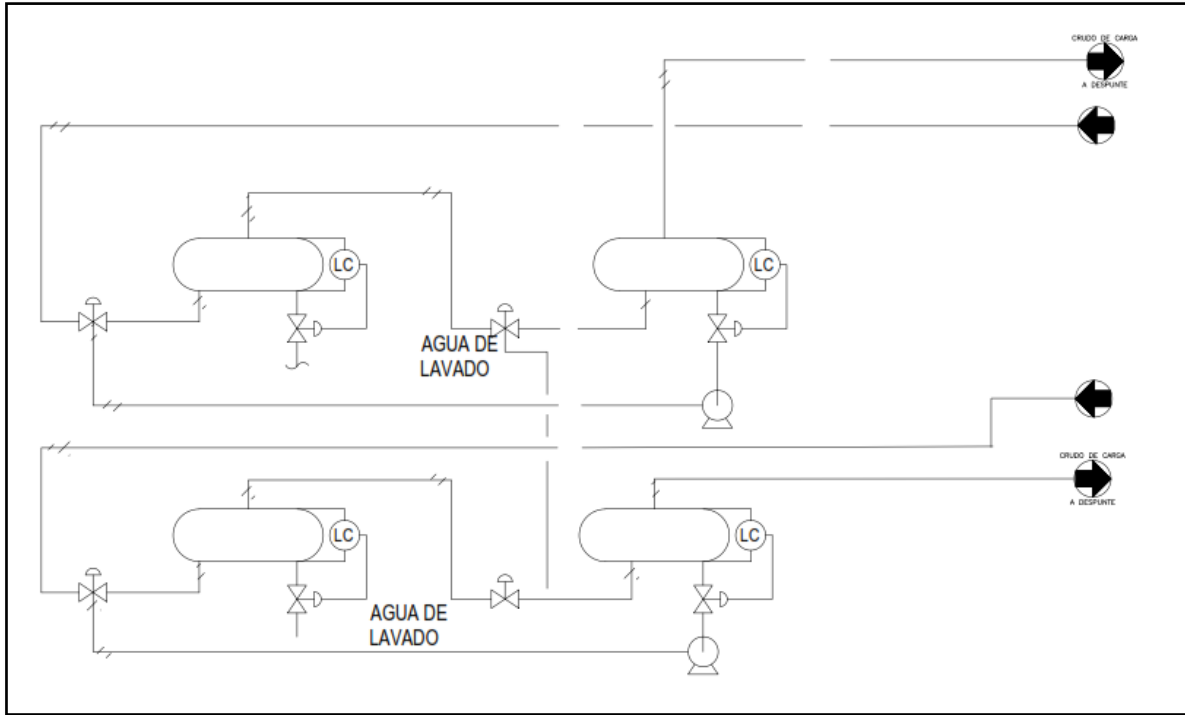


Figura 2.2 Diagrama del proceso de desalado.

### 2.2.3. Despunte

En seguida, el crudo desalado se precalienta hasta 219-225°C, en los intercambiadores de calor contra residuo, para después alimentarse a la zona de vaporización de las torres de despunte. La corriente de crudo se introduce por abajo del domo y debido a la reducción de presión hasta  $2.19 \overrightarrow{\text{kg}}/\text{cm}^2 - 2.4 \overrightarrow{\text{kg}}/\text{cm}^2$  se ocasiona una vaporización parcial de alrededor de 10% peso, de los componentes ligeros del crudo, que se separan de la fase líquida.

Los vapores de hidrocarburos ligeros provenientes del domo de las torres de despunte se condensan parcialmente y se reciben en el acumulador, en el cual la fase líquida de hidrocarburos o nafta de despunte se extrae con bombas, enviándose a la sección de fraccionamiento y tratamiento de nafta.

La fase gaseosa de cada torre de despunte, que contiene una fracción de componentes recuperables, se envía a compresión de incondensables, la corriente se recibe en un tanque de succión. La fase líquida que se separa del tanque, se elimina drenándose de forma manual al desfogue. La corriente gaseosa se comprime de  $1.8 \overrightarrow{\text{kg/cm}^2}$  a  $15.4 \overrightarrow{\text{kg/cm}^2}$  y pasa a través de un condensador en donde se forma una fase líquida con los hidrocarburos recuperables de la fase gaseosa. Se reciben en un tanque separador en el cual la fase gaseosa se separa de la líquida y mediante una válvula reductora de presión, se envía a la red de gas combustible. La fase líquida se bombea y se incorpora a la corriente de nafta de torre de despunte.

El control de presión de las torres de despunte se efectúa por la operación del compresor de incondensables para mantener la presión en el domo de la misma. Cuando se tiene una disminución de presión, se recircula una parte del gas comprimido desde el tanque separador al tanque de succión, en caso de aumento de presión, el exceso de gas se alivia hacia el desfogue por medio de una válvula.

Por otro lado, cuando no trabaje el compresor de incondensables, los gases pueden enviarse a la planta catalítica (FCC) por medio de una válvula.

#### **2.2.4. Horno de calentamiento**

Del fondo de cada torre de despunte se extrae el crudo despuntado y con bombas de fondo se alimenta a cada horno de calentamiento y posteriormente se envía a los calentadores a fuego directo para alcanzar la temperatura de  $368^{\circ}\text{C}$  y a una presión de  $1.37 \overrightarrow{\text{kg/cm}^2}$  que son las condiciones requeridas para alimentarse a la zona de vaporización de la torre atmosférica.

La alimentación de cada calentador, se realiza a través de ocho serpentines y a una presión de  $10.93 \overrightarrow{\text{kg/cm}^2}$ , los serpentines entran a la zona de convección y pasan a la zona de radiación.



### 2.2.5. Torre atmosférica

La torre atmosférica está diseñada con alrededor de 40 platos del tipo válvula de dos pasos y con arrastre con vapor, sus condiciones de operación son las siguientes:

En el domo con una temperatura de 136 - 152°C y una presión de 0.7  $\overline{\text{kg}}/\text{cm}^2$  mientras que en el fondo con una temperatura de 361°C y una presión de 1.4  $\overline{\text{kg}}/\text{cm}^2$ .

El crudo despuntado se recibe en la zona de vaporización (Por arriba de los fondos) de la torre de esta forma se lleva a cabo el fraccionamiento del crudo para obtener los diferentes cortes de hidrocarburos como son: Por el domo, nafta, de los primeros platos turbosina, de los platos que se encuentran aproximadamente a la mitad de la torre Kerosina y Diesel, de los últimos platos Gasóleo pesado. La turbosina, la kerosina y el diesel se envía desde su punto de extracción hacia su agotador, con el fin de ajustar sus especificaciones como producto.

El calor requerido para el agotamiento, se proporciona en los rehervidores de residuo. Alternativamente para el agotamiento se dispone de vapor de baja presión sobrecalentado, que se inyecta por debajo del domo de cada torre agotadora.

El producto de fondos de la torre atmosférica es lo que constituye el crudo reducido después de ceder calor se envía como carga a la planta de destilación al vacío.

### **2.3. Destilación al Vacío**

La unidad de destilación al vacío se divide en tres diferentes secciones para su mejor descripción:

- Calentadores de crudo reducido
- Torre de destilación al vacío
- Sistema de vacío

#### **2.3.1. Calentadores de Crudo Reducido**

La planta está diseñada para procesar crudo reducido, tiene la capacidad para recibir una corriente de residuo atmosférico caliente directamente de la unidad de destilación primaria y carga fría de tanques de residuo primario. La planta recibe su carga a la temperatura de 150°C que resulta de mezclar al residuo caliente de la unidad de destilación atmosférica y el residuo frío, puede operar independientemente de la unidad de destilación atmosférica. El flujo resultante de unir las dos corrientes antes mencionadas, es manejado con bombas de carga para incrementar su presión hasta  $18 \overline{\text{kg}}/\text{cm}^2$ . Estas bombas succionan de un cabezal común y descargan a otro para posteriormente dividirse en dos corrientes paralelas que alimentan a la sección de calentamiento.

Esta sección cuenta con dos trenes de precalentamiento de crudo reducido, cada tren cuenta con la opción de operar en forma totalmente independiente uno del otro e intercambiarse indistintamente hacia cualquier quemador a fuego directo a la salida de los trenes, la temperatura de salida del crudo reducido es de alrededor de 292°C para continuar hacia los hornos a fuego directo.

En estos hornos a fuego directo, se vaporiza parcialmente el crudo y se eleva su temperatura hasta 396°C. Para evitar la coquización del crudo reducido en los

hornos, se inyecta vapor de media presión a los serpentines de la sección de radiación, en el punto donde inicia la vaporización.

### **2.3.2. Torre de Vacío**

Para disminuir la temperatura de ebullición de una mezcla, se utiliza presión negativa o de vacío. Se le llama presión negativa o de vacío a aquella que tiene un valor menor a la presión atmosférica. El valor de la presión atmosférica es variable y depende de la altitud del lugar donde se mide. La presión atmosférica a la que se encuentra la torre de vacío del caso de estudio es de 595 mmHg.

La torre de vacío opera con una presión menor a la atmosférica, generalmente en un rango de 25 a 40 mmHg, para disminuir la temperatura de ebullición de los componentes de la mezcla de hidrocarburos pesados (residuo primario), con el objetivo de recuperar la fracción de gasóleos presentes en la mezcla.

La torre de vacío es del tipo seca y consta de cinco secciones:

- Sección I: De condensación de gasóleo ligero de vacío (GOL "AV")
- Sección II: De lavado superior
- Sección III: De condensación de gasóleo pesado de vacío (GOP "AV")
- Sección IV: De lavado inferior
- Sección V: De agotamiento

La sección I consta de 4 platos tipo mampara de dos pasos, con perforaciones en los extremos de cada uno y una tina de extracción total. La sección II consta de 2 platos tipo mampara de dos pasos, sin perforaciones y un plato recolector. La sección III consta de 4 platos tipo mampara de dos pasos, con perforaciones en los extremos de cada uno y una tina de extracción total. La sección IV consta de 2 platos perforados de un solo paso. La sección V consta de 4 platos tipo mampara de 4 pasos con perforaciones en los extremos de cada plato. Cuenta además, con una malla eliminadora de niebla colocada entre las secciones III y IV y una línea

de lavado con gasóleo pesado de vacío en la parte superior de la misma para evitar la formación de sólido y/o depósitos de carbón en ella.

La alimentación del crudo reducido a la torre, se efectúa por medio de dos líneas de transferencia provenientes de los hornos, estas corrientes de crudo reducido entran a 385°C a través de boquillas localizadas tangencialmente a ambos lados de la torre para favorecer la separación de la mezcla líquido-vapor por efecto centrífugo sobre las paredes de la misma. La alimentación se hace a la zona de vaporización la cual opera a una presión de 30 mmHg.

En el fondo de la torre, sale el residuo de vacío, hacia la sección de calentamiento, donde se divide en dos corrientes para intercambiar calor con el crudo reducido en los intercambiadores de crudo reducido/crudo residuo de vacío, en donde se enfría desde 293°C hasta una temperatura de 277°C. Posteriormente estas corrientes se vuelven a unir y de la corriente resultante, una parte se recircula a la sección inferior de la torre de vacío, con objeto de enfriar el residuo de vacío proveniente de la sección V y otra parte se manda a una caja enfriadora.

La extracción de gasóleo pesado de la torre, se hace por gravedad desde la tina de extracción localizada debajo de la sección de condensación de gasóleo pesado de vacío y se envía a un tanque condensador. De este tanque sale una corriente que se divide en dos, una de ellas se maneja con una bomba de reflujo, para ser retornada a la torre, alimentándose en la sección de lavado inferior, se usa para lavado de la malla colocada entre las secciones de lavado y condensación de gasóleo pesado de vacío, con el fin de eliminar el carbón que se deposite sobre ellas.

La otra corriente se envía a la sección de calentamiento mediante la bomba de gasóleo pesado de vacío, que incrementa su presión hasta 11  $\overline{\text{kg}}/\text{cm}^2$  y descargan a un cabezal común, de donde posteriormente salen dos corrientes paralelas, las cuales a su vez se dividen en dos, para pasar a través del lado de los tubos de los intercambiadores de crudo reducido/GOP "AV" en donde se enfría el gasóleo pesado de vacío desde 310°C hasta 204°C. Al salir de estos equipos las corrientes

se vuelven a unir en una sola corriente, de donde se toma una parte y se envía a los enfriadores de reflujo, para ser enfriados hasta 177°C y posteriormente se retorna a la torre, alimentándose como reflujo en la parte superior de la sección de condensación de gasóleo pesado de vacío.

La otra parte de la corriente de gasóleo pesado de vacío tiene dos alternativas; una de ellas es, mandarse a Límite de Batería (L.B.) como producto caliente, que sirve como carga a la unidad de craqueo catalítico (FCC) y la otra es, enviarse a través de una caja enfriadora, hacia tanques de almacenamiento a 80°C. La primera alternativa es la que se emplea normalmente, las condiciones a las que se envía a la unidad catalítica son:  $6 \overline{\text{kg}}/\text{cm}^2$  y 204°C.

El gasóleo ligero de vacío se retira totalmente de la tina de extracción localizada en la parte inferior de la sección de condensación de gasóleo ligero de vacío, por gravedad hasta la succión de la bomba de GOL "AV", la cual incrementa su presión hasta  $14 \overline{\text{kg}}/\text{cm}^2$  para ser enviada a diferentes partes formando tres corrientes; una de ellas se retorna a la torre y su flujo se controla mediante una válvula automática. La corriente entra por la parte superior de la torre y constituye el fluido de lavado de la sección II.

La segunda corriente que pasa por ocho enfriadores sale a 82°C, posteriormente la corriente pasa por el lado de la coraza de los enfriadores en donde intercambia calor con agua de enfriamiento para salir a 60°C, y de ahí se alimenta al plato 1 de la torre.

La tercera y última corriente se envía caliente (140°C) a la unidad FCC o fría (82°C) hacia los tanques de almacenamiento cuando dicha unidad esta fuera de operación. Cuando el gasóleo ligero de vacío se envía a tanques de almacenamiento, primero se enfría en los soloaires.

Para evitar sobre-presionamiento, la torre de destilación al vacío cuenta con una válvula de seguridad, la cual se encuentra protegida contra corrosión por un disco de ruptura y para saber cuándo está roto, se cuenta con un indicador de vacío.

La torre también cuenta con un indicador de vacío que permite medir la presión en las diferentes secciones a lo largo de ella. Los vapores efluentes del domo de la torre se extraen por dos líneas de 48" de diámetro conectadas cada una a un tren de eyectores. Para prevenir la corrosión a la salida de la torre, se inyecta inhibidor fílmico y amoniaco a las líneas, e inhibidor en el domo de la torre.

### **2.3.3. Sistema de Vacío**

El Sistema de Vacío de la Torre de Destilación al Vacío está constituido por dos trenes de eyectores (norte y sur) operando en paralelo. El tren de eyectores Norte del sistema de vacío se integra por los eyectores 1-AN, 1-BN y 1-CN; los intercondensadores 7-AN y 7-BN; y el post-condensador 7-CN. El tren de eyectores sur del sistema de vacío se integra por los eyectores 2-AS, 2-BS y 2-CS; los intercondensadores 8-AS y 8-BS; y el post-condensador 8-CS.

Los eyectores son equipos auxiliares sencillos en su construcción que se utilizan en las plantas para hacer vacío en los equipos. Para su funcionamiento normalmente utilizan vapor al que se le llama vapor motriz. El vapor motriz que alimenta a los eyectores es de media presión ( $17 \overrightarrow{\text{kg/cm}^2}$  abs).

Los hidrocarburos ligeros, el vapor de agua proveniente de la torre y el vapor motriz de los eyectores que se condensan en los inter y post-condensadores, pasan al Tanque de Sello, en donde se separan los hidrocarburos y el agua. El tanque cuenta con dos mamparas; la más pequeña asegura un sello hidráulico para las líneas de condensados que provienen de los condensadores y la segunda mampara sirve para separar la fase de hidrocarburos enviándose por control de nivel a drenaje aceitoso. El condensado aceitoso que se separa se envía mediante una bomba al sistema de tratamiento de aguas amargas de la unidad de destilación atmosférica o como recuperado a Límite de Batería (L.B.).

Los gases y vapores que no condensan en el post-condensador de cada tren de eyectores son enviados directamente al Tanque de Incondensables. En este tanque se separa el líquido que se arrastra para ser enviado al tanque de sello y los incondensables se envían a la chimenea del calentador de crudo reducido de vacío y en caso de ser requerido, son enviados al sistema de desfogue húmedo mediante una válvula manual.

#### **2.4. Variables de Operación en Torre de Destilación**

Los parámetros termodinámicos que gobiernan la destilación son la temperatura y presión del sistema, por tal motivo consideramos como variables del proceso todas aquellas que puedan afectar el equilibrio entre las fases vapor-líquido. El éxito de la operación de una torre destiladora al vacío, depende del conocimiento que se tenga de lo que sucede en el interior de la torre, exige un razonamiento ordenado, ya que la presión, temperatura y los flujos afectan al proceso en función a la medida en que estos sean variados<sup>6</sup>.

Puesto que son muchos los factores que afectan la operación será conveniente considerar los principales como son: temperatura, presión y flujo.

**Temperatura de la carga.** Dependerá de la composición de la carga y la presión de trabajo, a mayor presión mayor temperatura. El aumento de temperatura proporciona un incremento en el contenido de calor suministrado a la torre.

Para una presión constante, un incremento de temperatura en la zona de vaporización determina un aumento de flujo interno de esta sección y de la primera extracción. Si se tiene baja temperatura en la carga, el producto de la primera extracción tendrá poco flujo y tiende a arrastrar productos pesados.

**Temperatura de los platos de extracción.** La composición de un producto se determina por la temperatura de extracción, y de la cantidad que de este puede

---

<sup>6</sup> E. J. Henley; J. D. Seader. "Operaciones de separación por etapas de equilibrio en ingeniería química"

obtenerse. Con temperaturas altas se obtienen productos pesados (mayor rango de ebullición), y mayor cantidad.

**Presión de operación.** El efecto de la presión en una torre de destilación, es cambiar el punto de ebullición del líquido. Si se incrementa la presión de trabajo, la temperatura requerida tanto en la zona de vaporización como en los platos de extracción incluyendo el domo, deberán ser mayores.

Sí la presión se reduce, los líquidos hierven a temperaturas más bajas. Por ejemplo: el residuo atmosférico requiere de temperaturas altas para destilar las fracciones más pesadas. Sin embargo, si la presión se reduce por debajo de la atmosférica (vacío), las fracciones más pesadas se destilan a temperaturas más bajas.

**Reflujos laterales.** Los reflujos laterales tienen la finalidad de disminuir el flujo interno, al intercambiar calor retornan a menor temperatura por lo tanto se requiere una cantidad menor para mantener el equilibrio térmico.

La cantidad de reflujo determina la temperatura en la sección de inyección, al aumentar el reflujo se enfría y al disminuir se calienta.

**Extracción de productos laterales.** Tiene un doble efecto, en primer lugar representa una eliminación de calor en el balance térmico de la torre. Y el segundo es el de disminuir el reflujo interno.

La extracción de productos deberá efectuarse de acuerdo a la composición de la carga, un exceso de extracción lateral provoca un aumento de temperatura en la sección inferior del plato de extracción, incrementando el traslape de productos por falta de rectificación.



### **3. Sistema de Desfogue**

El sistema de desfogue es un sistema cerrado, para que el fluido no entre en contacto con la atmósfera, el cual debe permitir la liberación del exceso de presión por medio del desplazamiento de la masa del fluido, desde el equipo y/o tubería presionado hasta el lugar donde se pueda disponer de ella con seguridad.

Los sistemas de desfogue existentes en la Refinería del caso de estudio se dividen en dos áreas:

**Área 1:** Considera unos Quemadores Elevados: además de tres quemadores de fosas (Módulos Anticontaminante Ambiental) que manejan los desfogues de Hidrocarburos de Almacenamiento y de algunas plantas.

**Área 2:** Considera a un solo Quemador Elevado.

Los cabezales de desfogue consideran a las siguientes plantas:

#### **Área 1:**

#### **Plantas que relevan al Sistema de Desfogue (fosas):**

- Desintegración Catalítica 1.
- Hidrodesulfuradora, Reformadora y Tratadora de Hidrocarburos I.
- Recuperación de Azufre I y IV.
- Destilación Combinada 1.
- Reductora de Viscosidad.
- Atmosférica y Alto Vacío II.
- Estabilizadora I.
- Alquilación.
- Desintegración Catalítica 2.

### **Desfogue al Quemador Elevado:**

- Catalítica I
- Azufre I y IV
- Estabilizadora I
- Atmosférica y Alto Vacío II
- Catalítica II
- Hidros 1: Hidrodesulfuradora, Reformadora y Tratadora de Hidrocarburos I

### **Área 2:**

Sistema de Desfogue se compone de las Plantas:

- Hidrodesulfuradora de Destilados Intermedios
- Hidrodesulfuradora de Naftas
- Reformadora de Naftas
- Tratadora y Fraccionadora
- Hidrodesulfuradora de Diesel
- Isomerizadora de Pentanos y Hexanos
- Recuperación de Azufre

Como puede observarse para el caso de estudio solo el área norte es la de interés, debido a que son los que pueden afectar el óptimo funcionamiento de la torre de destilación al vacío, al estar interconectadas las diferentes plantas al cabezal principal de desfogue.

#### 4. Compresor de anillo líquido

*Una bomba de anillo líquido o compresor es una máquina rotatoria de desplazamiento positivo que consigue comprimir un gas mediante un impulsor radial con álabes, montado en una carcasa elíptica o excéntrica, la cual está parcialmente llena de un fluido<sup>7</sup>.*

Los compresores utilizados en las plantas de la industria de procesos químicos suelen ser complejos, contruidos con precisión y costosos. Por ello, su selección, operación y mantenimiento deben ser cuidadosos. Por ejemplo, la operación incorrecta puede ocasionar oscilaciones de presión (inestabilidad), condición en la cual se invierte un instante el flujo de gas dentro del compresor. Estas oscilaciones pueden dañar los componentes internos del compresor, producir daños por miles de dólares en un corto tiempo y aumentar el costo del tiempo perdido para su reparación.

El compresor o bomba de anillo líquido, que es rotatorio, pero tiene un principio exclusivo de funcionamiento, diferente al de cualquier otro rotatorio. Es una bomba que comprime gases mediante un anillo líquido, usualmente agua, que es generado por un impulsor rotatorio. La única parte en movimiento es el rotor o impulsor, el cual es montado en una flecha localizada de manera excéntrica respecto al eje central de una carcasa cilíndrica o elíptica. La figura 1 ilustra la operación de este tipo de equipos donde se muestra un dispositivo cónico con los puertos de succión y descarga del gas a comprimir. Antes de la operación las cámaras del rotor se encuentran parcialmente llenas del líquido de sello, al iniciar la operación, el impulsor arroja el líquido de sello hacia la periferia de las paredes internas de la carcasa, generando un anillo líquido de espesor variable, de tal forma que en la parte superior de la misma, el anillo líquido casi vacía las

---

<sup>7</sup> API 681 Bombas y compresores de anillo líquido y compresores para petróleo, químicos y servicios de la industria del gas. 1996

cavidades entre los alabes del rotor (la sección de succión), e inicia su movimiento hacia el eje del rotor, comprimiendo el gas correspondiente, de tal manera que en la parte inferior, estas cavidades están casi llenas y el gas comprimido sale por el puerto de descarga. Este vaciado y llenado de las cavidades actúa como un pistón succionando el gas de proceso por el puerto de succión y expulsándolo junto con el líquido de sello.

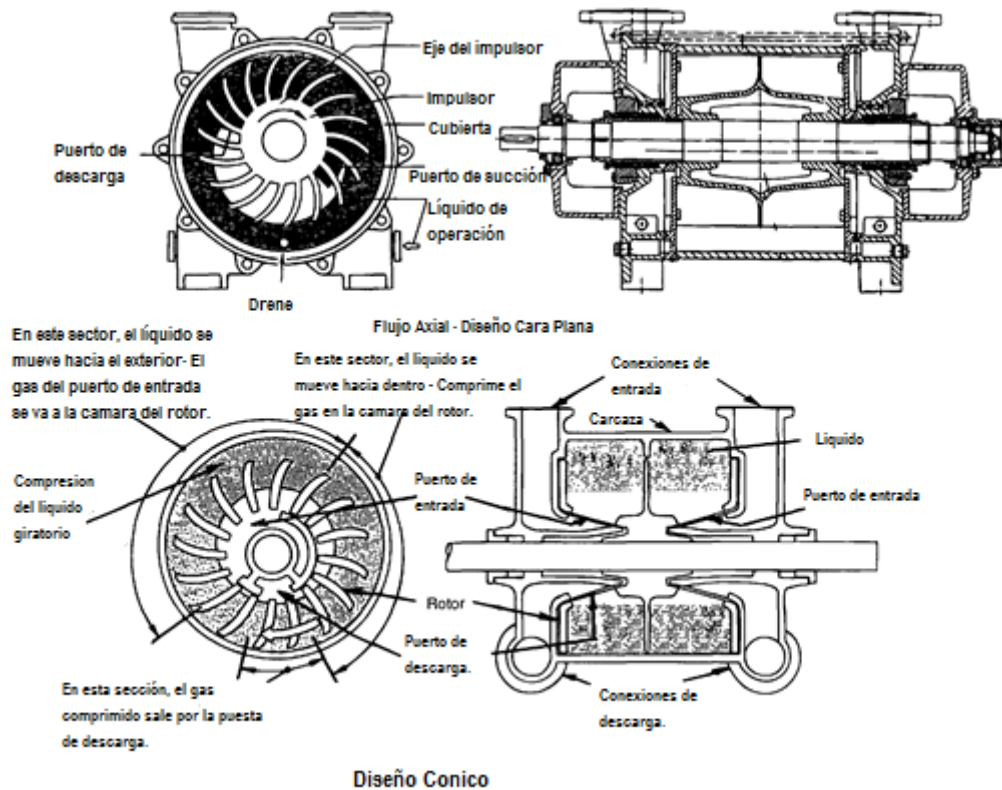


Figura 4.1. Bomba de anillo líquido.

Sus tamaños van desde los pequeños, para flujo de unos 17 m<sup>3</sup>/h, hasta los más grandes, de carcasa sencilla, para 17 000 m<sup>3</sup>/h. Estos compresores se emplean mucho con gases difíciles como cloro, gas ácido, gases cargados con sulfuro de hidrógeno, dióxido de carbono y otros. Para muchos tipos se puede obtener construcción de acero inoxidable.

En general, sólo son para necesidades especiales, la carga, capacidad y caballaje adiabáticos se pueden determinar en forma muy semejante a las de un compresor centrífugo.

#### **4.1. Sistema de líquido de sello**

Cuando los vapores succionados se contactan con el líquido de sello, ocurre algo de condensación, funcionando el equipo como un condensador de contacto directo. Si el gas succionado es seco, ocurrirá evaporación del líquido de sello. Por supuesto, estas bombas requieren reposición del líquido de sello que es expulsado junto con el gas comprimido. También debe de considerarse que la presión de succión está limitada por la presión de vapor del líquido de sello, ya que a presiones de succión muy cercana o iguales a la presión de vapor del anillo líquido, la bomba presentara cavitación y consecuente deterioro. Estas bombas no deben operarse en seco. La presión de succión en la bomba debe de ser al menos dos veces la presión del líquido de sello a la temperatura de operación del mismo.

El líquido de sello más ampliamente usado es agua, sin embargo, otros líquidos con menores presiones de vapor o bien los líquidos correspondientes a los gases de proceso pueden usarse como líquido de sello, tal es el caso del uso de los productos de la destilación al vacío o de líquidos tales como etilenglicol, ácido sulfúrico etc.

Las bombas de anillo líquido son capaces de manejar cantidades limitadas de corriente de líquido. Una práctica general es limitar el volumen total de entrada de líquido de sello y de arrastre en la corriente de proceso succionada a un valor de 1% de la capacidad del gas de succión. El líquido de sello por lo regular debe de proporcionarse a una presión de 0.3 bar mayor a la presión de descarga de la bomba de anillo líquido.

## 4.2. Sistemas de recuperación de gas

El sistema de recuperación de gas son: compresión, separación física y segregación de corrientes. El sistema de compresión de anillo líquido se integra básicamente por los siguientes componentes:

- Bomba de anillo líquido
- Tanque separador
- Enfriador
- Dispositivo de seguridad y control
- Tuberías
- Filtros

Sin embargo pueden ser considerados elementos adicionales.

Conforme al estándar API 681<sup>8</sup> existen tres tipos de arreglos tal como se muestran a continuación siendo el más común el No.1:

- Arreglo No.1 Sistemas de un paso (sin recuperación del líquido de sello)
- Arreglo No 2. Sistema con recuperación parcial
- Arreglo No 3. Sistema con recuperación total

### **Sistema de un paso (sin recuperación del líquido de sello)**

En este sistema todo el líquido de servicio necesario se suministra continuamente del exterior. El líquido se separa del gas en el separador de gas de anillo líquido y se descarga al exterior. Este esquema es la instalación más común y se puede utilizar cuando se dispone de gran cantidad de líquido fresco y/o no exista el problema de contaminación del mismo, que a su vez, podría ser perjudicial para el

---

<sup>8</sup> API 681 Bombas de anillo líquido y compresores para petróleo, químicos y servicios de la industria del gas. 1996

medio ambiente. Por este motivo se deberá proceder a su eliminación de acuerdo con la normatividad vigente.

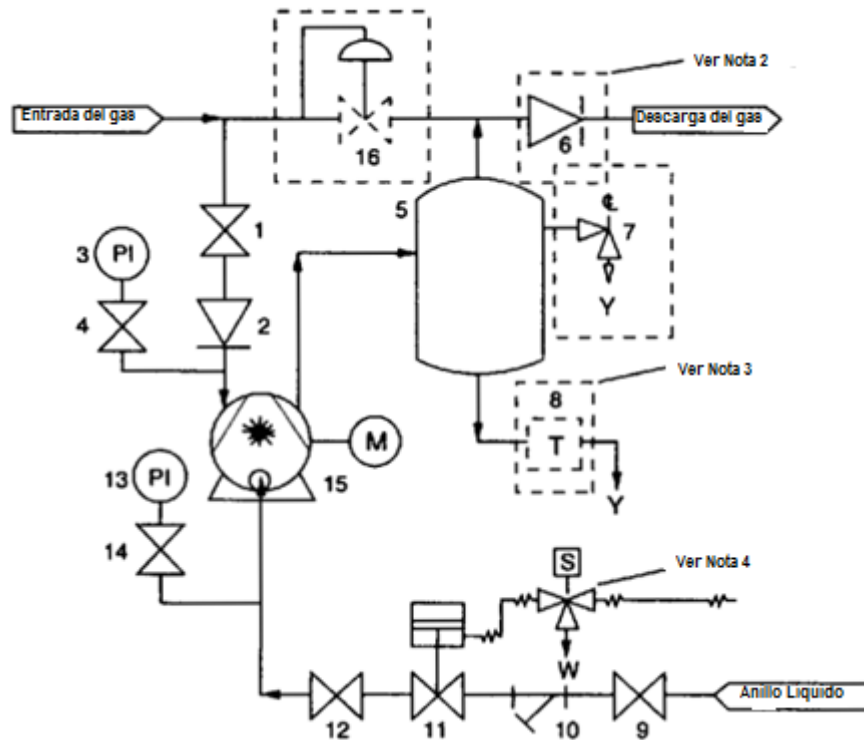


Figura 4.2 Arreglo No.1 Sistema de un paso.

### Sistema de recirculación parcial

Este tipo de sistemas se utilizan cuando se quiere reducir el consumo del líquido de servicio. El líquido de servicio entra en el compresor del mismo modo que en el sistema anterior, pero una parte del líquido separado es reusado como líquido de servicio.

Durante la operación continua en la compresión, el líquido se calienta lo que implica un servicio de enfriamiento para lo cual se requiere la instalación de un intercambiador de calor en la línea del flujo de recirculación.

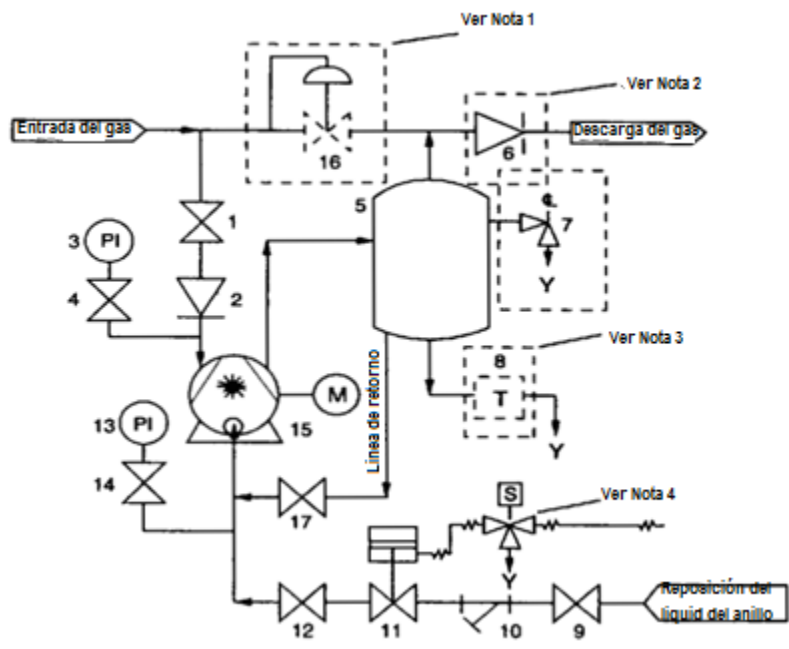


Figura 4.3 Arreglo No.2 Sistema de recirculación parcial.

### Sistema de recirculación total

Este sistema se prevé la recirculación total del líquido recuperado del separador de gas de anillo líquido sin ningún tipo de aportación del exterior. El líquido contenido en el sistema es por lo tanto continuamente recirculado (circuito cerrado).

Un intercambiador de calor es necesario para estabilizar la temperatura del líquido recuperado debido que durante la compresión él líquido se calienta. Normalmente se instala una bomba de recirculación.



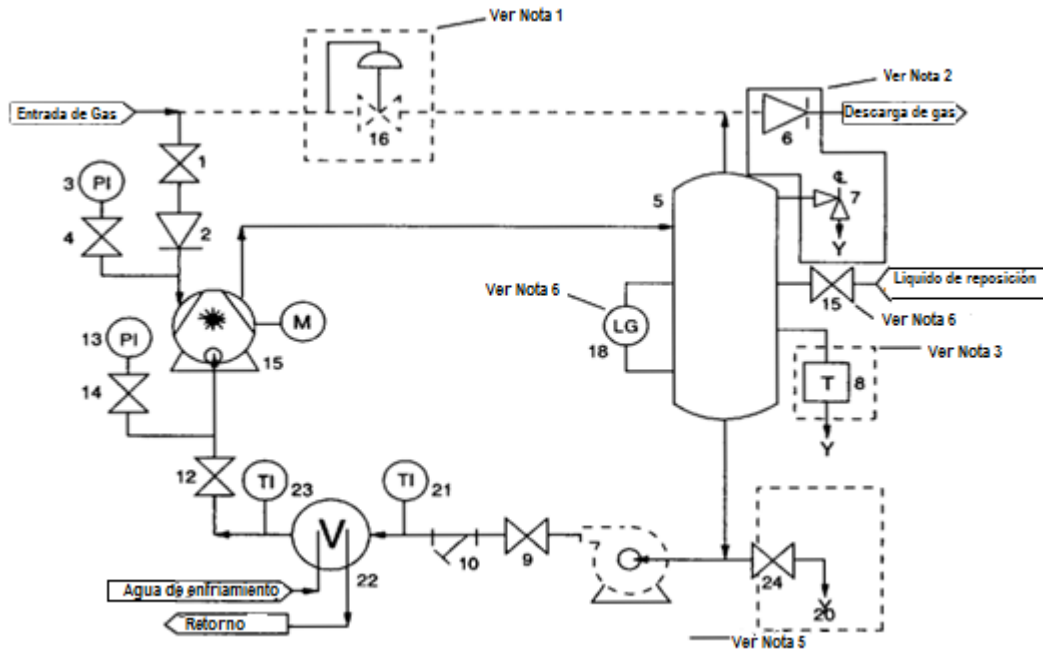


Figura 4.4 Arreglo No.3 Sistema de recirculación total.

- |  |  |
|--|--|
| 1. Válvula de aislamiento de entrada         | 8. Trampa de drenaje de anillo líquido           |
| 2. Válvula check de entrada                  | 9. Válvula de aislamiento de entrada             |
| 3. Manómetro                                 | 10. Filtro Y                                     |
| 4. Válvula de aislamiento                    | 11. Válvula con actuador automático (ver nota 4) |
| 5. Separador de gas de anillo líquido        | 12. Válvula reguladora de flujo u orificio       |
| 6. Válvula check a la descarga (ver nota 2)  | 13. Manómetro de presión de anillo líquido       |
| 7. Válvula de alivio de presión (ver nota 2) | 14. Válvula de aislamiento                       |

15. Bomba de vacío o compresor de anillo líquido

16. Válvula reguladora de presión (ver nota 1)

17. Válvula de recirculación parcial del anillo líquido

18. Medidor de nivel

19. Válvula para remplazo

20. Bomba opcional para la recirculación de anillo líquido

21. Medidor de temperatura

22. Intercambiador de calor

23. Medidor de temperatura

24. Válvula de purga

**Notas:**

1. Válvula reguladora de presión opcional
2. Requerida en compresores de anillo líquido
3. Requerida para compresores
4. Válvula actuada por solenoide de tres vías
5. Recirculación de bomba opcional
6. Control de nivel puede ser seleccionado por el comprador

## 5. Planteamiento del problema

La industria de refinación del país atraviesa por una situación crítica que dificulta cada vez más su capacidad de cumplir los objetivos de eficiencia y rentabilidad en el abastecimiento de la demanda interna de derivados del petróleo; sin embargo, existen ahorros potenciales en los procesos de refinación cuya utilización representa la oportunidad de implantar tecnologías que mejoren en forma integral la calidad de la producción, aumentando la competitividad de la Industria de la Refinación y maximizando el valor agregado de los productos que se obtienen.

Para Pemex el principal reto no es sólo financiero, sino fundamentalmente operativo, tecnológico y de capacidad de ejecución. Esto implica mayor eficiencia en la operación de la empresa asimismo necesita desarrollar las habilidades para administrar e incorporar tecnología de punta.

El caso de estudio toma como base a la unidad de Destilación al vacío, en la parte del sistema de vacío y cuyo objetivo es generar una presión de vacío que permita una óptima operación de la torre de destilación. Éste sistema está constituido por dos trenes de eyectores operando en paralelo, cada tren se integra por tres eyectores, dos inter-condensadores y un pos-condensador.

En la actualidad la problemática es causada cuando las plantas de proceso de la primera etapa desfogon, ocasionando un incremento de presión en el cabezal, lo cual provoca una contrapresión en el sistema de vacío, ocasionando que la destilación en la torre de vacío no se efectúe adecuadamente debido al aumento de presión de ésta y reduciendo la eficiencia del proceso.

Este trabajo tiene como objetivo el diseño de una bomba de anillo líquido que se localizará en la tercera etapa de compresión de los bancos de condensadores Norte y Sur del sistema de vacío; así como el envío de esta corriente a la planta de desintegración catalítica (FCC), bajo condiciones de operación normal de la planta. Es necesaria la integración del equipo para garantizar el buen

funcionamiento del sistema de vacío que es indispensable para la operación de la torre de vacío.

En la figura 4.5, se muestra la Torre de Destilación al Vacío y el Sistema de Vacío, los tanques separadores y los cabezales principales.

El destino del fluido de descarga del equipo bomba de anillo líquido son la planta de desintegración catalítica (FCC) y el cabezal de desfogue húmedo. Cada línea de descarga de la bomba de anillo líquido llegará a una bifurcación, en una línea se interconectará al cabezal de gas amargo de despunte, después de la válvula, hacia la planta catalítica (FCC) y en la otra línea se interconectará con el cabezal de desfogue húmedo, en un punto posterior al tanque de Incondensables.

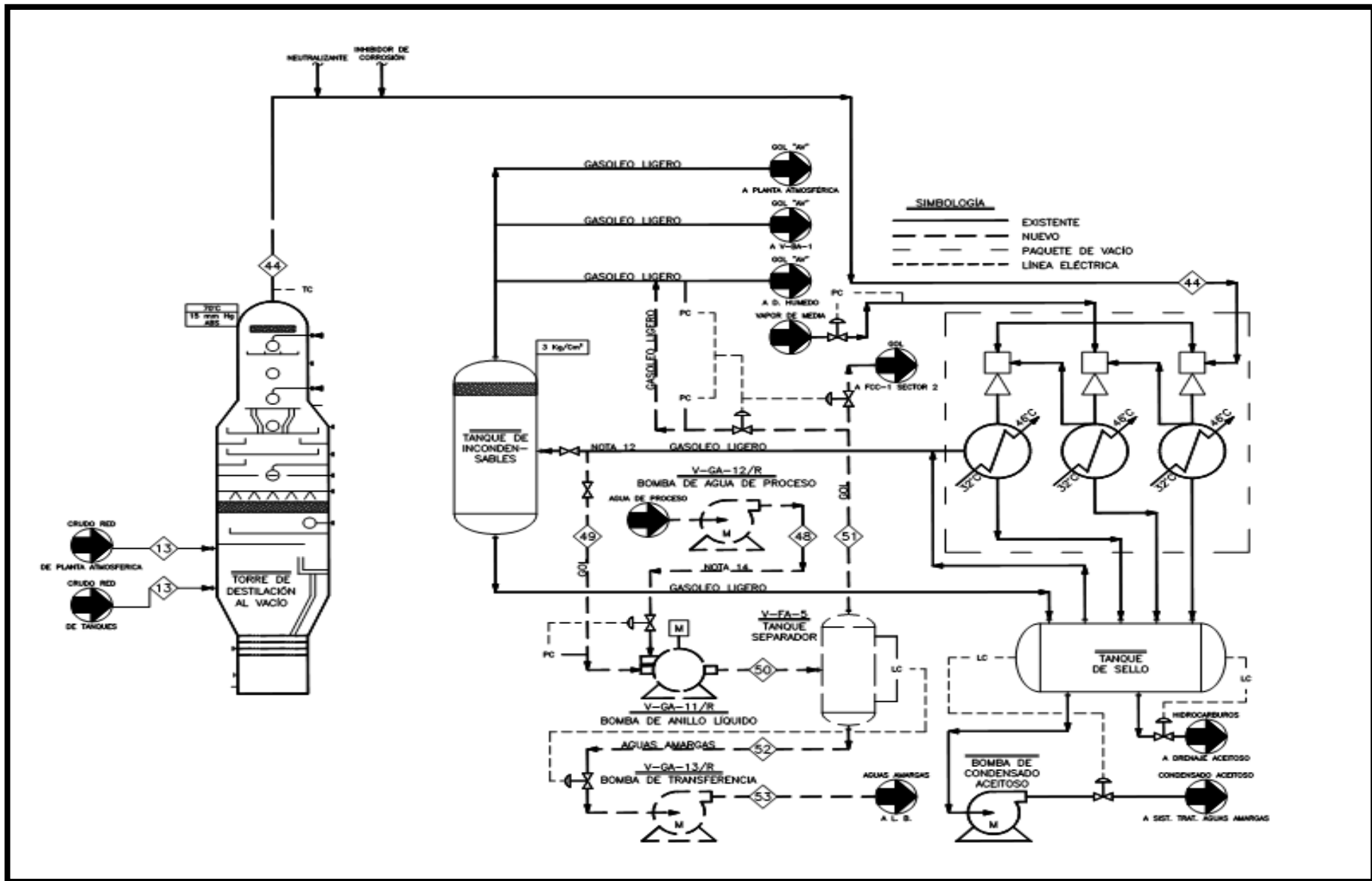


Figura 4.5 Torre de destilación al vacío

## 6. Bases termodinámicas<sup>9</sup>

El proceso de compresión se rige por la primera ley de la termodinámica que considera la compresión como adiabática. Esta ley se presenta por la siguiente ecuación.

$$dU = dQ + dW \quad (1)$$

U= Energía interna

Q= Energía Calorífica

W= Trabajo

Considerando un proceso adiabático  $dQ = 0$ , por lo tanto

$$dU = dW \quad (2)$$

Por el contrario si se hace trabajo sobre el sistema, se incrementa la energía interna del sistema y por lo tanto se eleva la temperatura.

Una ecuación que todo gas ideal obedece en cualquier etapa de una compresión adiabática reversible, se deduce a partir de la ecuación anterior. Supongamos "n" número de moles de un gas ideal a la presión "P" y volumen "V". Para una reducción de volumen infinitesimal dV y presión "P", el trabajo realizado es el siguiente.

$$PdV = -dW \quad (3)$$

Sustituyendo  $dW = dU$

$$PdV = -dU \quad (4)$$

Además  $dU = nC_v dT$  y  $P = \frac{nRT}{V}$

---

<sup>9</sup> 18. Smith, J.M. y Van Ness. "Introducción a la termodinámica en Ingeniería Química". 6a Ed. 2003

Por lo tanto.

$$-\frac{R}{C_v} \frac{dV}{V} = \frac{dT}{T} \quad (5)$$

Para un gas ideal  $C_p - C_v = R$

Dividiendo entre  $C_v$

$$\frac{C_p}{C_v} - \frac{C_v}{C_v} = \frac{R}{C_v} \rightarrow \frac{C_p}{C_v} - 1 = \frac{R}{C_v} \quad (6)$$

Definiendo  $k = \frac{C_p}{C_v}$  entonces.

$$k - 1 = \frac{R}{C_v} \quad (7)$$

Sustituyendo en ecuación 5

$$\frac{dT}{T} = -(k - 1) \frac{dV}{V} \quad (8)$$

Considerando a k constante e integrando entre los límites  $V_1 @ T_1$   $V_2 @ T_2$

$$\int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = -(k - 1) \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} \quad (9)$$

$$\ln \frac{T_2}{T_1} = -(k - 1) \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (10)$$

Reordenando.

$$\ln \frac{T_1}{T_2} = (k - 1) \ln \frac{V_1}{V_2} \quad (11)$$

$$\ln \frac{T_1}{T_2} = \ln \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{(k-1)} \quad (12)$$

Aplicando anti-logaritmo.

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{(k-1)} \quad (13)$$

Arreglando.

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{1}{k-1}} = \frac{V_1}{V_2} \quad (14)$$

Usando la siguiente ecuación:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (15)$$

Despejando tenemos.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{P_2 T_1}{P_1 T_2} \quad (16)$$

Sustituyendo en ecuación 14

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{1}{k-1}} = \frac{P_2 T_1}{P_1 T_2} \quad (17)$$

Simplificando

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{1}{k-1}} \left(\frac{T_1}{T_2}\right) = \frac{P_2}{P_1} \quad (18)$$

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{k}{k-1}} = \frac{P_2}{P_1} \quad (19)$$

Despejando  $T_1/T_2$

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right) = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (20)$$



Sustituyendo ecuación 20 en 13

$$\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{(k-1)} \quad (21)$$

Elevando a la potencia  $\frac{1}{k-1}$

$$\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{k}} = \frac{V_1}{V_2} \quad \rightarrow \quad \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k \quad (22)$$

$$P_2 V_2^k = P_1 V_1^k = \text{constante} \quad (23)$$

La ecuación 23 es la que rige los procesos de compresión.

La compresión isotérmica tiene lugar cuando la temperatura permanece constante a medida que la presión aumenta, esto exige una extracción continua del calor de compresión. La compresión cumple la siguiente formula.

$$P_2 V_2 = P_1 V_1 = \text{constante}$$

La compresión adiabática (isoentrópica) se obtiene cuando no hay adicción ni extracción de calor del gas durante la compresión. La compresión cumple con la siguiente ecuación.

$$P_2 V_2^k = P_1 V_1^k = \text{constante}$$

La compresión politrópica. Es casi imposible obtener una compresión adiabática exacta, ya que siempre existe pérdida o ganancia de calor por lo tanto la compresión real de este proceso se rige por la siguiente ecuación:

$$P_2 V_2^n = P_1 V_1^n = \text{constante}$$

Donde n es una característica del gas que determina su comportamiento durante la compresión. La compresión del gas en un compresor centrífugo se considera politrópico con valor de n mayor que k.

## **7. Cálculo de la bomba de anillo líquido**

La refinería de estudio es una de las más importantes del país por su capacidad instalada y la porción del mercado que controla ya que procesa el 24 % del crudo total que se refina en México por lo tanto la refinería representa un punto de estudio muy importante y por esta razón el de la tesis. El cálculo del diseño de una bomba de anillo líquido es una implementación muy importante, debido a las posibles eventualidades que acontezcan, garantizará el buen funcionamiento del sistema de vacío que es indispensable para la operación de la torre de destilación al vacío.

La bomba de anillo líquido se instalará en la tercera etapa de compresión de los bancos de condensadores Norte y Sur del sistema de vacío; así como el envío de esta corriente a la planta de desintegración catalítica (FCC), bajo condiciones de operación normal de la planta.

Para determinar la capacidad de la bomba de anillo líquido que se instalará en la tercera etapa de compresión de los bancos de condensadores norte y sur del sistema de vacío se tiene información disponible con respecto a la identificación de equipos, manuales de la unidad de destilación atmosférica y al vacío, hojas de datos de equipos, diagramas de flujo de procesos, diagramas de tubería e instrumentación, análisis de composición; esta información fue proporcionada por la refinería.

Por no contar con equipos de medición de flujo, presión, temperatura y composición en los tanques de Post-condensadores, se basó en lo reportado en las hojas de datos de dichos equipos.

	Post-Condensador 7-CN	Post-Condensador 8-CS
Temperatura salida °F (°C)	120 (48.89)	120 (48.89)
Presión de salida mmHg (psia)	1,036 (20.033)	1,036 (20.033)
Vapor de agua salida kg/h (lb/h)	54.4 (120)	54.4 (120)
Gas incondensables salida kg/h (lb/h)	1109.48 (2446)	1109.48 (2446)
Flujo total kg/h (lb/h)	1163.9 (2566)	1163.9 (2566)

Tabla 1 Datos de los equipos Post-Condensador<sup>10</sup> 7-CN/ 8-CS.

En el caso de la composición de salida de los post- condensadores (entrada a la bomba de anillo líquido) se considera el estadístico proveniente del análisis cromatográfico de gases del Tanque de Incondensables. Estos datos están expresados en base seca y comprenden el periodo entre Enero y Diciembre de 2010 (Ver Anexo 1). Con estos datos se determinó un promedio estadístico para obtener una representación más real de la composición. Por lo tanto, la composición promedio de la corriente de interés resulta:

COMPONENTE	% mol base seca	y base seca
<b>METANO (C<sub>1</sub>)</b>	16.636	0.16636
<b>ETANO (C<sub>2</sub>)</b>	10.633	0.10633
<b>ETILENO (C<sub>2</sub>=)</b>	1.163	0.01163
<b>PROPANO (C<sub>3</sub>)</b>	9.565	0.09565
<b>PROPILENO(C<sub>3</sub>=)</b>	4.129	0.04129
<b>n-BUTANO (nC<sub>4</sub>)</b>	5.478	0.05478
<b>ISOBUTANO (iC<sub>4</sub>)</b>	1.019	0.01019
<b>2-cis-BUTENO</b>	0.659	0.00659
<b>2-trans-BUTENO</b>	0.775	0.00775
<b>ISOBUTENO (iC<sub>4</sub>=)</b>	1.720	0.01720
<b>1-BUTENO (1-C<sub>4</sub>=)</b>	1.508	0.01508
<b>ISOPENTANO (iC<sub>5</sub>)</b>	1.723	0.01723
<b>n-PENTANO (nC<sub>5</sub>)</b>	2.448	0.02448
<b>OXÍGENO (O<sub>2</sub>)</b>	1.961	0.01961

<sup>10</sup> Hoja de datos "Ejector after condenser - exchanger specification sheet." Rev. 3. Kinema Inc. 1981

<b>COMPONENTE</b>	<b>% mol base seca</b>	<b>y base seca</b>
<b>HIDRÓGENO (H<sub>2</sub>)</b>	4.478	0.04478
<b>NITRÓGENO (N<sub>2</sub>)</b>	6.180	0.06180
<b>CO<sub>2</sub></b>	0.114	0.00114
<b>H<sub>2</sub>S</b>	28.340	0.28340
<b>INERTES (Ar)</b>	1.475	0.01475
<b>H<sub>2</sub>O</b>	--	--
<b>TOTAL</b>	100.000	1.000

Tabla 2 Composición<sup>11</sup> base seca.

### 7.1. Determinación de la composición base húmeda a la entrada de la bomba de anillo líquido

Los datos de proceso del Tanque post-condensador 7-CN / 8-CS indican que la composición de la salida es húmeda. Para la determinación del cálculo de la composición % mol base húmeda se considera el flujo total de dichos equipos. Como se muestra en la siguiente tabla.

	<b>Tanque post-condensador 7-CN / 8-CS</b>	<b>TOTAL</b>
<b>CARGA DE VAPOR DE AGUA kg/h (lb/h)</b>	54.4 (120)	108.8 (240)
<b>CARGA DE INCONDENSABLES kg/h (lb/h)</b>	1109.48 (2446)	2218.9(4,892)
<b>TOTAL kg/h (lb/h)</b>	1163.9 (2566)	2309.6(5,092)

Tabla 3 Flujo de los post-condensador 7-CN/ 8-CS.

Considerando los flujos de vapor de agua, se tienen los nuevos valores de composición de base húmeda (y) los cuales corresponde a los valores de composición de entrada a la bomba de anillo líquido. Se muestran en la siguiente tabla.

<sup>11</sup> Datos proporcionados por la refinería de estudio.

COMPONENTE	% mol	y
METANO (C <sub>1</sub> )	15.2142	0.15214
ETANO (C <sub>2</sub> )	9.72366	0.09724
ETILENO (C <sub>2</sub> =)	1.06313	0.01063
PROPANO (C <sub>3</sub> )	8.74741	0.08747
PROPILENO (C <sub>3</sub> =)	3.77584	0.03776
n-BUTANO (nC <sub>4</sub> )	5.0093	0.05009
ISOBUTANO (iC <sub>4</sub> )	0.93167	0.00932
2-cis-BUTENO (cis-2-C <sub>4</sub> =)	0.60244	0.00602
2-trans-BUTENO (trans-2-C <sub>4</sub> =)	0.70875	0.00709
ISOBUTENO (iC <sub>4</sub> =)	1.57298	0.01573
1-BUTENO (1-C <sub>4</sub> =)	1.37864	0.01379
ISOPENTANO (iC <sub>5</sub> )	1.57527	0.01575
n-PENTANO (nC <sub>5</sub> )	2.23829	0.02238
OXÍGENO (O <sub>2</sub> )	1.79361	0.01794
HIDRÓGENO (H <sub>2</sub> )	4.09477	0.04095
NITRÓGENO (N <sub>2</sub> )	5.65175	0.05652
DIÓXIDO DE CARBONO (CO <sub>2</sub> )	0.10403	0.00104
SULFURO DE HIDRÓGENO (H <sub>2</sub> S)	25.9176	0.25918
INERTES (Ar)	1.34892	0.01349
AGUA (H <sub>2</sub> O)	8.5477	0.08548
(S)/MEDIA PONDERADA	(100.0)	(1.0000)

Tabla 4 Composición base húmeda.

## 7.2. Criterios de diseño

El cálculo del compresor se basa en el método de la "N".

El dimensionamiento se basa en lo establecido en la normatividad API 681<sup>12</sup>, API 617<sup>13</sup>, NRF-131-PEMEX-2007<sup>14</sup> e ISO/FDIS 13709<sup>15</sup>.

<sup>12</sup> API 681 Bombas de anillo líquido y compresores para petróleo, químicos y servicios de la industria del gas. 1996.

La composición de entrada del compresor se considera a partir del análisis estadístico (ver Anexo 1).

El flujo de diseño a considerar para el cálculo del compresor, se considera a partir del flujo a la salida de los post-condensadores (tercer etapa de compresión), reportados en las hojas de datos de dichos equipos y considerando un factor de diseño del 25% más respecto de este flujo total.

	POR TREN	TOTAL	DISEÑO
CARGA DE VAPOR DE AGUA kg/h (lb/h)	54.4 (120)	108.8 (240)	<b>136</b> <b>(300)</b>
CARGA DE INCONDENSABLES kg/h (lb/h)	1109.48 (2446)	2218.9 (4,892)	<b>6,115</b>
TOTAL (lb/h)	1163.9 (2566)	2309.6 (5,092)	<b>2909.8</b> <b>(6,415)</b>

Tabla 5 Flujo de diseño.

La temperatura de operación se toma a partir de la temperatura a la salida del post-condensador (tercera etapa de compresión).

$$t_1 = 120 \text{ } ^\circ F = 48.89 \text{ } ^\circ C = 322.04 \text{ } ^\circ K$$

Factor para la temperatura de diseño +28 Kelvin de la temperatura de entrada del compresor<sup>16</sup>.

$$T_0 = 350.04 \text{ } ^\circ K$$

La temperatura y carga del agua de proceso al anillo líquido se considera para determinar la temperatura del gas en el punto de mezcla. Anexo 5

$$T_{ap} = 89.6 \text{ } ^\circ F = 32 \text{ } ^\circ C = 305.15 \text{ } ^\circ K$$

<sup>13</sup> API 617 Compresores axiales y centrífugos para petróleo, químicos y servicios de la industria del gas. Julio 2002.

<sup>14</sup> NRF-131-PEMEX-2007 Compresores Centrífugos.

<sup>15</sup> ISO/FDIS 13709:2009 "Bombas centrífugas para petróleo, petroquímica y la industria del gas natural".

<sup>16</sup> NRF-090-PEMEX-2005 "Cambiadores de calor envolvente - haz de tubos"

$$Q_{ap} = 8.7 \frac{m^3}{h}$$

La presión de descarga del compresor se establecen en:

$$P_2 = 5 \frac{\overrightarrow{kg}}{cm^2} = 4.9033 \text{ bar}$$

Los factores de compresibilidad se calculan a partir de las correlaciones de Lee/Kesler. Anexo 2

### 7.3. Datos de diseño

Flujo másico del gas	$w$	=	2,909.8	kg/h
Presión de entrada del gas	$P_0$	=	1.3812	bar
Presión de descarga del gas	$P_2$	=	4.9033	bar
Temperatura de diseño del gas	$T_0$	=	350.04	K

### 7.4. Cálculos de las propiedades de la mezcla

Debido a que se tiene una mezcla de gases las propiedades de la mezcla se calculan de la siguiente manera;

La presión crítica de la mezcla ( $P_c$ ).

$$P_c = P_{c1}y_1 + P_{c2}y_2 + P_{c3}y_3 + \dots + P_{cn}y_n = \sum_{i=1}^n P_{ci}y_i$$

La temperatura crítica de la mezcla ( $T_c$ ).

$$T_c = T_{c1}y_1 + T_{c2}y_2 + T_{c3}y_3 + \dots + T_{cn}y_n = \sum_{i=1}^n T_{ci}y_i$$

Factor acéntrico de la mezcla ( $\omega$ ) el cual considera la no esfericidad o asimetría de las moléculas.

$$\omega = \omega_1 y_1 + \omega_2 y_2 + \omega_3 y_3 + \dots + \omega_n y_n = \sum_{i=1}^n \omega_i y_i$$

Peso molecular de la mezcla ( $PM_m$ ).

$$PM_m = PM_1 y_1 + PM_2 y_2 + PM_3 y_3 + \dots + PM_n y_n = \sum_{i=1}^n PM_i y_i$$

En la siguiente tabla se presentan las propiedades<sup>17</sup> de la mezcla.

COMPONENTE	% mol	y	PM	PM* y	T <sub>c</sub> (K)* y	P <sub>c</sub> (bar)*y	w* y 10 <sup>3</sup>
<b>METANO (C<sub>1</sub>)</b>	15.2142	0.15214	16.043	2.44082	29.150	6.997	1.83
<b>ETANO (C<sub>2</sub>)</b>	9.72366	0.09724	30.070	2.9239	29.686	4.737	9.72
<b>ETILENO (C<sub>2</sub>=)</b>	1.06313	0.01063	28.054	0.29825	3.001	0.535	9.25
<b>PROPANO (C<sub>3</sub>)</b>	8.74741	0.08747	44.097	3.85734	32.347	3.715	1.33
<b>PROPILENO (C<sub>3</sub>=)</b>	3.77584	0.03776	42.081	1.58891	13.804	1.761	5.29
<b>n-BUTANO (nC<sub>4</sub>)</b>	5.0093	0.05009	58.123	2.91155	21.294	1.901	1.00
<b>ISOBUTANO (iC<sub>4</sub>)</b>	0.93167	0.00932	56.123	0.52288	3.802	0.339	1.69
<b>2-cis-BUTENO (cis-2-C<sub>4</sub>=)</b>	0.60244	0.00602	56.108	0.33802	2.624	0.255	1.24
<b>2-trans-BUTENO (trans-2-C<sub>4</sub>=)</b>	0.70875	0.00709	56.108	0.39767	3.037	0.290	1.55
<b>ISOBUTENO (iC<sub>4</sub>=)</b>	1.57298	0.01573	56.108	0.88257	6.573	0.629	3.05
<b>1-BUTENO (1-C<sub>4</sub>=)</b>	1.37864	0.01379	56.108	0.77353	5.790	0.557	2.63
<b>ISOPENTANO (iC<sub>5</sub>)</b>	1.57527	0.01575	72.150	1.13655	7.263	0.530	3.97
<b>n-PENTANO (nC<sub>5</sub>)</b>	2.23829	0.02238	72.150	1.61493	10.513	0.754	5.64
<b>OXÍGENO (O<sub>2</sub>)</b>	1.79361	0.01794	31.999	0.57394	2.772	0.904	3.95
<b>HIDRÓGENO (H<sub>2</sub>)</b>	4.09477	0.04095	2.016	0.08255	1.359	0.537	-8.84
<b>NITRÓGENO (N<sub>2</sub>)</b>	5.65175	0.05652	28.014	1.58328	8.7376	1.921	2.15
<b>DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>)</b>	0.10403	0.00104	44.010	0.04578	0.3164	0.076	2.33
<b>SULFURO DE HIDRÓGENO (H<sub>2</sub>S)</b>	25.9176	0.25918	34.082	8.83323	96.802	23.22	2.44
<b>INERTES (Ar)</b>	1.34892	0.01349	39.948	0.53887	2.035	0.660	0.00

<sup>17</sup> Carl L. Yaws. "Handbook of thermodynamic Diagrams". Vol. 1, Editorial Gulf Publishing Company, Houston, Texas 1996



<b>AGUA (H<sub>2</sub>O)</b>	8.5477	0.08548	18.015	1.53987	55.312	18.851	2.95
TOTAL	(100.0)	(1.0000)	-----	<b>32.8844</b>	<b>336.225</b>	<b>69.190</b>	<b>0.1086</b>

Tabla 6 Propiedades de la mezcla.

## 7.5. Evaluación del flujo de entrada

A. Determinación de la presión reducida ( $Pr_0$ ), temperatura reducida ( $Tr_0$ ) a la entrada del compresor y la constante de los gases por unidad de masa de esta mezcla ( $R'$ ).

$$Pr_0 = \frac{P_0}{P_c} = \frac{1.3812 \text{ bar}}{69.190 \text{ bar}} \quad Pr_0 = 0.0200$$

$$Tr_0 = \frac{T_0}{T_c} = \frac{350.04 \text{ }^\circ\text{K}}{336.225 \text{ }^\circ\text{K}} \quad Tr_0 = 1.0411$$

$$R' = \frac{R}{PM_m} = \frac{0.08314 \frac{\text{m}^3 \cdot \text{bar}}{\text{kmol} \cdot \text{ }^\circ\text{K}}}{32.8844 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} \quad R' = 0.00253 \frac{\text{m}^3 \cdot \text{bar}}{\text{kg} \cdot \text{ }^\circ\text{K}}$$

B. Determinación del factor de compresibilidad<sup>18</sup> ( $Z$ ) a las condiciones de diseño (ver anexo 2).

Ecuación para la interpolación del factor de compresibilidad entre cuatro puntos.

$$Z_1 = \left[ \left( \frac{Pr_{sup} - Pr_1}{Pr_{sup} - Pr_{inf}} \right) Z_{i,i} + \left( \frac{Pr_1 - Pr_{inf}}{Pr_{sup} - Pr_{inf}} \right) Z_{i,s} \right] \frac{Tr_{sup} - Tr_1}{Tr_{sup} - Tr_{inf}} + \left[ \left( \frac{Pr_{sup} - Pr_1}{Pr_{sup} - Pr_{inf}} \right) Z_{s,i} + \left( \frac{Pr_1 - Pr_{inf}}{Pr_{sup} - Pr_{inf}} \right) Z_{s,s} \right] \frac{Tr_1 - Tr_{inf}}{Tr_{sup} - Tr_{inf}}$$

<sup>18</sup> John R. Howell. "Principios de termodinámica para ingeniería". Editorial McGraw-Hill 1990.

Representación de los puntos de interpolación.

	$Pr_{inf}$	$Pr_1$	$Pr_{sup}$
$Tr_{inf}$	$Z_{i,i}$		$Z_{i,s}$
$Tr_1$		$Z_1$	
$Tr_{sup}$	$Z_{s,i}$		$Z_{s,s}$

Tabla 7 Representación de los puntos de interpolación.

Factor de compresibilidad en el punto de entrada.

Interpolación  $Z_0^0$

Tr\Pr	0.0100	0.0200	0.0500
1.0200	0.9969		0.9842
1.0411		0.9941	
1.0500	0.9971		0.9855

Tabla 8 Interpolación  $Z_0^0$

$$\begin{aligned}
 Z_0^0 &= \left[ \left( \frac{0.05 - 0.02}{0.05 - 0.01} \right) 0.9969 + \left( \frac{0.02 - 0.01}{0.05 - 0.01} \right) 0.9842 \right] \frac{1.05 - 1.0411}{1.05 - 1.02} \\
 &\quad + \left[ \left( \frac{0.05 - 0.02}{0.05 - 0.01} \right) 0.9971 + \left( \frac{0.02 - 0.01}{0.05 - 0.01} \right) 0.9855 \right] \frac{1.0411 - 1.02}{1.05 - 1.02} \\
 &= 0.9942
 \end{aligned}$$

Interpolación  $Z_0^1$

Tr\Pr	0.0100	0.0200	0.0500
1.0200	0.0005		0.0026
1.0411		0.0007	
1.0500	0.0003		0.0015

Tabla 9 Interpolación  $Z_0^1$

$$Z_0^1 = \left[ \left( \frac{0.05 - 0.02}{0.05 - 0.01} \right) * (-0.0005) + \left( \frac{0.02 - 0.01}{0.05 - 0.01} \right) * (-0.0026) \right] \frac{1.05 - 1.0411}{1.05 - 1.02} \\ + \left[ \left( \frac{0.05 - 0.02}{0.05 - 0.01} \right) * (-0.0003) + \left( \frac{0.02 - 0.01}{0.05 - 0.01} \right) * (-0.0015) \right] \frac{1.0411 - 1.02}{1.05 - 1.02} = -0.007$$

$$Z_0 = Z_0^0 + \omega Z_0^1 = 0.9941 + (-0.007 * 0.1086) \quad Z_0 = 0.99399$$

C. Cálculo del volumen por unidad de masa inicial ( $v_o$ ).

$$v_o = \frac{Z_0 R' T_0}{P_0} = \frac{0.99399 * 0.00253 \frac{m^3 * bar}{kg * K} * 350.04 \text{ } ^\circ K}{1.3812 \text{ bar}} \quad v_o = 0.6369 \frac{m^3}{kg}$$

D. Cálculo del flujo volumétrico a la entrada de la bomba de anillo líquido ( $Q_o$ ).

$$Q_o = v_o * w = 0.6369 \frac{m^3}{kg} * 2,909.8 \frac{kg}{h} \quad Q_o = 1853.2 \frac{m^3}{h}$$

**7.6. Ajuste de las condiciones iniciales del gas por la interacción con el anillo líquido para la determinación de la potencia de la bomba de anillo líquido.**

A. Debido a la interacción del gas con el anillo líquido (agua de proceso), se calcula la temperatura en el punto de la mezcla ( $T_1$ ), con las siguientes ecuaciones.

Flujo de calor del gas

$$q_g = \dot{w}_g \int_{T_{ref}}^{T_0} C_{p_g} dT$$

$$C_{p_g} = A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4$$

$$C_{p_g} = \frac{kJ}{kgmol * K}$$

$$T_{ref} = 273.15 \text{ K}$$

$$\int_{T_{ref}}^{T_0} C_{p_g} dT = A(T_0 - T_{ref}) + \frac{B}{2}(T_0^2 - T_{ref}^2) + \frac{C}{3}(T_0^3 - T_{ref}^3) + \frac{D}{4}(T_0^4 - T_{ref}^4) + \frac{E}{5}(T_0^5 - T_{ref}^5)$$

COMPONENTE	A	B	C	D	E
<b>METANO (C<sub>1</sub>)</b>	34.942	-0.03996	1.92E-04	-1.53E-07	3.93E-11
<b>ETANO (C<sub>2</sub>)</b>	28.146	0.04345	1.89E-04	-1.91E-07	5.33E-11
<b>ETILENO (C<sub>2</sub>=)</b>	32.083	-0.01483	2.48E-04	-2.38E-07	6.83E-11
<b>PROPANO (C<sub>3</sub>)</b>	28.277	0.11600	1.96E-04	-2.33E-07	6.87E-11
<b>PROPILENO (C<sub>3</sub>=)</b>	31.298	0.07245	1.95E-04	-2.16E-07	6.30E-11
<b>n-BUTANO (nC<sub>4</sub>)</b>	20.056	0.28153	-1.31E-05	-9.46E-08	3.41E-11
<b>ISOBUTANO (iC<sub>4</sub>)</b>	6.772	0.34147	-1.03E-04	-3.68E-08	2.04E-11
<b>2-cis-BUTENO (cis-2-C<sub>4</sub>=)</b>	29.137	0.14008	1.91E-04	-2.37E-07	7.10E-11
<b>2-trans-BUTENO (trans-2-C<sub>4</sub>=)</b>	40.312	0.13472	1.69E-04	-2.11E-07	6.33E-11
<b>ISOBUTENO (iC<sub>4</sub>=)</b>	32.918	0.18546	7.79E-05	-1.46E-07	4.69E-11
<b>1-BUTENO (1-C<sub>4</sub>=)</b>	24.915	0.20648	5.98E-05	-1.42E-07	4.71E-11
<b>ISOPENTANO (iC<sub>5</sub>)</b>	-0.881	0.47498	-2.48E-04	6.75E-08	-8.53E-12
<b>n-PENTANO (nC<sub>5</sub>)</b>	26.671	0.32324	4.28E-05	-1.66E-07	5.60E-11
<b>OXÍGENO (O<sub>2</sub>)</b>	29.526	-0.00890	3.81E-05	-3.26E-08	8.86E-12
<b>HIDRÓGENO (H<sub>2</sub>)</b>	25.399	0.02018	-3.85E-05	3.19E-08	-8.76E-12
<b>NITRÓGENO (N<sub>2</sub>)</b>	29.342	-0.00354	1.01E-05	-4.31E-09	2.59E-13
<b>DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>)</b>	27.437	0.04232	-1.96E-05	4.00E-09	-2.99E-13
<b>SULFURO DE HIDRÓGENO (H<sub>2</sub>S)</b>	33.878	-0.01122	5.26E-05	-3.84E-08	9.03E-12
<b>INERTES (Ar)</b>	20.79	-0.00003	5.16E-08	---	---
<b>AGUA (H<sub>2</sub>O)</b>	33.933	-0.00842	2.99E-05	-1.78E-08	3.69E-12
<b>TOTAL</b>	30.2405	0.0473	9.04E-05	-9.88E-08	2.80E-11

Tabla 10 Calor específico<sup>19</sup> de la mezcla.

<sup>19</sup> Carl L. Yaws. "Handbook of thermodynamic Diagrams". Vol. 1, Editorial Gulf Publishing Company, Houston, Texas 1996

$$\int_{T_{ref}}^{T_0} C_{p_g} dT = 30.2405(350.04 - 273.15) + \frac{0.0473}{2}(350.04^2 - 273.15^2) \\ + \frac{9.04E-05}{3}(350.04^3 - 273.15^3) + \frac{-9.88E-08}{4}(350.04^4 - 273.15^4) \\ + \frac{2.8E-11}{5}(350.04^5 - 273.15^5) = 3.9 E + 03 \frac{kJ}{kgmol * K}$$

$$\dot{w}_g = \frac{w}{PM_m} = \frac{2909.8 \frac{kg}{h}}{32.8844 \frac{kg}{kgmol}} \quad \dot{w}_g = 88.49 \frac{kgmol}{h}$$

$$q_g = 88.49 \frac{kgmol}{h} * 3.9 E03 \frac{kJ}{kgmol * K} = 3.47E05 \frac{kJ}{h * K}$$

Flujo de calor del anillo líquido

$$q_{al} = \dot{w}_{al} \int_{T_{ref}}^{T_{ap}} C_{p_{ap}} dT$$

$$C_{p_{al}} = A + BT + CT^2$$

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>ρ (kg/m<sup>3</sup>)</b>
AGUA	8.712	0.00125	-1.8E-07	1002

Tabla 11 Calor específico del agua de proceso.

$$\int_{T_{ref}}^{T_{ap}} C_{p_{ap}} dT = A(T_{ap} - T_{ref}) + \frac{B}{2}(T_{ap}^2 - T_{ref}^2) + \frac{C}{3}(T_{ap}^3 - T_{ref}^3)$$

$$\int_{T_{ref}}^{T_{ap}} C_{p_{ap}} dT = 8.712(305.15 - 273.15) + \frac{0.00125}{2}(305.15^2 - 273.15^2) \\ + \frac{-1.8E-7}{3}(305.15^3 - 273.15^3) = 2409.96 \frac{kJ}{kgmol * K}$$

$$\dot{w}_g = \frac{Q_{ap} * \rho}{PM_{H_2O}} = \frac{8.7 \frac{m^3}{h} * 1002 \frac{kg}{m^3}}{18.015 \frac{kg}{kgmol}} \quad \dot{w}_g = 483.90 \frac{kgmol}{h}$$

$$q_{al} = 483.90 \frac{\text{kgmol}}{\text{h}} * 2409.96 \frac{\text{kJ}}{\text{kgmol} * \text{K}} = 1.17\text{E}6 \frac{\text{kJ}}{\text{h} * \text{K}}$$

Flujo de calor total

$$q_T = q_{al} + q_g = 1.17\text{E}6 \frac{\text{kJ}}{\text{h} * \text{K}} + 3.47\text{E}05 \frac{\text{kJ}}{\text{h} * \text{K}} = 1.51 \text{E}06 \frac{\text{kJ}}{\text{h} * \text{K}}$$

A partir del flujo total del calor se obtiene iterativamente la temperatura en el punto de mezclado.

$$q_T = \dot{w}_g \int_{T_{ref}}^{T_1} C_{p_g} dT + \dot{w}_{al} \int_{T_{ref}}^{T_1} C_{p_{ap}} dT$$

La temperatura obtenida fue:

<b>T<sub>1</sub></b>		
<b>310.21 K</b>	=	<b>37.06 °C</b>

Con un error de:

$$Q_T = 1.51 \text{E} + 06$$

$$e = 0.0001$$

Temperatura y Presión inicial del fluido.

$$T_1 = 310.21 \text{ } ^\circ\text{K} \quad P_1 = 1.3812 \text{ bar}$$

B. Determinación de las propiedades reducidas a condiciones iniciales.

$$Pr_1 = \frac{P_1}{P_c} = \frac{1.3812 \text{ bar}}{69.190 \text{ bar}} \quad Pr_1 = 0.0200$$

$$Tr_1 = \frac{T_1}{T_c} = \frac{310.21 \text{ } ^\circ\text{K}}{336.225 \text{ } ^\circ\text{K}} \quad Tr_1 = 0.9226$$

C. Determinación del factor de compresibilidad.

Factor de compresibilidad en el punto de mezcla con el anillo líquido.

Interpolación  $Z_1^0$

Tr\Pr	0.0100	0.0200	0.0500
0.9000	0.9954		0.9768
0.9226		0.9915	
0.9300	0.9959		0.9790

Tabla 12 Interpolación  $Z_1^0$

$$\begin{aligned}
 Z_1^0 &= \left[ \left( \frac{0.05 - 0.02}{0.05 - 0.01} \right) 0.9954 + \left( \frac{0.02 - 0.01}{0.05 - 0.01} \right) 0.9768 \right] \frac{0.93 - 0.9226}{0.93 - 0.90} \\
 &+ \left[ \left( \frac{0.05 - 0.02}{0.05 - 0.01} \right) 0.9959 + \left( \frac{0.02 - 0.01}{0.05 - 0.01} \right) 0.9790 \right] \frac{0.9226 - 0.90}{0.93 - 0.90} \\
 &= 0.9915
 \end{aligned}$$

Interpolación  $Z_1^1$

Tr\Pr	0.0100	0.0200	0.0500
0.9000	-0.0019		-0.0010
0.9226		-0.0027	
0.9300	-0.0015		-0.0075

Tabla 13 Interpolación  $Z_1^1$

$$\begin{aligned}
 Z_1^1 &= \left[ \left( \frac{0.05 - 0.02}{0.05 - 0.01} \right) * (-0.0019) + \left( \frac{0.02 - 0.01}{0.05 - 0.01} \right) * (-0.0010) \right] \frac{0.93 - .9226}{0.93 - 0.90} \\
 &+ \left[ \left( \frac{0.05 - 0.02}{0.05 - 0.01} \right) * (-0.0015) + \left( \frac{0.02 - 0.01}{0.05 - 0.01} \right) \right. \\
 &\left. * (-0.0075) \right] \frac{0.9226 - 0.90}{0.930 - 0.90} = -0.0027
 \end{aligned}$$

$$Z_1 = Z_1^0 + \omega Z_1^1 = 0.9915 + (0.1086 * -0.0027)$$

$$Z_1 = 0.9912$$

D. Cálculo del volumen por unidad de masa.

$$v_1 = \frac{Z_1 R' T_1}{P_1} = \frac{0.9912 * 0.00253 \frac{m^3 * bar}{kg * ^\circ K} * 310.21 ^\circ K}{1.3812 bar} \quad v_1 = 0.5628 \frac{m^3}{kg}$$

E. Cálculo del flujo volumétrico en la condición de cálculo inicial.

$$Q_1 = v_1 * w = 0.5628 \frac{m^3}{kg} * 2,909.8 \frac{kg}{h} \quad Q_1 = 1637.7 \frac{m^3}{h}$$

### 7.7. Selección del cuerpo de la bomba de anillo líquido de acuerdo a las especificaciones del “compresor de Elliot”.

CUERPO	RANGO DE FLUJO DE ENTRADA (m <sup>3</sup> /h)	CABEZA POLITRÓPICA NOMINAL POR ETAPA (H <sub>p</sub> )	EFICIENCIA POLITRÓPICA NOMINAL (η <sub>p</sub> )	MÁXIMO No. DE ETAPAS NOMINALES	VELOCIDAD A CABEZA POLITRÓPICA NOMINAL/ETAPA
29	850 - 13,600	30	0.76	10	11,500

Tabla 14 Especificaciones de compresores Elliot.

### 7.8. Cálculo del factor de compresibilidad promedio.

A. Determinación de la relación de compresión.

$$r = \frac{P_2}{P_1} = \frac{4.9033 bar}{1.3812 bar} = 3.5500$$

B. Cálculo del exponente adiabático.

$$k = \frac{Cp_m}{Cp_m - R}$$

$$R = 8.314 \frac{kJ}{kgmol * ^\circ K}$$

$$Cp_m = 30.2405 + 0.0473 * 355.11 + 9.04E - 05 * (355.11)^2 - 9.88E - 8 * (355.11)^3 + 2.8E - 11 * (355.11)^4 = 54.467 \frac{kJ}{kgmol * ^\circ K}$$



$$k = \frac{54.467 \frac{kJ}{kgmol * ^\circ K}}{54.467 \frac{kJ}{kgmol * ^\circ K} - 8.314 \frac{kJ}{kgmol * ^\circ K}} = 1.1803$$

C. Eficiencia Politrópica (Ver tabla 14).

$$\eta_p = 0.76$$

D. Relación Politrópica.

$$\frac{n-1}{n} = \frac{k-1}{k(\eta_p)} = \frac{1.1803-1}{1.1803(0.76)} \quad \frac{n-1}{n} = 0.201$$

E. Eficiencia adiabática ( $\eta_{ad}$ ).

$$\eta_{ad} = \frac{r^{(k-1)/k} - 1}{r^{(n-1)/n} - 1} = \frac{3.55^{(1.1803-1)/1.1803} - 1}{3.55^{0.201} - 1} = 0.74$$

F. Factor de incremento de la temperatura. Anexo 2

$$x = 0.25$$

G. Estimado inicial de la temperatura de descarga de la bomba de anillo líquido.

$$T_2 = \frac{x * T_1}{\eta_{ad}} + T_1 = \frac{0.25 * 310.21 \text{ }^\circ K}{0.74} + 310.21 \text{ }^\circ K \quad T_2 = 415.54 \text{ }^\circ K$$

H. Determinación de las propiedades reducidas a la descarga de la bomba de anillo líquido.

$$Pr_2 = \frac{P_2}{P_c} = \frac{4.9033 \text{ bar}}{69.190 \text{ bar}} \quad Pr_2 = 0.07087$$

$$Tr_2 = \frac{T_2}{T_c} = \frac{415.54 \text{ }^\circ K}{336.225 \text{ }^\circ K} \quad Tr_2 = 1.2359$$

- I. Determinación del factor de compresibilidad a la descarga de la bomba de anillo líquido.

Interpolación  $Z_2^0$

Tr\Pr	0.0500	0.0709	0.1000
1.2000	0.9904		0.9808
1.2359		0.9875	
1.3000	0.9926		0.9852

Tabla 15 Interpolación  $Z_2^0$

$$\begin{aligned}
 Z_2^0 &= \left[ \left( \frac{0.1 - 0.0709}{0.1 - 0.05} \right) 0.9904 + \left( \frac{0.0709 - 0.05}{0.1 - 0.05} \right) 0.9808 \right] \frac{1.3 - 1.2359}{1.3 - 1.2} \\
 &+ \left[ \left( \frac{0.1 - 0.0709}{0.1 - 0.05} \right) 0.9926 + \left( \frac{0.0709 - 0.05}{0.1 - 0.05} \right) 0.9852 \right] \frac{1.2359 - 1.2}{1.3 - 1.2} \\
 &= 0.9875
 \end{aligned}$$

Interpolación  $Z_2^1$

Tr\Pr	0.0500	0.0709	0.1000
1.2000	0.0019		0.0039
1.2359		0.0033	
1.3000	0.0030		0.0061

Tabla 16 Interpolación  $Z_2^1$

$$\begin{aligned}
 Z_2^1 &= \left[ \left( \frac{0.1 - 0.0709}{0.1 - 0.05} \right) 0.0019 + \left( \frac{0.0709 - 0.05}{0.1 - 0.05} \right) 0.0039 \right] \frac{1.3 - 1.2359}{1.3 - 1.2} \\
 &+ \left[ \left( \frac{0.1 - 0.0709}{0.1 - 0.05} \right) 0.0030 + \left( \frac{0.0709 - 0.05}{0.1 - 0.05} \right) 0.0061 \right] \frac{1.2359 - 1.2}{1.3 - 1.2} \\
 &= 0.0033
 \end{aligned}$$

$$Z_2 = Z_2^0 + \omega Z_2^1 = 0.9875 + (0.1086 * 0.0033) \qquad Z_2 = 0.9879$$

- J. Factor de compresibilidad promedio ( $Z_m$ ).

$$Z_m = \frac{Z_1 + Z_2}{2} = \frac{0.9912 + 0.9879}{2} = 0.9895$$

## 7.9. Cálculo de la potencia requerida.

### A. Cálculo de la cabeza politrópica ( $H_p$ ).

Cabeza politrópica.

$$H_p = \frac{100 * Z_m * R' * T_1}{\frac{n-1}{n}} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$
$$= \frac{100 \frac{kN}{m^2 * bar} * 0.9895 * 0.00253 \frac{m^3 * bar}{kg * ^\circ K} * 310.21 ^\circ K}{0.201} \left[ \left( \frac{4.9033 bar}{1.3812 bar} \right)^{0.201} - 1 \right]$$
$$H_p = 111.98 \frac{kN * m}{kg}$$

### B. Determinación del número de etapas requeridas.

$$N_{0 \text{ de Etapas}} = \frac{H_p}{\text{Cabeza máxima por etapa}} = \frac{111.98 \frac{kN * m}{kg}}{36 \frac{kN * m}{kg}} = 3.1105 \approx 4 \text{ Etapas}$$

### C. Cálculo de la velocidad requerida.

$$\text{Velocidad} = 11,500 \sqrt{\frac{H_p}{30 * N_{0 \text{ de etapas}}}} = 11,500 \text{ RPM} \sqrt{\frac{111.98 \frac{kN * m}{kg}}{30 \frac{kN * m}{kg} * 4}}$$
$$= 11,109 \text{ RPM}$$

### D. Cálculo de la potencia requerida.

$$\text{POTENCIA} = \frac{w * H_p}{\eta_p * 3600} = \frac{2,909.8 \frac{kg}{h} * 111.98 \frac{kN * m}{kg}}{0.76 * 3600 \frac{s}{h}} = 119.09 \frac{kN * m}{s}$$
$$= 119.09 \text{ kW} = 159.58 \text{ HP}$$

### 7.10. Cálculo de la temperatura de descarga.

$$\begin{aligned}t_{2 \text{ descarga}} &= \frac{H_p}{100 Z_m R' \left( \frac{k}{k-1} \right) \eta_p} + T_1 \\ &= \frac{111.98 \frac{kN \cdot m}{kg}}{100 \frac{kN}{m^2 \cdot bar} * 0.9895 * 0.00253 \frac{m^3 \cdot bar}{kg \cdot ^\circ K} \left( \frac{1.1803}{1.1803-1} \right) 0.76} \\ &\quad + 310.21K \\ t_{2 \text{ descarga}} &= 400.18 \text{ } ^\circ K = T_2\end{aligned}$$

### 7.11. Cálculo del flujo volumétrico a la descarga de la bomba de anillo líquido.

$$\begin{aligned}Q_2 &= Q_1 * \frac{P_1}{p_2} * \frac{T_2}{T_1} * \frac{Z_2}{Z_1} = 1637.7 \frac{m^3}{h} * \frac{1.3812 \text{ bar}}{4.9033 \text{ bar}} * \frac{400.18 \text{ } ^\circ K}{310.21 \text{ } ^\circ K} * \frac{0.9895}{0.9912} \\ Q_2 &= 593.12 \frac{m^3}{h}\end{aligned}$$

## **8. Especificación de la bomba de anillo líquido**

Con el objetivo de obtener cotizaciones o propuestas técnicas y comerciales de parte de los fabricantes y proveedores, es necesario proporcionarles especificaciones completas y claras de los datos de operación. Esta especificación se lleva a cabo mediante la preparación de hojas de datos correspondiente a la bomba de anillo líquido.

Las bombas de anillo líquido deben ser fabricadas con el cumplimiento de las normas de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME), cumplir con el Código Eléctrico Americano (NEMA) y además a los estándares API 617 y API 681.

Los materiales de construcción de la bomba de anillo líquido deben ser de serie del fabricante para las condiciones de operación especificadas, excepto cuando sea requerido o esté prohibido por las hojas de datos o por este estándar.

Los materiales deberán ser identificados en las hojas de datos con su aplica ASTM, AISI, ASME, o números SAE, incluyendo el material de grado. Cuando no se disponga de tal designación, se especificara el material, dando propiedades físicas y composición química.

### **Sistema de alimentación de agua de sello**

El sistema de alimentación de agua a la bomba de anillo líquido se realizara por una bomba centrífuga la cual maneja un flujo de  $8.7 \text{ m}^3/\text{h}$  y una presión de descarga de 5.3 bar, accionadas por motores eléctricos trifásicos que trabajara en conjunto con la bomba de anillo líquido. El conjunto bomba, motor y acople estará montado en una base unitaria.

En los anexos 3, 4 y 5 se presentan la especificación técnica y las hojas de datos de la bomba de anillo líquido y de la bomba de alimentación de agua de sello.

## 9. Análisis de resultados y conclusiones

Debido a la contrapresión ocasionada por el sistema de desfogue se diseñó una bomba de anillo en la tercera etapa de compresión de los bancos de condensadores norte y sur del sistema de vacío así como el envío de esta corriente a la planta de desintegración catalítica (FCC).

En condiciones normales la bomba de anillo líquido operará con un flujo de entrada 5,090 lb/h, presión de 1.38 bar y temperatura de 322 K. Pero debido a las contingencias que puedan presentarse en la refinería la bomba fue diseñada con un 25% más de su flujo en condición normal y un factor de diseño para la temperatura de 28 Kelvin más.

La potencia calculada del compresor es de 160 HP y un flujo volumétrico a la descarga de la bomba de anillo líquido de 593 m<sup>3</sup>/h.

La presión de descarga de la bomba de anillo líquido de 5  $\overline{\text{kg}}/\text{cm}^2$  es suficiente para prevenir la contrapresión al sistema causada cuando las plantas de proceso de la primera etapa desfogan, garantizando el adecuado funcionamiento de la torre de destilación al vacío.

También garantizará que en condiciones inusuales de operación de la torre de destilación al vacío, la bomba de anillo líquido no tenga problemas para trabajar y no se dañe el equipo. La implementación de la bomba de anillo líquido no solo garantiza el correcto funcionamiento de la torre de destilación al vacío sino que también se aprovechará el gas de la descarga para la alimentación de la planta de desintegración catalítica (FCC).

Estas acciones convierten al presente trabajo, en la oportunidad de implantar tecnologías que mejoren en forma integral la calidad de la producción, aumentando la competitividad de la Industria de la Refinación y maximizando el valor agregado de los productos que se obtienen.

## 10. Bibliografía

1. Anaya, Alejandro. "Manual de Operaciones Unitarias". Facultad de Química. 2000.
2. American Petroleum Institute (API) 617 Axial and centrifugal compressors and expander-compressors for petroleum, chemical and gas industry services. Julio 2002.
3. API 681 Liquid ring pumps and compressors for petroleum, chemical and gas industry services. 1996.
4. API Standard 610 Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries 2003
5. Atlas Copco. "Manual del aire comprimido". 7ª Ed. 2011.
6. Bannwarth, Helmut. "Liquid ring vacuum pumps, compressors and systems". Wiley-Vch. 2005.
7. Carl L. Yaws. "Handbook of thermodynamic Diagrams". Vol. 1, Editorial Gulf Publishing Company, Houston, Texas 1996.
8. Datos proporcionados por la refinería de estudio.
9. Diccionario de Términos de Pemex Refinación (PDF). <http://www.itek.com.mx/INDUSTRIA/DICCIONARIO%20PEMEX.pdf>
10. E. J. Henley; J. D. Seader. "Operaciones de separación por etapas de equilibrio en ingeniería química", Editorial Reverté, S. A. de C. V. México 2000.

11. Ernest E. Ludwig. "Applied Process Design for chemical and petrochemical plants". Vol. 3 Third. Edición Butterworth-Heinemann, 309 USA.
12. Heinz P. Bloch. "Guía práctica para la tecnología de los compresores". McGraw Hill, 1998.
13. Hoja de datos "Ejector after condenser - exchanger specification sheet." Rev. 3. Kinema Inc. 1981.
14. ISO/FDIS 13709:2009 "Centrifugal pumps for petroleum, petrochemical and natural gas industries".
15. John R. Howell. "Principios de termodinámica para ingeniería". Editorial McGraw-Hill 1990.
16. Manuales de Operación proporcionados por la refinería de estudio.
17. NASH: <http://www.gdnash.com/>
18. NRF-031-PEMEX-2007: Sistemas de desfuegos y quemadores en instalaciones de PEMEX Exploración y Producción.
19. NRF-131-PEMEX-2007 Compresores Centrífugos.
20. Richard M. Felder. "Principios básicos de los procesos químicos". Addison-Wesley Iberoamericana.
21. SIHI Pumps Americas: <http://www.sihi-pumps.com/>
22. Smith, J.M. y Van Ness. "Introducción a la termodinámica en Ingeniería Química". 6a Ed. 2003



## Glosario

**Bomba:** Máquina que aumenta la presión sobre un líquido y de este modo lo hace subir a un nivel más alto o lo obliga a circular. Cada equipo de bombeo es un transformador de energía. Recibe energía mecánica que puede provenir de un motor eléctrico, térmico, etc., y la convierte en energía que un fluido adquiere en forma de presión, de posición o de velocidad.

**Bomba o Compresor de anillo líquido:** Es una maquina rotatoria de desplazamiento positivo que consigue comprimir un gas mediante un impulsor radial con alabes, montado en una carcasa elíptica o excéntrica, la cual está parcialmente llena de un fluido.

**Compresor:** Equipo que sirve para comprimir un gas o aire.

**Compresión:** Acción mecánica de la reducción del volumen ocupado por un gas por efecto de la presión.

**Condensador:** Equipo de intercambio de calor utilizado para eliminar calor latente en lugar del calor sensible, licuando los vapores correspondientes.

**Enfriador:** Equipo que se emplea para enfriar fluidos en un proceso. El agua es el medio más importante para disminuir su contenido calorífico.

**Eyector:** Aparato que sirve para desalojar un líquido o un gas, arrastrándolo con otro fluido a gran velocidad.

**Eyector de Vacío:** Equipo auxiliar que se utiliza en las plantas para hacer vacío en equipos mayores como torres de destilación y acumuladores. Normalmente funciona con vapor como fluido de arrastre.

**Factor de compresibilidad (Z):** Es un factor adimensional que corrige el comportamiento de gas ideal al del gas real, en cuanto a su compresibilidad.

**Factor K:** Es un factor adimensional que resulta de dividir el calor específico a presión constante entre el calor específico a volumen constante y se emplea en el diseño termodinámico de la máquina ( $K = C_p/C_v$ ).

**Planta catalítica (FCC):** Planta que se emplea para producir principalmente gasolina estabilizada de alto octano (59 por ciento en volumen), gas residual que se adiciona al gas combustible de la refinería, propano-propileno, butano-butileno, aceite cíclico ligero y aceite cíclico pesado, teniendo como carga gasóleo pesado primario y gasóleos de la planta de vacío.

**Presión de operación:** Es la presión manométrica (medida en  $\overline{\text{kg}}/\text{cm}^2$  o psig) a la cual es normalmente sujeto un recipiente o equipo cuando está en servicio. Un recipiente de proceso se diseña normalmente para una presión máxima permisible de trabajo que provee de un margen de seguridad conveniente arriba de la presión de operación, con objeto de prevenir cualquier operación indeseable del mecanismo de alivio.

**Tanque de sello:** Recipiente que contiene cierto nivel de agua para extinguir una flama que haya retrocedido desde la boquilla del quemador. El sello en el tanque está determinado por la presión de descarga en la boquilla del quemador.

**Unidad de destilación al vacío:** Equipo que opera con presión menor a la atmosférica, generalmente en un rango de 25 a 40 mm de Hg, para disminuir la temperatura de ebullición de los componentes de la mezcla de hidrocarburos pesados (residuo primario), con el objetivo de recuperar la fracción de gasóleos presentes en la mezcla.

**Vacío:** El vacío es el estado de un gas en el cual la densidad de las partículas es inferior a la densidad registrada en la atmósfera en la superficie terrestre. En la práctica, el estado de vacío de un gas se puede definir en los casos en que la presión del gas sea inferior a la presión atmosférica.

# **ANEXOS**

## ANEXO 1 Estadístico de la información recopilada.

	<i>METANO (C<sub>1</sub>)</i>	<i>ETANO (C<sub>2</sub>)</i>	<i>ETILENO (C<sub>2</sub>=)</i>	<i>PROPANO (C<sub>3</sub>)</i>	<i>PROPILENO(C<sub>3</sub>=)</i>	<i>n-BUTANO (nC<sub>4</sub>)</i>
<b>FECHA</b>	<b>VALOR</b>	<b>VALOR</b>	<b>VALOR</b>	<b>VALOR</b>	<b>VALOR</b>	<b>VALOR</b>
01-20-2009	23.82	13.71	1.54	9.56	6.67	3.20
02-20-2010	10.72	10.15	1.09	10.63	4.00	7.15
02-22-2010	13.21	12.05	1.36	11.88	4.83	6.44
02-25-2010	16.14	10.55	1.26	8.60	3.58	4.78
09-08-2010	19.10	9.51	1.04	8.71	3.28	7.22
10-06-2010	11.63	10.70	1.11	10.81	4.23	6.27
10-14-2010	27.00	8.06	0.81	5.87	2.45	2.41
12-30-2010	11.47	10.33	1.09	10.46	3.99	6.35

	<i>ISOBUTANO (iC<sub>4</sub>)</i>	<i>2-cis-BUTENO</i>	<i>2-trans-BUTENO</i>	<i>ISOBUTENO (iC<sub>4</sub>=)</i>	<i>1-BUTENO (1-C<sub>4</sub>=)</i>
<b>FECHA</b>	<b>VALOR</b>	<b>VALOR</b>	<b>VALOR</b>	<b>VALOR</b>	<b>VALOR</b>
01-20-2009	0.98	0.89	0.14	0.85	0.18
02-20-2010	0.79	0.29	0.47	2.02	2.02
02-22-2010	0.99	0.29	0.48	1.97	1.99
02-25-2010	1.34	0.02	1.51	2.91	2.20
09-08-2010	1.37	0.36	0.49	1.77	1.70
10-06-2010	1.33	2.95	1.79	1.70	1.89
10-14-2010	0.42	0.21	0.89	0.68	0.19
12-30-2010	0.93	0.26	0.43	1.86	1.89

	<i>ISOPENTANO (iC<sub>5</sub>)</i>	<i>n-PENTANO (nC<sub>5</sub>)</i>	<i>OXÍGENO (O<sub>2</sub>)</i>	<i>HIDRÓGENO (H<sub>2</sub>)</i>	<i>NITRÓGENO (N<sub>2</sub>)</i>
<b>FECHA</b>	<b>VALOR</b>	<b>VALOR</b>	<b>VALOR</b>	<b>VALOR</b>	<b>VALOR</b>
01-20-2009	0.58	0.79	2.82	6.00	9.64
02-20-2010	2.09	4.78	0.40	7.00	2.94
02-22-2010	1.58	3.22	0.60	4.00	2.39
02-25-2010	3.82	2.83	0.82	4.00	3.13
09-08-2010	3.59	3.47	5.60	2.28	15.01
10-06-2010	0.23	0.18	0.91	4.26	2.78
10-14-2010	0.28	1.01	4.18	4.00	11.65
12-30-2010	1.61	3.30	0.36	4.28	1.90

	<i>CO<sub>2</sub></i>	<i>H<sub>2</sub>S</i>	<i>INERTES</i>	<i>% MOL</i>
<b>FECHA</b>	<b>VALOR</b>	<b>VALOR</b>	<b>VALOR</b>	<b>VALOR</b>
01-20-2009	0.14	16.00	2.49	<i>100.00</i>
02-20-2010	0.10	33.35	0.01	<i>100.00</i>
02-22-2010	0.07	32.64	0.01	<i>100.00</i>
02-25-2010	0.12	32.38	0.01	<i>100.00</i>
09-08-2010	0.05	13.12	2.33	<i>100.00</i>
10-06-2010	0.09	35.53	1.61	<i>100.00</i>
10-14-2010	0.13	26.50	3.26	<i>100.00</i>
12-30-2010	0.21	37.20	2.08	<i>100.00</i>

Por lo tanto, la composición promedio de la corriente de interés resulta:

COMPONENTE	% mol base seca	y base seca
<i>METANO (C<sub>1</sub>)</i>	16.636	0.16636
<i>ETANO (C<sub>2</sub>)</i>	10.633	0.10633
<i>ETILENO (C<sub>2</sub>=)</i>	1.163	0.01163
<i>PROPANO (C<sub>3</sub>)</i>	9.565	0.09565
<i>PROPILENO (C<sub>3</sub>=)</i>	4.129	0.04129
<i>n-BUTANO (nC<sub>4</sub>)</i>	5.478	0.05478
<i>ISOBUTANO (iC<sub>4</sub>)</i>	1.019	0.01019
<i>2-cis-BUTENO</i>	0.659	0.00659
<i>2-trans-BUTENO</i>	0.775	0.00775
<i>ISOBUTENO (iC<sub>4</sub>=)</i>	1.720	0.01720
<i>1-BUTENO (1-C<sub>4</sub>=)</i>	1.508	0.01508
<i>ISOPENTANO (iC<sub>5</sub>)</i>	1.723	0.01723
<i>n-PENTANO (nC<sub>5</sub>)</i>	2.448	0.02448
<i>OXÍGENO (O<sub>2</sub>)</i>	1.961	0.01961
<i>HIDRÓGENO (H<sub>2</sub>)</i>	4.478	0.04478
<i>NITRÓGENO (N<sub>2</sub>)</i>	6.180	0.06180
<i>CO<sub>2</sub></i>	0.114	0.00114
<i>H<sub>2</sub>S</i>	28.340	0.28340
<i>INERTES (Ar)</i>	1.475	0.01475
<i>H<sub>2</sub>O</i>	--	--
<i>TOTAL</i>	100.000	1.000

## ANEXO 2 Tablas y gráficos complementarios

**Tabla 1. Correlación generalizada de Lee/Kesler ( $Z_0$ ).**

Tr\Pr	COEFICIENTES $Z_0$							
	0.01	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1
0.30	0.0029	0.0145	0.0290	0.0579	0.1158	0.1737	0.2315	0.2892
0.35	0.0026	0.0130	0.0261	0.0522	0.0143	0.1564	0.2084	0.2604
0.40	0.0024	0.0119	0.0239	0.0477	0.0953	0.1429	0.1904	0.2379
0.45	0.0022	0.0110	0.0221	0.0442	0.0882	0.1322	0.1762	0.2200
0.50	0.0021	0.0103	0.0207	0.0413	0.0825	0.1236	0.1647	0.2056
0.55	0.9804	0.0098	0.0195	0.0390	0.0778	0.1166	0.1553	0.1939
0.60	0.9849	0.0093	0.0186	0.0371	0.0741	0.1109	0.1476	0.1842
0.65	0.9881	0.9377	0.0178	0.0356	0.0710	0.1063	0.1415	0.1765
0.70	0.9904	0.9504	0.8958	0.0344	0.0687	0.1027	0.1366	0.1703
0.75	0.9922	0.9598	0.9165	0.0336	0.0670	0.1001	0.1330	0.1656
0.80	0.9935	0.9669	0.9319	0.8539	0.0661	0.0985	0.1307	0.1626
0.85	0.9946	0.9725	0.9436	0.8810	0.0661	0.0983	0.1301	0.1614
0.90	0.9954	0.9768	0.9528	0.9015	0.7800	0.1006	0.1321	0.1630
0.93	0.9959	0.9790	0.9573	0.9115	0.8059	0.6635	0.1359	0.1664
0.95	0.9961	0.9803	0.9600	0.9174	0.8206	0.6967	0.1410	0.1705
0.97	0.9963	0.9815	0.9625	0.9227	0.8338	0.7240	0.5580	0.1779
0.98	0.9965	0.9821	0.9637	0.9253	0.8398	0.7360	0.5887	0.1844
0.99	0.9966	0.9826	0.9648	0.9277	0.8455	0.7471	0.6138	0.1959
1.00	0.9967	0.9832	0.9659	0.9300	0.8509	0.7574	0.6355	0.2901
1.01	0.9968	0.9837	0.9669	0.9322	0.8561	0.7671	0.6542	0.4648
1.02	0.9969	0.9842	0.9679	0.9343	0.8610	0.7761	0.6710	0.5146
1.05	0.9971	0.9855	0.9707	0.9401	0.8743	0.8002	0.7130	0.6026
1.10	0.9975	0.9874	0.9747	0.9485	0.8930	0.8323	0.7649	0.6880
1.15	0.9978	0.9891	0.9780	0.9554	0.9081	0.8576	0.8032	0.7443
1.20	0.9981	0.9904	0.9808	0.9611	0.9205	0.8779	0.8330	0.7858
1.30	0.9985	0.9926	0.9852	0.9702	0.9396	0.9083	0.8764	0.8438
1.40	0.9988	0.9942	0.9884	0.9768	0.9534	0.9298	0.9062	0.8827



Tr\Pr	COEFICIENTES $Z_0$							
	0.01	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1
1.50	0.9991	0.9954	0.9909	0.9818	0.9636	0.9456	0.9278	0.9103
1.60	0.9993	0.9964	0.9928	0.9856	0.9714	0.9575	0.9439	0.9308
1.70	0.9994	0.9971	0.9943	0.9886	0.9775	0.9667	0.9563	0.9463
1.80	0.9995	0.9977	0.9955	0.9910	0.9823	0.9739	0.9659	0.9583
1.90	0.9996	0.9982	0.9964	0.9929	0.9861	0.9796	0.9735	0.9678
2.00	0.9997	0.9986	0.9972	0.9944	0.9892	0.9842	0.9796	0.9754
2.20	0.9998	0.9992	0.9983	0.9967	0.9937	0.9910	0.9886	0.9865
2.40	0.9999	0.9996	0.9991	0.9983	0.9969	0.9957	0.9948	0.9941
2.60	1.0000	0.9998	0.9997	0.9994	0.9991	0.9990	0.9990	0.9993
2.80	1.0000	1.0000	1.0001	1.0002	1.0007	1.0013	1.0021	1.0031
3.00	1.0000	1.0002	1.0004	1.0008	1.0018	1.0030	1.0043	1.0057
3.50	1.0001	1.0004	1.0008	1.0017	1.0035	1.0055	1.0075	1.0097
4.00	1.0001	1.0005	1.0010	1.0021	1.0043	1.0066	1.0090	1.0115

**Tabla 2. Correlación generalizada de Lee/Kesler ( $z_0$ ).**

Tr\Pr	COEFICIENTES $Z_1$							
	0.01	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1
0.30	-0.0008	-0.0040	-0.0081	-0.0161	-0.0323	-0.0484	-0.0645	-0.0806
0.35	-0.0009	-0.0046	-0.0093	-0.0185	-0.0370	-0.0554	-0.0738	-0.0921
0.40	-0.0010	-0.0048	-0.0095	-0.0190	-0.0380	-0.0570	-0.0758	-0.0946
0.45	-0.0009	-0.0047	-0.0094	-0.0187	-0.0374	-0.0560	-0.0745	-0.0893
0.50	-0.0009	-0.0045	-0.0090	-0.0181	-0.0360	-0.0539	-0.0716	-0.0893
0.55	-0.0314	-0.0043	-0.0086	-0.0172	-0.0343	-0.0513	-0.0682	-0.0849
0.60	-0.0205	-0.0041	-0.0082	-0.0164	-0.0326	-0.0487	-0.0646	-0.0803
0.65	-0.0137	-0.0772	-0.0078	-0.0156	-0.0309	-0.0461	-0.0611	-0.0759
0.70	-0.0093	-0.0507	-0.1161	-0.0148	-0.0294	-0.0438	-0.0579	-0.0718
0.75	-0.0064	-0.0339	-0.0744	-0.0143	-0.0282	-0.0417	-0.0550	-0.0681
0.80	-0.0044	-0.0228	-0.0487	-0.1160	-0.0272	-0.0401	-0.0526	-0.0648
0.85	-0.0029	-0.0152	-0.0319	-0.0715	-0.0268	-0.0391	-0.0509	-0.0622

TrPr	COEFICIENTES Z <sub>1</sub>							
	0.01	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1
0.90	-0.0019	-0.0010	-0.0205	-0.0442	-0.1118	-0.0396	-0.0503	-0.0604
0.93	-0.0015	-0.0075	-0.0154	-0.0326	-0.0763	-0.1662	-0.0514	-0.0602
0.95	-0.0012	-0.0062	-0.0126	-0.0262	-0.0589	-0.1110	-0.0540	-0.0607
0.97	-0.0010	-0.0050	-0.0101	-0.0208	-0.4500	-0.0770	-0.1647	-0.0623
0.98	-0.0009	-0.0044	-0.0090	-0.0184	-0.0390	-0.0641	-0.1100	-0.0641
0.99	-0.0008	-0.0039	-0.0079	-0.0161	-0.0335	-0.0531	-0.0796	-0.0680
1.00	-0.0007	-0.0034	-0.0069	-0.0140	-0.0285	-0.0435	-0.0588	-0.0879
1.01	-0.0006	-0.0030	-0.0060	-0.0120	-0.0240	-0.0351	-0.0429	-0.0223
1.02	-0.0005	-0.0026	-0.0051	-0.0102	-0.0198	-0.0277	-0.0303	-0.0062
1.05	-0.0003	-0.0015	-0.0029	-0.0054	-0.0092	-0.0097	-0.0032	0.0220
1.10	0.0000	0.0000	0.0001	0.0007	0.0038	0.0106	0.0236	0.0476
1.15	0.0002	0.0011	0.0023	0.0052	0.0127	0.0237	0.0396	0.0625
1.20	0.0004	0.0019	0.0039	0.0084	0.0190	0.0326	0.0499	0.0719
1.30	0.0006	0.0030	0.0061	0.0125	0.0267	0.0429	0.0612	0.0819
1.40	0.0007	0.0036	0.0072	0.0147	0.0306	0.0477	0.0661	0.0857
1.50	0.0008	0.0039	0.0078	0.0158	0.0323	0.0497	0.0677	0.0864
1.60	0.0008	0.0040	0.0080	0.0162	0.0330	0.0501	0.0677	0.0855
1.70	0.0008	0.0040	0.0081	0.0163	0.0329	0.0497	0.0667	0.0838
1.80	0.0008	0.0040	0.0081	0.0162	0.0325	0.0488	0.0652	0.0814
1.90	0.0008	0.0040	0.0079	0.0159	0.0318	0.0477	0.0635	0.0792
2.00	0.0008	0.0039	0.0078	0.0155	0.0310	0.0464	0.0617	0.0767
2.20	0.0007	0.0037	0.0074	0.0147	0.0293	0.0437	0.0579	0.0719
2.40	0.0007	0.0035	0.0070	0.0139	0.2760	0.0411	0.0544	0.0675
2.60	0.0007	0.0033	0.0066	0.0131	0.0260	0.0387	0.0512	0.0634
2.80	0.0006	0.0031	0.0062	0.0124	0.0245	0.0365	0.0483	0.0598
3.00	0.0006	0.0029	0.0059	0.0117	0.0232	0.0345	0.0456	0.0565
3.50	0.0005	0.0026	0.0052	0.0103	0.0204	0.0303	0.0401	0.0497
4.00	0.0005	0.0023	0.0046	0.0091	0.0182	0.0270	0.0357	0.0443

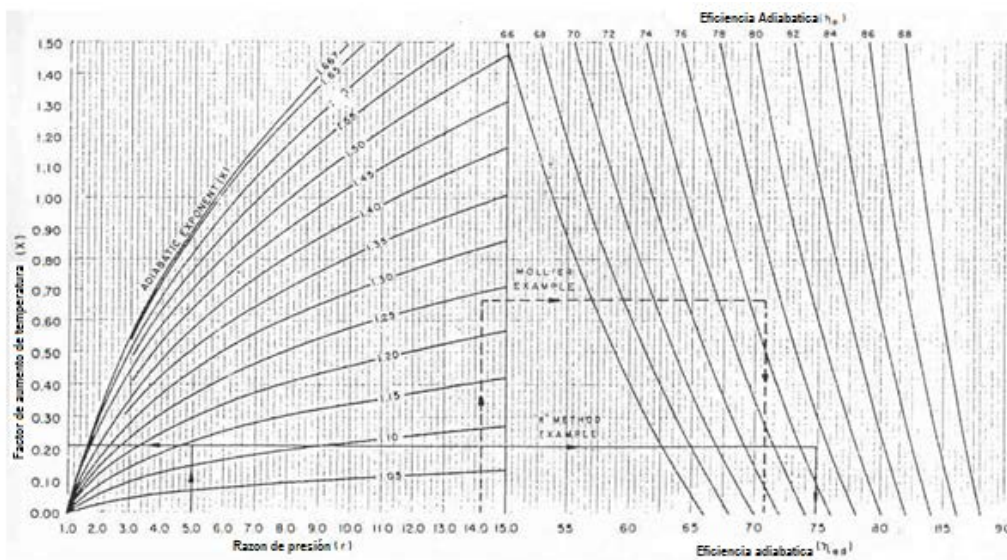
**Tabla 3. Propiedades críticas de los compuestos.**

<b>COMPONENTE</b>	<b><math>T_c</math> (<math>^{\circ}K</math>)</b>	<b><math>P_c</math> (bar)</b>	<b>w</b>
<b>METANO (<math>C_1</math>)</b>	191.6	45.99	0.01
<b>ETANO (<math>C_2</math>)</b>	305.3	48.72	0.10
<b>ETILENO (<math>C_{2=}</math>)</b>	282.3	50.40	0.09
<b>PROPANO (<math>C_3</math>)</b>	369.8	42.48	0.15
<b>PROPILENO (<math>C_{3=}</math>)</b>	365.6	46.65	0.14
<b>n-BUTANO (<math>nC_4</math>)</b>	425.1	37.96	0.20
<b>ISOBUTANO (<math>iC_4</math>)</b>	408.1	36.48	0.18
<b>2-cis-BUTENO (<math>cis-2-C_{4=}</math>)</b>	435.6	42.43	0.21
<b>2-trans-BUTENO (<math>trans-2-C_{4=}</math>)</b>	428.6	41.00	0.22
<b>ISOBUTENO (<math>iC_{4=}</math>)</b>	417.9	40.00	0.19
<b>1-BUTENO (<math>1-C_{4=}</math>)</b>	420.0	40.43	0.19
<b>ISOPENTANO (<math>iC_5</math>)</b>	461.1	33.70	0.25
<b>n-PENTANO (<math>nC_5</math>)</b>	469.7	33.70	0.25
<b>OXÍGENO (<math>O_2</math>)</b>	154.6	50.43	0.02
<b>HIDRÓGENO (<math>H_2</math>)</b>	33.2	13.13	-0.22
<b>NITRÓGENO (<math>N_2</math>)</b>	154.6	34.00	0.04
<b>DIÓXIDO DE CARBONO (<math>CO_2</math>)</b>	304.2	73.83	0.22
<b>SULFURO DE HIDRÓGENO (<math>H_2S</math>)</b>	373.5	89.63	0.09
<b>INERTES (Ar)</b>	150.9	48.98	0.00
<b>AGUA (<math>H_2O</math>)</b>	647.1	220.55	0.345


**Tabla 4. Especificaciones del compresor de Elliott.**


CUERPO	RANGO DE FLUJO DE ENTRADA (m <sup>3</sup> /h)	CABEZA POLITRÓPICA NOMINAL POR ETAPA (H <sub>p</sub> )	EFICIENCIA POLITRÓPICA NOMINAL (η <sub>p</sub> )	MÁXIMO No. DE ETAPAS NOMINALES	VELOCIDAD A CABEZA POLITRÓPICA NOMINAL / ETAPA
29M	850 - 13600	30	0.76	10	11500
38M	10000 - 39000	30/36	0.77	9	8100
46M	34000 - 60000	30/36	0.77	9	5400
60M	51000 - 99000	30/36	0.77	8	5000
70M	85000-145000	30/36	0.78	8	4100
88M	125000-220000	30/36	0.78	8	3300
103M	185000-270000	30	0.78	7	2800
110M	235000-320000	30	0.78	7	2600
25MB (H) (HH)	850 - 8500	36	0.76	12	11500
32MB (H) (HH)	8500 - 17000	36	0.78	10	10200
38MB (H)	13600 - 39000	30/36	0.78	9	8100
46MB	34000 - 60000	30/36	0.78	9	6400
60MB	51000 - 99000	30/36	0.78	8	5000
70MB	85000 -145000	30/36	0.78	8	4100
88MB	125000-220000	30/36	0.78	8	3300

**Gráfico 1. Factor de incremento de temperatura (x).**





## ANEXO 3 Especificación técnica

		ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE BOMBA DE ANILLO LÍQUIDO			PROY N°:			
		BOMBA DE ANILLO LÍQUIDO ACCIONADA CON MOTOR ELÉCTRICO			HOJA	1	DE	2
ELABORÓ: _____	REVISÓ: _____	APROBÓ: _____		REV	0	1	2	3
CLIENTE: _____	CLAVE: <u>V-GA-11/R</u>	MARCA: _____	REVISÓ					
LUGAR: _____	No. REQ: <u>DOS (2)</u>	MODELO: _____	APROBÓ					
SERVICIO: <u>COMPRESOR DE GAS GOSOLEO LIGERO</u>	TAMAÑO: _____		FECHA					
CÓDIGO DISEÑO: <u>API 681</u>								
MATERIALES Y PESOS								
COMPONENTES	ACERO	ACERO ESTANDAR						
CARCASA		ASTM A 182 F Tp. 316L						
CABEZA		ASTM A 351 CF3M						
EJE		ASTM A 564 Tp. 630						
ROTOR		ASTM A 351 CF3M						
PUERTO PLANO		ASTM A 351 CF3M						
SELLO DEL EJE		J.C. Tipo 3648 Dbl.						
SOPORTE DEL COJINETE		ASTM A 516 Gr. 60						
JUNTA		VITON / TEFLON						
SELLO DEL EJE OPCIONAL		-	SELLO DE LIMPIA (GPM)					POR SELLO
PESO DE LA BOMBA SECO (LBS)		4,850						
PESO DE LA BOMBA EN OPERACIÓN (LB)		-						
DETALLES DE CONSTRUCCIÓN								
TIPO DE PUERTO (No. DE ETAPAS)	Cono (2)	TIPO DE BALANCE DEL ROTOR	Dinámico					
VISTA DE ROTACIÓN	A.E	TOLERANCIA DE BALANCEO	ISO Gr. 2.5					
CRITERIOS DE DISEÑO								
INFORMACIÓN DE PRESIÓN			INFORMACIÓN DEL ANILLO LÍQUIDO					
PRESIÓN DE DISEÑO	150	RANGO DE OPERACIÓN psig	40-205					
PRESIÓN HIDROSTÁTICA psig (barg)	305 (21)	FLUJO DEL SELLO CONICO GPM/Hp	900, 1000 rpm - 0.33/1200 rpm - 0.32					
RANGO DE OPERACIÓN psig	40-250	INFORMACIÓN DE CONEXIONES						
DATOS DE DISEÑO		CONEXIÓN	TAMAÑO (IN)	CLASIFICACIÓN Y TIPO				
EJE DIA. @ EXTENSIÓN	80	ENTRADA	8	Fig. 150 #, RF				
EJE DIA. @ PRENSAESTOPAS	100	DESCARGA	6	Fig. 150 #, RF				
TAMAÑO CLAVE DE EJE	22x14	ANILLO LÍQUIDO	2	Fig. 150 #, RF				
WK <sup>2</sup> (LB-FT <sup>2</sup> ) (IRON/S.S) <sup>[1]</sup>	234.9	ROSCA DE SELLO DE LIMPIA	1/2-3/4	NPT				
SOPORTE				LUBRICACIÓN				
UBICACIÓN DEL SOPORTE	TIPO DE SOPORTE	No. SOPORTE	TIPO	VOLUMEN				
TRANSMISIÓN	Una solo hilera x2	7320 BECBM	Aceite					
INACTIVO	Doble hilera	3320A	Aceite					
VIDA ÚTIL DEL SOPORTE ( B10 VIDA ÚTIL EN AÑOS)								
RPM	HP	TIPO DE CONTROL	TRANSMISIÓN	INACTIVO				
880-1180	Todos	Directo	>5	>5				
RUIDO Y VIBRACIÓN (MAXIMA EN CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA BOMBA)								
RPM	CONTROL	RUIDO	VIBRACIÓN					
		DBA (TOTAL)	VELOCIDAD (mm/s)	DESPLAZAMIENTO (mm)				
Todas	Directo	<90	<2.8	-				
NOTA								
1) El WK <sup>2</sup> está basado en el rotor, el eje y el agua residual.								


	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE BOMBA DE ANILLO LÍQUIDO					PROY N°:	
	BOMBA DE ANILLO LÍQUIDO ACCIONADA CON MOTOR ELÉCTRICO					HOJA	2 DE 2
<b>CRITERIOS DE DISEÑO</b>							
PRESIÓN DIFERENCIAL MAX (PSI)		200		VELOCIDAD DE DISEÑO (RPM)	COMP.	1,000	
TEMPERATURA DE DISEÑO (°C)		77		VELOCIDAD MAX (RPM)	COMP.	1,200	
TEMPERATURA MAX		*		VELOCIDAD MIN (RPM)	COMP.	800	
<b>FUERZA Y MOMENTO MÁXIMO PERMITIDO <sup>[2]</sup></b>							
CONEXIONES	TAMAÑO (IN)	FUERZA MÁXIMA PERMITIDA (LBS)			MOMENTO MÁXIMO PERMITIDO (FT-LBS)		
		F(X)	F(Y)	F(Z)	M(X)	M(Y)	M(Z)
ENTRADA	8	685	685	1,370	1,716	1,716	3,432
SALIDA	6	456	456	912	867	867	1,730
SELLO LÍQUIDO	2	176	88	88	114	57	57
FUSELAJE DE DRENE							
SELLO DE LIMPIA	-						
<b>CARGA MÁXIMA DE LOS PERNOS DE CIMENTACIÓN (POR PERNO)</b>							
MONTURA	TAMAÑO DEL PERNO	TENSIÓN MÁXIMA DE CARGA (LBS)			RESISTENCIA MÁXIMA DE CARGA (LBS)		
PLACA DE MONTAJE		/PERNO			/PERNO		
BOMBA		/PERNO			/PERNO		
<b>DESVIACIÓN DE EJE</b>							
TIPO DE BOMBA	RPM	HP	TIPO DE CONTROL	PRESIÓN DE OPERACIÓN	DESVIACIÓN DEL HIERRO / S.S.		
COMPRESOR	*	*	*	*	*		
<b>INFORMACIÓN DEL ROTOR Y EJE</b>							
ROTOR / ENSAMBLE DEL EJE EQUIVALENTE MÁXICO (LB-S <sup>2</sup> / FT )				S.S.	*		
WK <sup>2</sup> ROTOR Y EJE (UNICAMENTE) (LB-FT <sup>2</sup> )				S.S.	*		
WK <sup>2</sup> ROTOR, EJE Y AGUA RESIDUAL (LB-FT <sup>2</sup> )				S.S.	234.9		
WK <sup>2</sup> ROTOR, EJE Y ANILLO LÍQUIDO (LB-FT <sup>2</sup> )				S.S.	*		
PRIMERA VELOCIDAD CRÍTICA (RPM)				S.S.	*		
SEGUNDA VELOCIDAD CRÍTICA (RPM)				S.S.	*		
MÁXIMO HP DE TRANSMISIÓN DIRECTA DE LA BOMBA DE VACÍO							
MÁXIMO HP DE TRANSMISIÓN POR CORREA AL COMPRESOR				*			
<b>NOTAS</b>							
2) La orientación para las fuerzas y momentos son los siguientes:							
Dirección- X denota fuerzas y momentos paralelos al eje axial. Dirección-Y denota una dirección vertical. Dirección-Z denota fuerzas y momentos en el plano horizontal perpendicular al eje axial.							
3) El WK <sup>2</sup> para el rotor, el eje y el anillo líquido está basado en el líquido de bombeo, durante los primeros 20 segundos de operación.							
4) El asterisco (*) indica información que debe ser suministrada por el fabricante y/o proveedor del equipo.							


## ANEXO 4 Hojas de Datos. Bomba de anillo líquido.


		HOJA DE DATOS. BOMBA DE ANILLO LÍQUIDO				PROY N°: .....				
		BOMBA DE ANILLO LÍQUIDO ACCIONADA CON MOTOR ELÉCTRICO				HOJA	1	DE	7	
ELABORÓ: ---		REVISÓ: ---		APROBÓ: ---		REV	0	1	2	3
1	EDITADA PARA:	COTIZACIÓN		COMPRA		AS BUILT.				
2	CLIENTE: ----	CLAVE:	V-GA-11/R		MARCA:	* LUGAR				
3	---- No. REQ:	DOS (2)	MODELO:	* SERVICIO: COMPRESOR DE GAS GOSOLEO LIGERO						
4	TAMAÑO:	* CÓDIGO DISEÑO:	API 681 Y NRF-131-PEMEX-2007							
5										
6	FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA DE VACÍO O COMPRESOR									
7	No. Requerido:	2		Motor No.:	*		Turbina No.:			
8	Equipo No.:	-		Motor dado por:	-		Turbina dada por:			
9	No. Unidad de motor:	-		Motor Colocado por:	-		Turbina colocada por:			
10	No. Unidad de turbina			Hojas de datos del motor:	*		Hojas de datos de la turbina.:			
11	TIPO DE SISTEMA					ANILLO LÍQUIDO				
12	Bomba de anillo líquido		Compresor de anillo líquido			Tipo/ Nombre del líquido: AGUA DE SERVICIO				
13	SISTEMA DE ANILLO LÍQUIDO					Temperatura de suministro °C (°F) Normal 32 89.6				
14	Funcionamiento sin recirculación					Máx: Min:				
15	Funcionamiento con recirculación parcial					Presión de suministro kg/cm <sup>2</sup> abs (psia): 5.31 75.53				
16	Funcionamiento con recirculación total					Presión de vapor kg/cm <sup>2</sup> abs (psia): 0.006 0.089				
17	Servicio: Continuo		Intermitente		Arranques/día:		Gravedad específica @ Máx. Temperatura:			
18	Cantidad de volumen que entra al sistema m <sup>3</sup> (ft <sup>3</sup> ):					Calor específico kJ/kg °C (Btu/lb °F):				
19	Tiempo requerido de evacuación (min):					Viscosidad: 0.74 cP @ °C (°F) 32.2 89.96				
20	DATOS DE UBICACIÓN Y SERVICIOS					Máxima Viscosidad (cP) @ Temperatura mínima				
21	Localización:					Agentes Corrosivos/Erosivos:				
22	Interior		Calentado		Bajo techo		Concentración de Cloro (ppm):			
23	Exterior		Sin calefacción		Lados parciales		Concentración H <sub>2</sub> S (ppm):			
24	Escalón		Entresuelo		NPT		Toxico Flamable Otro:			
25	Clasificación eléctrica del área -					Sistema de purga del anillo líquido				
26	Clase: 1		Grupo: A		Div: 1		Flujo que circula m <sup>3</sup> /h (gpm): 8.7 38.3			
27	Acondicionamiento para invierno		Acondicionamiento para clima tropical			Flujo a reponer m <sup>3</sup> /h (gpm): 0 0				
28	Vapor		Controladores			Calefacción				
29	Condiciones	Pres. kg/cm <sup>2</sup> (psia)	Temp. °C (°F)	Pres. kg/cm <sup>2</sup> (psia)	Temp. °C (°F)	Presión de diseño del sistema kg/cm <sup>2</sup> abs (psia):				
30	Min					Solub. del gas en el anillo liq. kg/kg: @ mm H <sub>2</sub> O y °C				
31	Máx					ESPECIFICACIÓN DE RUIDO*				
32	Aplicable a la máquina:									
33	Electricidad	Conductores	Calefacción	Controles	Apagado					
34	Voltaje	4100 V	220 V	220 V		Aplicable a zona/vecindad:				
35	Fases	3	1	1						
36	Ciclos	60 Hz	60 Hz	60 Hz	60 Hz	Encierro acústico: Si No				
37	Elevación m (ft):	2.030 6660.1	Barómetro kg/cm <sup>2</sup> (psi):		0.81 11.51	REFERENCIAS				
38	Temp. Ambiente °C (°F) Rango	-	Máx: 37.4 99.32	Min: -6 21.2	API 681, Bombas de anillo líquido y compresores de anillo líquido					
39	Humedad relativa (%)	-	Máx: 84.2	Min: 52.8	Sistemas para servicio de refinerías					
40	Condiciones inusuales	-	Polvo	Humos	Especificación gubernamental (si aplica):					
41	Corrosión debido a: Presencia de sulfuro de hidrógeno en el fluido succionado									
42	Temp. del agua de enfriamiento °C (°F)	-	Entrada: 32 89.6	Normal:	PINTURA*					
43	Min:	Máx:		Máx Recirc.:		Estándar del fabricante				
44	Presión kg/cm <sup>2</sup> abs (psia)-	Normal:	4 56.893	Diseño		Sistema estándar del proveedor:				
45	Min Retorno:	Máx. ΔP permitida kg/cm <sup>2</sup> abs (psia):			Otros:					
46	ENVÍO/ENTREGA*									
47	Pres. de aire de los instrumentos kg/cm <sup>2</sup> abs (psia)	Máx:	Min:		Doméstico		Exportación		Caja de exportación requerida	
48	Almacenamiento externo mayor a seis meses									
49										
50										
51										
52										


		HOJA DE DATOS. BOMBA DE ANILLO LÍQUIDO						PROY N°: .....			
		BOMBA DE ANILLO LÍQUIDO ACCIONADA CON MOTOR ELÉCTRICO						HOJA	2 DE 7		
1	CONDICIONES DE OPERACIÓN										
2	Todos los datos están en las unidades correspondientes			NORMAL	DISEÑO	ARRANQUE	OTRAS CONDICIONES				
3							A	B			
4	Gas manejado "nota 2"			ver "nota 2"							
5	m <sup>3</sup> /h @ 1.013 bar & 0°C seco /SCFM @ 14.7 psia y 60 °F seco			/	/						
6	Flujo másico [kg/min] [húmedo/seco] / [lb/min] [húmedo /seco]			38.8 / 5132.362	38.8 / 5132.362						
7	CONDICIONES DE SUCCIÓN										
8	Presión [kg/cm <sup>2</sup> abs]/[psia]			1.408 / 20	1.408 / 20						
9	Temperatura [°C]/ [°F]			48.89 / 120.00	48.89 / 120.00						
10	Humedad relativa (%)										
11	Peso molecular (%)										
12	Cp/Cv (K <sub>i</sub> )			1.1803	1.1803						
13	Factor de compresibilidad (Z <sub>i</sub> )			0.9912	0.9912						
14	Volumen de entrada [m <sup>3</sup> /h] [húmedo/seco] / [cfm] [húmedo/seco]			1853.2 / 1090.75	1853.2 / 1090.75						
15	CONDICIONES DE DESCARGA										
16	Presión [kg/cm <sup>2</sup> abs] / [psia]			5 / 71	5 / 71						
17	Temperatura [°C]/ [°F]			127.03 / 260.65	127.03 / 260.65						
18	Z <sub>prom</sub>			0.9895	0.9895						
19	Factor de Compresibilidad (Z <sub>2</sub> )			0.9879	0.9879						
20	Potencia al freno Requerida (Incluyendo pérdidas) kW/BHP			119.1 / 159.6	119.1 / 159.6						
21	kW Requerido a RV ajuste / BHP Requerido a RV ajuste			/	/						
22	Velocidad (rpm)			*	*						
23	Punto de garantía			*	*						
24	Curva de desempeño No.			*	*						
25	Características del gas:      Toxico      Flamable      Otro:										
26	Composición del gas		PM	% mol	Flujo molar de op.		Flujo molar de diseño		Flujo mol. de arranque	Otras condiciones	Observaciones
27	% mol				lbmol/h / kgmol/h	lbmol/h / kg/h	lbmol/h / kg/h		A	B	
28	METANO	16.043	15.214	29.68 / 13.49	29.68 / 13.49						
29	ETANO (C <sub>2</sub> )	30.070	9.724	18.97 / 8.62	18.97 / 8.62						
30	ETILENO (C <sub>2</sub> =)	28.054	1.063	2.07 / 0.94	2.07 / 0.94						
31	PROPANO (C <sub>3</sub> )	44.097	8.747	17.06 / 7.76	17.06 / 7.76						
32	PROPILENO(C <sub>3</sub> =)	42.081	3.776	7.37 / 3.35	7.37 / 3.35						
33	N-BUTANO (nC <sub>4</sub> )	58.123	5.009	9.77 / 4.44	9.77 / 4.44						
34	ISOBUTANO (iC <sub>4</sub> )	56.123	0.932	1.82 / 0.83	1.82 / 0.83						
35	2-CIS-BUTENO	56.108	0.602	1.18 / 0.53	1.18 / 0.53						
36	2-TRANS-BUTENO	56.108	0.709	1.38 / 0.63	1.38 / 0.63						
37	ISOBUTENO (iC <sub>4</sub> =)	56.108	1.573	3.07 / 1.39	3.07 / 1.39						
38	1-BUTENO	56.108	1.379	2.69 / 1.22	2.69 / 1.22						
39	ISOPENTANO (iC <sub>5</sub> )	72.150	1.575	3.07 / 1.40	3.07 / 1.40						
40	N-PENTANO (nC <sub>5</sub> )	72.150	2.238	4.37 / 1.98	4.37 / 1.98						
41	OXIGENO (O <sub>2</sub> )	31.999	1.794	3.50 / 1.59	3.50 / 1.59						
42	HIDROGENO (H <sub>2</sub> )	2.016	4.095	7.99 / 3.63	7.99 / 3.63						
43	NITROGENO (N <sub>2</sub> )	28.014	5.652	11.03 / 5.01	11.03 / 5.01						
44	CO <sub>2</sub>	44.010	0.104	0.20 / 0.09	0.20 / 0.09						
45	H <sub>2</sub> S	34.082	25.918	50.56 / 22.98	50.56 / 22.98						
46	INERTES (Ar)	39.948	1.349	2.63 / 1.20	2.63 / 1.20						
47	H <sub>2</sub> O	18.015	8.548	16.67 / 7.58	16.67 / 7.58						
48	Total	.....	100.000	283.75 / 283.75	283.75 / 88.67						
49	PESO MOLECULAR DE LA MEZCLA:		32.88								
50											
51											
52											



		HOJA DE DATOS. BOMBA DE ANILLO LÍQUIDO			PROY N°: .....	
		BOMBA DE ANILLO LÍQUIDO ACCIONADA CON MOTOR ELÉCTRICO			HOJA	3 DE 7
1	MATERIALES DE CONSTRUCCION					
2	VELOCIDADES*			EJE		
3	Rotación, vista desde la terminal del controlador			Material: ASTM A564 Tp. 630		
4	Max. Continua: *	Disparo: *	rpm	Diá. mm (in) -	@ Rotor *	@ Unión:
5	Velocidad de estabilización mínima:		rpm	Terminal del eje	Cónico	Cilíndrico
6	Velocidad lateral de amortiguamiento		rpm	MANGAS DE LOS EJES*		
7	Primera: *	rpm:	Método	Material en los sellos de los ejes: *		
8	Análisis lateral típico requerido			CAJA DE COJINETES/SOPORTES*		
9	Mapa requerido de fuerzas de amortiguamiento		*	Hierro fundido	Hierro dúctil	Acero
10	Análisis del tren de torsión		*	Sellos:	Tipo de labio	Laberinto
11	Primera velocidad crítica de torsión		rpm	Pruebas de vibración provisionales		
12	Nivel de prueba admisible de vibración $\mu\text{m}$ (mils):			SOPORTES Y LUBRICACIÓN		
13	PRUEBAS DE MATERIALES			Soportes	Tipo	No. Espacio
14	Prueba Charpy:			Radial		
15	Radiografía requerida por:			Empuje		
16	Partículas magnéticas requeridas por:			Lubricación		
17	Penetración del anillo líquido requerida por:			Grasa	Purga de niebla de aceite	Flujo
18	CARCASA*			Deflector	Niebla aceitosa	Anillo aceitoso
19	Modelo: *	Carcasa dividida:		Nivel constante de engrasador	Presión	
20	Material: Acero ASTM A 182 F Tp. 316L			1 1/2 DN Mínimo de grasa lleno y drenaje		
21	Espesor mm (pulg):	Nivel de corrosión mm (pulg):		Grado ISO de viscosidad aceitosa:		
22	Material del colector			Aceite caliente -	Eléctrico	Vapor
23	Placa de soporte/cono material:		ASTM A351 CF3M	Presión de aceite mayor que la del refrigerante		
24	Presión máxima de operación $\text{kg/cm}^2$ abs(PSIA):			DETECTOR DE VIBRACIÓN		
25	Presión máxima de diseño $\text{kg/cm}^2$ abs(PSIA):		10.546 150	Tipo:	API 670	
26	Pruebas de presión $\text{kg/cm}^2$ abs (PSIA):		Helio: * * Hidrógeno:	Marca:	Modelo:	
27	Temperatura de operación °C (°F) Max:		35.5 95.9 Min: 32.2 89.96	No. en cada cojinete del eje: Total:		
28	Capacidad máxima de la cubierta $\text{m}^3$ (ft <sup>3</sup> ):			Oscilador - Detectores suministrados por:		
29	Estudios de cubierta requeridos:			Marca:	Modelo:	
30	Estudios de tornillos niveladores de montaje			Servicio de monitoreo suministrado por:		
31	Agujeros de montura frente a frente/marcados			Localización	Recinto:	
32	Carcasa de tornillos niveladores verticales y los taladros con piloto			Marca:	Modelo:	
33	Calidad de radiografía			Rango de escala	Alarma ( $\mu\text{m}$ ) mils:	
34	Accesorio válvula de alivio $\text{kg/cm}^2$ abs(PSIA):			Apagado -	Establecido $\mu\text{m}$ (mils) @	Tiempo de retraso(s):
35	ROTOR			DETECTORES DE POSICIÓN AXIAL		
36	No.:	Sólido	Hueco	Tipo:	No. Necesarios:	
37	Diámetros mm (in) *			Marca:	Modelo:	
38	No. Aspas por rotor *			Oscilador - Demodulador Suministrado por:		
39	Tipo:	Abiertos	Cerrados	Otro:	Manufatura:	Modelo:
40	Tipo de fabricación: *			Servicio de monitoreo por:		
41	Material: ASTM A 351 CF3M			Ubicación:	Recinto:	
42	Límite de elasticidad máximo $\text{kg/cm}^2$ abs(PSIA):			Marca:	Modelo:	
43	Dureza Brinell -	Máx:	Min:	Rango de escala	Alarma @	$\mu\text{m}$
44				Apagado -	Establecido $\mu\text{m}$ (mils) @	Tiempo de retraso(s):
45	OBSERVACIONES:					
46						
47						
48						
49						
50						
51						
52						

		HOJA DE DATOS. BOMBA DE ANILLO LIQUIDO						PROY N°: .....		
		BOMBA DE ANILLO LIQUIDO ACCIONADA CON MOTOR ELÉCTRICO						HOJA	4	DE
1										
2										
3										
4										
5	Entrada al sistema	2								
6	Descarga del sistema	1								
7	Entrada a máquina									
8	Descarga de la máquina									
9	Drene de la máquina	1								
10	Agua de enfriamiento	1								
11	Entrada del anillo liquido	1								
12	Válvula de purga (Venteeo)									
13										
14	<b>FUERZAS Y MOMENTOS PERMITIDOS SOBRE EL ANILLO LIQUIDO*</b>						<b>PESOS (Lb) APROXIMADOS</b>			
15		Entrada		Descarga		Sello liquido		Equipo de anillo liquido : 1330 kg Motor: 2845.08 kg		
16		Fuerza	Momento	Fuerza	Momento	Fuerza	Momento	Separador :		
17		Lb	Ft/lb	Lb	Ft/lb	Lb	Ft/lb	Unidad completa:		
18	Axial	685	1716	456	867	176	114	Máx. Mantenimiento :		
19	Vertical	685	1716	456	867	88	57	Montaje total:		
20	Horizontal 90°	1370	3432	912	1730	88	57	<b>ESPACIOS REQUERIDOS APROXIMADOS</b>		
21										
22		Fuerza	Momento	Fuerza	Momento	Fuerza	Momento	Unidad completa :		
23		Lb	Ft/lb	Lb	Ft/lb	Lb	Ft/lb	Equipo de anillo liquido:		
24	Axial	685	1716	456	867	176	114	Tanque separador		
25	Vertical	685	1716	456	867	88	57			
26	Horizontal 90°	1370	3432	912	1730	88	57			
27	<b>ACOPLAMIENTO Y CUBIERTA</b>									
28	Juntas - Tipo: *						Ver Hojas de Datos API 671			
29	Marca / Modelo No: *						Requerimientos de lubricación			
30	Proporcionado por: *						Sin lubricante Grasa Otros			
31	Longitud del espaciador Velocidad kW/100 rpm (HP):						Banda de transmisión *			
32	Juego axial limitado requerido (3.4.8)						Banda Tipo/No: *			
33	Protección tipo: Totalmente cerrado Semi-abierto Sin chispa						Marca de la banda: *			
34	Proporcionado por:						Factor de servicio de la banda(3.5.1): *			
35	Proveedor de la mitad del acoplamiento del montaje						Grado 6.3 ISO Balance de roldana (3.5.4.7) *			
36	Balanceado dinámico									
37										
38	<b>PLACA DE MONTAJE</b>									
39	Placa de montaje proporcionada por: *						Solerías proporcionadas por: Contratista			
40	Máquina y conductor Sistema completo						Para: Máquina Conductor Otros			
41	Borde de goleo Máquina y conductor						Espesor mm (in):			
42	Para sistemas completos						Sub-unicos Platos requeridos			
43	Montaje de columna Sub-unicos Platos requeridos						Bloques de nivel requerido			
44	Continuamente rellenados Almohadillas de nivel						Grosor del calce de acero inoxidable mm (in):			
45	Grosor del calce de acero inoxidable mm (in): * *						Primer para cubierta epóxica requerida (3.6.1.2.5)			
46	Primer para cubierta epóxica requerida									
47	Tipo: *									
48	Almohadilla de montaje mecánica (3.6.2.9)									
49	Cubiertas antiderrapantes (3.6.2.10)									
50										
51										
52										

		HOJA DE DATOS. BOMBA DE ANILLO LÍQUIDO			PROY N°: .....		
		BOMBA DE ANILLO LÍQUIDO ACCIONADA CON MOTOR ELÉCTRICO			HOJA	5	DE
1	INFORMACIÓN DE DISEÑO DEL MOTOR						
2	ESPECIFICACIONES APLICABLES :				VIBRACIÓN:		
3	NEMA				Estándar NEMA		
4					RUIDO :		
5					Estándar NEMA		
6	INFORMACIÓN DE LA UBICACIÓN :						
7	Área:	Tipo	Gr.	Div.	No peligroso		
8	Altitud m (ft)		T. Amb Max. °C (°F)		Min.		ACCESORIOS DEL EQUIPO
9	Condiciones inusuales:		Polvo	Humo		Soportes Duela Equipo de Estator	
10	Otros:				Marca del soplador externo		Soplador matachispas
11	UNIDAD DEL SISTEMA:		Directamente conectado				Excitación D.C
12					Engranajes		
13					Otros		
14	TIPO DE MOTOR				Descripción:		
15	Inducción de jaula de ardilla		Diseño NEMA		ANILLOS ADJUNTOS DEL COLECTOR		
16	Síncrono				Purga:	Media	Presión kg/cm <sup>2</sup> (psig)
17	Factor de potencia requerida:		0.9 mínimo		Resistencia a explosiones sin purga		
18	Excitación		Sin escobillas		De anillos		
19	Resistor de descarga de campo por fabricante del motor				Ventilación forzada		
20	Inducción del rotor bobinado				m <sup>3</sup> /h (cfm)		
21					Caída de pres. mm (in) de agua:		
22	LOCALIZACIÓN				REPORTE DE DISPOSITIVO DE TEMPERATURA		
23					Localización		
24					Descripción		
25	Clase:	Grupo.		Div.		Fijado @ para alarma °C (°F) para apagado °C (°F)	
26	TEFC Trabajo pesado		Prueba		CALENTADORES DE ESPACIO		
27	Protegido contra agua, tipo:				kW		
28	TEWAC	TEIGF Usado		Gas		Volts Fase Hz	
29	Tubos de acero al carbón de doble pares				Temperatura máxima de la cubierta °C (°F):		
30	Suministro de agua: Pres. kg/cm <sup>2</sup> (psia):		Temp. °C (°F)		DEVANADO DEL DETECTOR DE TEMPERATURA		
31	Entrada de agua: ΔP kg/cm <sup>2</sup> (psi)		Aumento de Temp. °C (°F)		Transistores: Sin fase		
32	Corrosión mínima permitida del lado del agua mm (in):				Tipo: Coeficiente de temperatura positiva		
33	y factor de incrustación:				Coeficiente de temperatura negativa		
34	(Aire) (Gas) Presión de suministro kg/cm <sup>2</sup> abs (psia):				Interruptor de Temperatura: SI NO		
35	Ventilación forzada				Detector de resistencia de temperatura: Sin/Fase		
36	A prueba de abertura por goteo				Resistencia del material		
37	Abierto				Ohms		
38					Interruptor selector e indicador por:		
39					Comprador		
40	INFORMACIÓN BÁSICA				Fabricante		
41	Volts: MT	Fases: 3		Hz 60 Hz		Temperatura máxima del estado devanado	
42	Placa de identificación: HP 200		Factor de servicio: 1.25		°C (°F) Para alarma		°C (°F) Para apagado
43	RPM Síncronos				DEVANADO DEL DETECTOR DE TEMPERATURA Y CABLES CALENTADORES DE ESPACIO		
44	Aislamiento:	Clase:		Tipo		En la misma caja conduit	
45	Aumento de temperatura °C (°F)		por encima de		por:		En caja conduit separada
46	ARRANQUE						
47	Voltaje total		Voltaje reducido		* %		MOTOR ARREGLO PARA PROTECCIÓN DIFERENCIAL
48	Cargado				Descargado		Método primario de auto balance
49	Inmersión de voltaje		%		Descripción CT		
50					Cables extendidos		
51					Longitud m (ft)		
52							

		HOJA DE DATOS. BOMBA DE ANILLO LÍQUIDO			PROY N°: .....		
		BOMBA DE ANILLO LÍQUIDO ACCIONADA CON MOTOR ELÉCTRICO			HOJA	6	DE
1	EQUIPAMIENTO DE ACCESORIOS (CONTINUACIÓN)			INFORMACIÓN DEL FABRICANTE (CONTINUACIÓN)			
2	Capacitores de agitación			Limitar el juego a:			
3	Pararrayos			Curvas requeridas basadas en estudios de saturación y el voltaje especificado			
4	C.T. para amperímetro			Velocidad vs. Torque @ 100%, 90 % y 80 % del voltaje especificado			
5	Descripción:			Velocidad vs. corriente @ 100%, 90 % y 80 % del voltaje especificado			
6	CAJA CONDUIT PRINCIPAL DIMENSIONADA PARA:						
7	Cables del motor principal	Tipo	THHW-LS	PESO (kg)			
8	Aislado	No aislado		Peso neto:	Peso de embarque:		
9	C.T.'s para protección diferencial (colocados por):	Proveedor		Peso del rotor:	Peso máximo de montaje:		
10	Capacitores de agitación (colocados por)			Peso máximo mantenimiento (identificación):			
11	Pararrayos (colocados por):			Dimensiones (pies y pulgadas):			
12	C.T. para amperímetro (colocado por):			LARGO:	ANCHO:	ALTO:	
13	Espacio de las juntas de rompimiento						
14	Filtros de aire						
15	Fabricante:	Tipo:					
16	INSPECCIÓN Y PRUEBAS DE COMPRA						
17	INFORMACIÓN DEL FABRICANTE			Requerida	Atestiguada		
18	Fabricante:			Inspección de compra			
19	Número de marco:	Carga plena RPM (ind.)		Pruebas por NEMA			
20	Eficiencia:	C.P.	3/4 L 1/2 L	Pruebas estándar del fabricante en compra:			
21	Factor de potencia (ind.)	C.P.	3/4 F 1/2 L	Prueba de inmersión:			
22	Actual. (voltaje especificado): Carga plena:			Rotor bloqueado:		Pruebas especiales (enlistar abajo):	
23	Factor de potencia del rotor bloqueado:						
24	Rotor bloqueado con tiempo estándar (arranque en frío):						
25	Rotor bloqueado con tiempo estándar (arranque en caliente):						
26	Torques (Ft-lb): Carga plena:						
27	Rotor bloqueado:		Arranque:				
28	Levantar		Meter:		PINTURA		
29	Descompuesto (ind.)		Sacar:		Estándar del fabricante		
30							
31	Constante de tiempo del circuito abierto (s):						
32	Contribución simétrica a la terminal por defecto de 3 fases						
33	a 1/2 ciclo.		a 3 ciclos		ENVÍO		
34	Reactancias: subtransitorias (X'D)			Doméstico	Exportar	Exporte en caja requerido	
35	Transitorio (X'D):		Sincrono (X'D):		Almacenado en exterior por más de tres meses		
36	Resistencia del estator en C.A.:		Ohms @ °C (°F)				
37	kVA especificado						
38	Irrupción de KVA @ voltaje completo y rotor bloqueado (sincronizado)			%			
39	kVA @ voltaje completo y 95% de velocidad			%			
40	Máxima línea de corriente en estator en el primer ciclo y extracción (sincronizado)						
41							
42	Tiempo de aceleración (contador únicamente y con voltaje especificado)			s			
43	Tiempo de aceleración (contador., cargado y al 85 % del voltaje especificado)			s			
44	Rotor/campo WK <sup>2</sup> y eje Mtr. (lb-ft <sup>2</sup> )						
45	Número de arranques por hora:						
46	Soportes:	Tipo:	Lubricante:				
47	Aceite lubricante requerido:		m <sup>3</sup> /h (gpm) y		kg/cm <sup>2</sup> abs (psia)		
48	Juego total del eje:						
49							
50							
51							
52							

		HOJA DE DATOS. BOMBA DE ANILLO LÍQUIDO	PROY N°: -----		
		BOMBA DE ANILLO LÍQUIDO ACCIONADA CON MOTOR ELÉCTRICO	HOJA	7	DE
1	<b>NOTAS GENERALES</b>				
2	1.- EL ASTERISCO (*) INDICA INFORMACIÓN QUE DEBE SER SUMINISTRADA POR EL FABRICANTE Y/O PROVEEDOR DEL EQUIPO.				
3	2.- EL FLUIDO ES UNA MEZCLA DE GOL PROVENIENTE DE LOS POSTCONDENSADORES 7-CN Y 8-CS				
4	3.- LA BOMBA SE LOCALIZARÁ A NPT POR DEBAJO DE LA ESTRUCTURA DE LOS EQUIPOS DEL PAQUETE DE VACÍO DE LA TORRE DE VACÍO.				
5	4.- EL FABRICANTE Y/O PROVEEDOR DEBE SUMINISTRAR EL CONJUNTO BOMBA-COPLE/GUARDACOPLE-MOTOR, EN UNA BASE COMUN.				
6	5.- EL MOTOR DEBE INCLUIR CAJA DE CONEXIONES CON 4 HILOS, UNO PARA TERMINAL A TIERRA.				
7	6.- EL FABRICANTE Y/O PROVEEDOR DEBE VERIFICAR LA SELECCIÓN DE LA BOMBA EN FUNCIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN ESPECIFICADAS.				
8	7.- EN EL DISEÑO Y/O SELECCIÓN DE LA BOMBA, EL RANGO DE OPERACIÓN DEBE CUMPLIR CON LOS CRITERIOS ESTABLECIDOS POR API 617, 681 ÚLTIMA				
9	EDICIÓN Y/O POR NRF-131-PEMEX-2007; EL QUE RESULTE MÁS RIGUROSO.				
10	8.- EL EQUIPO DEBE CUMPLIR CON LAS NORMAS DE DISEÑO INDICADAS. EN CASO DE CONFLICTO, EL FABRICANTE Y/O PROVEEDOR DEBE APLICAR LA				
11	MÁS RIGUROSA, PREVIA ACLARACIÓN.				
12	9.- EL FABRICANTE Y/O PROVEEDOR DEBE CONFIRMAR LOS MATERIALES Y GARANTIZARLOS PARA EL SERVICIO REQUERIDO. EL MATERIAL DEBE SER CONSIDERADO COMO				
13	ACERO INOXIDABLE O ALEADO DEBIDO A LA PRESENCIA DE H2S.				
14	10.- PARA LA SELECCIÓN DE LA BOMBA, EL FABRICANTE Y/O PROVEEDOR DEBE CONSIDERAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS SERVICIOS AUXILIARES EN EL SITIO.				
15	11.- EN SU COTIZACIÓN EL PROVEEDOR DEBE:				
16	A) DEVOLVER LA HOJA DE DATOS DEBIDAMENTE LLENADA.				
17	B) SUMINISTRAR LA HOJA TÉCNICA DEL EQUIPO.				
18	C) SUMINISTRAR LA CURVA DE OPERACIÓN DEL COMPRESOR, INDICANDO LOS PUNTOS DE OPERACIÓN.				
19	D) INCLUIR LA LISTA DE PARTES DE REPUESTO DEL EQUIPO.				
20	E) CONSIDERAR REFACCIONES PARA 1 AÑO.				
21	F) INCLUIR PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.				
22	G) CONSIDERAR GARANTÍA DE 12 A 18 MESES.				
23	H) CONSIDERAR UN JUEGO DE PARTES DE REPUESTO EXCLUSIVOS PARA ARRANQUE Y/O PARA PRUEBAS.				
24	I) CONSIDERAR EL SUMINISTRO DEL MANUAL DE INSTALACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO: EN ESPAÑOL.				
25	J) CONSIDERAR DIAGRAMA DE INTERCONEXIONES.				
26	K) CONSIDERAR REPORTE DE PRUEBAS DE ACEPTACIÓN DE FABRICA (FAT) ANTES DE EMBARCAR EL EQUIPO PAQUETE.				
27	L) CONSIDERAR REPORTE DE PRUEBAS DE ACEPTACIÓN EN SITIO (ASAT).				
28	M) CONSIDERAR NIVEL DE RUIDO DEL EQUIPO DE BOMBEO DE 85 dB A 1.5 METROS DE DISTANCIA DEL EQUIPO.				
29	N) CONSIDERAR SUMINISTRO DE HERRAMIENTAS ESPECIALES, EN CASO DE SER REQUERIDO.				
30	O) CONSIDERAR SUMINISTRO DE PLANOS DIMENSIONALES CERTIFICADOS.				
31	12.- EL PROVEEDOR DEBE CONSIDERAR EL SUMINISTRO DE LA PLACA DE DATOS DE LOS EQUIPOS, EN ACERO INOXIDABLE.				
32	A) LA INFORMACIÓN MÍNIMA QUE DEBE CONTENER LA PLACA PARA EL COMPRESOR ES:				
33	TAG, MARCA, MODELO, TAMAÑO, CAPACIDAD (gpm / m <sup>3</sup> /h), VELOCIDAD (RPM), DIÁMETRO DEL IMPULSOR (mm / in).				
34	B) LA INFORMACIÓN MÍNIMA QUE DEBE CONTENER LA PLACA PARA EL MOTOR ES:				
35	TAG, MARCA, MODELO Y TIPO, POTENCIA NOMINAL (HP), TENSIÓN NOMINAL (VOLTS), CORRIENTE NOMINAL A PLENA CARGA (AMPERES),				
36	FRECUENCIA (HERTZ), NÚMERO DE FASES, VELOCIDAD A PLENA CARGA (RPM), DIAGRAMA DE CONEXIONES, DESIGNACIÓN DE ARMAZÓN,				
37	CARCASA, FACTOR DE SERVICIO, SERVICIO INTERMITENTE, CLASE DE AISLAMIENTO, TEMPERATURA MÁXIMA AMBIENTE (°C), ELEVACIÓN DE				
38	TEMPERATURA (°C), LETRA DE DISEÑO, DESIGNACIÓN DE COJINETES, CARACTERÍSTICAS DE LUBRICACIÓN.				
39	13.- EL FABRICANTE Y/O PROVEEDOR DEBE SUMINISTRAR EL EQUIPO (BOMBA/COMPRESOR, COPLE, GUARDACOPLE, MOTOR, PATIN) CON EL ACABADO ESTABLECIDO POR				
40	LA NORMATIVIDAD DE PEMEX.				
41	14.- UNA VEZ REALIZADO EL PEDIDO, EL PROVEEDOR DEBE SUMINISTRAR, JUNTO CON LOS EQUIPOS Y REFACCIONES, LA SIGUIENTE DOCUMENTACIÓN:				
42	A) HOJA TÉCNICA DEL EQUIPO.				
43	B) CURVA DE OPERACIÓN DE LA BOMBA, INDICANDO LOS PUNTOS DE OPERACIÓN.				
44	C) PLANOS CERTIFICADOS DEL EQUIPO INTEGRADO (BOMBA-MOTOR-BASE), INCLUYENDO LOCALIZACIÓN DE ANCLAS.				
45	D) GARANTÍA DE 12 A 18 MESES.				
46	E) REPORTES DE LAS PRUEBAS SOLICITADAS.				
47	F) DIAGRAMA DE INTERCONEXIONES.				
48	G) MANUAL DE INSTALACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO EN ESPAÑOL.				
49	H) PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.				
50					
51					
52					

# ANEXO 5 Hoja de Datos. Bomba de Agua de Proceso

HOJA DE DATOS. BOMBA DE AGUA DE PROCESO		PROY N°:	
BOMBA DE AGUA DE PROCESO		HOJA	DE
ELABORÓ: --- REVISÓ: --- APROBÓ: ---		1	2
1	EDITADA PARA: <input checked="" type="radio"/> COTIZACIÓN <input type="radio"/> COMPRA <input type="radio"/> AS BUILT.	REV	0 1 2 3
2	CLIENTE: --- CLAVE: V-GA-12/R MARCA: *	POR	
3	LUGAR: --- No. REQ: DOS (2) MODELO: *	REVISÓ	
4	SERVICIO: --- TAMAÑO: 125X156"	APROBÓ	
5	CÓDIGO DISEÑO: API 610, NRF-050-PEMEX-2007	FECHA	
CONDICIONES DE OPERACIÓN		FUNCIONAMIENTO	
7	LÍQUIDO: AGUA DE SERVICIO FLUJO NORMAL gpm (pps): 38.3 [ 2.417 ]	CURVA PROPUESTA No.	1
8	TIPO DE OPERACIÓN: INT. <input type="checkbox"/> CONTR. <input checked="" type="checkbox"/> FLUJO DISEÑO gpm (pps): 50 [ 3.155 ]	NPSH REQ. ft (m Líq)	20
9	TEMP. BOMB. °F (°C): 99.9 [ 32 ] PRESIÓN: psia (kg/cm²)	EFICIENCIA (%) NORMAL/DISEÑO	*/44.5
10	PESO MOLECULAR: 18.0 DESC. Normal: 76.53 [ 5.31 ]	BHP DISEÑO	0.92
11	DENSIDAD @ T.B. lbm³ 62.42 SUCC. Normal: 56.89 [ 4.00 ]	BHP MAX. @ IMPULSOR DE DISEÑO	*
12	PRES. VAPOR @ T.B. psia 0.70 PRES. DIF. psi (kg/cm²) 18.63 [ 1.31 ]	COLUMNA DIF. DISEÑO ft (m)	32.52 (Ø.91)
13	VISCOSIDAD @ T.B. cP 0.74 COLUMNA DIF. ft (m) 32.62 [ 9.91 ]	PRES. DESC. MAX. psia (kg/cm²)	76.63 [ 5.31 ]
14	CORR./EROS. CAUSADA POR: Líquido Bombeado NPSH DISP. ft (m) 180.06 [ 54.88 ]	FLUJO MIN. CONTINUO gpm (pps)	38.3 [ 2.417 ]
15	pH (NOTA 2) N/D POT. HIDR. HP (kW) 0.41 [ 0.31 ]	ROTACIÓN VISTA DESDE COUPLE:	*
16	CONSTRUCCIÓN	ACCIONADOR (NOTA 5)	
17	TIPO DE BOMBA: <input checked="" type="checkbox"/> HORIZONTAL <input checked="" type="checkbox"/> ACOPLADA A FLECHA DEL MOTOR	TIPO DE ACCIONADOR: MOTOR ELÉCTRICO (NOTA 6)	
18	<input type="checkbox"/> VERTICAL EN LÍNEA <input type="checkbox"/> OTRO VER NOTA 17	MOTOR SUMINISTRADO POR: ---	
19	CARGA: MONTAJE HORIZONTAL <input checked="" type="checkbox"/> PIE <input type="checkbox"/> LÍNEA DE CENTROS	MONTADO POR: ---	
20	MONTAJE VERT.: <input type="checkbox"/> FLECHA DE MOTOR <input type="checkbox"/> COUPLE RÍGIDO <input type="checkbox"/> OTRO	CANTIDAD: DOS (2)	
21	PARTICIÓN: <input type="checkbox"/> RADIAL <input checked="" type="checkbox"/> AXIAL TIPO DE VOLUTA: <input type="checkbox"/> SENCILLA <input type="checkbox"/> DOBLE	No. DE TAG: V-GA-12	
22	PRES. MAX. PERM. TRAB. Psig (kg/cm² m) @ °F (°C)	POTENCIAL FRENO (BHP): 0.92	
23	CONEXIONES	VEL. (rpm): 3500	
24	SUCCIÓN 1.5 pulg	MARCA: *	
25	DESCARGA 1.25 pulg	MODELO: *	
26	MANÓMETRO	TIPO: *	
27	DRENVENTEO	AISLAMIENTO: "F"	
28	IMPULSOR: DIAM. in (mm) DISEÑO 3.87 (99) MÁX. * TIPO *	ENCAPSULADO: * (NO TA 4)	
29	RODAMIENTOS: TIPO RADIAL * AXIAL	ARMAZÓN: *	
30	LUBRICACIÓN: <input type="checkbox"/> ACEITE <input type="checkbox"/> NIEBLA <input type="checkbox"/> GRASA <input checked="" type="checkbox"/> ENGRASADO PERM.	VOLTS/FASES/CICLOS: 220 / 3 / 60	
31	COUPLE: FABR./MODELO: * TIPO: *	AMPÉRES A CARGA PLENA: *	
32	GUARDA LÁMINA ACERO DESMONTABLE ESTANDAR ACEITERA	FACT. SERV.: 1.15	
33	SISTEMA DE SELLADO (*NOTA 15)	AUMENTO DE TEMPERATURA °F (°C): *	
34	CAJA DE EMPAQUE: <input type="checkbox"/> ESTANDAR <input type="checkbox"/> ENCHAQUETADA * <input type="checkbox"/> SOLO SELLO	CANTIDAD DE RODAMIENTOS: *	
35	EMPAQUE: FABR. Y TIPO TAMAÑO	TIPO: *	
36	No. ANILLOS * ANILLOS LINTERNA: * SI <input type="checkbox"/> NO	LUBRICACIÓN: *	
37	SELLO MECÁNICO: FABR. Y MODELO * CÓDIGO DE MAT'L *	BOMBA Y MOTOR EN MISMA BASE: SI: <input checked="" type="checkbox"/> NO: <input type="checkbox"/>	
38	<input type="checkbox"/> BALANCEADO <input type="checkbox"/> NO BALANCEADO <input type="checkbox"/> SENCILLO <input type="checkbox"/> INTERNO <input type="checkbox"/> EXTERNO	TIPO DE ARRANCADOR: *	
39	<input type="checkbox"/> DOBLE <input type="checkbox"/> ESPALDA/ESPALDA <input type="checkbox"/> TANDEM <input type="checkbox"/> CONVENC. <input type="checkbox"/> CARTUCHO	NEMA: * CLASE: 1 DIV: 2	
40	TUBERÍA AUXILIAR (* )	REFACCIONES PARA EL ARRANQUE DE PRUEBAS DEL MOTOR: POR PROVEEDOR	
41	<input type="checkbox"/> PLAN DE LIMPIEZA *	REFACCIONES PARA EL ARRANQUE DE PRUEBAS DE LA BOMBA: POR PROVEEDOR	
42	<input type="checkbox"/> PLAN AGUA DE ENFRIAMIENTO NOTA 11 FLUJO gpm (pps) ---	PRUEBAS EN TALLER	
43	<input type="checkbox"/> MIRILLA DE FLUJO	PRUEBA REQUERIDA ATESTIGUADA	
44	<input type="checkbox"/> ENFRIAMIENTO DEL EMPAQUE REQUERIDO	FUNCIONAMIENTO <input checked="" type="checkbox"/> HIDROSTÁTICA <input type="checkbox"/>	
45	FLUJO gpm (pps) PRESIÓN psig (kg/cm² man) *	NPSH <input checked="" type="checkbox"/>	
46	<input type="checkbox"/> FLUIDO DE LIMPIEZA SELLO EXTERNO	VIBRACIÓN <input type="checkbox"/>	
47	FLUJO gpm (pps) PRESIÓN psig (kg/cm² man) *	DESMONTAJE E INSPECCIÓN DESPUÉS DE LA PRUEBA: <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
48	<input type="checkbox"/> PLAN DE ENFR. DE SELLO * FLUIDO ENFR. DE SELLO *	OTRA: *	
49	MATERIALES DE LA BOMBA NOTA 6 DATOS FINALES DEL FABRICANTE *	PRUEBA HIDROSTÁTICA * psig (kg/cm² m) @ * °F (°C)	
50	CARGA: ASTM A 279 clase 30 DIAM. ACTUAL IMPULSOR: *	INSPECCIÓN	
51	IMPULSOR: ASTM A 279 clase 30 CURVA DE PRUEBA No. *	<input type="checkbox"/> NO REQ. <input type="checkbox"/> DURANTE FABR. <input checked="" type="checkbox"/> FINAL	
52	ANILLOS DE DESGASTE: ASTM A 279 clase 30 DIB. DIMENSIONAL No. *	DÍAS REQ. PARA NOTIFICACIÓN 10 DÍAS	
53	FLECHA: ASTM A 216 Gr. WCB DIB. SECC. BOMBA No. *	BOMBA 35.4 BASE 26	
54	MANGAS DE INTERETAPAS: ASTM A 279 clase 30 DIB. SECC. SELLO No. *	MOTOR 34 OTRO ---	
55	PRESA ESTOPA: ASTM A 216 Gr. WCB No. DE SERIE DE BOMBA: *		
56	EMPAQUES: Ac. Inox UNS S31600 CLARO ENTRE ANILLOS: *		
57	SELLOS: *		
58	BASE: *		
59	GUARDACOPLE: * SELLOS MECÁNICOS * EMPAQUE		
60	CABEZAL DE DESCARGA: ASTM A 216 Gr. WCB * INSTALADOS * SEPARADOS		
61	PERNOS: ASTM A 193 Gr. B7		
62			
63			

UNAM	HOJA DE DATOS. BOMBA DE AGUA DE PROCESO		PROY N°:	
	BOMBA DE AGUA DE PROCESO		HOJA	2 DE 2
1	<b>NOTAS GENERALES</b>			
2	1.- EL ASTERISCO (*) INDICA INFORMACIÓN QUE DEBE SER SUMINISTRADA Y/O CONFIRMADA POR EL FABRICANTE Y/O PROVEEDOR DEL EQUIPO.			
3	2.- EL FLUIDO ES AGUA DE PROCESO			
4	3.- LA BOMBA SE LOCALIZARÁ A NPT POR DEBAJO DE LA ESTRUCTURA DE LOS EQUIPOS DEL PAQUETE DE VACÍO DE LA TORRE DE VACÍO.			
5	4.- EL FABRICANTE Y/O PROVEEDOR DEBE SUMINISTRAR EL CONJUNTO BOMBA-COPLE/GUARDACOPLE-MOTOR, EN UNA BASE COMUN.			
6	5.- EL MOTOR DEBE INCLUIR CAJA DE CONEXIONES CON 4 HILOS, UNO PARA TERMINAL A TIERRA.			
7	6.- EL FABRICANTE Y/O PROVEEDOR DEBE VERIFICAR LA SELECCIÓN DE LA BOMBA EN FUNCIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN ESPECIFICADAS.			
8	7.- EN EL DISEÑO Y/O SELECCIÓN DE LA BOMBA, EL RANGO DE OPERACIÓN DEBE CUMPLIR CON LOS CRITERIOS ESTABLECIDOS POR API 610 ÚLTIMA EDICIÓN Y/O POR NRF-050-PEMEX-2007; EL QUE RESULTE MÁS RIGUROSO.			
9	8.- EL EQUIPO DEBE CUMPLIR CON LAS NORMAS DE DISEÑO INDICADAS. EN CASO DE CONFLICTO, EL FABRICANTE Y/O PROVEEDOR DEBE APLICAR LA MÁS RIGUROSA, PREVIA ACLARACIÓN Y ACEPTACIÓN ESCRITA POR PEMEX Y/O SU REPRESENTANTE.			
10	9.- EL FABRICANTE Y/O PROVEEDOR DEBE CONFIRMAR LOS MATERIALES Y GARANTIZARLOS PARA EL SERVICIO REQUERIDO.			
11	10.- PARA LA SELECCIÓN DE LA BOMBA, EL FABRICANTE Y/O PROVEEDOR DEBE CONSIDERAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS SERVICIOS AUXILIARES EN EL SITIO.			
12	11.- EN SU COTIZACIÓN EL PROVEEDOR DEBE:			
13	A) DEVOLVER LA HOJA DE DATOS, DEBIDAMENTE COMPLEMENTADA.			
14	B) SUMINISTRAR LA HOJA TÉCNICA DEL EQUIPO.			
15	C) SUMINISTRAR LA CURVA DE OPERACIÓN DE LA BOMBA, INDICANDO LOS PUNTOS DE OPERACIÓN.			
16	D) INCLUIR LA LISTA DE PARTES DE REPUESTO DEL EQUIPO.			
17	E) CONSIDERAR REFACCIONES PARA 1 AÑO.			
18	F) INCLUIR PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.			
19	G) CONSIDERAR GARANTÍA DE 12 A 18 MESES.			
20	H) CONSIDERAR UN JUEGO DE PARTES DE REPUESTO EXCLUSIVOS PARA ARRANQUE Y/O PARA PRUEBAS.			
21	I) CONSIDERAR EL SUMINISTRO DEL MANUAL DE INSTALACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO: EN ESPAÑOL.			
22	J) CONSIDERAR DIAGRAMA DE INTERCONEXIONES.			
23	K) CONSIDERAR REPORTE DE PRUEBAS DE ACEPTACIÓN DE FÁBRICA (FAT) ANTES DE EMBARCAR EL EQUIPO PAQUETE.			
24	L) CONSIDERAR REPORTE DE PRUEBAS DE ACEPTACIÓN EN SITIO (ASAT).			
25	M) CONSIDERAR NIVEL DE RUIDO DEL EQUIPO DE BOMBEO DE 85 dB A 1.5 METROS DE DISTANCIA DEL EQUIPO.			
26	N) CONSIDERAR SUMINISTRO DE HERRAMIENTAS ESPECIALES, EN CASO DE SER REQUERIDO.			
27	O) CONSIDERAR SUMINISTRO DE PLANOS DIMENSIONALES CERTIFICADOS.			
28	12.- EL PROVEEDOR DEBE CONSIDERAR EL SUMINISTRO DE LA PLACA DE DATOS DE LOS EQUIPOS, EN ACERO INOXIDABLE.			
29	A) LA INFORMACIÓN MÍNIMA QUE DEBE CONTENER LA PLACA PARA LAS BOMBAS ES:			
30	TAG, MARCA, MODELO, TAMAÑO, CAPACIDAD (GPM / m <sup>3</sup> /h), CABEZA TOTAL (ft / m), VELOCIDAD (RPM), DIÁMETRO DEL IMPULSOR (mm / in).			
31	B) LA INFORMACIÓN MÍNIMA QUE DEBE CONTENER LA PLACA PARA EL MOTOR ES:			
32	TAG, MARCA, MODELO Y TIPO, POTENCIA NOMINAL (HP), TENSION NOMINAL (VOLTS), CORRIENTE NOMINAL A CARGA PLENA (AMPERES),			
33	FRECUENCIA (HERTZ), NÚMERO DE FASES, VELOCIDAD A CARGA PLENA (RPM), DIAGRAMA DE CONEXIONES, DESIGNACIÓN DE ARMAZÓN,			
34	CARCAZA, FACTOR DE SERVICIO, SERVICIO INTERMITENTE, CLASE DE AISLAMIENTO, TEMPERATURA MÁXIMA AMBIENTE (°C), ELEVACIÓN DE			
35	TEMPERATURA (°C), LETRA DE DISEÑO, DESIGNACIÓN DE COJINETES, CARACTERÍSTICAS DE LUBRICACIÓN.			
36	13.- EL FABRICANTE Y/O PROVEEDOR DEBE SUMINISTRAR EL EQUIPO (BOMBA, COPLE, GUARDACOPLE, MOTOR, PATÍN) CON EL ACABADO ESTABLECIDO POR NORMATIVIDAD DE PEMEX.			
37	14.- EL FABRICANTE Y/O PROVEEDOR DEBE SUMINISTRAR EL SISTEMA DE SELLO LÍQUIDO, EN CASO DE REQUERIRSE, TOMANDO EN CUENTA QUE ES AGUA.			
38	15.- UNA VEZ REALIZADO EL PEDIDO, EL PROVEEDOR DEBE SUMINISTRAR, JUNTO CON LOS EQUIPOS Y REFACCIONES, LA SIGUIENTE DOCUMENTACIÓN:			
39	A) HOJA TÉCNICA DEL EQUIPO.			
40	B) CURVA DE OPERACIÓN DE LA BOMBA, INDICANDO LOS PUNTOS DE OPERACIÓN.			
41	C) PLANOS CERTIFICADOS DEL EQUIPO INTEGRADO (BOMBA-MOTOR-BASE), INCLUYENDO LOCALIZACIÓN DE ANCLAS.			
42	D) GARANTÍA DE 12 A 18 MESES.			
43	E) REPORTES DE LAS PRUEBAS SOLICITADAS.			
44	F) DIAGRAMA DE INTERCONEXIONES.			
45	G) MANUAL DE INSTALACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO EN ESPAÑOL.			
46	H) PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.			
47				
48				
49				
50				
51				
52				
53				
54				
55				
56				
57				
58				