

**Proyecto de una Estación Modular de Com-  
presión (Zona Sur de la República)**

**T E S I S**

Que para obtener el título de:  
INGENIERO QUIMICO

p r e s e n t a n :

**EMILIO BRILLAS GARZA**

**SERGIO GONZALEZ ORTIZ**

**ROBERTO GARBUNO ZINBA**

**RICARDO SAINT MARTIN CASTAÑON**

44





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.

CLAS. Tesis  
ADQ. 1974  
FECHA 1974  
PROC. M. F. 210



QUÍMICA

Queremos hacer patente nuestro agradecimiento para:

Ing. Carlos Doorman Montero.

Y muy especialmente para:

Ing. Jesús Cruz Wilson.

A mis padres:

Con todo cariño y gratitud por haberme apoyado y alentado hasta hacer posible mi formación.

A mis abuelos:

Con cariño, por todos sus consejos y cuidados, que siempre me han alentado para seguir adelante.

A Martha:

Por todo el amor, apoyo y comprensión que me has brindado siempre y principalmente en aquellos momentos tan difíciles.

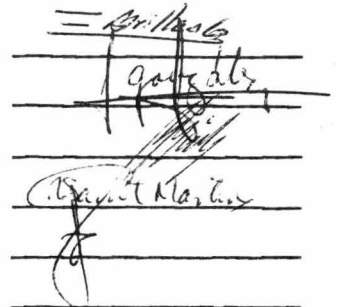
ROBERTO

Jurado Asignado Originalmente  
Según el Tema

PRESIDENTE : Ing. Adalberto Tirado A.  
SECRETARIO : Ing. Arturo Lopez T.  
VOCAL : Ing. Carlos Doorman M.  
1er. SUPLENTE : Ing. Guillermo Alcayde L.  
2do. SUPLENTE : Ing. Eduardo Vergara C.

Sitio donde se desarrolló el Tema: INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO

SUSTENTANTE : Emilio Brillas Garza  
SUSTENTANTE : Sergio González Ortiz  
SUSTENTANTE : Roberto Garbuno Zingk  
SUSTENTANTE : Ricardo Saint Martin Castañon  
ASESOR : Ing. Carlos Doorman Montero  
SUPERVISOR TECNICO : Ing. Jesus Cruz Wilson



# I N D I C E

	PAGINAS.
CAPITULO I.	
LA MODULACION EN PROYECTOS.	1-6
CAPITULO II.	
TERMODINAMICA BASICA Y DEFINICIONES PARA CALCULOS DE COMPRESORAS RECIPROCANTES.	7-29
CAPITULO III.	
ESTUDIO PRELIMINAR PARA LA SELECCION DEL SISTEMA DE COMPRESION MAS ADECUADO.	33-43
CAPITULO IV.	
BASES DE DISEÑO DEFINITIVAS Y LINEAMIENTOS GENERALES PARA LA INTEGRACION DEL PROYECTO.	44-71
CAPITULO V.	
DESCRIPCION DEL PROCESO, DIAGRAMA DE BLOQUES Y DIAGRAMAS DE TUBERIA E INSTRUMENTACION.	72-75
CAPITULO VI.	
CALCULOS.	76-122
CAPITULO VII.	
INSTALACION, MANTENIMIENTO Y OPERACION.	123-155
CAPITULO VIII.	
MEDIDAS DE SEGURIDAD.	156-172
CAPITULO IX.	
CONCLUSIONES Y BIBLIOGRAFIA.	173-180

## CAPITULO I

### LA MODULACION EN PROYECTOS

- A) Concepto de Módulo.
  - B) Bases para la modulación.
  - C) Modulación.
  - D) Características de la modulación.
  - E) Aplicabilidad.
- A) CONCEPTO DE MÓDULO.

Los módulos, desde el punto de vista de Ingeniería Química, son unidades tipo o estandar que realizan una determinada operación.

Para que los módulos realicen su función deberán estar constituidos del equipo necesario. El equipo que integrará estos módulos deberá ser el más adecuado y presentará una cierta flexibilidad y facilidad en el acoplamiento.

Los módulos o unidades son acoplables entre sí para integrar un sistema homogéneo, en caso de que los módulos sean iguales dándonos una mayor capacidad, o bien si éstos son diferentes nos formen un sistema compuesto. Este es un conjunto de subsistemas formados



por módulos que realizan funciones diferentes y que se integran para efectuar un proceso, cualquier planta nos representa un sistema compuesto, formado por módulos de compresión, de servicios auxiliares, de almacenamiento, etc.

B) BASES PARA LA MODULACION.

- 1) Que existan antecedentes del proceso.
- 2) Que dicho proceso vaya a ser utilizado ampliamente (de acuerdo a estudios estadísticos previamente realizados).
- 3) Deben tomarse en cuenta las condiciones críticas reales de operación, para que el equipo y materiales presenten la flexibilidad de que se requiera.

C) MODULACION.

Para que se lleve a cabo la modulación es necesario realizar un estudio preliminar para seleccionar el sistema de operación más adecuado, de acuerdo a las ventajas y desventajas que se tengan desde los diversos aspectos técnicos y de ingeniería.

El resultado de este estudio será un cuadro comparativo que permita analizar todas las alternativas prácticas posibles de acuerdo a las especificaciones y capacidad requerida. Al mencionar el aspecto práctico nos referimos a la facilidad en cuanto a instala-

ción, mantenimiento, operación y ampliación de la planta, por lo cual será necesario un buen conocimiento del proceso, gran experiencia y criterio.

Para que el estudio sea realizable son necesarias unas bases de diseño parciales en las que se especificarán los rangos o límites de operación de la planta, cantidad de equipo que se va a instalar y los períodos de ampliación de la planta.

Una vez seleccionado el sistema de operación más adecuado se procederá a la elaboración de las bases de diseño definitivas y de un diagrama de ensamble de los módulos, el cual será esquemático y nos dará los lineamientos generales para que se lleve a cabo la integración.

#### D) CARACTERISTICAS DE LA MODULACION.

El factor tiempo es muy importante dentro de toda industria química y petroquímica, ya que el tiempo transcurrido entre la aprobación y duración del proyecto pueden hacer totalmente obsoleto al proceso en ese lapso de tiempo.

La ingeniería es simplificada grandemente y en el caso ideal se llega a eliminar después de haberse realizado el proyecto modular y sólo en casos muy especiales se requerirá de ingeniería adicional para efectuar las modificaciones necesarias, pero podemos

decir que esto sería excepcional ya que al realizarse este tipo de proyecto se deben analizar todas las alternativas posibles.

Un factor importante que se presenta es que el equipo debe tener una cierta flexibilidad por lo cual se tendrá un sobrediseño para lograrla, este factor no representa una desventaja ya que en general este sobrediseño se dá en la mayoría de los proyectos.

El número de planos eléctricos, civiles, de tuberías, mecánicos y arquitectónicos será numeroso, debido a las alternativas por analizar, lo que hace que el consumo de horas hombre sea grande.

Como básicamente no habrá cambios con respecto a la ingeniería se podrá agilizar la procura de equipo y materiales, y en caso de que la tecnología no cambie, las hojas de datos de equipo serán siempre las mismas y sólo tendrán que realizarse los concursos para seleccionar al proveedor.

De acuerdo a lo anterior el tiempo de construcción de una planta se verá reducido cada vez más a medida que se vaya adquiriendo mayor experiencia al respecto, tendiendo a llegar a un tiempo límite para lograr la realización material de un proyecto.

E) APLICABILIDAD.

Los casos en que podría emplearse la modulación son numerosos y la facilidad con que ésta se aplique será función de la complejidad del proceso y por ende del proyecto.

Podríamos mencionar un gran número de procesos en los cuales podría aplicarse este concepto, pero tan sólo nos limitaremos a citar aquellos que son los más factibles desde nuestro punto de vista y experiencia.

Consideramos que la modulación puede ser aplicable con relativa facilidad cuando se trate de manejo, almacenamiento de fluidos y procesos que involucren reacción química y operaciones unitarias. En los primeros dos casos el diseño es relativamente sencillo mientras que en los restantes éste será más complicado ya que se requerirán de estudios más detallados.

Tanto en nuestro país como en el resto del mundo la crisis de energéticos se agudiza cada vez más por lo cual es necesario manejar nuestros fluidos de tal manera que las pérdidas sean mínimas en su transporte y transformación.

En muchos casos el atraso en la instalación de estaciones que manejan o almacenan un fluido provocan una pérdida del mismo, como sería el caso del gas natural que muchas veces debe quemarse mientras se ins-

talan las estaciones de compresión, las cuales proporcionan la presión adecuada para transportar el gas a los centros de demanda.

Otra aplicación de la modulación la podemos tener en las estaciones de distribución y almacenamiento de crudo, ya que al descubrirse un nuevo yacimiento puede acelerarse su distribución a las plantas de separación y proceso ya existentes.

## CAPITULO II

### TERMODINAMICA BASICA

#### CICLOS DE COMPRESION.

Existen dos ciclos o procesos teóricos de compresión aplicables, el isotérmico y el adiabático. También es usado el ciclo politrópico, que es una modificación que involucra una eficiencia más cercana a la de las condiciones reales por lo cual no se considera como un ciclo teórico. Como ninguno de los dos procesos básicos es practicamente obtenible, éstos son usados como bases de cálculo y comparación.

La compresión isotérmica ocurre cuando la temperatura se mantiene constante a medida que se incrementa la presión. Lo anterior requiere de una eliminación continua del calor generado debido a la compresión, para este caso tenemos la fórmula:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = \text{CTE.}$$

La compresión adiabática se obtiene cuando no se suministra ni se elimina calor al gas durante la compresión, la fórmula aplicada es:

$$P_1 V_1^k = P_2 V_2^k$$

donde  $k$  es la relación de calores específicos.

La figura 1 nos muestra el claro cero teórico para ciclos isotérmicos y adiabáticos, para una relación de compresión de 4.

El área ADEF representa el trabajo requerido cuando se opera bajo condiciones isotérmicas y el área ABEF nos representa el requerido bajo condiciones adiabáticas. Obviamente el área bajo condiciones isotérmicas es considerablemente menor y por ende es el de mayor economía. Sin embargo, nunca es posible eliminar tan rápido como se genera el calor debido a la compresión, sino que se elimina tanto como el diseño de la compresora lo permita.

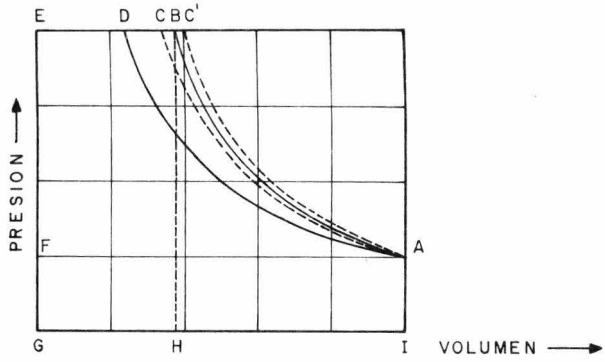
La compresión adiabática tampoco se obtiene exactamente, ya que en algunos tipos de unidades hay pérdida de calor durante una parte del ciclo y una ganancia durante otra. Sin embargo, el ciclo adiabático es un acercamiento promedio a la mayoría de las unidades de desplazamiento positivo.

Las unidades centrífugas utilizan en general el ciclo politrópico en donde:

$$P_1 V_1^n = P_2 V_2^n$$

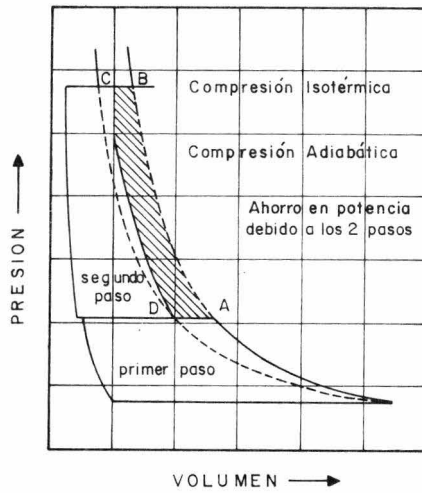
El exponente  $n$  es determinado experimentalmente para cada tipo de máquina y puede tener un valor más bajo o alto que el del exponente  $k$ . En compresores centrífugos con enfriamiento interno y en compresores de desplazamiento positivo,  $n$  es menor que  $k$ . En las centrífugas no enfriadas

FIGURA 1.



- AC' Politrópico (Centrífugas no enfriadas)
- AB Adiabático.
- AC Politrópico (Reciprocante enfriada).
- AD Isotérmico.

FIGURA 2.



Grafica de un compresor de desplazamiento positivo con interenfriamiento.



$n$  es mayor que  $k$ , debido a la fricción del gas. Ya que  $n$  es un valor variable durante la compresión, se utiliza un valor promedio obtenido de resultados experimentales.

La figura 1 nos muestra también unas curvas punteadas que corresponden a las curvas politrópicas para una compresora reciprocante (AC) y para una unidad centrífuga no enfriada (AC').

Termodinámicamente, debe hacerse notar que los procesos isoentrópico y adiabático son procesos reversibles, mientras que un proceso politrópico es irreversible. También se considera que todas las compresoras operan a flujo estacionario.

Aunque el exponente  $n$  es rara vez requerido, la cantidad  $n - 1/n$  es frecuentemente necesaria. Esta puede ser obtenida de la siguiente ecuación:

$$\frac{n - 1}{n} = \frac{k - 1}{k} \left( \frac{1}{N_p} \right)$$

Es necesario conocer la eficiencia politrópica  $N_p$ , de pruebas preliminares. El valor  $k$  de cualquier gas o mezcla es fácilmente calculable.

Los valores de  $n$  y  $n - 1/n$  pueden ser calculados a partir de datos experimentales como temperaturas y presiones de succión y descarga, con la siguiente fórmula:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} = (R)^{\frac{n-1}{n}}$$

## MULTI-ETAPAS EN COMPRESION.

Todos los elementos básicos de una compresora sin importar el tipo tienen ciertas condiciones límites de operación. Cuando se ve involucrada cualquiera de esas limitaciones, es necesario utilizar un proceso de compresión en dos o más pasos. Cada paso utilizará por lo menos un elemento básico diseñado para operar en serie con los otros elementos de la máquina.

Las limitaciones varían con el tipo de compresora, pero las más importantes son:

- 1.- Temperatura de descarga (todos los tipos).
- 2.- Incremento de presión (unidades centrífugas y la mayoría del tipo de desplazamiento positivo).
- 3.- Relación de compresión (unidades centrífugas).
- 4.- Efecto del claro (unidades reciprocantes).
- 5.- Ahorro de potencia requerido.

Un compresor reciprocante usualmente requiere de un separador para cada paso y un interenfriador entre etapas para el gas que se maneja. En una unidad reciprocante todos los cilindros están combinados en una unidad ensamblada.

Consideremos ahora la figura 2. Hicimos notar previamente que el consumo de potencia para un ciclo isotérmico es menor y por lo tanto es más económico. Enfriando el gas, después de cada compresión parcial, a la tempera-

tura de entrada se reduce notablemente la potencia requerida para el segundo paso. El área ABCD representa el trabajo ahorrado sobre una compresión adiabática de un paso.

Las compresoras rotatorias de desplazamiento positivo pueden combinar dos etapas en una envolvente, pero es más frecuente que se usen dos máquinas separadas adecuadamente dimensionadas para sus requerimientos y con interenfriadores entre etapas. Estas compresoras tendrán un impulsor y base comunes.

En los compresores centrífugos pueden usarse interenfriadores de etapas o un difusor interno o diafragma que es enfriado por agua. El gas puede ser llevado a cambiadores de calor externos al final de cada etapa. La amplitud con que se use el interenfriamiento depende del costo de la potencia.

#### POTENCIA REQUERIDA.

La potencia requerida por cualquier compresor es la primer base para dimensionar el impulsor y para seleccionar y diseñar los componentes de éste. La potencia real es obtenida al tomarse en cuenta la eficiencia de compresión, que es la relación de la potencia del gas teórica a la real y que no incluye las pérdidas por fricción mecánica.

La relación de la potencia de compresión a la poten-

cia de freno se denomina eficiencia mecánica y para las compresoras de desplazamiento positivo varía entre 88 y 95% dependiendo del tamaño y tipo de unidad. Las máquinas de desplazamiento positivo son comparadas con ciclos adiabáticos, mientras que las unidades centrífugas se comparan con los ciclos politrópicos.

En el cálculo de la potencia, el factor de compresibilidad  $Z$  debe ser considerado ya que éste influye considerablemente en muchos gases, particularmente a altas presiones.

Las condiciones en que se da el volumen de entrada son estandar para todo tipo de compresoras. Es importante diferenciar entre un volumen de entrada, tomando como base un gas ideal, ( $V_{p1}$ ) y otro considerando el volumen de un gas real ( $V_{r1}$ ). Los volúmenes se encuentran a la presión y temperatura de entrada ( $P_1$  y  $T_1$ ).

$$V_{r1} = V_{p1} Z_1$$

La fórmula teórica de potencia es desarrollada a partir de los diagramas de  $P$  vs  $V$ .

#### CONDICIONES ADIABATICAS.

El área neta bajo la curva del ciclo adiabático (fig. 1) nos representa la potencia requerida.

Area ABHI + Area BEGH - Area AFGI utilizando el cálculo y algebra tenemos:

$$HPt(AD.) = \frac{F_1 V_{r1}}{229} \left( \frac{k}{k-1} \right) \left( R \frac{k-1}{k} - 1 \right) \left( \frac{Z_1 + Z_2}{2Z_1} \right)$$

### CONDICIONES ISOTERMICAS.

Ya que un ciclo isotérmico está basado en que no habrá cambio en la temperatura durante la compresión, el calor es removido continuamente y no hay ganancia de calor cuando tenemos multi-etapas.

Teóricamente se obtiene la potencia mínima requerida, al tener un perfecto interenfriamiento y relaciones de compresión por etapa con la global.

$R_s$  - Relación de compresión por etapa.

$R_t$  - Relación de compresión global  $\frac{P \text{ final}}{P \text{ inicial}}$

$S$  - Número de pasos o etapas.

$$R_s = \sqrt[S]{R_t}$$

## DEFINICIONES PARA EL CALCULO DE COMPRESORES

La figura 3 muestra lo que podría ser un diagrama típico ideal  $P$  vs  $V$  para un cilindro compresor con las correspondientes posiciones del pistón.

Posición 1.- Es el principio de la carrera de compresión. El cilindro tiene una carga completa de gas a la presión de succión. Al moverse el cilindro hacia la posición 2, el gas se comprime a lo largo de la línea 1-2.

Posición 2.- En este momento la presión dentro del cilindro es mayor que la presión en la línea de descarga causando que la válvula de descarga se abra permitiendo que la carga de gas, que ahora se encuentra a la presión de descarga se mueva por la línea de descarga.

Posición 3.- El pistón ha completado la carrera de descarga y tan pronto como comienza la carrera de regreso, la presión en el cilindro cae y se cierra la válvula de descarga. Nótese el volumen de gas que se queda atrapado entre el extremo del pistón y el extremo del cilindro. Este se conoce como VOLUMEN DEL CLARO. Este volumen de gas se expande a lo largo de la línea 3-4 y el pistón se vuelve hacia la posición 4.

Posición 4.- En esta posición la presión en el cilin-

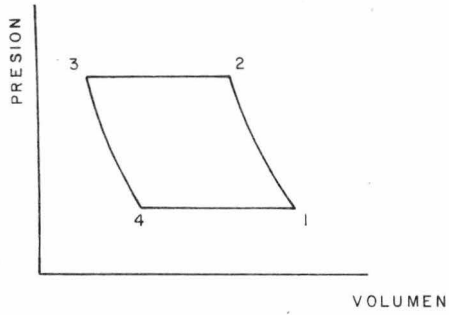
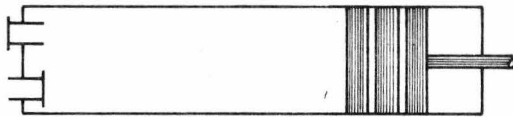
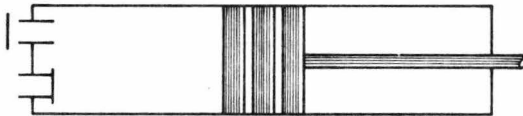


DIAGRAMA P vs V PARA UN CILINDRO IDEAL DE UN COMPRESOR QUE MUESTRA LAS POSICIONES DEL PISTON COMPRESOR .



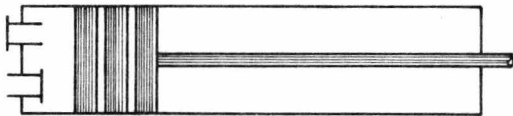
POSICION 1

Comienza la carrera de compresión . Las válvulas de succión y descarga cerradas .



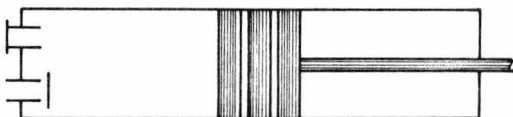
POSICION 2

Se abre la válvula de descarga .



POSICION 3

Termina la carrera de compresión y se inicia la de succión . La válvula de descarga se cierra .



POSICION 4

Se abre la válvula de succión .

FIGURA 3

dro ha bajado hasta ser menor que la presión de succión, lo que hace que se abra la válvula de succión permitiendo que entre al cilindro una nueva carga de gas al regresar el pistón a la posición 1.

DESPLAZAMIENTO DEL PISTON.

Es el volúmen real desplazado por el pistón al pasar, a través de la longitud de su carrera, de la posición 1 a la posición 3. Es normalmente expresado como el volúmen desplazado por minuto (CFM).

DESPLAZAMIENTO DEL PISTON (PD):

$$PD = \frac{A_{HE} \times S \times RPM}{1728}$$

$A_{HE}$  = Area (HE) del pistón - Pulg.<sup>2</sup>  
 S = Carrera - - - - - Pulg.  
 RPM = Frecuencia en revoluciones/min.  
 PD = CFM.

PARA UN CILINDRO DE DOBLE ACCION:

$$PD = \frac{A_{HE} \times S \times RPM + A_{CE} \times S \times RPM}{1728}$$

ó  $PD = \frac{S(RPM)^2}{1728} A_{HE} - \frac{AR}{2}$       AR = Area del vástago.

RELACION DE COMPRESION.

Se define, para un cilindro compresor, como la relación de la presión de descarga a la presión de succión,



ambas presiones expresadas como presiones absolutas.

#### VOLUMEN DEL CLARO.

Es el volumen que permanece en el cilindro compresor al terminar la carrera de descarga en la posición 3 del diagrama PV ideal. Este volumen incluye el espacio entre el extremo del pistón y la cabeza del cilindro, el volumen en los puertos de las válvulas, así como el volumen en la guarnición (guaras) de la válvula de succión y el volumen en los asientos de la válvula de descarga.

#### PORCENTAJE DEL CLARO.

El volumen del claro se expresa usualmente como un porcentaje del desplazamiento del pistón, es decir:

$$\text{Porcentaje del claro} = \% \text{ Cl} = \frac{V_c}{PD} \left( \begin{array}{l} \text{(Volumen del claro) Pulg.}^3 \\ \text{(Desplazamiento del pistón) Pulg.}^3 \end{array} \right)$$

$$\text{Total del volumen del claro} = (\% \text{ Cl Total}/100) (\text{PD Total})$$

$$V_{ct} = \% \text{ Cl}/100 \times \text{PD}$$

#### VALOR k.

Puede encontrarse de la relación de calores específicos para un gas.

$$k = \frac{C_p}{C_v}$$

$C_p$  = Calor específico a presión constante.

$C_v$  = Calor específico a volumen constante.

Nótese en el diagrama PV ideal que el gas, cuando se comprime sigue la línea 1-2 y cuando se expande sigue la curva 3-4. La ecuación para estas curvas 1-2 y 3-4 es  $PV^k = C$  para una compresión o expansión isoentrópica que para fines prácticos es el caso ideal que más se acerca a las curvas reales que siguen los gases.

#### EFICIENCIA VOLUMETRICA "Ev".

Mide la eficiencia volumétrica de un cilindro compresor. Si no hubiera volumen del claro para la expansión y retrasara la abertura de la válvula de succión, el cilindro daría su desplazamiento del pistón completo como capacidad. El efecto que tiene el volumen del claro en Ev depende de la relación de compresión y de las características del gas, en este caso k.

$$Ev = 100 - R - \% Cl \left[ \frac{P_2}{P_1}^{1/k} - 1 \right]$$

La ecuación anterior puede derivarse del diagrama PV ideal como se muestra a continuación:

$$\text{Volumen desplazado (FD)} = VD = V_1 - V_3$$

$$\text{Volumen empujado hacia el cilindro} = V_1 - V_4$$

$$\text{Entonces: } Ev = \frac{V_1 - V_4}{VD}$$

$$V_3 = Cl \times VD$$

$$V_1 = VD + Cl \times VD$$

$$P_3 V_3^k = P_4 V_4^k \quad \therefore \frac{V_4^k}{V_3^k} = \frac{P_3}{P_4} \quad \therefore \frac{V_4}{V_3} = \left( \frac{P_3}{P_4} \right)^{1/k}$$

$$V_4 = V_3 \left( \frac{P_3}{P_4} \right)^{1/k} = V_3 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{1/k}, \text{ ya que } P_1 = P_4 \text{ y } P_2 = P_3$$

$$\therefore V_4 = C1 \times VD \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{1/k}$$

Sustituyendo en :  $Ev = \frac{V_1 - V_4}{VD}$

$$Ev = \frac{\left[ VD + C1 \times VD \right] - \left[ C1 \times VD \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{1/k} \right]}{VD}$$

$$Ev = 1 + C1 - C1 \times \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{1/k}$$

$$Ev = 1.00 - C1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{1/k} - 1$$

Esta ecuación, basada en el diagrama PV ideal, no considera factores que afectarían Ev bajo condiciones reales de operación. Por ejemplo, la relación de compresión real dentro del cilindro es ligeramente mayor que la relación de presiones en los rebordes de succión y de descarga; la línea de reexpansión tiene realmente una pendiente ligeramente menor que la línea de compresión, y el calor residual que tiene el cilindro tiende a calentar la siguiente carga del gas. Se ha encontrado que la adición del factor R (Relación de Compresión) a la ecuación ideal, compensa por estos efectos, es decir:

$$\% Ev = 100 - R - \% C1 (R^{1/k} - 1)$$

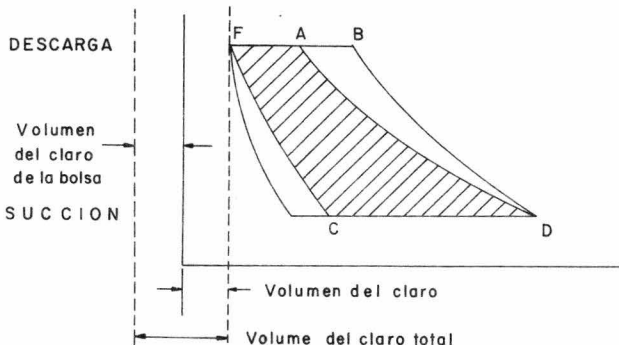
### CONTROL DE CAPACIDAD.

En la carrera de retorno, el gas contenido en el claro se expande contra el pistón. En la parte de compresión del ciclo el compresor realiza trabajo sobre el gas del claro, pero en la expansión el gas del claro devuelve ese trabajo al pistón y por ello, el tamaño del claro en un compresor reciprocante no afecta la potencia requerida para comprimir un volúmen dado de gas.

El tamaño del claro afecta la eficiencia volumétrica del compresor. Si el volúmen del claro aumenta, la eficiencia volumétrica disminuye y con ella la capacidad del compresor.

Por eso es posible controlar la capacidad de compresores reciprocantes variando el tamaño del claro en los cilindros. Para ello se usan las llamadas bolsas, que son compartimientos que pueden abrirse o cerrarse aumentando o disminuyendo el tamaño del claro total en los cilindros de un compresor.

Los siguientes diagramas P-V muestran el comportamiento de un compresor que tiene una bolsa.



Si el compresor trabaja con la bolsa cerrada, hace un trabajo representado por el área BECF de la figura anterior.

En estas condiciones, el gas del compresor alcanza la presión de succión en el punto C. La cantidad de gas que entra al compresor está representado por la línea CE. Para que el gas alcance la presión de descarga el pistón del cilindro debe moverse del punto B al punto E del diagrama anterior.

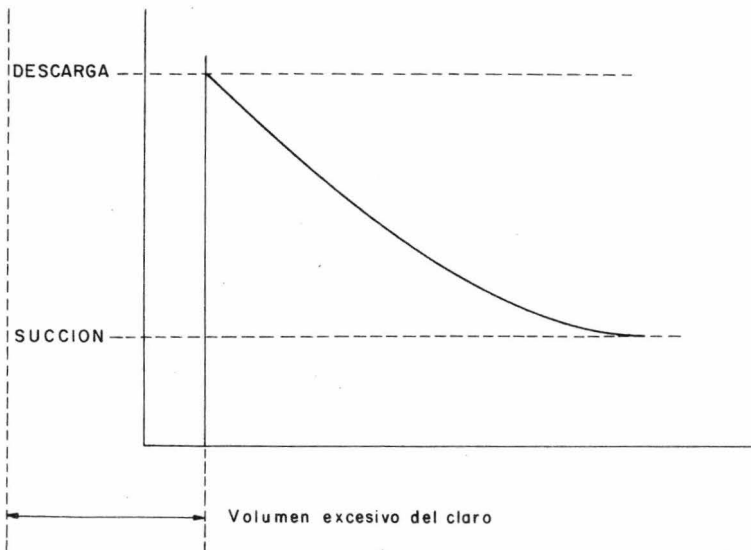
Ahora bien, cuando la bolsa se abre, el gas adicional (el que llena la bolsa) que se expande en el cilindro, hace que la válvula de succión se abra después de lo que se abriría si la bolsa estuviese cerrada, lo que hace que el volumen que entra al compresor esté representado por la línea DE del diagrama antes mencionado. El abrir la bolsa y por consiguiente, el aumento en el volumen total del claro del cilindro, ha ocasionado que el compresor maneje una menor cantidad de gas. En este caso, el trabajo hecho por el compresor está representado por el área DEAF del diagrama.

El efecto de la bolsa es reducir la capacidad del compresor y bajar por consiguiente las necesidades de potencia.

Si se diera el caso de que los cilindros de un compresor tuvieran un volumen del claro excesivo, como se representa en el siguiente diagrama, aunque el pistón se mo-

viese a lo largo de toda su carrera la presión del gas no alcanzaría la presión de succión, porque se tendría una mayor cantidad de gas.

Entonces no se abriría la válvula de succión y no entraría gas al cilindro. Así mismo durante la compresión no se alcanzaría la presión de descarga y no saldría gas del cilindro



Esta situación se conoce con el nombre de Shutoff (cierre). Cuando se presenta un Shutoff, el compresor no trabaja. Los cilindros tienden a calentarse y pueden dañarse en un tiempo corto.

La capacidad del compresor, si se tiene un Shutoff, es cero y desde luego es también igual a cero la eficiencia volumétrica.

El control de capacidad por medio de claros en los cilindros de compresores permite que no se desperdicie potencia. Este control es más efectivo mientras mayor es la relación de compresión que maneja el compresor. La potencia se reduce en la misma proporción que la capacidad.

Otra aplicación de las bolsas es que permiten, si un compresor está sobrecargado, reducir esa sobrecarga.

Por otra parte, se pueden tener dos tipos de bolsas: de volúmen fijo y de volúmen variable.

**BOLSAS DE VOLUMEN FIJO:** Pueden tenerse bolsas que formen parte del cuerpo del compresor y por ello siempre están en servicio; o bien bolsas que pueden abrirse o cerrarse a mano, cuando sea necesario, pero que tienen un volúmen determinado.

En algunos casos pueden añadirse bolsas a cilindros por medio de conexiones bridadas o roscadas.

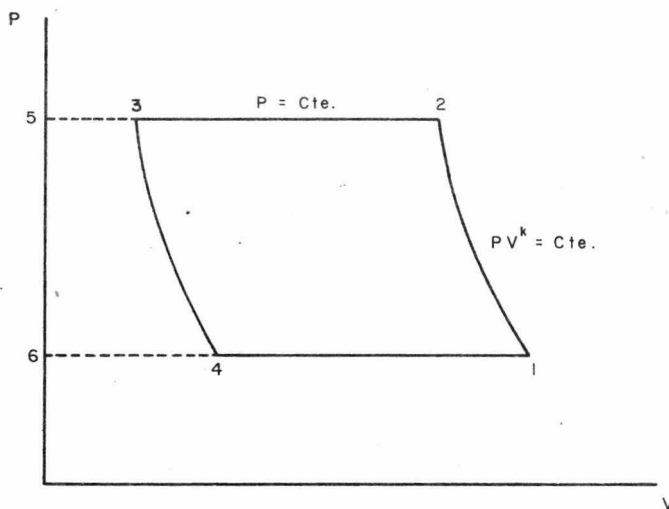
**BOLSAS DE VOLUMEN VARIABLE:** Estas bolsas tienen pistones que por medio de volantes pueden moverse, ajustando de este modo el volúmen de la bolsa.

El volúmen de las bolsas de este tipo puede ajustarse mientras la máquina está en operación.

## POTENCIA.

Las necesidades de potencia para un cilindro compresor dependen de la cantidad neta de trabajo realizado sobre el gas durante el ciclo de compresión completo. Para encontrar la potencia necesaria sólo hace falta tener curvas de potencia basadas en datos reales. Sin embargo para entender los efectos que tienen sobre la potencia, la presión, la temperatura y el valor de  $k$ , es a veces necesario referirse a la ecuación básica de potencia adiabática.

De todos modos, en muchos casos, como cuando se tienen relaciones de compresión bajas para gases con altos valores de  $R$ , es necesario volver al uso de la ecuación básica de potencia adiabática para determinar las necesidades de potencia, así que dicha ecuación se deriva como sigue:





Refiriéndose nuevamente al diagrama PV ideal:

Trabajo Neto = (Trabajo para el área 1-2-5-6) - (Trabajo para el área 4-3-5-6.)

El trabajo para cada área puede separarse en el empleado en varios procesos, trabajo de presión constante, trabajo de volumen constante y trabajo isoentrópico.

Para proceso isoentrópico: Trabajo =  $\frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1-k}$

Para proceso isobárico: Trabajo =  $P_1 (V_2 - V_1)$

Para proceso isométrico: Trabajo = 0

Sustituyendo para cada tipo de proceso y encontrando el trabajo total para el área 1-2-5-6 y para el área 4-3-5-6 y restándolos y reduciéndolos:

$$WK = \frac{k}{1-k} P_1 V_1 \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

o como PV = WRT

$$WK = \frac{k}{1-k} WRT \cdot \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

WK = Trabajo en pie-Lb

K = Valor de k del gas

P<sub>1</sub> = Presión de succión

P<sub>2</sub> = Presión de descarga

W = Peso Lbs.

R = Constante de los gases

Mismas unidades  $\frac{Lb}{Pie^2}$

$T_1$  = Temperatura de succión

Para que el signo algebraico del trabajo sea positivo (aunque el trabajo se esté proporcionando) se cambia el signo al denominador.

Se puede dar la ecuación en unidades más convenientes, así:

$$\text{HP} = \frac{144}{33000} \frac{k}{k-1} P_1 V_1 \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad \text{ó}$$
$$\text{BHP} = \frac{144}{33000} \times \frac{k}{k-1} P_1 V_1 \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \left( \text{Factor de pérdida} \right)$$

Donde: Trabajo = HP.

Presión = Psia.

$V_1$  = Pies cúbicos.

Factor de Pérdida = Pérdidas debidas a la caída de presión a través de las válvulas y tuberías y las pérdidas debidas a la fricción de los anillos del pistón y el empaque del vástago.

Cuando se usa esta ecuación para encontrar las necesidades de potencia del motor, debe usarse un factor adicional de hasta un máximo de 1.05 para compensar las pérdidas en el armazón.

POTENCIA EN MULTI-FASOS.

La ecuación anterior es, por supuesto, para potencia adiabática en un solo paso. Si se tiene un problema de dos pasos, se trabaja en dos partes, considerando cada paso separadamente, es decir:

$$WK = \frac{k}{1-k} P_1 V_1 \left[ \left( \frac{P_1}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] + \frac{k}{1-k} P_1 V_1 \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

$$\text{Si } T_1 = T_1$$

Donde:  $P_1$  = Presión de succión.

$P_1$  = Presión a la descarga del primer paso.

$P_2$  = Presión de descarga.

La presión óptima entre pasos, que provocara la menor cantidad de trabajo total puede encontrarse diferenciando la ecuación de trabajo con respecto a  $P_1$ :

$$\frac{dWK}{dP_1} = \frac{k}{1-k} P_1 V_1 \frac{d}{dP_1} \left[ \left( \frac{P_1}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 + \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] = 0$$

$$\therefore P_1 = \sqrt{P_1 \times P_2}$$

$$\text{ó } \frac{P_1}{P_1} = \frac{P_2}{P_1}$$

En otras palabras, con relaciones de compresión balanceadas, la compresión se lleva a cabo con la menor cantidad de trabajo total posible. De igual modo puede demostrarse que relaciones balanceadas tendrán como resultado la menor potencia total para tres, cuatro y cualquier pro-

blema de multipasos.

### ECUACIONES BASICAS.

En los problemas comunes de compresión y para seleccionar una unidad para un conjunto dado de condiciones, debe considerarse lo siguiente:

- 1) Los requerimientos de potencia.
- 2) Los cilindros de compresión requeridos.

Una vez que la unidad y los cilindros han sido seleccionados, es deseable saber:

- 3) La capacidad real manejada.
- 4) La carga real de potencia.

Para lo anterior se cuenta con las siguientes ecuaciones:

#### 1) POTENCIA NECESARIA.

$$\text{EHP} = \frac{\text{BHP/MMPCD} \times \text{Capacidad}}{10^6} \dots (1)$$

Donde:

**EHP/MMPCD** = Potencia al freno requerida para comprimir un millón de pies cúbicos de gas por día, medido a una presión de 14.4 psia y a la temperatura de succión. Para obtener el EHP/MMPCD deben conocerse la relación de compresión y el valor k del gas.

**CAPACIDAD** = Capacidad en pies cúbicos por día medida a las condiciones base (14.4 Psia y a la

temperatura de succión).

2) CILINDROS REQUERIDOS.

$$PD \times Ev = \frac{BHP \times 10^4}{BHP/MMCPD \times P_1} \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

PD x Ev = PCM que el cilindro debe manejar, medidos a la presión de succión del cilindro.

PD = Desplazamiento del pistón del cilindro compresor en PCM.

Ev = Eficiencia volumétrica. Esta puede encontrarse de las curvas para Ev que fueron graficadas de la siguiente ecuación:

$$Ev = 100 - R - \% Cl (R^{1/k} - 1)$$

De ahí que deban conocerse la relación de compresión (R), el valor k del gas y el porcentaje de claro.

P<sub>1</sub> = Presión de succión en Psia.

EC. (2) = Esta ecuación es una mera modificación de la ecuación (1). La capacidad en PCD a 14.4 Psia y temperatura de succión puede encontrarse usando la ecuación (1) siendo convertida después a las condiciones de succión del cilindro por el factor (14.4/P<sub>1</sub>) y a PCM por el factor (1/1140), de ahí que sólo quede BHP/MMPCD y P<sub>1</sub> en el denominador.

3) CAPACIDAD REAL MANEJADA.

$$\text{Capacidad} = \text{PD} \times \text{Ev} \times P_1 \times 100 \quad \dots \quad (3)$$

(Medida a condiciones base)

4) CARGA REAL DE POTENCIA.

$$\text{BHP} = \text{PD} \times \text{Ev} \times P_1 \times \text{BHP/MMPCD} \times 10^{-4}$$

## PROYECTO MODULAR DE UNA ESTACION DE COMPRESION

El objetivo de esta tesis es aplicar el concepto de modulación en proyectos y para ello se desarrolla a continuación la secuencia descrita anteriormente:

- Motivo para realizar la modulación.
- Estudio preliminar, incluyendo el cuadro comparativo de alternativas y el diagrama esquemático de ensamble. En nuestro caso se consideran dos alternativas para el sistema de compresión, la primera incluye un sistema homogéneo de compresión y en la segunda se considera un sistema heterogéneo en cuanto a la marca y modelo de las máquinas.
- Bases de diseño definitivas, así como los lineamientos generales para la integración del proyecto.
- Diagramas de bloques y de tubería e instrumentación.
- Cálculos realizados y criterios de selección.

Se incluye además un capítulo sobre compresión así como otros referentes a instalación, mantenimiento y operación y medidas de seguridad.

#### ANTECEDENTES.

La importancia que tiene el correcto aprovechamiento del gas producido en los diferentes campos para el suministro de energéticos y por ende en la economía nacional, ha impuesto la necesidad de instalar gran número de equipos compresores (ya que la presión de descarga del gas en las baterías de la zona sur es muy baja, del orden de - 30 psia) y los sistemas de conducción de este fluido.

Para formarse una idea del monto de las inversiones que este aspecto de explotación representa en las obras realizadas por Pemex, baste decir que tan solo en los distritos de Agua Dulce y el Flan se tienen instalados aproximadamente 120 equipos que representan una inversión superior a 900 millones de pesos.

Por otra parte la demora en la instalación de compresoras ocasiona pérdidas por el desaprovechamiento de un recurso no renovable, que suele ser de gran cuantía, como ocurrió en el campo Cinco Presidentes en el que se estuvieron quemando 117 MMPCD con valor aproximado de 400 mil pesos diarios.

Lo anterior conduce a la necesidad de establecer un planeamiento técnico racional para solucionar el problema de instalar oportunamente y en corto tiempo las compresoras requeridas por los diferentes campos productores de gas.



Pemex pretende la mayor eficiencia y rapidez en la utilización de equipos de compresión de gas, tanto de aquellos que están actualmente en servicio y que eventualmente deberán instalarse en otro campo, como los de nueva adquisición.

Lo anterior se consigue en buena medida con un proyecto de estación modular, que permita de manera expedita, instalar los equipos disponibles para el aprovechamiento del gas. Tal proyecto debe comprender la elaboración de dibujos con base en la ingeniería respectiva, la estimación de las cantidades de obra de las diferentes fases que constituyen la obra y la formulación de especificaciones tanto de equipo como constructivas.

### CAPITULO III

#### ESTUDIO PRELIMINAR PARA LA SELECCION DEL SISTEMA DE COMPRESION ADECUADO

Con objeto de obtener un correcto aprovechamiento del gas producido en diferentes campos de la zona sur se hizo necesaria la posibilidad de solucionar el problema anterior mediante el empleo de un proyecto de estación modular con alternativas.

Una vez estudiadas las alternativas para dicho proyecto se establece el número de conceptos (planos, listas de material) que intervienen en cada una de las alternativas.

#### BASES PARCIALES DE DISEÑO.

##### 1.1 BASES DE DISEÑO PARA ALTERNATIVA I.

Sistema de compresión homogéneo.

##### 1.1.1. MARCA DE COMPRESORAS.

En esta alternativa se considerarán únicamente máquinas Cooper Bessemer de 1100 H.P. tipo uniplanta montadas sobre patín.

1.1.2. CONDICIONES DE OPERACION GAS DE PROCESO.

Se instalarán máquinas para manejar gas en 3 pasos y con las siguientes condiciones:

Fresión succión: 30 Psia.

Presión descarga: 600 Psia.

Presión descarga: 1000 Psia.

1.1.3. GAS COMBUSTIBLE.

Se considerará que el gas combustible proviene de dos fuentes:

- a) Gas húmedo del mismo campo.
- b) Gas seco de planta de absorción o criogénica.

1.1.4. AGUA DE ENFRIAMIENTO.

Para el sistema de agua de enfriamiento se considerará:

- a) Sin tratamiento.- Para servicios, edificios de oficinas y post enfriado del gas de proceso.
- b) Con tratamiento.- Para motocompresoras.

No se considera la posibilidad de obtener agua para el sistema de enfriamiento por el método de recolectar agua de lluvia.

1.1.5. SISTEMA DE AIRE DE INSTRUMENTOS Y DE ARRANQUE.

Se instalarán compresores de aire con accionamiento de combustión interna y eléctrico, con todo el equipo auxiliar para suministrar el aire a las condiciones necesarias.

1.1.6. SISTEMA DE ACEITE LUBRICANTE.

El aceite lubricante para la estación modular se recibirá en tambores y mediante bomba de accionamiento eléctrico se enviará al sistema de aceite lubricante.

1.1.7. INGENIERIA DE FISCO.

La estación de compresión se proyectará de tal manera que el piso de operación de la casa de compresoras no tendrá tuberías al nivel del piso, es decir, deberán ser instaladas en trincheras.

2.1 BASES DE DISEÑO PARA ALTERNATIVA II.

Sistema de compresión heterogéneo.

En general todas las bases de diseño marcadas para la Alternativa I pueden ser aplicables para la Alternativa II excepto:

### 2.1.1. MARCA DE COMPRESORAS.

En esta alternativa se considerarán las siguientes marcas de compresoras:

- a) Cooper Bessemer - 1100 H.P. Uniplanta.
- b) Worthington - SLAC - 4A - 440 H.P.
- c) Clark - TUM - 12 - 1000 H.P.

### 3.1 ESTACION MODULAR.

Con el fin de poder establecer lineamientos para realizar un proyecto modular de estaciones de compresión para los campos de zona sur es necesario considerar varios factores importantes como son las limitaciones en cuanto a las características de los equipos y el factor económico para el diseño de los sistemas que van a ser modulares.

### 3.2 LIMITACIONES.

#### 3.2.1. CARACTERISTICAS.

La factibilidad de obtener estaciones modulares de compresión se restringe a equipos con características similares como:

- a) Rangos de presión, de succión y descarga.
- b) Número de pasos de compresión.
- c) Marca de equipo.

d) Modelo de equipo.

e) Servicio que prestan.

### 3.2.2. FACTORES ECONOMICOS.

En la modulación de estaciones de compresión con equipos similares en cuanto a condiciones de operación, número de pasos de compresión sin importar marca y modelo, es necesario considerar el factor económico de aquellos sistemas que son factibles de modular como cabezales de succión y descarga, separadores de gas, sistemas de servicios auxiliares, edificios, etc. En base a estos factores económicos y considerando que en un momento determinado Petróleos Mexicanos podría instalar en una localidad desde una compresora hasta un número indeterminado, es que se recomienda la posibilidad de proyectar módulos de dos máquinas en espejo.

### 3.3 CARACTERISTICAS DE LA ESTACION MODULAR.

Tomando en cuenta lo expuesto y analizando la tabla de compresoras instaladas, proporcionada por la gerencia de Inspección y Verificación de Construcción de Pemex, se observa que:

- a) Algunas de las máquinas instaladas 1 ó 2 son recuperadas de otros campos.
- b) Generalmente el número de máquinas nuevas que son instaladas es de 2 y 3.

### 3.3.1. SISTEMA DE GAS DE PROCESO.

El sistema de gas de proceso para la estación modular estará integrado de la siguiente manera:

No. de máquinas.	Múltiplos de 2.
No. de separadores.	1 para cada 4 máquinas.
Cabezal de succión y descarga.	Para dos máquinas, es decir, alimentadas en la parte intermedia.

### 3.3.2. SISTEMAS DE SERVICIOS AUXILIARES.

Todos los sistemas de servicios auxiliares como aire de arranque, gas combustible, aceite lubricante, agua de enfriamiento, serán diseñados para 4 máquinas.

### 3.4 VENTAJAS DE ESTACION MODULAR EN ESPEJOS DE DOS MAQUINAS CONTRA ESPEJOS DE TRES MAQUINAS.

Las alternativas que se presentan de acuerdo a

las máquinas instaladas en zona sur, son de espejos de 2 máquinas para una estación modular de 4 ó espejos de 3 máquinas para una estación modular de 6.

Las ventajas de una estación modular en espejos de 2 máquinas son:

- a) Separador de entrada diseñado sólo para 4 máquinas en lugar de 6. No se considera la posibilidad de instalar separadores para 2 y 3 máquinas porque el incremento en el costo debido a la instrumentación sería muy alto.
- b) Cabezales de succión y descarga diseñados para 2 máquinas, en lugar de 3, puesto que la alimentación y descarga de la estación sería en la parte intermedia del espejo.
- c) Sistema de servicios diseñado para 4 máquinas en lugar de 6. Es necesario considerar que los sistemas de servicios auxiliares como agua de enfriamiento, aceite lubricante, son diseñados con el criterio de tiempo de residencia, lo que permitirá que en un momento los módulos calculados para 4 máquinas puedan absorber la instalación de 1 máquina más sin duplicar los servicios auxiliares sino solamente bajando un poco el tiempo de residencia.



d) Con el fin de objetivizar más ampliamente las ventajas del módulo de dos máquinas contra el de tres, se adjuntan tablas comparativas, en donde se observa que el módulo de 2 máquinas es superior en la instalación de 1, 2, 3, 4, 7, 8 y 10 máquinas, siendo el módulo de 3 más ventajoso en la instalación de 5, 6 y 9 máquinas, encontrándose en igualdad de circunstancias para 11 y 12 máquinas.

Como en la mayoría de los casos el factor que nos determina el arreglo más adecuado es el económico. Para tomar una determinación Pemex realizó un estudio comparativo de costos, a cual no se tuvo acceso.

ESPEJO DE 2 MAQUINAS.

No. de máquinas.	Separador diseñado para No. de máquinas.	Cabezales succión y descarga diseñado para No. de máquinas.	Servicios auxiliares diseñados para No. de máquinas.
1	4	2	4
2	4	2	4
3	4	4	4
4	4	4	4
5	8	6	8
6	8	6	8
7	8	8	8
8	8	8	8
9	12	10	12
10	12	10	12
11	12	12	12
12	12	12	12

ESPEJO DE 3 MAQUINAS.

No. de máquinas.	Separador diseñado para No. de máquinas.	Cabezales succión y descarga diseñado para No. de máquinas.	Servicios auxiliares diseñados para No. de máquinas.
1	6	3	6
2	6	3	6
3	6	3	6
4	6	6	6
5	6	6	6
6	6	6	6
7	12	9	12
8	12	9	12
9	12	9	12
10	12	12	12
11	12	12	12
12	12	12	12

TABLA COMPARATIVA DE MODULO DE 2 CONTRA MODULO DE 3.

#### 4.1 CONCLUSIONES.

4.1.1. Se considera que es posible la realización de un proyecto de estación modular de compresión con la amplitud que Pemex lo desee.

4.1.2. La recomendación de estación modular en espejos de 2 máquinas puede verse ratificada o rectificadas si Pemex cuenta con un programa de instalaciones en los nuevos campos.

CAPITULO IV

BASES DE DISEÑO DEFINITIVAS Y LINEAMIENTOS  
GENERALES PARA LA INTEGRACION DEL PROYECTO

BASES DE DISEÑO.

- 1.0 ANTECEDENTES.
- 2.0 INFORMACION GENERAL.
- 3.0 INFORMACION BASICA.
- 4.0 SERVICIOS AUXILIARES.
- 5.0 EDIFICIOS.
- 6.0 URBANIZACION.
- 7.0 OBRAS COMPLEMENTARIAS.
- 8.0 CONDICIONES ESPECIALES PARA ESTACION MODULAR.
- 9.0 ESPECIFICACIONES Y CODIGOS.

## 1.0 ANTECEDENTES.

Con objeto de obtener una mayor eficiencia y rapidez en la instalación de nuevas compresoras o la transferencia de equipo proveniente de campos en los que ya no se requieran, Petróleos Mexicanos consideró que una forma de coadyuvar es la realización de un proyecto de estación modular, que permita de manera expedita la instalación de los equipos y la adquisición de los materiales.

## 2.0 INFORMACION GENERAL.

### 2.1.1. ALCANCE.

El alcance de estas bases de diseño es definir los trabajos que el proyectista deberá efectuar para el completo desarrollo del proyecto y comprende en resumen lo siguiente:

- a) La elaboración de dibujos en base a la ingeniería respectiva.
- b) La elaboración de listas de material.
- c) La estimación de cantidades de obra.
- d) La formulación de especificaciones de construcción.
- e) La elaboración de memorias de cálculo.

### 2.1.2. LOCALIZACION.

Las estaciones de compresión se localizarán en cualquier sitio de los campos de la zona sur, por lo que la localización de las estaciones será proporcionada por Petróleos Mexicanos.

#### 2.1.3. CARACTERISTICAS DEL TERRENO.

Un plano topográfico así como la mecánica de suelos serán proporcionados por Petróleos Mexicanos.

Se considera que se dispone de un terreno plano o previamente nivelado o rellenado.

#### 2.1.4. CARACTERISTICAS AMBIENTALES.

##### TEMPERATURA AMBIENTE.

MAXIMA EXTREMA: 110 °F.

MINIMA EXTREMA: 40 °F.

MEDIA: 100 °F.

##### PRECIPITACION FLUVIAL.

MEDIA ANUAL: 1128.6 mm.

MAXIMA MENSUAL: 189.3 mm.

MAXIMA HORARIA: 70.0 mm.

##### HUMEDADES.

RELATIVA MAXIMA: 90% - 95% (A LAS 7 HRS.)

RELATIVA MINIMA: 65% - 80% (A LAS 13:30 HRS.)

VIENTOS.

REINANTES: NE - SO (VERANO) Y N / S (EN INVIERNO)

DOMINANTES: NE - SO (SEP. A ABR.) Y SE - NO (MAY. A AGOS.)

VEL. MEDIA: 7 - 25 KPH.

VEL. MAXIMA: 175 KPH.

ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR:

TIPO ATMOSFERA: CORROSIVA (DEBIDA PRINCIPALMENTE AL  $CO_2$  Y  $H_2S$ .)

#### 2.1.5. AREA PARA CADA ESTACION DE COMPRESION.

El área requerida variará modularmente de acuerdo al número de máquinas por instalarse y se tratará de acomodar el equipo para que dé una instalación lo más completa posible.

#### 2.1.6. ENERGIA.

En todas las estaciones se contará con energía eléctrica suministrada por una línea de 34 000 Volts. El proyectista determinará las cargas necesarias y proyectará el equipo requerido para este servicio.



### 2.1.7. AGUA.

El agua para enfriamiento será suministrada mediante auto-tanque dotado de bomba, debido a lo cual el proyectista dejará tomas para conexión y descarga de los tanques de almacenamiento.

### 2.1.8. GAS COMBUSTIBLE.

El gas combustible podrá obtenerse de dos formas:

- a) Gas seco de los cabezales de succión o descarga.
- b) Gas seco del circuito de gas combustible (si se tiene).

## 3.0 INFORMACION BASICA.

### 3.1.1. FUNCIONAMIENTO DE LA ESTACION DE COMPRESION.

Las compresoras recibirán los servicios requeridos para su buen funcionamiento. El gas proveniente de los sistemas de recolección será purificado de líquidos y polvos en un separador de succión. Los condensados se colectarán en una trampa de líquidos, de donde serán inyectados al gasoducto de descarga, automáticamente. El gas comprimido se medirá

mediante un porta-orificio y se registrará.

### 3.1.2. DIMENSIONES DE LA ESTACION MODULAR.

Después de haberse realizado un estudio preliminar se llegó a la conclusión de que la estación modular estará integrada en espejos de 2 máquinas y teniendo cada estación 4 máquinas. Lo cual significa que las compresoras se instalarán de 2 en 2 y los servicios auxiliares y el separador de succión serán diseñados para 4 máquinas.

### 3.1.3. MECANICA DE SUELOS.

Se preverán dos tipos de cimentación en base a las características más críticas del suelo en cada caso:

- a) Cimentación por superficie.
- b) Cimentación por pilotes.

Petróleos Mexicanos suministrará la información básica de mecánica de suelos para los dos casos previstos. El proyectista elaborará el diseño de cimentaciones para ambos casos.

### 3.1.4. CARACTERISTICAS DE LAS COMPRESORAS UTILIZADAS.

MARCA	MODELO	POTENCIA	NO. PASOS
Cooper - Bessemer	GMVA-8	1100 H.P.	2 y 3
Clark			
Worthington			

#### 3.1.5. CABEZALES.

Las líneas de succión y descarga estarán conectadas a cabezales comunes.

#### 4.0 SERVICIOS AUXILIARES.

##### 4.1. AGUA DE ENFRIAMIENTO.

El agua de enfriamiento para las camisas de la moto-compresora deberá ser agua tratada.

Esta agua tratada formará un circuito que estará integrado por un tanque de balance, una bomba de recirculación, válvulas termostáticas y un radiador que mantendrá el flujo necesario para conservar la temperatura adecuada. El agua se repondrá automáticamente al tanque de balance mediante una bomba.

##### 4.2. AGUA DE SERVICIOS.

Se obtendrá agua de cualquier fuente de abastecimiento próxima a la estación y por medio de bomba se alimentará al tanque de alma-

COMPOSICION MEDIA

COMPONENTE	% MOLECULAR
Metano	79.79
Etano	10.43
Propano	5.53
n. Butano	1.33
i. Butano	0.39
n. Pentano	0.53
i. Pentano	0.51
Exano (+)	0.44

CONDICIONES DE OPERACION DEL GAS DE PROCESO

Marca	Cooper-Bessemer	Clark		Werthington		
Modelo	GMVA-8	HMV-10	HRA-3T	SLHC-A6	SLHC-A3	SLHC-A1C
P succión (psia)	30	30	30	30	30	30
P descarga (psia)	600	600	600	600	600	600
P descarga (psia)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
T succión (°F)	100	100	100	100	100	100
T descarga (°F)	130	130	130	130	130	130
Capacidad (MMSCFD) a 600 psia.	5.4	2.7	6.43	3.24	4.31	5.4
Potencia (H.P.)	1100	550	1320	660	830	1100

cenamiento.

No se considera la posibilidad de obtener agua para el sistema de enfriamiento y agua de servicios por recolección de agua de lluvia.

#### 4.3. ACEITE LUBRICANTE.

El aceite lubricante se recibirá en tambores y mediante bomba de accionamiento eléctrico se enviará al sistema de aceite lubricante, el cual constará de 2 tanques de almacenamiento y de un tanque de reposición automático con dos compartimientos de aceite para cilindros y para el carter de las máquinas.

#### 4.4. GAS COMBUSTIBLE.

El gas combustible se obtiene de 2 fuentes como se indicó en el inciso 2.1.8. Además de los sistemas propios de las máquinas se incluirá un separador, filtros de gas y botellas de volúmen.

La composición del gas combustible del circuito es considerada como promedio para la zona sur y es:

COMPONENTE	% MOLECULAR
Metano	98
Etano y otros	2

4.5. AIRE DE ARRANQUE.

El sistema de aire de arranque que contará con dos compresoras, una accionada por motor eléctrico y otra por motor de combustión interna, que suministrarán aire a 250 Psig. El aire se recibirá en dos tanques acumuladores dimensionados para suministrar aire suficiente para dos arranques consecutivos, mediante un sistema de regulación para dar la presión de aire requerida para cada tipo de compresora.

4.6. AIRE DE INSTRUMENTOS.

Este sistema estará constituido por una compresora de accionamiento eléctrico con post enfriador y un rango de presión de 75-125 Psig. un tanque acumulador y un secador de aire con pre y post-filtro.

4.7. DESFOGUE.

Este sistema estará constituido por una

unidad de encendido remoto y un quemador de 3 pilotos que tendrá una capacidad equivalente al que manejan 2 compresoras.

4.8. DRENES.

La estación contará con un tanque para acumulación de condensados y aceite para enviar éstos a la batería más próxima mediante una bomba.

4.9. ENERGIA ELECTRICA.

La instalación de energía eléctrica se proyectará considerando que la alimentación será de 34.5 ó 13.8 Kv.

Las especificaciones a que debe ajustarse el diseño eléctrico son:

- a) Alumbrado y contactos en la casa de compresoras a prueba de explosión.
- b) La instalación de tubería eléctrica deberá ser subterránea.
- c) Al sistema de tierra se deberá conectar todo el equipo que contenga cargas estáticas.
- d) El alumbrado de patios y calzadas deberá ser a prueba de interperie y del tipo de reflectores.

- e) Los postes serán de una altura no mayor de 12 mts. ni menor de 8 mts. y serán proyectados para construirse en campo.
- f) El alumbrado de la casa de compresoras y el del patio deberá de encenderse por medio de fotoceldas.
- g) Se proveerá alimentación eléctrica a los ventiladores de los radiadores mediante un interruptor de transferencia cuando se requiera.

## 5.0 EDIFICIOS.

### 5.1.0. EDIFICIO DE COMPRESORAS.

Este edificio será de tipo estructural semiabierto, dejando sin cubrir los costados hasta 2 mts. de altura sobre el nivel del piso de operación.

### 5.1.1. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA.

Tomando en cuenta su carácter provisional deberá ser seccionable con conexiones atornilladas para su fácil montaje y desmantelamiento.

### 5.1.2. El edificio de compresoras contará con



una grúa manual con capacidad de 5 toneladas.

5.1.3. El piso de operación de la casa de compresoras no tendrá tuberías a nivel del piso, éstas deberán ser instaladas en trincheras.

5.1.4. Contará con acceso para vehículos hasta la entrada principal, a áreas de tuberías y los enfriadores.

5.1.5. Se deberá proveer una ventilación correcta en todo el edificio mediante la instalación de una cumbrera apropiada.

## 5.2. EDIFICIOS AUXILIARES.

Se diseñará un edificio que incluirá oficina, bodega, baño, cuarto de servicios auxiliares y comedor.

Este edificio será de cimentación, castillos, trabes y losa de concreto armado y muros de block o tabique.

### LAS MEDIDAS DEL EDIFICIO SERAN:

Oficina	3x4 m.
Baño	2x3 m.
Comedor	3x4 m.
Bodega	3x4 m.
Cuarto Servicios Auxiliares.	6x4 m.

## 6.0 URBANIZACION.

### 6.1. CAMINOS.

Para el buen funcionamiento se incluirán dentro de la estación caminos de fácil acceso a los edificios y equipo auxiliar. Estos caminos serán de concreto hidráulico.

Los caminos deberán tener amplitud suficiente en las cabezas de los edificios para permitir maniobras de vehículos; además se dispondrá de un estacionamiento para los locales de taller y almacén.

### 6.2. DRENAJES.

Las aguas negras provenientes de los servicios sanitarios se manejarán por medio de fosas sépticas localizadas convenientemente, las corrientes jabonosas, los drenajes y drenajes pluviales se colectarán por medio de una red de drenaje que se enviará a un sistema de absorción subterráneo.

## 7.0 OBRAS COMPLEMENTARIAS.

### 7.1. CERCADO.

Toda el área ocupada por la estación

estará delimitada por una cerca de malla de acero galvanizado tipo ciclón con puerta de entrada para vehículos y peatones.

8.0 CONDICIONES ESPECIALES DE DISEÑO PARA LA ESTACION MODULAR.

ESTAS CONDICIONES DEBEN INCLUIR:

- a) Dibujos de cada máquina.
- b) Plantilla de cimentación incluyendo pesos y cargas desbalanceadas.
- c) Estructuras de los cobertizos para las compresoras.
- d) Planta y elevación de los puntos terminales.

9.0 ESPECIFICACIONES Y CODIGOS.

## LINEAMIENTOS GENERALES PARA LA INTEGRACION DEL PROYECTO

Estos lineamientos generales deberán observarse al integrar un proyecto dado a partir del proyecto general.

El proyecto debe constar de:

I.- Programa general del proyecto.

II.- Estimado de costos.

III.- Dibujos.

IV.- Requisiciones.

V.- Cantidad de Obra.

VI.- Especificaciones y Memorias.

### I.- PROGRAMA GENERAL DEL PROYECTO.

Se elaborará un programa general, el cual nos mostrará la duración de cada una de las actividades. Este programa nos servirá como base para coordinar el proyecto, evitar interferencia entre las diferentes actividades a desarrollar y conocer en una forma general el avance del proyecto en un momento dado.

### II.- ESTIMADO DE COSTOS.

Se realizará un estimado de costos para tener una idea de la inversión que requerirá el proyecto.

El estimado de costos consiste en obtener un costo total aproximado del proyecto en base al costo del equipo principal de proceso actualizado y considerando las demás actividades, como son ingeniería, instrumentación, compras de equipo y materiales, administración, etc., como un porcentaje de dicho costo. Se considera además dentro de este estimado un consumo aproximado de horas-hombre para cada una de las diferentes especialidades.

### III.- DIBUJOS.

Se cuenta con dos tipos de dibujos.

- a) Dibujos Generales.
- b) Dibujos Modulares.

A) DIBUJOS GENERALES.- Se consideran entre éstos aquellos dibujos que deben formar parte de cualquier proyecto, son independientes del número y tipo de máquinas por instalarse.

B) DIBUJOS MODULARES.- Se consideran aquí aquellos dibujos que dependen de las características de la instalación.

- a) Instalación nueva.
- b) Ampliación.
- c) Número de Unidades.
- d) Tipo de Unidades.
- e) Disponibilidad de Servicios.

En base a ello se ha dividido el proyecto en áreas aceptables, que se pueden ensamblar según lo demande las características antes enlistadas.






Los diferentes Módulos se clasifican como sigue:

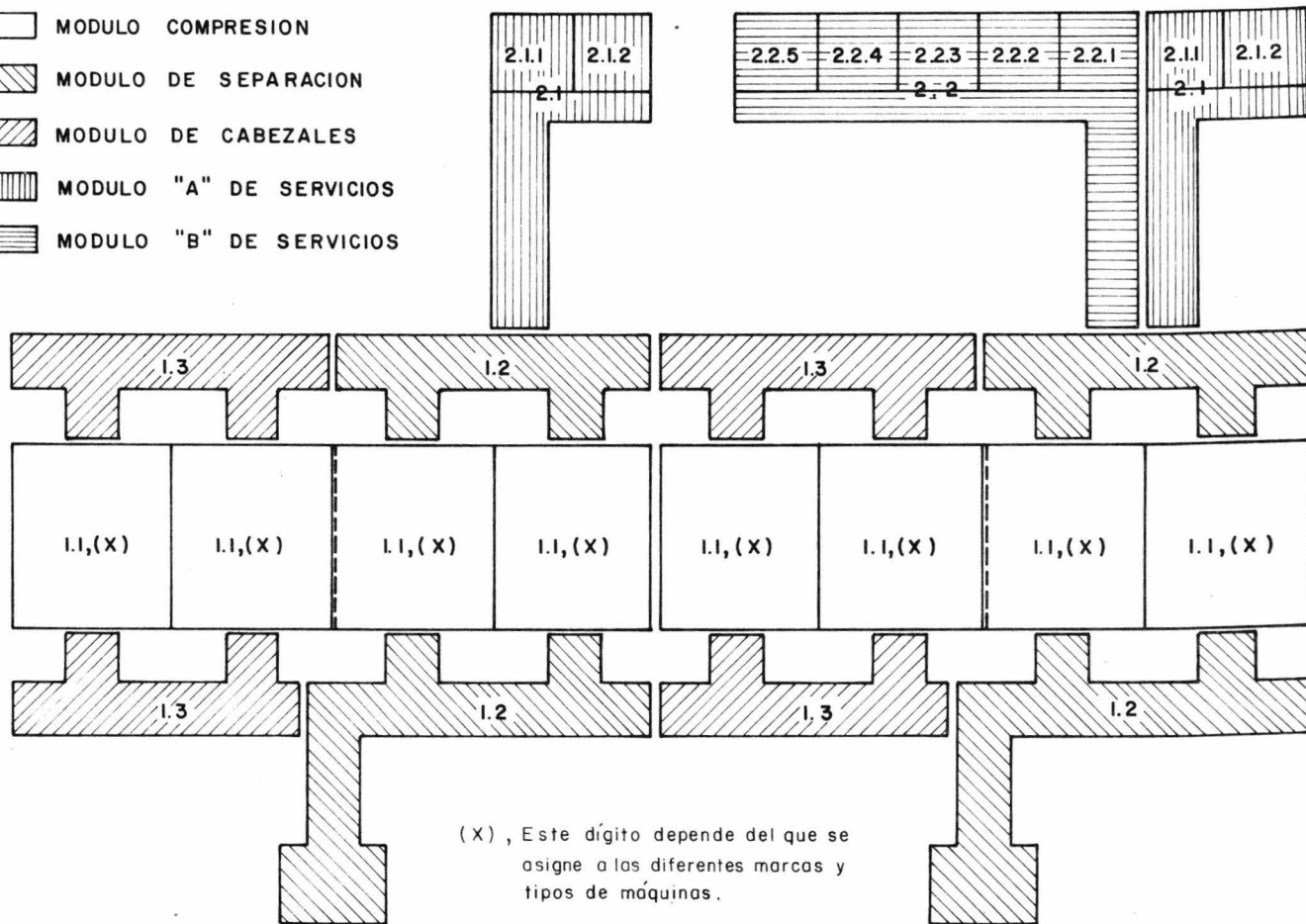
- 1.- Módulo de Proceso.
  - 1.1. Máquina.
  - 1.2. Separación y Cabezales.
  - 1.3. Cabezales.
- 2.- Módulo de Servicios.
  - 2.1. Módulo "A" de servicios.
  - 2.2. Módulo "B" de servicios.

En el esquema anexo se muestra gráficamente la compatibilidad entre los diferentes módulos en función del número de máquinas.

#### DESCRIPCION DE LOS MODULOS:

Módulo de máquina (1.1).- Este módulo involucra todo el equipo (separadores, enfriador atmosférico, etc.), interconexiones, instrumentos, etc., propios de cada marca y modelo de máquina, por lo tanto exis

-  MODULO COMPRESION
-  MODULO DE SEPARACION
-  MODULO DE CABEZALES
-  MODULO "A" DE SERVICIOS
-  MODULO "B" DE SERVICIOS



tirán tantas variantes como combinaciones Marca-Modelo existan.

Módulo de separación (1.2).- Este módulo comprende el separador de succión, trampa de condensados, cabezales de proceso y de servicio, interconexiones a las máquinas, instrumentación e ingeniería de detalle para las dos primeras máquinas.

Módulo de cabezales (1.3).- Este módulo involucra únicamente la prolongación de todos los cabezales y la ingeniería de detalle necesaria para la instalación de dos máquinas adicionales.

Módulo "A" de servicios (2.1).- Dentro de este módulo están comprendidos el Sub-Módulo de gas combustible y el Sub-Módulo de aire de instrumentos.

2.1.1. Sub-Módulo de gas combustible.- Comprende el sistema de regulación, separación y medición del gas y la ingeniería complementaria.

2.1.2. Sub-Módulo de aire de instrumentos.- Comprende el equipo de compresión, acumuladores, deshidratación de aire, instrumentación e ingeniería complementaria.

Módulo "B" de servicios (2.2).- Dentro de este módulo están involucrados los sub-módulos de aire de arranque, sub-módulo de aceite lubricante, sub-módulo de agua, sub-módulo de drenes aceitosos y sub-módulo de desfogue.



2.2.1. Sub-Módulo de aire de arranque.- Comprende el equipo de compresión, los acumuladores, instrumentación e ingeniería complementaria.

2.2.2. Sub-Módulo de aceite lubricante.- Comprende el almacenamiento, bombeo, instrumentación e ingeniería complementaria.

2.2.3. Sub-Módulo de agua.- Comprende el almacenamiento, tratamiento, bombeo, instrumentación e ingeniería complementaria.

2.2.4. Sub-Módulo de drenes aceitosos.- Comprende el sistema de recolección, la trampa acumuladora, bombeo, instrumentación e ingeniería complementaria.

2.2.5. Sub-Módulo de desfogue.- Comprende el quemador, sistema de encendido, instrumentación e ingeniería complementaria.

Se observa del esquema anexo que al incrementar en cuatro máquinas adicionales el módulo total original de cuatro máquinas, sólo se requiere incrementar un módulo "A" de servicios, esto se debe a que el dimensionamiento del módulo "B" se hace en función de tiempo de residencia y no del consumo (Ver bases de diseño).

Las fases de cada tipo de ingeniería (proceso, mecánica, eléctrica, estructural, civil, urbanización y arquitectura) se elaborarán independientemente para cada módulo siendo entre ellas compatibles y

acoplables.

#### IV.- REQUISICIONES.

Se elaborará una sola requisición para cada concepto, compuesta de las partidas necesarias, de cada una de ellas quedarán englobados todos los componentes de toda la estación completa y sólo quedará por definir el número de piezas para cada partida.

Las piezas se desglosarán de acuerdo a los módulos enumerados y el número de piezas correspondientes a cada partida se indicarán tabularmente para cada caso.

#### V.- CANTIDAD DE OBRA.

Las cantidades de obra se evaluarán independientemente para cada módulo y siendo aditivas en un resumen general se totalizarán los resultados parciales para obtener el estimado global.

#### VI.- ESPECIFICACIONES Y MEMORIAS DE CALCULO.

Estas tendrán un concepto general, serán independientes del número y tipo de máquinas y para su elaboración se consideran las condiciones de operación establecidas en las bases de diseño.

#### RELACION DE DIBUJOS.

##### A) DIBUJOS GENERALES.

- 1.- Portada.
- 2.- Detalles cerca perimetral.
- 3.- Registros y coladeras y detalles (2).
- 4.- Pavimentos, banquetas y guarniciones. Detalles.
- 5.- Soportes tubería tipo.
- 6.- Detalles estructurales casa compresoras.
- 7.- Instalación de fuerza y alumbrado, red de tierras. Detalles.
- 8.- Edificio servicios auxiliares.
  - 8.1. Plantas y fachadas.
  - 8.2. Acabados.
  - 8.3. Detalles herrería.
- 9.- Plano guía para ensambles de módulos.
- 10.- Plano de símbolos convencionales para diagrama de tubería e instrumentación.
- 11.- Pasarelas y escaleras.

B) DIBUJOS MODULARES.

1.1 MODULO DE PROCESO.

- 1.1.1.0. Localización.
- 1.1.1.1. Diagrama mecánico compresora.

Habrán tantos diagramas mecánicos de compresoras como tipos de máquinas se tengan.

- 1.1.2.1. Tubería planta.

- 1.1.2.2. Elevaciones.
- 1.1.2.3. Otras elevaciones.
- 1.1.2.4. Detalles.
- 1.1.3.1. Cimentación compresora.
- 1.1.3.2. Cimentación detalles.
- 1.1.3.3. Cimentación auxiliares.
- 1.1.3.4. Cimentación estructura.

Las cimentaciones tendrán n alternativas.

- 1.1.4.1. Estructura.
- 1.1.4.2. Estructura detalles.
- 1.1.4.3. Soportes.
- 1.1.4.4. Ingeniería de piso.

## 1.2 SEPARACION Y CABEZALES.

- 1.2.1.0. Localización equipo.
- 1.2.2.1. Tubería general.
- 1.2.2.2. Cabezal succión, planta.
- 1.2.2.3. Cabezal succión, elevación.
- 1.2.2.4. Cabezal descarga, planta.
- 1.2.2.5. Cabezal descarga, elevación.
- 1.2.2.6. Separador de succión y trampa, planta.
- 1.2.2.7. Separador de succión y trampa, elevación.
- 1.2.3.1. Cimentación separador succión.
- 1.2.3.1. Cimentación trampa de condensados.
- 1.2.4.5. Pasarelas y escaleras.

1.3 CABEZALES.

- 1.3.1.0. Localización.
- 1.3.1.1. Diagrama mecánico complementario.
- 1.3.4.3. Soportes.
- 1.3.4.5. Pasarelas y escaleras.

MODULO "A" SERVICIOS.

2.1 SUBMODULO DE GAS COMBUSTIBLE.

- 2.1.1.0. Localización.
- 2.1.1.1. Diagrama mecánico.
- 2.1.2.1. Tubería planta.
- 2.1.2.2. Tubería elevación.
- 2.1.3.1. Cimentación separador.

2.2 SUBMODULO DE AIRE INSTRUMENTOS.

- 2.2.1.0. Localización.
- 2.2.1.1. Diagrama mecánico.
- 2.2.2.1. Tubería planta.
- 2.2.2.2. Tubería elevación.
- 2.1.3.1. Cimentación compresor y acumulador.
- 2.1.4.1. Diseño acumulador.

MODULO "B" DE SERVICIOS.

2.3 SUBMODULO AIRE ARRANQUE.

- 2.3.1.0. Localización.

- 2.3.1.1. Diagrama mecánico.
- 2.3.2.1. Tubería planta.
- 2.3.2.1. Tubería elevación.
- 2.3.3.1. Cimentación acumuladores y compresoras.
- 2.3.4.6. Diseño acumuladores.
  
- 2.4 SUEMODULO DE ACEITE LUBRICANTE.
  - 2.4.1.0. Localización.
  - 2.4.1.1. Diagrama mecánico.
  - 2.4.2.1. Tubería planta.
  - 2.4.2.2. Tubería elevación.
  - 2.4.3.1. Cimentación bombas y tanques.
  - 2.4.6.1. Diseño de tanques.
  
- 2.5 SUEMODULO DE AGUA.
  - 2.5.1.0. Localización.
  - 2.5.1.1. Diagrama mecánico.
  - 2.5.2.1. Tubería planta.
  - 2.5.2.2. Tubería elevación.
  - 2.5.3.1. Cimentación tanques y tanque balance.
  - 2.5.6.1. Diseño de tanques.
  
- 2.6 SUEMODULO DE DRENES.
  - 2.6.1.0. Localización.
  - 2.6.1.1. Diagrama mecánico.
  - 2.6.2.1. Tubería planta.
  - 2.6.2.2. Tubería elevación.

2.6.3.1. Cimentación bomba y tanque bajo piso.

2.7 SUBMODULO DE DESFOGUE.

2.7.1.0. Localización.

2.7.1.1. Diagrama mecánico.

2.7.2.1. Tubería planta.

2.7.2.2. Tubería elevación.

2.7.3.1. Cimentación chimenea.

RELACION DE REQUISICIONES.

PROCESO.

- 300.- Tanques y Recipientes.
- 301.- Bombas Centrífugas Horizontales.
- 302.- Bombas Rotatorias.
- 303.- Compresores.
- 304.- Separador.
- 305.- Unidad de tratamiento de agua.
- 306.- Deshidratador de Aire.
- 307.- Porta Orificios.
- 308.- Registradores.
- 309.- Bombas Centrífugas Verticales.
- 310.- Controladores de Nivel.
- 311.- Controladores de Presión.
- 312.- Transmisores.
- 313.- Válvulas Solenoides.
- 314.- Indicadores de Presión.
- 315.- Indicadores de Temperatura.
- 316.- Indicadores de Nivel.
- 317.- Interruptor de Nivel.
- 318.- Alarma Sonora.
- 319.- Válvulas de Control.
- 320.- Reguladores de Presión.



- 321.- Válvulas de Seguridad.
- 322.- Coladeras.
- 323.- Quemador.
- 324.- Grúa Viajera.
- 325.- Extinguidores.
- 326.- Conexiones para Instrumentos.

## CAPITULO V

### DESCRIPCION DEL PROCESO, DIAGRAMA DE BLOQUES Y DIAGRAMAS DE TUBERIA E INSTRUMENTACION

#### DESCRIPCION DEL PROCESO.

La estación modular de compresión tiene por objeto suministrar la presión adecuada al gas natural proveniente de los campos para enviarlo por gasoducto a los centros de demanda o recircularlo a bombeo neumático.

El gas que es enviado a la estación de compresión tiene una presión de 30 psia y 100 °F de temperatura.

#### SEPARACION.

Este gas pasa a través de un tanque separador TVS-1, en el cual son separados los líquidos que dicho gas arrastra. El gas natural ya libre de líquidos sale por la parte superior del tanque hacia el cabezal de succión de las motocompresoras.

La mezcla de líquidos agua-gasolina, forman una interfase cuya posición es regulada por un controlador de nivel CN-5. Al subir el nivel de la interfase la válvula VCN-3 se abre y permite que

salga el agua por la parte inferior, volviendo a bajar dicho nivel.

Al rebasar el nivel de la gasolina la altura de la mampara, ésta se vierte en ella y se acumula para pasar por gravedad a la trampa de líquidos TL-1.

Al llegar la gasolina al nivel máximo en la trampa, el controlador de nivel CN-4 envía una señal a la válvula VCN-2, la cual se abre permitiendo que el tanque se presione a 600 psia con el gas natural proveniente del cabezal de descarga de las motocompresoras.

Al llegar el nivel de la gasolina al mínimo se cierra la válvula VCN-2 y se abre la válvula VCN-1, lo que permite que se igualen las presiones de la trampa y el separador, de manera que la gasolina fluya nuevamente por gravedad hacia la trampa.

#### COMPRESION.

Para la compresión se tienen dos opciones, descargar el gas a 600 psia para enviarlo al gasoducto o a 1000psia para el bombeo neumático.

Para el primer caso, el gas natural ya libre de líquidos e impurezas llega a un tanque amortiguador, pasando a la primera etapa de compresión en donde alcanza una presión de 134.2 psia y una

temperatura de 256 °F, sale hacia otro tanque amortiguador, pasa al primer enfriador de donde sale a 130 °F y llega a un separador en donde se eliminan los condensados, de ahí, el gas fluye a otro tanque amortiguador y entra a la segunda etapa, en donde alcanza las 600 psia y 294 °F, pasa a otro amortiguador, se enfría nuevamente hasta 130 °F, llega al separador de la salida y se envía al gasoducto a través de cabezal de descarga.

En el segundo caso, el gas proveniente del separador de succión pasa al tanque amortiguador de la primera etapa, se comprime hasta 96.6 psia y alcanza una temperatura de 217.6 °F, pasa a otro tanque amortiguador, se enfría a 130 °F, y se separan los condensables; entra luego al tanque amortiguador de la segunda etapa de donde sale con una presión de 311 psia y 254 °F, llega al tanque amortiguador de la salida de esta etapa, se enfría a 130 °F y pasa por el separador hacia el tanque amortiguador de la tercera etapa, en donde se comprime hasta las 1000 psia y alcanza una temperatura de 254 °F, se amortigua, se enfría a 130 °F, se separa y se envía al cabezal de descarga para el bombeo neumático.

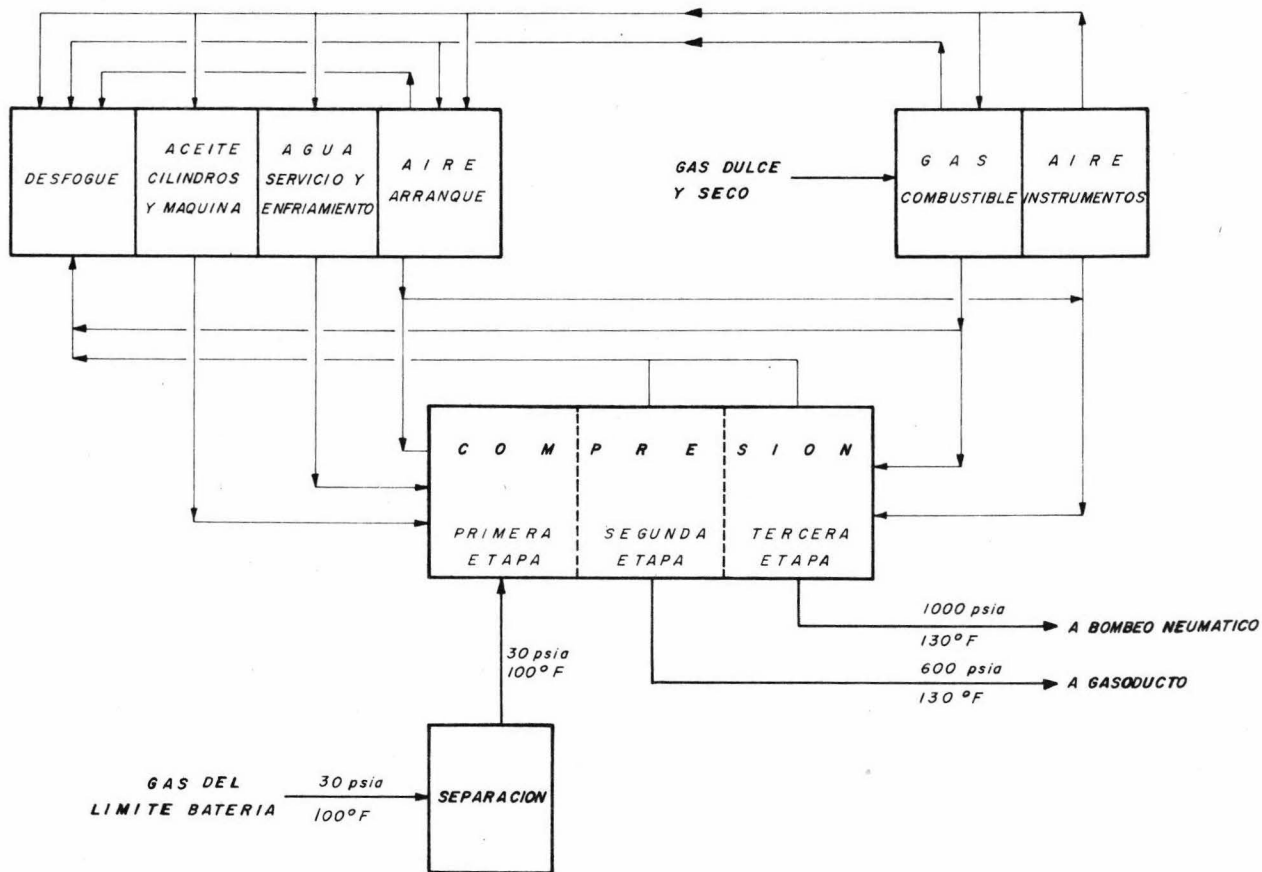
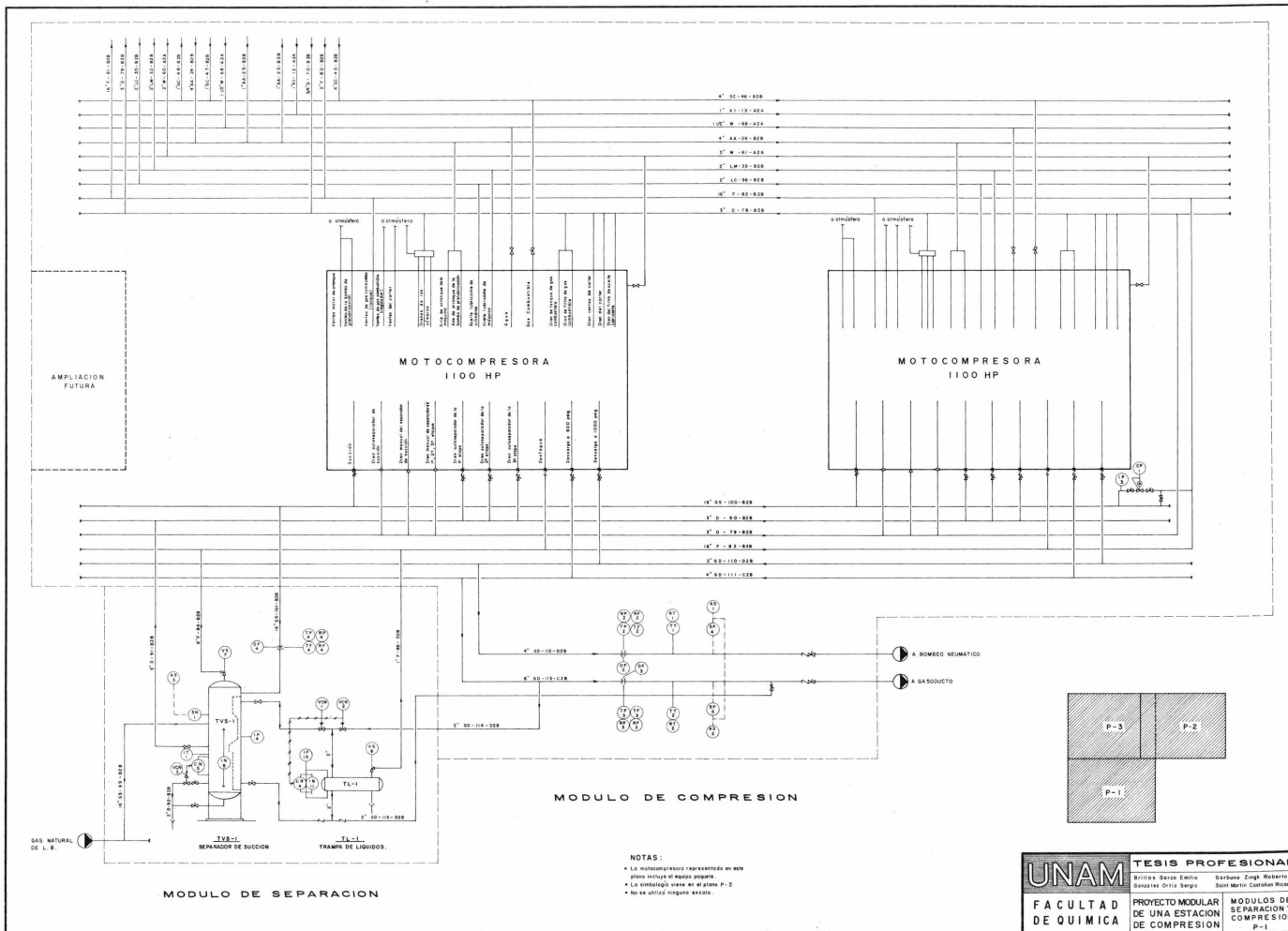
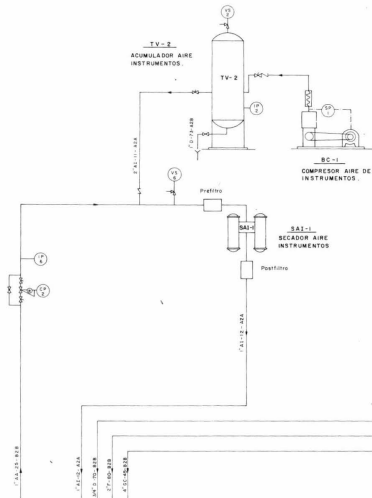


DIAGRAMA DE BLOQUES



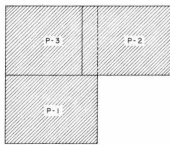
<b>UNAM</b> FACULTAD DE QUIMICA	<b>TESIS PROFESIONAL</b> Briliana Garza Emilio Director: Ortiz Vargas	Barbara Zúñiga Roberto Silvia María González Ricardo
	<b>PROYECTO MODULAR DE UNA ESTACION DE SEPARACION Y COMPRESION</b> MODULOS DE SEPARACION Y COMPRESION P-1	

SUBMODULO AIRE INSTRUMENTOS

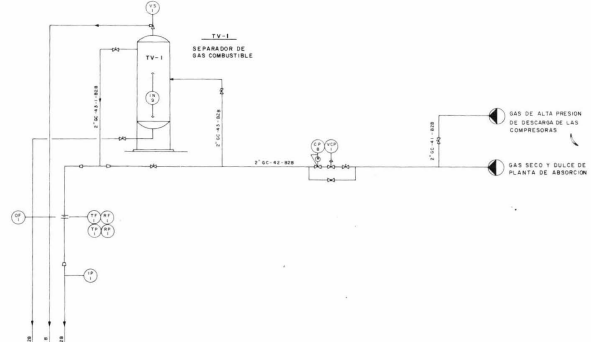


INSTRUMENTOS

- (FI) INDICADOR DE FLUJO (DF)
- (CF) CONTROLADOR DE FLUJO
- (RF) REGISTRADOR DE FLUJO
- (TF) TRANSMISOR DE FLUJO
- (NI) INDICADOR DE NIVEL
- (CN) CONTROLADOR DE NIVEL
- (RN) REGISTRADOR DE NIVEL
- (TN) TRANSMISOR DE NIVEL
- (PI) INDICADOR DE PRESION
- (CP) CONTROLADOR DE PRESION
- (RP) REGISTRADOR DE PRESION
- (TP) TRANSMISOR DE PRESION
- (TI) INDICADOR DE TEMPERATURA
- (CT) CONTROLADOR DE TEMPERATURA
- (RT) REGISTRADOR DE TEMPERATURA
- (TT) TRANSMISOR DE TEMPERATURA



SUBMODULO GAS COMBUSTIBLE

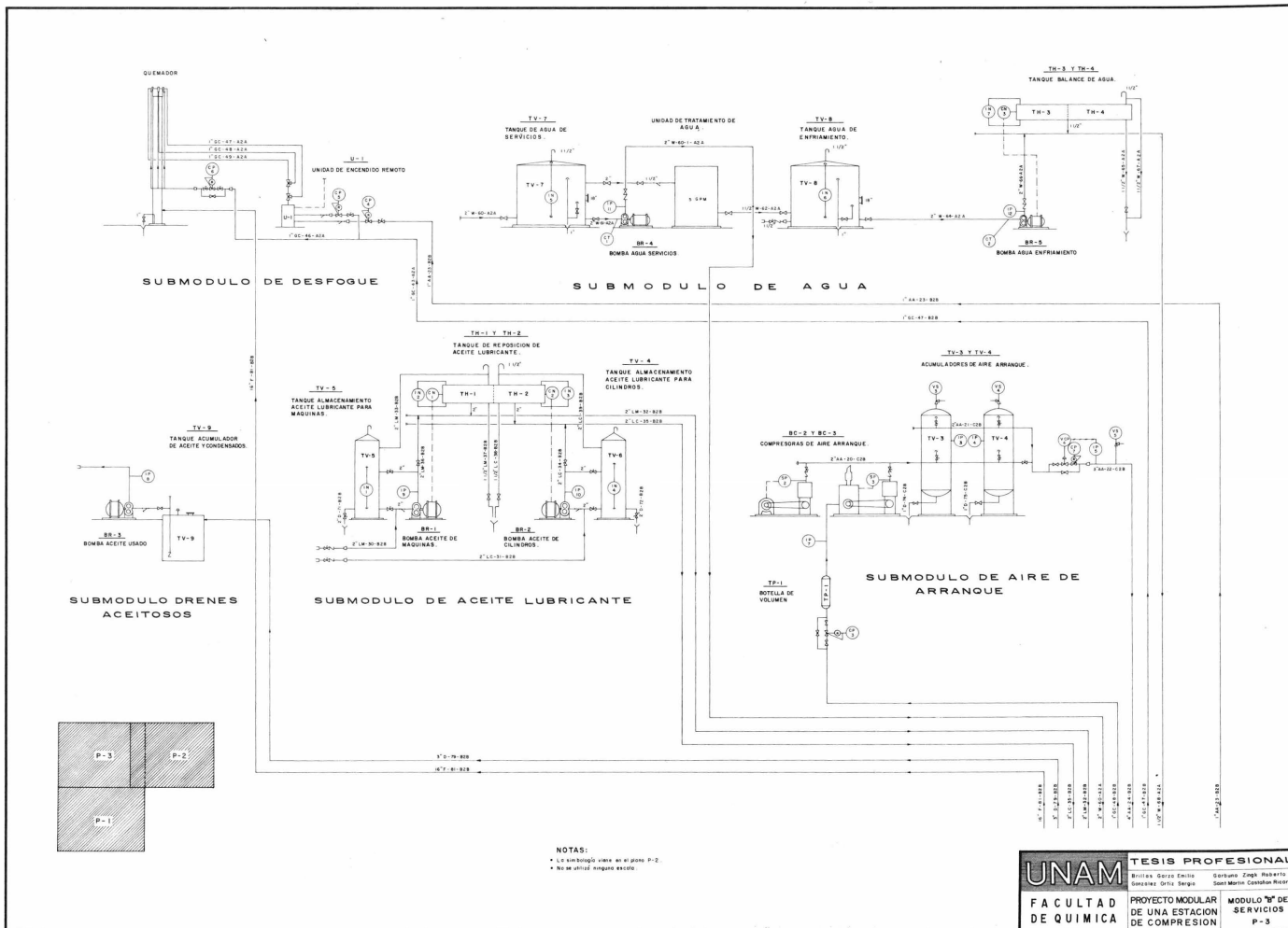


SIMBOLOGIA

- (V) VALVULA DE TRES VIAS
- (C) VALVULA CHECK O DE RETENCION
- (G) VALVULA DE GLOBO
- (M) VALVULA DE MUJER
- (H) VALVULA DE MACHO
- (K) VALVULA DE CONTROL
- (R) VALVULA REGULADORA CONTROLADORA
- (T) TAPON ROSCADO
- (B) TAPON CACHUCHA
- (D) BRIDA CIEGA
- (F) FILTRO TIPO "Y"
- (S) REDUCCION
- (O) COPA DE DRENAJE ABIERTA
- (V) VENTEO
- (M) CONECTOR DE MANGUERA
- (E) ENTRADA O SALIDA A L.B.
- (T) COLADERA TEMPORAL
- (O) PLACA DE ORIFICIO
- (S) VALVULA DE SEGURIDAD
- (A) ALARMA SONORA
- (N) INTERRUPTOR DE NIVEL
- (P) INTERRUPTOR DE PRESION
- (TV) TANQUE VERTICAL
- (TH) TANQUE HORIZONTAL
- (BR) BRIDA CIEGA
- (BC) COMPRESORA RECIPROCANTE
- (BR) BOMBA RECIPROCANTE
- (TP) BOTELLA DE VOLUMEN
- (TL) TRAMPA DE LIQUIDOS
- (SAI) SECADOR DE AIRE INSTRUMENTOS

NOTAS:  
\* No se usó ningún estándar.

<b>UNAM</b> FACULTAD DE QUIMICA	TESIS PROFESIONAL Botana, Gonzalo Emilio    Sánchez, Diego Roberto Benavente, Otilio Sergio    San-Martín, Cipriano Ricardo
	PROYECTO MODULAR DE UNA ESTACION DE COMPRESION    MODULO "A" DE SERVICIOS P-2





ESPECIFICACIONES DE TUBERIA

Diámetro	Servicio	Consecutivo	Presión	Tipo Conexión	Material
	AI- Aire Instrumentos.		A- 125#ANSI	1- Cara plana (F.F.)	A- Fierre fundido
	AA- Aire Arranque.		B- 150#ANSI	2- Cara realzada (P.F.)	E- Acere al carbón.
	D- Drenaje.		C- 300#ANSI	3- Unión de anillo (R.T.J.)	
	F- Desfogue.		D- 600#ANSI		
	GS- Gas Succión.		E- 900#ANSI		
	GD- Gas Descarga.		F-1500#ANSI		
	GC- Gas Combustible.		G-3000#ANSI		
	LM- Aceite Carter.				
	LC- Aceite Cilindro.				
	W- Agua.				

CAPITULO VI

CALCULOS

SISTEMA SEPARADOR DE GAS DE PROCESO - TRAMPA DE LIQUIDOS.

SEPARADOR DE GAS DE PROCESO TVS-1.

Se calculará como separador de área.

GASTO DE GAS : 21.6 MMSCFD = 15000 SCFM

$S_g = 0.724$

$M = 21.01$

GASTO DE LIQUIDOS :

GASTO DE AGUA :  $\frac{20 \text{ BLES}}{\text{MMSCFD DE GAS}} = 0.00281 \text{ ft}^3/\text{min}$

GASTO DE HIDROCARBUROS :  $\frac{20 \text{ BLES}}{\text{MMSCFD DE GAS}} = 0.00281 \text{ ft}^3/\text{min}$

$S_g = 0.7$

$P = 30 \text{ psia}$

$T = 100 \text{ }^\circ\text{F}$

$\rho_g = 0.1048 \text{ lb/ft}^3$

$\rho_L = 43.7 \text{ lb/ft}^3$

$V \text{ máx.} = 0.35 \sqrt{\frac{\rho_L}{\rho_g} - 1} = 7.28 \text{ ft/seg.}$

$V \text{ diseño} = 0.7 V \text{ máx.} = 5.09 \text{ ft/seg.}$

Flujo de gas =  $F_c = 132.24$  ACFS  
corregido

$$\text{Area de separación} = \frac{F_c}{V \text{ diseño}} = 25.95 \text{ ft}^2$$

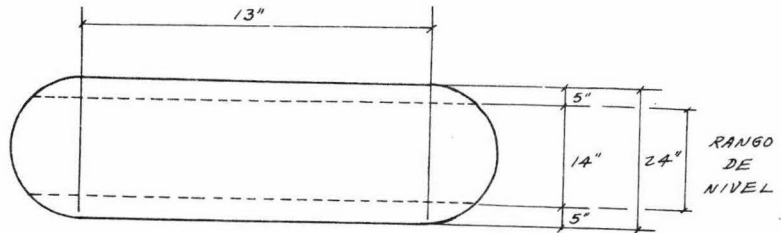
$$\therefore D = 5.748 \text{ ft} = 1752 \text{ mm}$$

$$h = 3D = 5256 \text{ mm}$$

#### TRAMPA DE LIQUIDOS TL-1.

Dentro del separador se separan también el agua de los hidrocarburos líquidos, de tal modo que sólo éstos se acumulan en la trampa de líquidos. Se considera conveniente que dicha trampa opere cada 30 minutos, así que la trampa debe tener una capacidad tal que desplace un volumen de 8732 pulgadas cúbicas de hidrocarburos cada vez que accione.

Ahora bien, el rango de nivel con el que operará la trampa de líquidos será de 14 pulgadas, y es conveniente que dicho rango sea  $\frac{2}{3}$  del diámetro, es decir, el diámetro interno debía ser de 21 pulgadas; pero como por las condiciones de presión la trampa de líquidos tendrá tapas hemisféricas y las estándar del tamaño más próximo son de 24 pulgadas diámetro interno, el diámetro de TL-1 será de 24 pulgadas.



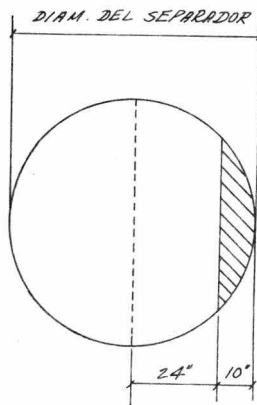
Como se había mencionado antes, el volumen que maneje TL-1 será de 8732 pulgadas cúbicas (representado por el área achurada de la figura anterior). Parte de dicho volumen estará contenido en las tapas, y de acuerdo al tamaño de la trampa, dicha parte será de 4800 pulgadas cúbicas, por lo que en el cuerpo de TL-1 deberán moverse sólo 3932 pulgadas cúbicas de hidrocarburos, cosa que se logra con un cuerpo de 13 pulgadas de largo, ya que el área transversal útil del cuerpo de TL-1 es de 309.6 pulgadas cuadradas.

#### MAMPARA CONTENEDORA DE HIDROCARBUROS.

Esta mampara aislará un volumen capaz de contener dos y media veces el volumen de hidrocarburos que desplaza la trampa de líquidos cuando se llena a su nivel máximo, es decir el volumen aislado por la mampara será de 21800 pulgadas cúbicas.

Dicho volumen estará cerrado en su parte inferior

por un sector del círculo que forma el área transversal del separador de gas de proceso TVS-1 y siendo conveniente que la altura de la mampara sea aproximadamente 1/3 de la altura tangente-tangente de TVS-1, es decir, de unas 70 pulgadas, el área de dicho sector circular (representado por el área achurada de la siguiente figura) deberá ser de 312 pulgadas cuadradas.



$$A = 321 \text{ PULG.}^2$$

Si a dicho sector de círculo se le da una flecha de 10 pulgadas y tomando en cuenta el tamaño del diámetro del separador, su área será de 321 pulgadas cuadradas, por lo que la mampara tendrá una altura de 68 pulgadas.

#### AREA DE SEPARACION DE HIDROCARBUROS Y AGUA.

Los hidrocarburos, antes de acumularse en el volumen aislado por la mampara, serán obligados a pasar a través de un área de 10.435 pies cuadrados (representada



en la figura anterior por el área de puntos); por lo que, de acuerdo a la fórmula de Stokes de velocidad de sedimentación, los hidrocarburos separados no podrán contener partículas de agua de 10 micrones de diámetro o mayores. De ese modo se tienen hidrocarburos con un bajo contenido de agua.

Fórmula de Stokes.

$$U = \frac{g D^2 (\rho_s - \rho)}{18 \mu}$$

Donde:

U = Velocidad de sedimentación del agua = 2.68 ft/seg.

g = Aceleración debida a la fuerza de gravedad = 32.2 ft/seg<sup>2</sup>

D = Diámetro de la partícula.

$\mu$  = Viscosidad del fluido (hidrocarburos) = 0.2 cp

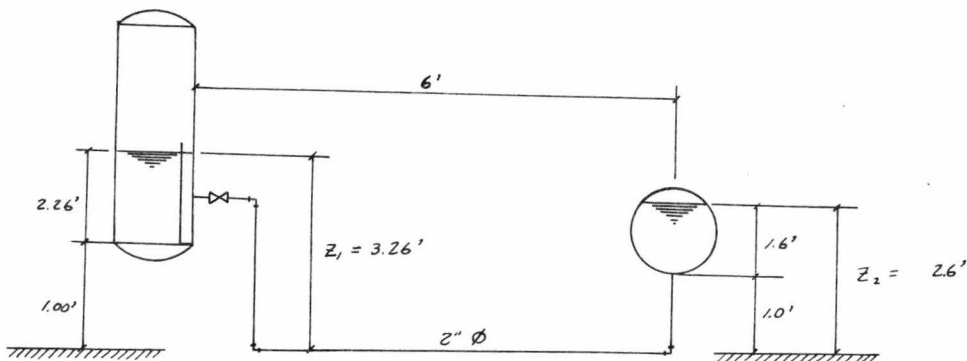
$\rho_s$  = Densidad de la partícula (agua) = 61.996 lb/ft<sup>3</sup>

$\rho$  = Densidad del fluido = 43.7 lb/ft<sup>3</sup>

Despejando D de la fórmula anterior, se puede decir que el diámetro mínimo de las partículas de agua que se separarán de los hidrocarburos será de 10 micrones.

ALTURA A LA QUE DEBE SER COLOCADO TVS-1.

Como se mencionó en la descripción del proceso, los hidrocarburos fluirán hacia la trampa de líquidos por gravedad, por lo que es necesario calcular la altura a la que deberá colocarse el separador.



El balance es:

$$Z_1 = Z_2 + H_{fs} \text{ (expresado en unidades consistentes)}$$

$$Re = \frac{Dv\rho}{\mu}$$

$$D = 0.1722 \text{ ft}$$

$$v = 0.244 \text{ ft/seg (como es un proceso intermitente se consideró doble gasto)}$$

$$\rho = 43.7 \text{ lb/ft}^3$$

$$\mu = 1.34 \times 10^{-4} \text{ lb/ft-seg}$$

$$Re = 13800, \quad \epsilon/D = 0.0009 \quad \therefore \quad f' = 0.03$$

$$H_{fs} = \frac{f'v^2 L_e}{2g_c D}$$

La altura del líquido en la mampara es la correspondiente al volumen que desaloja TL-1.

La longitud equivalente de los accesorios, considerados 3 codos de 90° estandar, una válvula check y una

válvula de compuerta y la salida de TVS-1 y la entrada a TL-1 es de 51 pies.

Ahora bien, si la línea inferior de tangente del tanque separador es de 1 pie, la longitud de tubería es de 8.33 pies.

$$\therefore L_e = 59.33 \text{ pies}$$

$$\text{Así : } H_{fs} = 8 \times 10^{-3} \text{ pies de agua} = 0.0115 \text{ ft de liq.}$$

De modo que :

$$Z_1 > Z_2 + H_{fs} \quad \text{ó} \quad 3.26 > 2.6115$$

Así que si la línea inferior de tangente de TVS-1 queda a 1 pie de altura (si el tamaño de la tapa del tanque separador lo permitiera) los hidrocarburos fluirán como estaba previsto.



TANQUE SEPARADOR DE GAS COMBUSTIBLE (TV-1).

Se considera que cada compresora requiere de 8000 BTU/EHP-H y que el contenido calorífico del gas es de 1000 BTU/SCF.

El gasto de gas combustible en el separador (Q) debe incluir el gasto utilizado por las compresoras de gas de proceso ( $Q_1$ ), el gasto requerido por la compresora de aire de arranque ( $Q_2$ ) y el gasto utilizado por los 3 pilotos del quemador y el piloto de la unidad de encendido remoto ( $Q_3$ ); de tal manera que:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_1 = 8000 \frac{\text{BTU}}{\text{EHP-H}} \times 4400 \text{ EHP} \times \frac{\text{SCF}}{1000 \text{ BTU}} \times \frac{1 \text{ Hr.}}{60 \text{ Min.}}$$

$$Q_1 = 586.7 \text{ SCFM}$$

La compresora de aire de arranque (168 EHP) maneja 15 SCF/HP-H por lo que:

$$Q_2 = 15 \frac{\text{SCF}}{\text{HP-H}} \times 168 \text{ HP} \times \frac{1 \text{ Hr.}}{60 \text{ Min.}}$$

$$Q_2 = 42 \text{ SCFM}$$

Los pilotos del quemador (3) utilizan 10 SCFM de gas combustible cada uno, al igual que el piloto de la unidad de encendido remoto por lo que:

$$Q_3 = 3 (10 \text{ SCFM}) + 10 \text{ SCFM}$$

$$Q_3 = 40 \text{ SCFM}$$

$$Q = (586.7 + 42 * 40) \text{ SCFM}$$

$$Q = 668.7 \text{ SCFM}$$

COMPOSICION DEL GAS.

Metano 98%

Etano y otros 2%

$$\bar{M} = 16.3$$

$$P = 600 \text{ psig} \quad P = 100 \text{ psig (en el se$$

$$T = 100 \text{ }^\circ\text{F} \quad T = 75 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$T = 75 \text{ }^\circ\text{F} + 460 = 535 \text{ }^\circ\text{R}$$

$$P = 100 \text{ psig} + 14.7 = 114.7 \text{ psia}$$

$$\rho_g = \frac{\text{psia} \times \bar{M}}{10.73 \times T}$$

$$\rho_g = \frac{114.7 \times 16.3}{10.73 \times 535} = 0.325 \text{ lb/ft}^3$$

$$\rho_L = 5.6 \times \rho_{H_2O} = 0.7 \times 62.3 = 43.61 \text{ lb/ft}^3$$

$$V \text{ máx.} = 0.35 \sqrt{\frac{\rho_L}{\rho_g} - 1} = 0.35 \sqrt{\frac{43.61}{0.325} - 1}$$

$$V \text{ máx.} = 0.35 \sqrt{133.18} = 0.35 (11.68)$$

$$V \text{ máx.} = 4.053 \text{ ft/s}$$

$$V \text{ diseño} = 0.7 V \text{ máx.} = 0.7 (4.053) = 2.83 \text{ ft/s}$$

$$\begin{aligned} \text{Flujo Gas} &= F_c = \frac{Q \times \bar{M}}{379 \times 60 \times \rho_g} = \frac{668.7 \times 16.3}{379 \times 60 \times 0.325} \\ &= 1.480 \frac{\text{ft}^3}{\text{s}} \end{aligned}$$

$$F_c = 1.480 \text{ ACFS}$$

$$\text{Area} = \frac{F_c}{V_d} = \frac{1.480}{2.83} = 0.523 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned} D &= \left( \frac{4A}{\pi} \right)^{1/2} = \left[ \frac{4 (0.523)}{3.1416} \right]^{1/2} = (0.668)^{1/2} \\ D &= 0.918 \text{ ft} = 9.82 \text{ in} = 10 \text{ in} = 254 \text{ mm} \\ h &= 6 (9.82) = 59 \text{ in} = 1500 \text{ mm} \end{aligned}$$

$D = 254 \text{ mm}$
$h = 1500 \text{ mm}$

TANQUE ACUMULADOR DE AIRE DE INSTRUMENTOS (TV-2).

La cantidad de aire usado para los instrumentos de cada compresora es de 10 SCFM y la cantidad utilizada para las 4 compresoras es de 40 SCFM. Se consideran además 18 SCFM para los demás instrumentos de la estación, un exceso del 50% y un tiempo de residencia de 20 minutos.

$$V = (18 + 40) (1.5) (20) = 1740 \text{ SCFM}$$

$$\text{RANGO DE PRESION} = \Delta P = 50 \text{ psi}$$

$$T = 120 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\Delta m = \frac{V \times \Theta \times M}{379}$$

$$\Delta \rho = \frac{\Delta P \times M}{10.73 T}$$

$$V_c = \frac{\Delta m}{\Delta \rho}$$

$$H = 4 D$$

$$D = \left( \frac{V_c}{\pi} \right)^{1/3} = 1730 \text{ mm}$$

$$D \text{ ext.} = 72" \approx 1828.8 \text{ mm}$$

$$H = 6333.4 \text{ mm}$$

$$t = \frac{0.885 P R_c}{f E - 0.1 P} + 0.125 = 0.66 \text{ in}$$

TAPAS : Toriesféricas

TANQUES ACUMULADORES DE AIRE DE ARRANQUE (TV-3 Y TV-4).

El aire requerido para el arranque de una compresora es de 1750 SCFM para dos arranques consecutivos (cada arranque es de 30 segundos). Para dimensionar los acumuladores es necesario considerar también el aire de servicio, 1100 SCFM más. Las condiciones para los acumuladores son:

$$\Delta P = 75 \text{ psi}$$

$$T = 150 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\Delta m = \frac{\Theta \times V \times M}{379}$$

$$\Delta \rho = \frac{\Delta P \times M}{10.73 T}$$

$$V_c = \frac{\Delta m}{\Delta \rho}$$

$$D = \left( \frac{V}{\pi} \right)^{1/3}$$

$$D = 54'' \approx 1371.6 \text{ mm}$$

$$H = 4 D = 6294 \text{ mm}$$

$$t = \frac{0.885 PR_c}{fE - 0.1P} = 1.02 \text{ in}$$

TAPAS : Toriesféricas

TANQUES DE ALMACENAMIENTO PARA ACEITE LUBRICANTE  
(TV-5 Y TV-6).

El aceite lubricante utilizado en las compresoras es del tipo SAE-40 y es común para los cilindros y el cárter. El aceite se encuentra a la presión atmosférica y temperatura ambiente.

TANQUE DE ACEITE PARA CILINDROS (TV-6).

La capacidad que presentará este tanque es función del consumo de aceite. El consumo es de 10 GPD/MAQ. y se condisera, además, que se almacenará durante 15 días.

$$P = 1 \text{ ATM} \quad T = 100 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$V = 10 \text{ GPD/MAQ} \times 4 \text{ MAQ} \times 15 \text{ D}$$

$$V = 600 \text{ GAL.}$$

$$V = \frac{\pi d^2}{4} H$$

$$H = 4 d$$

$$V = \pi d^3$$

$$d = \left( \frac{V}{\pi} \right)^{1/3}$$

$$d = 8.975 \text{ in} \approx 897.5 \text{ mm}$$

$$H = 4 d = 3590 \text{ mm}$$

TANQUE DE ACEITE PARA CARTER (TV-5)

La cantidad de aceite que se le repone al carter es de 500 GAL.

$$V = 500 \text{ GAL}$$

$$d = 845 \text{ mm}$$

$$H = 3380 \text{ mm}$$

Los tanques para aceite lubricante se pueden diseñar para 600 GAL, para que el equipo sea homogéneo.

$$t = 0.0001456 (H-1) \quad D = 0.00456 \text{ in, el } t \text{ min} = 3/16''$$

TAPAS : Tapas cónicas autosoportadas

TANQUES DE AGUA DE SERVICIO Y ENFRIAMIENTO (TV-7 Y TV-8).

Los tanques de agua de servicio y enfriamiento se consideran de la misma capacidad y entre ellos se considera un sistema de tratamiento de agua. Las dimensiones de los tanques serán:

$$P = 1 \text{ ATM}$$

$$T = 100 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$D = 2000 \text{ mm}$$

$$H = 3200 \text{ mm}$$

$$t = 0.009 \text{ in, el } t \text{ min} = 3/16''$$

Con techo cónico autosoportado

TANQUES DE REPOSICION DE ACEITE (TH-1 Y TH-2).

El volumen de almacenamiento será de 155 GAL.

$$P = 1 \text{ ATM}$$

$$T = 100 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$D = 305 \text{ mm}$$

$$L = 8000 \text{ mm}$$

$$t = 0.00367 \text{ in, el } t \text{ min} = 3/16''$$

TAPAS : Planas

TANQUES DE BALANCE DE AGUA (TH-3 Y TH-4).



El volumen de almacenamiento será de 155 GAL.

$$P = 1 \text{ ATM}$$

$$T = 100 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$D = 305 \text{ mm}$$

$$L = 8000 \text{ mm}$$

$$t = 0.00367 \text{ in, el } t \text{ min} = 3/16''$$

TAPAS : Planas

TANQUE ACUMULADOR DE ACEITE USADO (TV-9).

Se considera una capacidad para éste, de unos 700 GAL, que equivale a la cantidad de aceite que requiere una compresora, más un cierto margen.

$$V = 700 \text{ GAL}$$

$$P = 1 \text{ ATM}$$

$$T = 100 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$V = \frac{\pi D^2}{4} H$$

$$H = D$$

$$V = \frac{\pi}{4} D^3$$

$$D = \left(\frac{4V}{\pi}\right)^{1/3}$$

$$D = 1500 \text{ mm}$$

$$H = 1500 \text{ mm}$$

$$t = 0.0028 \text{ in, el } t \text{ min} = 3/16''$$

TAPAS : Planas

CABEZALES DE SUCCION Y DESCARGA.

El criterio que se sigue para seleccionar los cabezales de succión y descarga se basa en la instalación central al conjunto de las cuatro máquinas, por lo cual se considera un flujo equivalente a la capacidad de dos compresoras.

$$T = 0R$$

$$P = \text{psia}$$

$$C = 1.0 \text{ (para gas natural)}$$

$$d = \sqrt{\frac{\text{MMSCFD} (T) (C)}{P}}$$

CABEZAL	P (psia)	T (°R)	MMSCFD	d * (in)	VELOCIDAD PERMISIBLE (ft/min)	VELOCIDAD REAL (ft/min)
SUCCION	30	560	10.8	16"	3600	3225.6
DESCARGA A 600 psia	600	590	10.8	4"	3600	2358.7
DESCARGA A 1000 psia	1000	590	10.8	3"	3600	2437.5

\* Todos los diámetros son cédula 40

TUBERIAS.

AGUA.

1) Agua de enfriamiento.

$$Q = 10 \text{ GPM} = 0.02228 \text{ ft}^3/\text{seg}$$

Tubería de cédula 40.

DIAMETRO NOMINAL (in)	VELOCIDAD (ft/seg)	$\Delta P_{100}$ (psi/100 ft)	
1	3.71	2.990	
1 1/2	1.58	0.361	(antes de tanque)
2	0.956	0.108	(después de tanque)

2) Agua de servicios.

$$Q = 20 \text{ GPM} = 0.04456 \text{ ft}^3/\text{seg}$$

Tubería de cédula 40.

DIAMETRO NOMINAL (in)	VELOCIDAD (ft/seg)	$\Delta P_{100}$ (psi/100 ft)	
1	7.43	10.900	
1 1/2	3.16	1.280	
2	1.91	0.0375	(antes y después)

TUBERIA PARA ACEITE.

Se utiliza el mismo aceite en el cárter y en los cilindros.

$$s.g. = 0.9$$

$$\rho = 57 \text{ lb/ft}^3$$

$$\nu = 140 \text{ centistokes}$$

$$R_e = 7740 \frac{dv}{\nu} = \frac{7740}{140} dv = 55.2857 dv$$

$$Q = 10 \text{ GPM} = 0.02228 \text{ ft}^3/\text{seg}$$

DIAMETRO NOMINAL (in)	DIAMETRO (in)	VELOCIDAD (ft/seg)		
1	1.049	3.713	215.33	
1 1/2	1.610	1.516	140.20	flujo
2	2.067	0.9562	109.27	laminar

$$\Delta P = 0.00068 \frac{\mu Lv}{d^2}$$

$$\mu = 126 \text{ cp}$$

$$L = 100$$

$$\Delta P_{100} = 9.352 \frac{\nu}{d^2}$$

DIAMETRO NOMINAL (in)	VELOCIDAD (ft/seg)	d <sup>2</sup> (in <sup>2</sup> )	$\Delta P_{100}$ (psi/ft)
1	3.713	1.1	31.57
1 1/2	1.516	2.592	5.686
2	0.9562	4.272	2.093

TUBERIA PARA AIRE DE INSTRUMENTOS.

Considerando un número de 36 instrumentos para los servicios y separación y 80 más para las compresoras, obtendremos un total de 116.

Lo cual nos corresponde a una tubería de 2" cédula

40.

TUBERIA PARA GAS COMBUSTIBLE.

Q = 1.294 ACFS      Después separador (100 psig, 75 °F)

VELOCIDAD (ft/s)	AREA (ft <sup>2</sup> )	DIAMETRO (in)	P <sub>100</sub> (psi)
55.5	0.0233	2" (Céd. 40)	0.1
39.0	0.0332	2 1/2" (Céd. 40)	<
25.0	0.0513	3" (Céd. 40)	<

Antes separador

Q = 586.7 SCFM = 0.252 ACFS      (600 psig, 100 °F)

VELOCIDAD (ft/s)	AREA (ft <sup>2</sup> )	DIAMETRO (in)	P <sub>100</sub> (psi)
10.8	0.0233	2" (Céd. 40)	0.90
7.6	0.0332	2 1/2" (Céd. 40)	0.47
5.0	0.0513	3" (Céd. 40)	0.10

ΔP<sub>100</sub> del crane

TUBERIA PARA AIRE ARRANQUE.

Los tanques se llenan en 20 min. Las compresoras manejan 75 SCFM.

Antes del acumulador

Q = 75 SCFM = 1.25 SCFS

VELOCIDAD (ft/s)	AREA (ft <sup>2</sup> )	DIAMETRO (in)	$\Delta P_{100}$
53.6	0.0233	2"	0.041
37.6	0.0332	2 1/2"	0.017
24.3	0.0513	3"	—

Después del acumulador

$$Q = 260 \text{ ACFM} = 4.333 \text{ ACFS}$$

VELOCIDAD	AREA	DIAMETRO	$\Delta P_{100}$
186	0.0233	2"	—
130	0.0332	2 1/2"	20.0
84.4	0.0513	3"	6.7
63.0	0.0687	3 1/2"	3.2
49.0	0.0884	4"	1.67

TUBERIA PARA DRENES ACEITOSOS.

$$Q = 500 \text{ GPH} = 8.333 \text{ GPM} = 0.0185 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$H = 1.5 \text{ mts}$$

$$\text{s.g.} = 0.9 \text{ (aceite lubricante SAE 40)}$$

$$H = 1.5 (0.9) \left( \frac{1}{0.254} \right) = 53.15 \text{ " H}_2\text{O}$$

$$\Delta P_T = 53.15 (0.03609) = 1.918 \text{ psi}$$

$$\nu = 140 \text{ centistokes}$$

$$R_e = 7740 \frac{dv}{\nu} = 55.2857 \text{ dv}$$

DIAMETRO NOMINAL CED. 40	DIAMETRO INTERNO (in)	VELOCIDAD ft/s	Re	$d^2$ (in <sup>2</sup> )
1	1.049	3.083	177.927	1.100
2	2.067	0.7939	90.723	4.272
3	3.068	0.3610	61.231	9.413
4	4.026	0.2099	46.719	16.210
5	5.047	0.1335	37.808	25.470

$$\Delta P_{100} = 9.352 \frac{v}{d^2}$$

	$\Delta P_{100}$ (psi)
1	26.2111
2	1.7379
3	0.3585
4	0.1211
5	0.0498

**TUBERIA PARA DESFOGUE.**

Para seleccionar la tubería se toma como gasto de desfogue el volumen que manejan 2 compresoras.

$$Q = 10.8 \text{ MMSCFD} = 122.68 \text{ SCFS}$$

$$T = 100 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$P = 30 \text{ psia}$$

$$Q = 122.68 \left( \frac{14.7}{30} \right) \left( \frac{560}{520} \right) = 64.737 \text{ ACFS}$$

La velocidad recomendada es de 50 ft/s



DIAMETRO NOMINAL (in) CED. 40	SECCION EN ft <sup>2</sup>	Q ACFS	VELOCIDAD ft/s	P <sub>100</sub> (psi)
12	0.7773	64.737	83.28	0.0011
14	0.9394	64.737	68.91	0.00064
16	1.2272	64.737	52.75	0.000325
18	1.5533	64.737	41.67	0.000176

$$\Delta P_{100} = 0.000336 \frac{f W^2}{d^5 \rho}$$

$$\rho = 0.0994 \text{ lb/ft}^3$$

$$W = 2344209 \text{ lb/}$$

COMPRESORA DE AIRE DE INSTRUMENTOS (BC-1).

Esta compresora tiene como finalidad proporcionar el aire necesario para el funcionamiento de los instrumentos de toda la estación. El flujo que maneja esta compresora es de 254 SCFM.

Datos del compresor:

Q = 254 SCFM

P<sub>s</sub> = 1 ATM

P<sub>D</sub> = 75 - 125 psig

FLUIDO = aire

P.M = 28.97

POTENCIA  
TEORICA = 60 HP

BHP TEORICO = 86000 ft

R (RELACION = 3.08  
DE COMP.)

ε = 0.76

En base a los datos anteriores se ha seleccionado un compresor reciprocante de 2 etapas, modelo 50 EK60, marca Ingersoll Rand con un rango de presiones de 100 - 125 psig y con una potencia requerida de 65 HP.

COMPRESORA AIRE DE ARRANQUE (BC-2).

Esta compresora fue seleccionada en base al gasto de aire que necesitan las compresoras de proceso a una presión de 250 psig para poder efectuar dos arranques consecutivos.

Datos del compresor:

$Q$	= 475 ft <sup>3</sup> /min	FLUIDO	= aire
$P_D$	= 250 psig	POTENCIA TEORICA	= 168 HP
$P_S$	= 14.7 psia	BHP TEORICO	= 116000 ft
$T$	= 100 °F	R (RELACION DE COMP.)	= 4.25
$\rho$	= 0.075 lb/ft <sup>3</sup>	$\xi$	= 0.76
P.M	= 28.97	k	= 1.4

En base a los datos anteriores se ha seleccionado un compresor reciprocante marca Ingersoll Rand, type 40, modelo H95BHLZ de 2 etapas enfriado por aire, con un rango de presiones de 175 - 250 psig y con una potencia requerida de 175HP.

BOMBAS DE ACEITE (BR-1 Y BR-2).

Las bombas que se han seleccionado para este servicio son de tipo reciprocante con desplazamiento positivo y mecanismo de transmisión de engranes. Se ha tomado en cuenta para su selección la viscosidad del aceite (900 SSU ó 90 centistokes) y el servicio que van a prestar.

BOMBA DE ACEITE PARA CARTER (BR-1).

FLUIDO = aceite SAE - 40

$P_D$  = 50 psig

Q = 20 GPM

H = 120 ft

MARCA = Worthington

MODELO = 4 GA

HP = 2

RPM = 1800

BOMBA DE ACEITE PARA CILINDROS (BR-2).

FLUIDO = aceite SAE - 40

$P_D$  = 50 psig

Q = 20 GPM

H = 120 ft

MARCA = Worthington

MODELO = 4 GA

HP = 2

RPM = 1800

BOMBA DE ACEITE USADO (BR-3).

FLUIDO = Aceite usado

$P_D$  = 20 psig

Q = 20 GPM

H = 50 ft

MARCA = Worthington

MODELO = 4 GA

HP = 1 1/2

RPM = 1800

BOMBAS DE AGUA (BR-4 Y BR-5).

Se ha seleccionado para este servicio una bomba reciprocante de desplazamiento positivo con mecanismo de transmisión de engranes.

BOMBA BR-4 (AGUA SIN TRATAR).

$P_D$  = 50 psig

Q = 20 GPM

H = 117 ft

$\Delta P$  = 1.45 psig

MODELO = 4 GA

MARCA = Worthington

HP = 2

RPM = 1800

BOMBA BR-5 (AGUA TRATADA).

$P_D$  = 25 psig

Q = 20 GPM

H = 58 ft

$\Delta P$  = 1.45 psig

MODELO = 4 GA

MARCA = Worthington

HP = 1 1/2

RPM = 1800

## SECADOR AIRE INSTRUMENTOS (SAI-1).

El secador seleccionado para el servicio requerido es un secador marca " Heat Les " modelo 151 HA-4-0000CS, el cual funciona con un flujo de 150 SCFM de aire y soporta una presión hasta de 150 psi.

El secador de aire consta de dos cámaras, una que funciona normalmente y otra que reactiva el disecante (alumina) empleado. La reactivación del disecante consiste en hacer pasar aire seco en dirección contraria al flujo normal, eliminando la humedad o agua absorbida.

Las ventajas que se obtienen son:

- 1) Bajo costo de operación.
- 2) Larga vida del disecante.
- 3) Bajo costo de mantenimiento.
- 4) Seguridad en operación.

## EQUIPO PARA TRATAMIENTO DE AGUA.

El agua contiene cantidades variables de sales disueltas de calcio y magnesio generalmente en forma de bicarbonatos, sulfatos o cloruros que dan al agua la dureza.

El agua tiende a formar incrustaciones en los equipos tales como calderas, intercambiadores, compresores y otros más.

Para poder eliminar estas incrustaciones se lleva a cabo un proceso de ablandamiento, el cual consiste en pasar el agua dura a través de una capa suavizadora de resina intercambiadora de iones que elimina el calcio y el magnesio del agua. Se utiliza una solución de sal para regenerar la resina una vez que se satura de calcio y magnesio.

El ciclo se repite indefinidamente hasta obtenerse la dureza máxima permisible para su empleo. La dureza se expresa generalmente en partes por millón (p.p.m.) y la capacidad de la resina normalmente se expresa en  $\text{Kg/ft}^3$ .

El tipo de sistema de tratamiento de agua seleccionado para realizar este proceso es de la marca "ETRASA"



modelo 5 ET-25, con una capacidad de intercambio de 150 Kg y un flujo normal de 20 GPM.

DATOS ANEXOS DEL EQUIPO.

Volumen de resina	6 ft <sup>3</sup>	(142 lt)
Flujo de retrolavado	10 GPM	(38 lt/min)
Sal para regeneración	75 lb	(34 Kg)

DIMENSIONES DE LOS TANQUES.

Suavizador :

Diámetro            51 cm (20")

Altura                138 cm (54")

Salmuera :

Diámetro            61 cm (24")

Altura                122 cm (48")

CALCULO DE LA ALTURA DE LA CHIMENEA.

GAS	M	% mol	K	Mi	Mik	hc	nhc
Metano	16.04	79.79	1.170	12.79	14.95	902.0	719.70
Etano	30.07	10.48	1.220	3.15	3.84	1603.5	168.04
Propano	44.09	5.53	1.232	2.44	3.00	2304.5	127.43
i-Butano	56.10	0.89	1.233	0.50	0.62	2905.0	25.05
n Butano	56.10	1.83	1.232	1.03	1.27	2905.0	53.16
i Pentano	72.14	0.51	1.237	0.37	0.46	3707.0	18.40
n-Pentano	72.14	0.53	1.233	0.38	0.47	3707.0	19.65
Hexano	86.17	0.44	1.235	<u>0.38</u>	<u>0.47</u>	4408.0	<u>19.40</u>
				21.04	25.09		1152.13

$$K = \frac{KM_i}{M_i} = 1.192$$

$$P = 100 \text{ psig} = 114.7 \text{ psia}$$

$$T = 130 \text{ }^\circ\text{F} = 590 \text{ }^\circ\text{R}$$

$$1) \quad M_s = 39.3 \left( \frac{kgT}{M} \right)^{1/2} = 1285.5 \text{ ft/s}$$

$$\text{donde } k = 1.192$$

$$M = 21.04$$

$$= \frac{144PM}{1544T} = 0.38 \text{ 16/ft}^3$$

$$M = 0.2 \frac{M}{M_s} \quad M = 257.1 \text{ ft/s} = 10.6 \text{ MMSCFD}$$

$$2) \quad W = Q \times \frac{1 \text{ Día}}{24 \text{ Hr}} \times = 167833.3 \text{ lb/Hr}$$

$$3) \quad A = W/M = 0.477 \text{ ft}^2$$

$$4) \quad D = \left( \frac{4A}{\pi} \right)^{1/2} = 0.78 \text{ ft} = 10''$$

$$L/D = 118 \quad \therefore \quad L = 98.33 \text{ ft}$$

Cantidad de calor desprendido:

$$5) \quad Q = W \frac{nhc}{M} = 34.88 \times 10^8 \text{ BTU/Hr}$$

Fracción de Radiación:

$$6) \quad f = 0.20 \left( \frac{nhc}{900} \right)^{1/2} = 0.223$$

Intensidad de calor radiado:

$$7) \quad q = \frac{fQ}{4\pi x^2} = 6.19 \times 10^7 \frac{1}{x^2}$$

$$x^2 = \frac{fQ}{4\pi(440)} \quad x = 371 \text{ ft} \begin{pmatrix} \text{distancia} \\ \text{radial de} \\ \text{seguridad} \end{pmatrix}$$

Cálculo de la altura en base al tiempo de escape:

$$L^2 = 9668.8 \quad 4x^2 = \frac{14.07 \times 10^{-4}}{q}$$

$$H = \frac{\left( L^2 + 4x^2 \right)^{1/2}}{2} - L \quad T_e = \frac{\left[ x^2 - H(H+L) \right]^{1/2}}{20}$$

Resolviendo este sistema de ecuaciones tenemos:

$$H = 20 \text{ m}$$

Distancia de seguridad a la base de la chimenea

$$\text{Vel. del viento} = 200 \text{ KPH.} = 182.2 \text{ ft/seg.}$$

$$\tan \theta = \frac{182.2}{257.1} = 0.708 \quad \theta = 35.30^\circ$$

$$\cos \theta = \frac{U}{X_m - H} \quad X_m = 381.07$$

$$H + (X_m - H) \cos^2 \theta = H + U^2 = 104393.6$$

$$X^2 = 140700$$

$$y = \left( X^2 - H + (X_m - H) \cos^2 \theta \right)^{1/2} + (X_m - H) \sin \theta$$

$$y = 113.4 \text{ m.}$$

INDICADORES DE NIVEL (IN)

No.	Servicio	Marca	Modelo	Longitud de centro a centro (cm)	Conexiones
1	TV-5	Jerguson	56	95.0	3/4" NPT
2	TH-1	Jerguson	56	57.5	3/4" NPT
3	TH-2	Jerguson	56	57.5	3/4" NPT
4	TV-6	Jerguson	56	95.0	3/4" NPT
5	TV-7	Varec	6 700	320.0 *	---
6	TV-3	Varec	6 700	320.0 *	---
7	TH-3	Jerguson	56	57.5	3/4" NPT
3	TVS-1	Jerguson	56	230.0	3/4" NPT
9	TV-1	Jerguson	H5-T-12	42.0	3/4" NPT

\* NOTA: Los indicadores de nivel son del tipo de columna de vidrio a excepción de los IN-5 e IN-6 que son de regleta.

VALVULAS CONTROLADORAS DE NIVEL (VCM)

No.	Servicio	Marca y Diseño	Sg fluido manejado	Tamaño cuer- po pulg.	Tamaño ori- ficio pulg.	Apertura nor- mal 3 carrera	C G C V	Materiales
1	Maneja gas de pro- ceso trampa de lí- quidos TL-1	Fisher Diseño P Dump Valve	0.724	1	3/4	0 y 100	325	estándar
2	Maneja gas de pro- ceso trampa de lí- quidos TL-1	Fisher Diseño P Dump Valve	0.724	1	3/4	0 y 100	325	estándar
3	Maneja agua de de- secho. Separador gas de proceso - TVS-1	Fisher Diseño A Throttlet Plug Valve	1	3/4	3/4	20	0.36	Acero. asientos ace- ro inoxidable.

CONTROLADORES DE NIVEL (CN)

ELECTRICOS

No.	Servicio	Marca y tipo	Switch	Conexiones	Material y tipo de flotador	Sg del líquido que se controla
1	Control de nivel de TH-1 (aceite lubricante)	Fisher 2300-252 V	2 H.P. 250 V CA	4''150 Lb.FR	Cast Steel estándar	0.9
2	Control de nivel de TH-2 (aceite lubricante)	Fisher 2300-252 V	2 H.P. 250 V CA	4''150 Lb.FR	Cast Steel estándar	0.9
3	Control de nivel de TH-3 y TH-4 tanque balance de agua.	Fisher 2300-252 V	2 H.P. 250 V CA	4''150 Lb.FR	Cast Steel estándar	1

CONTROLADORES DE NIVEL (CN)

NEUMATICOS

Controlador	CN-4	CN-5
Servicio	Trampa de liquidos TL-1	Separador de gas de proceso
Aplicación	Control de nivel de liquido	Control de nivel de interfase
Tipo de Líquidos condiciones	Hidrocarburos 30-600 psia Sg=0.7	Hidrocarburos y agua 30 psia Sg=0.7 y Sg=1 respectivamente
Tipo de Level-Trol	249-B Bridas 2''300 Lb.FR. acero Desplazador de 14" standard	249-B Bridas 2''150 Lb. FR. acero Desplazador de 14" standard
Tipo de controlador de Level-trol	2500 S Dos posiciones	2500 Proporcional
Válvulas que controla.	VCN-1      VCN-2	VCN-3
Accion sistema válvula controlador	Directa      Inversa	Inversa.



INDICADORES DE PRESION (IP)

Servicio	Presión Normal de Generación Kg/cm <sup>2</sup> Man.	Rango Kg/cm <sup>2</sup> Man.	Marca: Ashcroft • Supragauge Modelo
Gas combustible en OF-1	6.39	0-14	45-1379 B-2L - 0 - 14
Aire instrumentos TV-2	3.79	0-14	45-1379 B-2L - 0 - 14
Aire arranque TV-3	17.53	0-28	45-1379 B-2L - 0 - 23
Aire arranque TV-4	17.53	0-28	45-1379 B-2L - 0 - 23
Aire arranque después VCP-2	12.3	0-21	45-1379 B-2L - 0 - 21
Aire instrumentos SAI-1	4.0	0-7	45-1379 B-2L - 0 - 7
Gas combustible TP-1	0.1	0-1	45-1379 B-2L - 0 - 1
Drenes aceites descarga BR-3	1.4	0-2	45-1379 B-2L - 0 - 2
Aceite lubricante descarga BR-1	3.5	0-7	45-1379 B-2L - 0 - 7
Aceite lubricante descarga BR-2	3.5	0-7	45-1379 B-2L - 0 - 7
Agua servicios descarga BR-4	3.5	0-7	45-1379 B-2L - 0 - 7

INDICADORES DE PRESION (IP)

No.	Servicio	Presión normal de generación Kg/cm <sup>2</sup> Man.	Rango Kg/cm <sup>2</sup> Man.	Marca: Ashcroft 6 Supragauge Modelo
12	Agua enfriamiento descarga BK-5	1.76	0-4	45-1379 B-2L - 0 - 4
13	Gas de proceso antes CP-1	2.04	0-4	45-1379 B-2L - 0 - 4
14	Gas de proceso TVS-1	2.04	0-4	45-1379 B-2L - 0 - 4
15	Gas de proceso TL-1	2.04 y 34	0-110	45-1379 D-2L - 0 - 110

VALVULAS DE CONTROL DE PRESION (VCP)

No.	Servicio	Gaste mane jado SCFM.	Sg. del gas.	Cg. cal- culado.	Marca y Diseño	Tamaño del cuer po pulgadas.	Tamaño ori ficio pulg.	Apertura - normal % carrera del vástago.
1	Gas combustible antes separador TV-1	40 122	0.562	52	Fisher Diseño A Micro Flute Pup Inner Valve	3/4	3/4	70
2	Aire de arranque después tanques- acumuladores. TV-2 y TV-4	1 750	1	3.7	Fisher Diseño DA Micro Flute Inner Valve	1	1/4	60

CONTROLADORES DE PRESION (CP)

No.	Servicio	Gasto mane- jado Lofh.	Sg. gas manejado	Descripción y marca.	Tipo	Tamaño del cuerpo pul- gadas.	Tamaño del erificie - pulgadas.	Presión en trada al - controla-- dor psi.	Presión sa- lida del -- controlador psi.
1	Gas de proceso cabezal de suc- ción.	225 000	0.724	Válvula de- contrapre-- sión Fisher	63F	4	--	40	13
2	Aire de arran- que. Aire de instru- mentos.	10 440	1	Regulador - de presión- Fisher.	630 W191	2	1/4	250	50
3	Gas combusti-- ble compresora aire arranque.	2 520	0.565	Regulador - de servicio de gas.	7300 1B6539	1 1/4	5/16	100	0.5-1
4	Aire unidad en- cendida remoto	600	1	Regulador - de presión- Fisher.	621 1D3923	1	3/32	250	5
5	Gas combusti-- ble unidad en- cendida remoto	600	0.565	Regulador - de presión- Fisher.	621 1D3923	1	3/32	100	5
6	Gas combusti-- ble pilotes -- quemador	1 300	0.565	Regulador - de presión- Fisher	621 1D3923	1	1/3	100	5

V A L V U L A S D E S E G U R I D A D (VS)

No.	Servicio	Sg. gas manejado	Marca Modelo Tipo orificio	Medidas pul- gadas.	Area selec- cionada pulg <sup>2</sup> .	Presión de - descarga psia
1	Gas combustible Separador TV-1	0.565	Consolidated Acero Modelo 1905 Fc. Orificio F estándar.	1 1/2 x 2	0.307	129.7
2	Aire instrumenta. TV-2	1	Consolidated Acero Modelo 1905 C	1/2 x 1	0.04	159.7
3	Aire arranque TV-3	1	Consolidated Acero Modelo 1975 C	1/2 x 1	0.04	239.7
4	Aire arranque TV-4	1	Consolidated Acero Modelo 1975 C	1/2 x 1	0.04	239.7
5	Aire arranque Después VCF-2	1	Consolidated Acero Modelo 1906 Gc. Orificio G estándar.	1 1/2 x 2 1/2	0.503	214.7
6	Aire instrumentos antes prefiltro	1	Consolidated Acero Modelo 1906 Hc. Orificio H.	1 1/2 x 3	0.735	139.7
7	Gas de proceso Separador TV5-1	0.724	Consolidated Acero Modelo 1905 Rc. Orificio R	6 x 3	16.0	50
8	Gas de proceso Trampa de líquidos TL-1	0.724	Consolidated Acero Modelo 1975 C.	1/2 x 1	0.04	660

ORIFICIOS DE MEDICION.

Se instalarán en los cabezales de succión y descarga los portaorificios para las placas de orificio, las cuales serán calculadas considerando un diámetro en los cabezales, que maneje la capacidad de las cuatro máquinas. Las placas de orificio serán intercambiables y calculadas para los flujos de 1, 2, 3 y 4 compresoras.

M E D I D O S D E C L I F I C I O (O F)

No.	Servicio	Qh (CFM)	Pf <sub>1</sub> (Psia)	T (°F)	hw (in agua)	hw (in agua)	D I (in)	F	G'
1.	Entrada TV-1	40 122	114.7	100	50	35	2.06	0.7	531
2	Cabezal descarga 600 Psia	225 000	600	130	100	70	6.07	0.35	1103
		450 000						0.49	2216
		675 000						0.585	3273
		900 000						0.67	4513
3	Cabezal descarga 1000 Psia	225 000	1000	130	200	140	4.02	0.33	610
		450 000						0.54	1231
		675 000						0.64	1315
		900 000						0.72	2434
4	Cabezal succión	225 000	30	100	50	35	15	0.35	6763
		450 000						0.49	13635
		675 000						0.59	20494
		900 000						0.63	23644

M E D I D O R E S   D E   O R I F I C I O   (O F)

No.	(h calc. (CFH)	do (ir)
1	40 200	1.44
	225 954.5	2.125
2	454 134.3	2.970
	671 209.1	3.543
	925 325.0	4.063
	228 356.4	1.53
3	460 715.5	2.174
	679 324.4	2.576
	910 313.3	2.398
	219 273.5	5.25
4	441 730.6	7.35
	664 009.3	3.35
	923 000.9	10.20



## CAPITULO VII

### INSTALACION, MANTENIMIENTO Y OPERACION

#### INSTALACION DE COMPRESORAS.

##### INTRODUCCION.

El completo éxito en cualquier instalación depende del cuidado que se haya tenido en la selección del tipo y tamaño del compresor y de como sus características son adaptadas al trabajo específico.

Una instalación realizada cuidadosamente de acuerdo a los planos originales proporciona en un futuro, una operación simple y segura con un bajo costo de mantenimiento.

##### LOCALIZACION.

El lugar más apropiado para la instalación de cualquier compresora es cerca de su centro de carga, aunque el lugar escogido va a estar influenciado por el costo de supervisión y operación que se tenga en ese punto.

Un compresor siempre dará un mejor servicio cuando se tenga resguardado dentro de un edificio. En

climas fríos, el edificio deberá contar con aire acondicionado. Pero como en este caso la instalación de las compresoras se llevará a cabo en un clima cálido (zona sur de la República) resulta económico usar sólo un techo, con lo cual únicamente debemos prestar atención a su construcción para evitar que la lluvia y la arena que arrastra el viento, no penetren dentro de las compresoras.

Cuando se lleve a cabo la instalación de las compresoras es apropiado contar con una grúa para poder mover las partes pesadas, ésta misma nos servirá después para el mantenimiento necesario a las compresoras.

#### CIMENTACION.

Cualquier compresor estacionario debe estar anclado a una sólida armadura. Dependiendo del tamaño y tipo de compresor, la armadura variará desde un simple anclaje hasta una cimentación larga y compacta.

#### OBJETIVOS BASICOS DE LA CIMENTACION:

- 1) La carga dinámica no debe ser excesiva a cualquier punto de la base de cimentación.
- 2) La carga total debe ser distribuida en toda el área.
- 3) El tamaño de los blocks de cimentación debe

de ser tal que la fuerza vertical resultante debida a la máquina, el block y las fuerzas inerciales caigan dentro de la base de cimentación.

- 4) La cimentación deberá ser lo suficientemente compacta para prevenir cualquier deslizamiento del terreno.
- 5) Las variaciones de temperatura en la cimentación deben ser uniformes.

En este caso, en el cual se van a usar compresoras reciprocantes, es recomendable la construcción de una cimentación combinada debido a que la fuerza usada por una compresora reciprocante tiende a balancear parcialmente las fuerzas usadas por los otros.

Hay que tomar en cuenta que una compresora reciprocante, debido al movimiento alterno que poseen sus pistones y demás partes, desarrolla una fuerza inicial de dirección variable, la cual debe ser sumada a la carga total en el cálculo de la cimentación.

Las fuerzas inerciales pueden tener dos efectos, una fuerza en la dirección del movimiento del pistón y otra fuerza que crea un momento (o par) que se desarrolla cuando hay un balance entre los ejes de 2 ó más compresoras sobre un cigüeñal común.

La interrelación que existe entre estas fuerzas,

dependerá de varios factores: El número de cigüeñas, su longitud, el arreglo de los cilindros y el grado de balanceo posible.

Dos movimientos periódicos vibratoriales son establecidos: el primero a la velocidad de rotación de la compresora y el segundo a 2 veces la velocidad de rotación.

El diseño de la cimentación debe de llevarse a cabo de tal manera que su período natural de vibración esté capacitado para cambiar por el primero y segundo períodos impuestos por la compresora.

Si no se toman en cuenta estos factores, la resonancia puede ocurrir aumentando de amplitud la vibración y creando alteraciones en la cimentación.

#### PROTECCION.

Las compresoras son protegidas contra la corrosión y el deterioro natural durante su venta, pero esta protección no es suficiente para protegerla hasta su instalación. Si existe un retraso en la instalación y puesta en servicio de la compresora, se deben tener en cuenta atenciones especiales. La mínima precaución que debe tomarse en cuenta es la construcción de un edificio (casa de compresoras) en el cual se mantiene a las compresoras protegidas de los ele-

mentos.

#### MONTAJE.

Uno de los primeros puntos que se tienen que revisar antes de proceder al montaje, es que en la cimentación previamente construída se hayan tomado en cuenta los pesos y volúmenes de todos los equipos auxiliares de la compresora, esto es, los enfriadores, las bombas, los separadores, los filtros, etc., para evitar problemas posteriores que serían difíciles de solucionar.

El primer paso que se tiene en el montaje de la compresora es la perfecta alineación que se debe buscar entre la máquina y su accionador (turbina o motor), ya que el funcionamiento de la compresora va a depender en gran parte del acoplamiento que se haya logrado.

#### TUBERIA.

Una de las cosas más importantes que hay que tomar en cuenta antes del arranque de una compresora es la limpieza de la tubería. Cualquier líquido, suciedad, moho, escamas, etc., que se introduzcan en la compresora causará escoriaciones en los empaques, cilindros, pistones, válvulas, etc., provocando una disminución en su eficiencia.

Es importante que la tubería presente un cierto número de bridas, de tal manera que se tengan tramos cortos de tubería fácilmente desmontables para darles limpieza y buen servicio. Es mejor probar y limpiar la tubería por secciones antes de su instalación definitiva y evitar de esta manera el uso de equipos mecánicos de limpieza que serían muy costosos.

Antes de llevar a cabo la prueba hidrostática en la tubería es necesario asegurarse que ésta se encuentre provista de venteos en los lugares de alta presión, para evitar que el aire o el gas quede atrapado en la tubería.

Después de haberse efectuado la prueba hidrostática y una vez que las secciones de tubería han sido aseadas, es necesario efectuar una segunda limpieza en la tubería de la siguiente forma:

- 1) Limpiar con HCl la tubería durante un lapso de más o menos 14 hrs. haciendo circular el ácido con una pequeña bomba. Se debe usar una solución del 5 al 12% dependiendo de las condiciones en que se encuentre la tubería.
- 2) Neutralizar con sosa caústica.
- 3) Hacer pasar aire caliente por varias horas.
- 4) Llenar con aceite mineral de sello y drenar.
- 5) Eliminar el mineral con aire caliente.

En tuberías largas este tipo de limpieza puede realizarse mediante el uso de aparatos mecánicos, como trampas de diablo, sistemas de vacío, etc.

Una vez terminado este procedimiento de limpieza es conveniente colocar un filtro temporal en la línea de succión para recoger todas aquellas partículas (de aproximadamente 230 microns de diámetro) que no hayan sido eliminadas.

Hay que tener cuidado que la caída de presión a través del prefiltro no exceda a la recomendada por el fabricante, en caso de que no sea así, hay que remover el filtro y limpiarlo. Una vez que el filtro no recoja ninguna impureza debe ser retirado.

La tubería de descarga debe estar diseñada de tal manera que se absorban las expansiones, provocadas por el cambio en las condiciones de presión y temperatura.

Antes de que la tubería sea instalada es recomendable analizar los diagramas de tubería para poder localizar todos aquellos puntos bajos en los cuales se pueda estancar líquido. En caso de que no se puedan eliminar estos columpios es necesario proveer a la instalación de drenes.

#### SISTEMA DE SEGURIDAD.

Todas las compresoras deben de presentar un sis-

tema de relevo que les permita en un cierto momento un desahogo de las líneas cuando se presenta una presión elevada.

Se consideran dos clases de válvulas para el sistema de desfogue de las compresoras, las válvulas de seguridad y las de relevo. Las primeras son usadas en compresoras centrífugas y tienen la propiedad de crear un alivio completo de la línea; las válvulas de relevo se usan en compresoras reciprocantes y efectúan su relevo en una forma gradual, que va a depender de la presión ejercida sobre ésta.

Siempre se debe de instalar una válvula de seguridad entre cualquier válvula y la compresora. Este es el caso de las líneas de descarga, ya que si la válvula de bloqueo por alguna causa no se abre causarí un desastre a la compresora.



## MANTENIMIENTO Y OPERACION

El mantenimiento y la operación consisten en la continua vigilancia de la verificación de todos y cada uno de los puntos marcado en un programa autorizado.

Sin importar el tamaño o tipo de compresor de que se trate alguna persona debe estar encargada de ese tipo de trabajo y por tanto debe tener libre acceso a todos los libros y manuales referentes al respecto.

La operación y el mantenimiento involucran inspecciones rutinarias, que se hacen, según se requiera, cada hora, cada día, cada semana, etc.

Deben elaborarse y conservarse registros, cuyo análisis mostrará las necesidades de mantenimiento que ayudarán a prevenir o evitar situaciones críticas. Muchas veces los registros nos permiten explicar que ha sucedido cuando se tienen problemas con las máquinas y aún accidentes.

Para mantenimiento que se base en estricta rutina, debe contarse con papeletas especiales que deben indicarnos cosas tales como fecha del problema; comentarios sobre el estado en que se hallaron ciertas partes, válvulas por ejemplo; fecha de inspección, etc.

Este tipo de registros permite programar el llamado mantenimiento preventivo por medio del cual, los encargados de las máquinas tendrán noticia de lo que se requiere hacer en determinados casos, cuando hacerlo, pudiendo asegurarse de que contarán con las partes o refacciones que necesiten para resolver el problema.

#### LIMPIEZA.

La limpieza interna, y con ella gran parte del buen funcionamiento de un compresor, dependen de variables tales como la limpieza de la tubería, del gas, de los filtros de entrada, del manejo y uso que se dé al aceite lubricante y del cuidado que se tenga de evitar la entrada de partículas extrañas cuando la máquina esté abierta para mantenimiento. No deben olvidarse los cambiadores de calor, ya que la transferencia puede verse obstaculizada por incrustaciones de mugre, polvo o aceite. Para la limpieza de los enfriadores, puede usarse normalmente, un solvente que presente ciertas condiciones de seguridad, específicamente de poca inflamabilidad, así como aire a presión, teniendo cuidado especial de no usar solvente en lugares calientes.

La limpieza externa es también parte de una buena operación. Las unidades deben estar protegidas adecuadamente de los elementos y no deben permitirse, mugre, polvo y vapor en la casa de compresoras.

## LUBRICACION.

La lubricación es uno de los factores más importantes que afectan la operación.

Sin una adecuada lubricación, el desgaste y la fricción pueden ser excesivos y la operación continua del equipo sería imposible. Sin embargo, aparte de minimizar la fricción y el desgaste, los lubricantes tienen también otras importantes funciones como son: enfriar apoyos y émbolos, proteger el metal contra la corrosión y la formación de depósitos, sellar fugas de gas llenando el interior de los estoperos del vástago.

La selección de los lubricantes apropiados y el establecimiento de un programa para el mantenimiento correcto de los sistemas de lubricación, son decisivas para obtener el máximo rendimiento del equipo de compresión.

### CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LOS SISTEMAS DE LUBRICACION:

Los sistemas de lubricación de las unidades motocompresoras básicamente se dividen en dos tipos: el primero, mediante una presión constante de aceite, lubrica las chumaceras de biela y bancada, el turbocargador, los mecanismos de engranes para las tomas de fuerza de la bomba de agua, bomba de aceite, gobernador, árboles de levas, en algunas ocasiones los ci-

lindros de fuerza, etc., según el equipo de que se trate. El circuito de lubricación se compone de las siguientes etapas: cabezal de succión de aceite del cárter, bomba de aceite, válvula termostática, enfriador de aceite, derivación para la prelubricación, filtro principal de aceite, filtros secundarios, cabeza general de lubricación a las partes que se lubrican y/o enfrían y escurrimiento del cárter.

El segundo sistema es el de lubricación forzada. Aunque existen diferentes arreglos según las características y modelo de la máquina, el sistema típico consta de las siguientes partes: tanque de aceite, bombas de inyección, cabezal, filtro, medidor, válvula de paro por falta de flujo, block maestro de distribución, blocks secundarios y válvulas de retención en los puntos de aplicación. En este sistema siempre se tendrá un flujo constante de aceite nuevo, por lo que éste únicamente se utiliza una vez.

Considerando que el aceite que se utiliza presenta siempre la calidad adecuada, lo único que se vigila es la dosificación y el mantenimiento en líneas, bombas, dosificadores y conexiones.

Para la dosificación del aceite a los puntos de lubricación, una vez definido el consumo y el tipo de aceite a usarse, se siguen los siguientes pasos:

- 1) Verificar el número de bombas de lubricación,

tipo, carrera y diámetro del émbolo de inyección.

- 2) Verificar el número de emboladas por minuto de la bomba de lubricación.
- 3) Verificar el número de gotas por embolada dando el ajuste máximo al émbolo de la bomba.
- 4) De acuerdo con el dato anterior calcular el volumen de las gotas que estará en función de la viscosidad y temperatura que tenga el aceite en ese momento.
- 5) Con todos los datos anteriores, calcular el ajuste en gotas por embolada para las bombas de inyección.

#### INTERPRETACION DE RESULTADOS Y ELABORACION DE REPORTE.

Mientras la unidad esté en operación, el aceite lubricante debe recibir especial atención, de tal manera que deben efectuarse pruebas y análisis para estar seguros de que éste se encuentra libre de agua, limpio y presente las debidas propiedades lubricantes.

Después de conocer el resultado de los análisis, se elabora el reporte con las correspondientes recomendaciones considerando también la influencia relativa de los siguientes aspectos:

Tiempo que tiene el aceite en la máquina, condición de las válvulas y líneas de muestreo, modo de

tomar la muestra, condiciones del desarrollo del análisis, tipo y modelo de la máquina, clase de revisión y reparación mecánica más reciente, principalmente en chumaceras.

Los análisis y tomas de muestra se programan a las 24 hrs. después del cambio de aceite y después cada mes.

El jefe del departamento y el ingeniero encargado del área donde se localiza la máquina, tienen un expediente para cada unidad, donde se conserva toda la información relativa a la lubricación y mensualmente elaboran un informe general de las condiciones del aceite y filtros de todas las unidades.

#### SISTEMA DE TRABAJO Y CONTROL DE ANALISIS.

Un sistema de trabajo y control propuesto es el siguiente:

Colocar un tablero en el laboratorio, en el cual se enlistan cada una de las unidades en el eje vertical y el tiempo de trabajo del aceite en días, en el eje horizontal.

Recibir diariamente un informe con el número de horas acumuladas del aceite en las máquinas, si la máquina está en revisión programada, si tuvo cambio de aceite, si está de relevo, etc.

Con estos datos tomados desde el último cambio o

limpieza de bujías, permanencia del aceite y filtros en las máquinas, desde la última revisión programada, es muy fácil tener una noción general de todo el sistema.

En general, este sistema presenta las siguientes ventajas:

- 1) Impide que se desatienda alguna máquina por falta de información.
- 2) Orienta en la formación de un criterio de prioridades en cuanto a ejecución de mantenimiento.
- 3) Proporciona información exacta para la elaboración de reportes y estudios.
- 4) Previsión de daños mayores en las motocompresoras por el uso de aceite y filtros en malas condiciones.
- 5) Reducción de los costos de mantenimiento debidos a cambios innecesarios de aceite y filtros en no malas condiciones, así como fallas y consumos exagerados de las mismas.
- 6) Control adecuado de las condiciones de operación de las unidades.

#### ALGUNAS REGLAS DE SEGURIDAD REFERENTES A OPERACION Y MANTENIMIENTO.

- 1) Antes de intentar dar cualquier tipo de manteni-

miento, debe uno asegurarse de que la compresora no puede arrancar accidentalmente, tire del switch y saque los fusibles. Desconecte.

- 2) En el caso de que existan acumuladores del fluido manejado, como en el caso de aire, vacíelos, así como los interenfriadores y post-enfriadores.
- 3) Asegúrese de que no hay presión manométrica en la máquina antes de abrir, en el caso de una máquina reciprocante, vaya aflojando paulatinamente todas las tuercas de la cubierta del compresor, para que si hay gas atrapado vaya saliendo éste poco a poco.
- 4) En máquinas reciprocantes de cruceta, coloque un bloque de madera en el cilindro, entre el pistón y la cabeza, para evitar su movimiento, haga esto através del orificio de una de las válvulas, a veces es más conveniente bloquear la cruceta en la armadura.
- 5) Para limpiar el compresor use siempre un solvente seguro y seque perfectamente las partes antes de ponerlas en su sitio nuevamente.
- 6) Abra manualmente las válvulas de seguridad al menos una vez a la semana.
- 7) Si una válvula de seguridad acciona durante la operación, detenga la unidad inmediatamente y determine la causa. Una válvula de seguridad de un interenfriador se abrirá cuando haya fuga en el



paso de mayor presión. Las válvulas de seguridad de un acumulador actuarán, generalmente, sólo si la cantidad de gas manejado es superior a su capacidad.

- 8) Lea cuidadosamente el instructivo.

#### PRIMER ARRANQUE.

Para arrancar un compresor por primera vez, y en general para cualquier arranque, las acciones que deben efectuarse y el orden en que deben hacerse, están anotadas en el instructivo. Estos pasos deben seguirse cuidadosamente e incluyen los siguientes, aunque pueden variar según la unidad de que se trate:

- 1) Asegúrese de que todos los colectores de aceite y los lubricadores están llenos con el aceite adecuado.
- 2) Asegúrese de que todas las líneas que llevan aceite y los lubricadores están funcionando adecuadamente.
- 3) Abra las válvulas apropiadas en las líneas de carga y descarga y en los reguladores. Asegúrese de que la unidad no está cargada.
- 4) Limpie la máquina, la cimentación y el piso alrededor de ella. Aleje todas las herramientas, trapos, etc.
- 5) Asegúrese de que los filtros de entrada y las ma-

llas están en su lugar y cargadas con el aceite necesario.

- 6) Abra el agua de enfriamiento.
- 7) Haga, a mano, que la máquina dé varias vueltas, para asegurarse de que todo está libre y opera adecuadamente.
- 8) Asegúrese de que la unidad gira en la dirección apropiada.

#### PERIODO DE ASENTAMIENTO.

Tiene muchas ventajas el asentamiento adecuado de una compresora antes de ponerla bajo carga continuamente.

Durante el período de asentamiento, es necesario que las partes que trabajan por fricción establezcan un contacto satisfactorio. Para lograrlo debe producirse cierta cantidad de desgaste o redondeo entre las partes. Probablemente este es el período más crítico en la vida de tales partes y la demanda de lubricante es de las mayores. El aceite debe afirmar la lubricación, mantener los puntos de contacto lo suficientemente fríos y remover las partículas producidas por el desgaste y mugre que pueda acumularse. Consulte el instructivo sobre el aceite más adecuado para el asentamiento de los cilindros.

La mayoría de los compresores rotatorios del tipo de aspas o hélice, así como las dinámicas, están probadas de fábrica y normalmente requieren de unas cuantas horas de

asentamiento. Las compresoras reciprocantes, generalmente deben ser operadas parcialmente cargadas durante algún tiempo antes de que sean operadas continuamente.

#### CONTROL DE CAPACIDAD.

Existen muchos tipos y diseños de control de capacidad dependiendo del servicio, tipo de máquina e impulsor.

Los controles son probados por el fabricante antes de ser enviados y pueden operar durante períodos largos de tiempo sin mucha atención. Pueden mencionarse al respecto dos reglas importantes: no "juegue" con el control más de lo necesario y lea cuidadosamente las instrucciones del fabricante y sígalas al pie de la letra.

Asegúrese de que el aire para operar los controles está limpio. Use un pequeño filtro interior o una malla antes del regulador de la máquina si no se tiene como equipo estandar.

Esté seguro de que el aire que opera los controles no acarree humedad. Haga que la tubería llegue en forma oblicua a los acumuladores si es el caso.

El número de arranques por hora está limitado ya que un número demasiado frecuente provoca sobrecalentamiento a los motores.

#### PARTES DE REPUESTO.

El proveedor de la unidad debe proporcionar una lista

de partes de repuesto recomendables, las cuales, si se cuenta con ellas, garantizan de cierto modo, que no se tendrán tiempos largos fuera de operación debidos a dificultades en la adquisición de dichas partes.

Debe contarse con los repuestos desde el período de asentamiento y si es necesario deben engrasarse y aún envolverse con papel impermeable, así como guardarse en un lugar limpio y seco.

La mayoría de los problemas respecto a funcionamiento de compresoras pueden resolverse con sólo mano de obra y desmantelamiento, con la consecuente pérdida de tiempo de operación y el cambio de algunas partes. Si se tienen largos períodos de operación sin el enfriamiento y la lubricación necesarios, pueden originarse problemas grandes. La falta del cuidado apropiado de cualquier parte de la máquina trae como resultado una serie de problemas menores que a veces provocan una avería mayor.

Los problemas menores son aquellos que pueden corregirse haciendo un ajuste, reemplazando una parte pequeña, etc., y son en su mayoría debidos a que el personal encargado de la máquina no está familiarizado con las funciones de la misma.

Para evitar problemas debe tenerse un verdadero conocimiento de las funciones que interrelacionan varias partes y del efecto de condiciones adversas. Los instructivos desarrollan este tema en detalle y debe ser del conoci-

miento común del personal de operación y mantenimiento.

#### COMPRESORAS RECIPROCANTES.

Aunque muchas compresoras reciprocantes se prueban de fábrica, y están parcialmente aflojadas antes del embarque, unidades mayores pueden no haber sido corridas antes de ser instaladas.

Siempre que se instalan partes nuevas, debe repetirse el período de asentamiento.

Las compresoras con cruceta tienen un conjunto de anillos limpiadores que evitan que el aceite escurra a lo largo del vástago. Debe ser verificado frecuentemente el funcionamiento de dichos anillos. El hecho de que el cárter se vacíe rápidamente puede indicar que necesitan atención. Cuando sea necesario reemplazar los anillos asegúrese de que los nuevos sean colocados correctamente.

#### VALVULAS.

Las válvulas son las partes más importantes de cualquier compresor reciprocante. Los puntos fundamentales de operación y mantenimiento en lo que se refiere a la vida de las válvulas de compresores son los siguientes en orden de importancia:

- 1) Un número limitado de personal bien entrenado al respecto.
- 2) Gas limpio.

- 3) Ausencia de líquidos.
- 4) Lubricación adecuada y
- 5) Registros sistemáticos.

#### LA IMPORTANCIA DE LA CARRERA DEL VASTAGO DE UNA VALVULA.

Para cualquier tipo de válvula, la carrera del vástago afecta tanto a la eficiencia como a la durabilidad. Una carrera grande podría causar falla prematura de la válvula debido a la fatiga causada por el impacto. Una carrera pequeña podría tener como resultado una velocidad del gas excesiva, grandes pérdidas y consecuentemente ineficiencia.

Por lo anterior debe mantenerse la carrera de diseño de la válvula. Los instructivos de los fabricantes son muy detallados en cuanto a esto. No debe alterarse la carrera original sin consultar al fabricante.

#### CAUSAS QUE PUEDEN OCASIONAR QUE UNA VALVULA FAILE.

- 1) Desgaste y fatiga.
- 2) Funcionamiento anormal: golpeteo, vibración y resonancia o pulsación.
- 3) Materiales extraños. Estos pueden ser: líquidos, aire sucio, depósitos carbónicos y elementos corrosivos.

## UTILIDAD DE LOS REGISTROS.

Los problemas que presentan las válvulas pueden tener un patrón definido y el descubrirlo es casi siempre recompensa de llevar buenos registros. Los registros no necesitan ser complicados, pero deben involucrar, separadamente para cada cilindro y válvula, fecha de inspección, condiciones de la válvula, partes reemplazadas, reacondicionamiento requerido y horas aproximadas de operación desde la última inspección. Debe anotarse también la localización de cada válvula.

## INSPECCION.

- 1) Las válvulas deben inspeccionarse al finalizar los tres primeros meses de servicio. Las inspecciones posteriores deben programarse de acuerdo al funcionamiento que presenten las válvulas pero en un tiempo no mayor de seis meses. Las compresoras de dos o más pasos requieren menos servicio de válvulas que las de un solo paso debido a que trabajan con temperaturas más bajas. Cuando se rompa una válvula, localice y asegure todas las piezas, ya que de otro modo podría penetrar al cilindro causando raspaduras y otros daños. Cuando se desarme una válvula debe tenerse cuidado de tener las piezas de tal manera ordenadas que cada una pueda ser

colocada en el sitio exacto donde se encontraba. Los resortes de las válvulas de succión y descarga son diferentes, no los confunda; los de descarga son generalmente más fuertes.

- 2) Deben realizarse análisis periódicos para verificar que el aceite se encuentre en buenas condiciones para dar una lubricación adecuada.
- 3) Todas las partes deben permanecer libres de agua.
- 4) Los coples, si los hay, deben estar completamente secos.
- 5) Deben inspeccionarse debidamente todas las partes para evitar erosión, corrosión y rompimientos. Todas las partes estáticas, como son los sellos, deben presentar especial cuidado en la inspección.
- 6) El rotor del compresor debe ser examinado en lo que se refiere a corrosión, erosión y golpes. Si hay algún indicio de desbalanceo en el rotor, debe eliminarse antes de que éste retorne a servicio.
- 7) Si se utilizan motores eléctricos, tanto el interior como el exterior deben mantenerse limpios. El motor puede ser limpiado por succión, para evitar contaminación con cuerpos extraños que pueda contener el aire.
- 8) Todas las partes estacionarias de la máquina deben ser checadas, reparadas o cambiadas si es necesario.
- 9) Los manuales de protección deben ser checados tem-



poralmente para ser ajustados y renovados de acuerdo al avance de la técnica.

- 10) Los sistemas de regulación y gobierno deben mantenerse siempre limpios, libres de cuerpos extraños y se deben reemplazar las piezas que por el uso se deterioren.
- 11) Los sistemas auxiliares deben ser revisados de tal manera que siempre brinden el servicio deseado y que toda la instrumentación haya sido debidamente calibrada.
- 12) Si el compresor presenta separadores, éstos deben estar siempre ajustados a las condiciones de operación.
- 13) El filtro del aire, cualquier otro equipo externo, la tubería y la unidad misma, deben tener un control de limpieza. La tubería debe ser chequeada para que no presente cuerpos extraños que puedan introducirse en la máquina.
- 14) Cuando la unidad es reensamblada, se debe hacer un chequeo de vibración y si ésta es excesiva deben buscarse las causas y hacerse las correcciones necesarias.
- 15) Al final de cada inspección debe hacerse un record de todos los cambios efectuados y de las condiciones encontradas en cada unidad.

En general la inspección sirve para dos propósitos:

el primero es determinar qué partes están sucias, maltradas o necesitan reparación. El segundo es determinar el tiempo de vida de cada parte de la unidad para tomar las precauciones debidas antes de que alguna falla pueda causar problemas.

#### REACONDICIONAMIENTO.

Limpie con un solvente adecuado. Puede usarse un cepillo de cerdas de alambre suaves para todas las partes excepto para los asientos.

Evite que las piezas se rayen, se piquen o se caigan. Cambie las válvulas cuando estén estropeadas; no espere a que se rompan.

Cuide de no torcer los resortes o cambiar su forma.

No ponga válvulas nuevas en asientos estropeados.

No ponga válvulas estropeadas en asientos nuevos o reacondicionados.

Dé acabados suaves a las superficies de los asientos. El esmerilado es el mejor.

No altere la carrera del vástago de la válvula.

Si se guardan válvulas para uso posterior, aplíqueles un recubrimiento protector y envuélvalas cuidadosamente. Verifique su estado antes de usarlas.

Después de haber reensamblado una válvula cheque su soldadura para asegurarse de que puede abrir completamente.

Al colocar nuevamente una válvula debe tenerse cuida

do con las juntas y empaques. Es mejor usar nuevos, aunque a veces es posible volver a usarlos con una cuidadosa inspección en la que debe verificarse que no tengan hendiduras, picaduras ni rajaduras. Un empaque defectuoso, que permita fugas puede ocasionar un nuevo paro y trabajos de reparación. El espesor de juntas y empaques es muy importante. Es conveniente usar únicamente el empaque recomendado por el fabricante.

Sea especialmente cuidadoso en colocar las válvulas correctamente, las de entrada en la succión y las de salida en la descarga. Aunque a veces, en cierto tipo de unidades, es posible intercambiarlas sin que se provoquen problemas, es conveniente marcar tanto las válvulas como los agujeros del cilindro para evitar confusiones. Pueden ocasionarse daños graves si las válvulas no se colocan en su sitio.

#### PERIODOS LARGOS FUERA DE OPERACION.

Cualquier compresor, cuando se saca de servicio por un período largo de tiempo se deteriorará rápidamente por corrosión y oxidación si no se protege adecuadamente. A continuación se enumeran ciertas precauciones básicas respecto a compresoras reciprocantes.

#### COMPRESORES ENFRIADOS POR AIRE.

El cárter debe drenarse y después llenarse con

aceite que lo conserve en buen estado. Ese aceite debe contener más inhibidores que el aceite común. La máquina debe operarse un mínimo de 15 minutos sin presión para una distribución completa y expulsión de cualquier condensado que haya en el cárter.

Todas las aberturas deben taparse para evitar humedad.

Si se tienen acumuladores de gas comprimido drénelos, así como los enfriadores. Debe tenerse cuidado de seguir las instrucciones del fabricante respecto al impulsor.

Con las precauciones anteriores, el compresor puede guardarse durante un año. Sin embargo, si la unidad puede operarse durante 30 minutos cada 2 ó 3 semanas a toda carga seguidos de 15 minutos de operación sin presión, puede no ser necesario tomar las precauciones antes mencionadas.

#### COMPRESORES CON CRUCETA.

Cuando se va a parar por 3 ó 4 días, opere el compresor sin carga durante 10 ó 15 minutos. Simultáneamente haga operar a mano el cilindro y el lubricador para bombear aceite extra.

Si el paro se prolonga por más tiempo, quite el empaque del vástago del pistón y aceite los anillos limpiadores y engrase el vástago. Si el tiempo fuera

aún mayor, pida instrucciones completas al fabricante.

Debe drenarse toda el agua de las chaquetas y enfriadores, separadores, trampas de drenes y enfriadores de aceite. Si no se hace ésto, de haber congelamiento, las chaquetas cilíndricas o los tubos enfriadores podrían reventar.

Cuando se ponga nuevamente en servicio la unidad, proceda como si fuera a arrancar por primera vez una máquina nueva.

#### CHEQUEOS DE RUTINA.

Las rutinas de operación y mantenimiento variarán de acuerdo al tamaño y tipo de compresora. Como para todo, deben seguirse siempre las instrucciones del fabricante. Las rutinas que a continuación se mencionan pueden tomarse como normas generales.

#### COMPRESORES ENFRIADOS POR AIRE.

8 ó 10 horas después del arranque, deben apretarse todos los tornillos de la cabeza, de las cubiertas de las válvulas, de las bridas del cilindro, de la base, etc., al torque recomendado.

Semanalmente debe checarsé la limpieza de los filtros de aire. Drene los acumuladores e interenfriadores. En ambientes húmedos, puede necesitarse drenes con mayor frecuencia. Cheque y mantenga el ni-

vel adecuado de aceite en el cárter. Abra manualmente todas las válvulas de seguridad.

Mensualmente. Limpie la máquina y el impulsor exteriormente. Con su salida cerrada, cheque el tiempo en que se llenan los acumuladores. Revise las tuberías para localizar fugas.

Cada 2 ó 3 meses. Cambie el aceite del cárter. Apriete los tornillos y cheque las tensiones en las bandas.

Cada 6 meses máximo. Quite y limpie todas las válvulas. La primera vez hágalo 2 ó 3 meses después del primer arranque. Vea que no haya depósitos de cualquier tipo en ninguna parte de la unidad.

#### COMPRESORAS CON CRUCETA.

Al menos una vez por turno. Cheque varias veces el funcionamiento de las trampas de condensados de todos los enfriadores. Verifique el flujo de agua de enfriamiento y la temperatura de salida de ésta cada 1 ó 2 horas. Si se usa sistema de lubricación de presión positiva, debe medirse la presión del aceite varias veces. Verifique las alimentaciones del cilindro y del lubricador y asegúrese de que se bombea aceite y de que los almacenamientos están llenos con el aceite adecuado. Verifique y registre la presión entre pasos y la de descarga. Si hay anomalías,

probablemente se tienen fugas.

Semanalmente. Detone manualmente las válvulas de seguridad. Mantenga la unidad y sus alrededores limpios. Cheque y mantenga el nivel de aceite en el cárter. Vea que esté limpio el filtro de entrada. Apriete los tornillos de la cimentación.

Cada 6 meses. Cambie el aceite del cárter (vea instructivo). Cheque las condiciones del lado del agua en enfriadores y chaquetas.

Anualmente. Cheque los claros entre los pistones y los cilindros. Ajuste la cruceta y demás partes para alinear el vástago del pistón.

Según se requiera (al menos una vez al año). Cheque las condiciones de todas las válvulas. Verifique la efectividad de la lubricación. Observe y corrija si es necesario las condiciones del cilindro. **NOTA IMPORTANTE.** Si en alguna ocasión y por cualquier causa el compresor estuviera trabajando sin agua de enfriamiento y se sobrecalentaran los cilindros, no debe pasarse agua hasta que se enfríen. Un contacto repentino con agua fría podría resquebrajar el cilindro.

#### TUBERIA.

La tubería de aire, vapor o gas para un compresor debe ser cuidadosamente instalada para evitar rompimien-

tos que hagan que la máquina salga de operación. La tu  
bería debe estar bien alineada con la máquina de tal ma  
nera que se eviten vibraciones que puedan ocasionar ro-  
turas de ésta.

El rompimiento de una tubería puede darse en los  
siguientes casos:

- 1) Debido el peso propio de la tubería.
- 2) Debido a las expansiones y contracciones de la  
tubería al haber cambios de temperatura.
- 3) Y a los cambios en las presiones internas en  
la tubería.

El uso de soportes adecuados debidamente colocados  
en la tubería, puede evitar fracturas ocasionadas por  
el primer caso.

El segundo caso se evita colocando juntas de expan  
sión, cuyo tipo será diferente, según se trabaje a al-  
tas o bajas temperaturas.

Otro método para evitar la expansión térmica es  
usar una combinación de tubos y soportes flexibles  
(loops).

Si la maquinaria ejerce fuerzas muy grandes, de-  
ben hacerse tratamientos especiales a la cimentación y  
al montaje, para que soporten dichas fuerzas.

Al diseñarse la tubería, deben tomarse en cuenta  
la magnitud y dirección de la expansión, colocando an-  
clas que controlen los efectos mencionados.



Frecuentemente es necesario reducir el diámetro del tubo para igualarlo al empaque interior de la compresora, que es de menor diámetro. De igual manera, hay que aumentar el diámetro en la descarga.

A continuación se da un resumen del arreglo necesario para la tubería:

- 1) Proveer de los soportes adecuados a todo el sistema.
- 2) Permitir la expansión, de tal manera que se eviten fracturas en la tubería. Cada caso particular determinará el tipo de junta o aditamento adecuado para que se efectúe la expansión.
- 3) Instalar anclas en la tubería en número suficiente para controlar la magnitud y dirección de la expansión.
- 4) Diseñar la tubería de entrada y salida de tal manera que el flujo sea suave, es decir, con velocidad uniforme sobre el área del tubo.

## CAPITULO VIII

### MEDIDAS DE SEGURIDAD

#### INTRODUCCION.

En cualquier tipo de planta industrial en la que se usen herramientas y maquinaria pesada, en la que se tengan equipos de proceso tales como compresoras, bombas, torres, reactores, etc., y aunque no necesariamente se involucre reacción química, el personal de operación se encuentra en constante peligro de lesiones físicas porque aunque se tengan la pericia y el cuidado adecuado en el uso y manejo del equipo, pueden presentarse fallas mecánicas.

En este capítulo presentaremos de una manera general algunas de las principales medidas de seguridad que se deben de tomar en cuenta para el buen funcionamiento de la estación de compresión, haciendo hincapié que estas normas no comprenden el total de la seguridad en una planta de proceso, pero que sí nos dan una visión general de lo que realmente es la seguridad en la estación de compresión y de una manera más amplia lo que es la seguridad en la industria.

## TUBERIAS.

- 1) Se deberán establecer programas y procedimientos para determinar periódicamente el espesor de las tuberías en operación con objeto de tomar las medidas necesarias antes de que ocurra una falla por corrosión o erosión, tanto interna como externa.
- 2) Los gasoductos que transporten gas natural hidratado con o sin gases ácidos deberá protegerse contra corrosión interna, de preferencia empleando inhibidores.
- 3) Cuando por alguna razón se corte una porción de la tubería de transporte, deberá inspeccionarse su superficie interna y la de los tramos adyacentes para determinar en caso de una corrosión generalizada, la magnitud del área afectada.
- 4) Deberán reemplazarse todas las porciones de tubería que presenten corrosión localizada cuando:
  - 4.1) El diámetro o longitud del eje mayor de la picadura, medido al ras de la superficie sea mayor de 3 veces al valor del espesor original del tubo y su profundidad sea mayor de 0.1 pulgada o del espesor destinado a desgaste por corrosión.
  - 4.2) El espesor de pared remanente del tubo sea

inferior al 30% del espesor nominal.

- 5) Las tuberías de transporte deberán protegerse contra corrosión externa mediante recubrimientos y protección catódica.

#### **AREAS PELIGROSAS.**

En las instalaciones de producción en donde se obtienen, transfieren, manejan, almacenan o procesan líquido volátiles o gases inflamables, existen o pueden existir bajo determinadas condiciones áreas que pueden tornarse riesgosas al ocurrir liberación de gases o vapores que al combinarse con el aire en la proporción adecuada pueden formar mezclas inflamables o explosivas. Dichas áreas peligrosas y de acuerdo a normas de seguridad de Pemex y del Código Nacional Eléctrico Norteamericano, se clasifican como pertenecientes a la clase I, que a su vez se divide en las divisiones 1 y 2.

#### **AREAS CLASE I, DIVISION 1.**

Son aquellas en que existen continuamente o pueden existir con frecuencia ambientes contaminados por gases o vapores inflamables bajo condiciones normales de operación, durante los trabajos de operación y mantenimiento, o bien debido a fugas. También se clasifican en esta división las áreas en

las que la ruptura o falla del equipo, o anomalías en los procesos, pueden provocar al mismo tiempo que la liberación de gases o vapores inflamables, averías en el sistema eléctrico.

#### AREAS CLASE I, DIVISION 2.

Son aquellas áreas en las que los gases o líquidos volátiles inflamables se manejan almacenan y procesan en recipientes o sistemas cerrados, de los que sólo pueden escapar en el caso de rupturas o averías accidentales de los recipientes o sistemas, o en caso de una operación anormal del equipo. Además se clasifican en la división 2 las áreas en que las concentraciones de gases o vapores inflamables se evitan normalmente por medio de sistemas de ventilación mecánica positiva, pero que pueden llegar a ser peligrosas al fallar el sistema de ventilación mecánica; así como también las áreas adyacentes a la división 1 a las que pueden llegar ocasionalmente concentraciones de gases o vapores inflamables a menos que se evite la comunicación mediante un sistema de ventilación mecánica positiva adecuado.

#### AREAS NO PELIGROSAS.

Normalmente se consideran como áreas no peligrosas

las siguientes:

- a) Areas libremente ventiladas en las que se tengan las sustancias inflamables dentro de sistemas cerrados de tubería que estén formados únicamente por los tubos, válvulas, conexiones, bridas y medidores; siempre y cuando se les proporcione un mantenimiento adecuado.
- b) Areas con ventilación restringida en las que los sistemas de tubería para las sustancias inflamables no contengan válvulas, conexiones, bridas u otros accesorios.
- c) Areas donde existen permanentemente fuentes de ignición, tales como calentadores de fuego directo, quemadores, etc., siempre y cuando su localización esté de acuerdo con las normas establecidas.

En la estación de compresión podrían presentarse las siguientes áreas peligrosas:

- 1) Separador de gas de proceso TVS-1.

Se considera que existe a su alrededor un área peligrosa de la división 2 hasta una distancia de 3 m. en todas direcciones de la superficie exterior del recipiente.

- 2) Compresora de aire de arranque que opera con gas combustible.

Debe considerarse un área peligrosa de la divi-

sión 2 hasta una distancia de 1 m. en todas direcciones a partir de la superficie exterior de la compresora, además de un área de la misma división que se extenderá hasta 3 m. de distancia de la compresora y hasta una altura de 50 cm. sobre el nivel del piso.

3) Casa de compresoras.

Si las compresoras se instalan en un edificio libremente ventilado, abiertos por lo menos en uno de sus lados, como será el caso, debe considerarse que existe un área peligrosa de la división 2 hasta una distancia de 1.5 m. en todas direcciones a partir de la superficie exterior de las compresoras, además de un área de la misma división que se extenderá horizontalmente hasta 8 m. de distancia de la compresora y hasta una altura de 1 m. sobre el nivel del piso de la casa de compresoras.

SELECCION DEL EQUIPO ELECTRICO.

Siempre que sea posible deben evitarse o al menos limitarse al mínimo las instalaciones eléctricas en las áreas peligrosas como medida de seguridad.

Como en la estación de compresión se tienen fundamentalmente zonas de división 2, deben tomarse en cuenta las siguientes normas generales:

1) Instalaciones y fuerza de alumbrado.

Las instalaciones de fuerza y alumbrado deberán ser hechas con tubo conduit rígido metálico rosado, tipo 2 calidad A. Debe evitarse que los registros queden localizados en áreas de la división 2, o bien emplear cajas de registro a prueba de explosión. Las cajas de conexiones deberán ser del tipo a prueba de vapor. Los receptáculos o contactos para tomas de corriente de alumbrado y de fuerza, así como las clavijas que se conecten a ellas, deberán ser del tipo a prueba de explosión y estar conectadas a tierra. No deberán existir partes eléctricas vivas al descubierto.

2) Motores y generadores.

Los equipos eléctricos rotatorios como motores y generadores que tengan conmutador de anillos deslizantes, interruptores o resistencias, deberán ser del tipo a prueba de explosión a menos que estos dispositivos se encuentren dentro de cajas de este tipo.

3) Interruptores, tableros de alumbrado, arrancadores de motores, fusibles y equipos de control, medición y protección.

Todo el equipo antes mencionado y demás equipo que cuente con contactos y dispositivos destina-



dos a interrumpir el paso de corriente eléctrica deberán ser del tipo a prueba de explosión.

4) Transformadores y condensadores.

Los instalados a la intemperie deberán estar dentro de cajas a prueba de intemperie. Los interruptores y demás dispositivos de control y protección de los transformadores, deberán instalarse dentro de cajas a prueba de explosión.

5) Resistencias.

Las resistencias que sea necesario instalar en cualquier dispositivo deberán estar encerradas en cajas del tipo a prueba de explosión.

6) Equipo portátil.

Los equipos eléctricos portátiles, máquinas eléctricas de soldar, calentadores y estufas eléctricas deberán situarse para que trabajen fuera de áreas peligrosas, a menos que sean del tipo a prueba de explosión.

7) Sistemas de señales, alarma, control remoto y comunicaciones.

Todos los equipos y aparatos de los sistemas antes mencionados destinados a interrumpir la corriente eléctrica, deberán ser del tipo a prueba de explosión.

**IMPORTANTE.** En las áreas peligrosas las partes metálicas no conductoras de corriente de los equipos,

tales como carcazas de motores, cajas de interruptores, bastidores, gabinetes, etc; así como equipo que pueda cargarse estáticamente, como tanques por los que circule gas, etc.; deberán ser conectados a tierra adecuadamente. Cuando se juzgue que líquidos o condensaciones de vapores inflamables pueden ponerse en contacto o depositarse sobre el aislante de conductores, el aislante deberá ser apropiado para estas condiciones, o deberá estar protegido por una cubierta de plomo o por medios similares.

#### EQUIPOS DE PROCESO.

Después de poner a funcionar un equipo con elementos giratorios debe observarse un tiempo razonable para asegurarse que su funcionamiento es normal. En equipos como compresoras debe tenerse especial cuidado con el enfriamiento y la lubricación.

Antes de iniciar la operación de tanques y recipientes cerrados, es necesario drenar toda el agua para evitar vaporizaciones que generan presiones muy altas sobre las paredes del recipiente.

#### PERIODOS MAXIMOS PERMISIBLES PARA LA INSPECCION Y CALIBRACION DE VALVULAS DE ALIVIO.

Como una medida general de seguridad debe tomarse

en cuenta que las válvulas de alivio deberán inspeccionarse y calibrarse dentro de períodos que no excedan los lapsos permisibles mostrados a continuación con objeto de garantizar la seguridad de los equipos que protegen.

TIPO DE SERVICIO QUE PRESTA LA VALVULA DE ALIVIO	TIEMPO MAXIMO PERMISIBLE PARA LA INSPECCION Y CALIBRACION
Clase 1	1 Año
Clase 2	2 Años

#### CLASE 1.

Las que se encuentran instaladas en equipos que manejan o almacenan materiales corrosivos, cáusticos, erosivos, abrasivos y en general cualquier material que pueda causar daño a las partes internas expuestas de la válvula.

#### CLASE 2.

Pertenece a esta clase aquellas que se encuentran instaladas en equipos que manejan o almacenan materiales que no teniendo la severidad de la Clase 1, pueden estar contaminados en pequeñas proporciones con los mismos o pueden atacar en menor grado las partes expuestas de la válvula.

#### GENERALIDADES SOBRE INCENDIOS.

De acuerdo con las estadísticas, las causas más comunes que originan la mayoría de los incendios son:

La falta de orden y limpieza; el mal uso de los cerillos y cigarros; el almacenamiento inadecuado de líquidos inflamables; las instalaciones eléctricas y las flamas abiertas provenientes de sopletes para cortar y soldar.

Por estas razones, es conveniente dotar a la planta de sistemas de agua contra incendio y en general a las instalaciones en que exista una concentración muy grande de equipo industrial.

#### COMPONENTES RED DE AGUA.

Estos sistemas normalmente están compuestos por lo siguiente:

- 1) Una fuente de abastecimiento de agua (tanques elevados, cisternas, ríos, etc.) con un volúmen tal, que fijadas las necesidades de descarga, permita hacer frente a la emergencia más grave que razonablemente se puede preveer.
- 2) Un equipo de bombeo, el cual proporcionará el agua con la presión adecuada de acuerdo con las necesidades y riesgos a proteger en cada caso.
- 3) Una red de distribución de agua consistente de tuberías interconectadas, que forman generalmente anillos en las áreas a proteger,

que pueden aislarse mediante válvulas de compuerta, con las respectivas salidas para hidrantes y/o monitores.

a) Hidrantes.

Se da el nombre de hidrantes a las tomas para acoplar las mangueras de agua contra incendio; estas tomas están colocadas en la parte superior de un tubo vertical, a su vez, conectado a la línea de agua.

b) Monitores.

Un monitor o torrecilla es un tubo, con o sin tomas para manguera, al cual se le han adaptado mediante una brida, una boquilla regulable para chorro directo o niebla.

Otro sistema útil para la prevención de incendios es el uso de extinguidores, los cuales al seleccionarse deben de escogerse de acuerdo con la clase o clases de incendio que se presentan.

#### CLASIFICACION DE EXTINGUIDORES

1. Extinguidores de agua.
2. Extinguidores de soda y ácido.
3. Extinguidores de espuma química.

4. Extinguidores de espuma mecánica.
5. Extinguidores de bióxido de carbono.
6. Extinguidores de polvo químico seco.
7. Extinguidores de líquidos vaporizantes.

#### SISTEMA CONTRA INCENDIO.

- 1) Para instalaciones pequeñas o medianas, deberá instalarse sólo una casa de bombas contra incendio, la cual deberá de localizarse de preferencia en el centro del área.
- 2) La capacidad de las bombas será de 1500, 2000 y 2500 GPM y una presión de descarga mayor a las 100 psi. Las bombas serán centrífugas y su succión será tal que maneje el 150% de su capacidad. La descarga será de 8", 10" y 12" respectivamente.
- 3) Las bombas estarán accionadas por motores eléctricos de 125, 150 y 200 HP de acuerdo a las capacidades mencionadas. Deberá existir un sistema automático de arranque para los motores. Los dispositivos de control e interruptores deben instalarse en compartimientos que los protejan de cualquier daño físico.
- 4) La capacidad de almacenamiento disponible para agua contra incendio deberá ser suficiente para que las bombas instaladas operen durante cinco

horas continuas.

- 5) Dentro de la planta, la red contra incendio va enterrada. La tubería que se tienda sin enterrar deberá pintarse con pintura anticorrosiva; el diámetro mínimo será de 6" y cada anillo llevará como máximo 12 hidrantes. La red de contra incendio deberá valvularse de tal manera que pueda segregarse cualquier sección. Los hidrantes deberán estar situados en las plantas a espacios de 30 a 50 metros; se deberán instalar monitores en todas las áreas de las plantas, el número y su localización se deberá decidir de acuerdo a las necesidades. Los monitores deberán girar 120° en el plano vertical y en círculo en el plano horizontal.
- 6) En la casa de compresoras se instalará un sistema de polvos químicos secos para controlar los fuegos que pudieran ocurrir en ésta, ya que si se usara agua podrían dañarse los monoblocks de las compresoras por encontrarse a temperaturas elevadas.
- 7) Deberá existir en todas las áreas de proceso un número suficiente de extinguidores para apagar los incendios que puedan presentarse en condiciones normales. Estos extinguidores pueden ser de polvo (20,30, 150, 350 lb). Los extinguido-

res de polvo químico seco deberán vaciarse y revisarse por lo menos una vez al año, comprobando la cantidad del medio impulsor y recargándolos con polvo totalmente fluido.

- 8) Deberá existir un sistema especial para prevenir a todo el personal cuando se presente una situación de emergencia. El sistema de alarma contra incendio deberá poderse actuar desde un número suficiente de lugares distribuidos en forma adecuada.



## MEDIDAS DE SEGURIDAD Y EL ASPECTO HUMANO.

Aunque hayan sido tomadas en cuenta todas las medidas de seguridad antes mencionadas y muchas más (normas de seguridad en todo su detalle), pueden ocurrir accidentes debidos principalmente a las fallas humanas, las cuales son el resultado de los diversos problemas y situaciones de cualquier índole que puedan tener los trabajadores. Conforme a lo mencionado anteriormente podemos decir que hay algunos momentos en que el personal tiene mayor predisposición a accidentes que en otros.

Un Departamento de Seguridad Industrial se encarga de enunciar una serie de reglas que si se siguen producen un clima de trabajo seguro.

Todo accidente, hecho no previsto que interrumpe el proceso lógico de la productividad, es causado cuando se presentan una situación peligrosa y una actitud peligrosa, la mayoría de las veces producto de la negligencia o descuidos por parte del personal.

Es un hecho comprobado estadísticamente que los accidentes pueden prevenirse y esto se logra sólo si la gente que tiene un poco más de visión y conocimientos trata de crear más conciencia entre la

gente con la cual colabora.

Debe hacerse hincapié en que la prevención de los accidentes no es sólo responsabilidad de un Departamento de Seguridad Industrial, sino de todas y cada una de las gentes que integran el personal de cualquier tipo de planta industrial.

## CAPITULO IX.

### CONCLUSIONES Y BIBLIOGRAFIA.

#### CONCLUSIONES.

Durante el desarrollo del tema hemos llegado a varias conclusiones entre las que consideramos las más importantes las siguientes:

Un estudio económico detallado, como en cualquier proyecto, debe ser tan amplio y debe ser hecho tan minuciosamente, que bien podría ser motivo de otro trabajo semejante a esta tesis.

Dicho estudio debe incluir la comparación entre los costos de proyectos de estaciones de compresión como hasta la fecha se realizan y costos de estaciones modulares como la que se presenta.

No obstante que no se incluye el estudio económico detallado, que nos hubiera permitido tener una visión más amplia sobre este aspecto, podemos decir que el proyecto de estación modular de compresión es técnica y económicamente realizable, ya que a pesar de que se requiere de una relativamente fuerte inversión inicial, el ahorro en

tiempo y dinero que se obtendría posteriormente justificaría dicha inversión.

Concluimos además, que el concepto de modulación en proyectos fue aplicable en nuestro caso, y consideramos que si se realizan estudios más completos, este concepto también podrá ser aplicable, si no en todos los casos, en muchos proyectos de diversa índole, en la industria química, la industria de la construcción, la industria eléctrica, etc.

Durante el desarrollo de esta tesis se nos presentaron problemas de diverso tipo, principalmente los concernientes a los cálculos y selección de equipo e instrumentos debido a que en ocasiones, no se conocía exactamente su uso y aplicación. Así como la falta de información en cuanto a lo que se refiere a datos de equipo por parte del fabricante para la elaboración de los diagramas de tubería e instrumentación.

Por lo mencionado anteriormente consideramos que sería de gran utilidad si se consideraran en ciertas materias los aspectos relacionados con la rama de proyectos dentro de la Ingeniería Química y su relación con las demás ingenierías, lo cual redundaría en beneficio de la industria y las personas ya en la práctica profesional.

BIBLIOGRAFIA.

- Ludwig Ernest E.  
"Applied Process Design For Chemical And Petrochemical  
Plants".  
Volúmenes I y III.  
Gulf Publishing Co.  
Houston, Texas. 1964
  
- Brownell Lloyd E. and Young Edwin H.  
"Process Equipment Design".  
John Wiley And Sons Inc. 1959
  
- ASME  
Pressure Vessels.  
Secc. VIII Div. II  
1971
  
- Ingersoll - Rand.  
" New Compressed Air And Gas Data ".  
Ed. C. W. Gibbs.  
Phillipsburg, New York. 1971
  
- Resources Development Corporation.  
"Positive Displacement Compressors".  
Pilot Five Unit II  
Michigan. 1971

- Orifice Metering Of Natural Gas.  
Gas Measurement Committee Report Num. 3.  
American Gas Association. 1969
  
- Mechanical, Thermodynamic And Application Aspects Of  
Reciprocating Compressors.  
By R. M. Deminski, Chief Engineer.  
Reciprocating Compressors.  
Cooper - Bessemer Company.
  
- Crane.  
"Flow Of Fluids Through Valves, Fittings And Pipe".  
Technical Paper Num. 410.  
New York. 1969
  
- Katz, Cornell, Kobayashi, Poettmann, Vary, Elenbaas  
and Weinaug.  
"Handbook Of Natural Gas Engineering"  
Mac Graw - Hill.
  
- A. Scheimann.  
"Size Vapor - Liquid Separator Quick By Nomograph".  
Hydrocarbon Processing And Petroleum Refiner.  
Oct. 1963
  
- Soen H. Tan.  
"Flare System Design Simplified".  
Waste Treatment And Flare Stack Design Handbook.

- Reprint Hydrocarbon Processing. 1968
- UOP Centrifugal Gas Scrubbers.  
Air Correction Division.  
Bulletin Num. 609.
  - Elliot Multistage Centrifugal Compressors.  
Bulletin P - 11A.
  - SGA Walter Nimitz.  
Seminar On Compressor Installation Design Techniques.  
Estimating Design Economics.  
Southwest Research Institute.
  - Conjunto Manufacturero, S. A. de C. V.  
Estaciones De Compresión En El Area de Reynosa.  
Enero de 1970.
  - Cooper - Bessemer Company.  
Cálculos Básicos De Compresoras Reciprocantes.  
1968
  - Sizing And Selection.  
Consolidated Safety Relief Valves.  
Catalog 1900A  
Manning, Maxwell And Moore Inc.
  - Pump Selector For Industry.  
Worthington Corporation.  
U. S. A.

- Pall Trinity Micro Corporation.  
"Heat Less Dryers".  
Bulletin HA-308C.  
Cortland, New York.
  
- Yacuzi Universal, S. A.  
"Como Seleccionar Un Compresor De Aire".  
Monterrey, Nuevo León.
  
- Equipos Para Tratamiento De Agua.  
ETRASA.  
México, D. F.
  
- 6700 Series Target - Reading Type Liquid Level  
Indicators.  
Varec Inc.
  
- Fisher Controls.  
Valve Sizing.  
Catalog 10  
Fisher Governor Company.
  
- Fisher Controls.  
Bulletin O-63G      May 1969  
Type 63F Back Pressure Regulators.
  
- Fisher Controls.  
Bulletin P-12C Catalog Section P-1, Nov. 1968.  
Regulators For High Pressure Gas Service.



- Fisher Controls.  
Bulletin O 125-B.  
Design "P" And "PA" Bodies For Oil And Gas Production.
  
- Fisher Controls.  
Catalog Section F-1, Pag. F83A, Dic. 1964.  
Series 730C Gas Service Regulators.
  
- Fisher Controls.  
Bulletin D4100, Feb. 1971.  
Series 4100 Wizard I Controllers.
  
- Fisher Controls.  
Bulletin F2800-E.  
Liquid Level Controls.
  
- Fisher Controls.  
Bulletin F-4C.  
Level Trols.
  
- Supragauge.  
Catálogo Num. EC-5173.  
México, D. F.
  
- A. Scheimann.  
"Horizontal Vapor Liquid Separators".  
Hydrocarbon Processing And Petroleum Refiner.  
May. 1964

- G. R. Kent.

"Practical Design Of Flare Stacks".

Waste Treatment And Flare Stack Design Handbook.

Reprint Hydrocarbon Processing. 1968

- Soen H. Tan.

"Simplified Flare System Sizing".

Waste Treatment And Flare Stack Design Handbook.

Reprint Hydrocarbon Processing. 1968