



# Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

## DISEÑO DE UN SISTEMA DE DESFOGUES EN UNA PLATAFORMA MARINA

EDUARDO ARTURO PIRO GARCIA

INGENIERO QUIMICO



DEPTO. DE PASANTES  
EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA

1980

M-23750



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE EUGENIO FAUTSCH TAPIA

V O C A L ARTURO ACEVEDO GOMEZ

SECRETARIO EDUARDO RAMIREZ GOMEZ

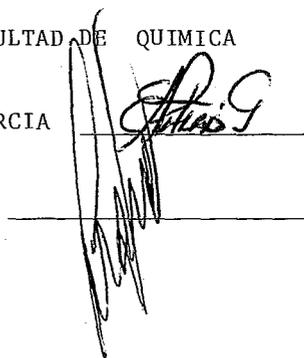
1er. SUPLENTE ROBERTO RODRIGUEZ VAZQUEZ

2do. SUPLENTE HECTOR BOLIVAR VILLAGOMEZ

Sitio donde se desarrolló el tema: FACULTAD DE QUIMICA

Sustentante: EDUARDO ARTURO PIRO GARCIA

Asesor del tema: EDUARDO RAMIREZ GOMEZ



## I) Antecedentes:

El petróleo, recurso natural no renovable, es en nuestros días altamente apreciado por la cantidad de productos que de él se obtienen, como los combustibles, energéticos que se hacen necesarios para el desarrollo industrial de los países.

Con el empleo de equipo más avanzado se han descubierto ya yacimientos petrolíferos más allá de la costa; tal es el caso de algunos países que han encontrado en sus aguas territoriales grandes reservas de gas y aceite.

A la fecha, son 34 los países que registran producción de crudo marino. México es uno de ellos.

En los últimos años la explotación de crudo y gas en México ha logrado avances muy importantes. En 1975, la producción de crudo era de  $8 \times 10^5$  BPD; la cifra se elevó a  $1.5 \times 10^6$  BPD al 12 de marzo de 1980. Estas cifras se incrementarán con el amento de las reservas probadas de crudo marino.

En el Golfo de Campeche, por ejemplo, ha quedado certificada la existencia de  $800 \times 10^6$  barriles de crudo, lo que convierte a ésta en una de las regiones altamente prometedoras fuera de la costa.

Por lo que al gas que acompaña al crudo se refiere, gracias a la conservación y al aprovechamiento del gas natural, se ha podido reducir la cantidad que se quemaba atmosféricamente, ya que en noviembre de 1976 se quemaba el 21% de la producción total, y en 1979 sólo el 6%. Actualmente se producen  $3,500 \times 10^6$  PCD de gas, de los cuales se quema el 7%.

# I N D I C E

	Pág.
Capítulo I.- ANTECEDENTES	4
Capítulo II.- OBJETIVO	5
Capítulo III.- DESCRIPCION DEL PROCESO	7
Capítulo IV.- CALCULOS Y RESULTADOS	9
1.0.- BALANCE DE MATERIA	9
2.0.- CALCULO DEL QUEMADOR	14
3.0.- PRESIONES Y DIAMETROS DE LINEAS	23
4.0.- CALCULO DE VALVULAS	49
5.0.- CALCULO DE SEPARADORES	65
Capítulo V.- CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES	83
Capítulo VI.- BIBLIOGRAFIA	87

## II) Objetivo:

Para extraer el gas y el aceite más allá de la playa es necesario instalar Plataformas Marinas. Estas son estructuras metálicas fijadas en el fondo del mar.

La Plataforma propiamente dicha puede estar constituida, por dos niveles en los cuales se arreglará el equipo correspondiente, dependiendo del tipo de Plataforma.

Seis son los tipos de Plataformas que se pueden instalar para explotar un campo petrolífero marino, a saber:

- 1) Plataforma de Perforación: Es la encargada de extraer el crudo del pozo
- 2) Plataforma de Enlace: En la que se encuentran los cabezales de distribución de crudo
- 3) Plataforma de Producción Permanente: La que separa y comprime el gas
- 4) Plataforma de Perforación Temporal: La que separa y quemada el gas
- 5) Plataforma de Rebombeo: La encargada de suministrar presión al fluido a fin de enviarlo a tierra
- 6) Plataforma Habitación: En la que se hospeda el personal de operación

El propósito de este trabajo es diseñar un sistema de separación de gas en una plataforma marina de producción temporal, en la que por no resultar económico procesarlo y porque no es posible tirarlo a la atmósfera ya que causaría problemas por intoxicación y/o explosión, debe quemarse en for-

ma que no dañe al personal y al equipo por efectos del calor generado en su combustión.

15/8/17

### III) DESCRIPCION DEL PROCESO:

El crudo en dos fases proveniente de la Plataforma de Enlace es sometido a una separación primaria.

La corriente de alimentación, constituida por crudo, gas y agua es alimentada al separador de la primera etapa. En este equipo el aceite, agua y gas se separan entre sí por diferencia de densidades.

El gas de la corriente de alimentación lo constituyen: - gas de bajo peso molecular y gas de alto peso molecular. El gas de bajo peso molecular es separado en la primera etapa de separación, mientras que el de alto peso molecular sale con la corriente de crudo que es enviada a la siguiente etapa de separación.

El gas de bajo peso molecular proveniente de la primera se envía a la siguiente etapa, eliminación de espuma, con objetivo de quitarle el líquido que haya arrastrado. El eliminador de espuma posee una malla que impide la salida de líquido presente en la corriente de gas que se envía a la siguiente etapa.

El líquido separado se recircula al separador de la primera etapa.

Las condiciones de operación de éste equipo son las mismas que las del de la primera etapa.

El crudo proveniente de la primera etapa de separación, como ya se dijo, trae gas de alto peso molecular razón por la que se somete a una segunda etapa de separación. El sepa-

rador de la segunda etapa para que opere como tal requiere una presión de operación menor que la del de la 1a. etapa. El gas aquí separado es enviado al deshidratador del quemador en donde el poco líquido, respecto de las anteriores etapas, que haya arrastrado es removido hasta un tamaño de partícula para el cual se diseñe el equipo. La presión de operación del deshidratador debe ser menor que la del de la 2a. etapa .

El gas deshidratado o gas de alto peso molecular al igual que el gas que proviene del eliminador de espuma son alimentados al cabezal que alimenta al quemador a fin de llevar a cabo la combustión de los mismos. .

Por su parte el crudo de la de la segunda etapa de separación y el crudo proveniente del deshidratador son enviados a tierra con la ayuda de las bombas que se localizan en la Plata forma de rebombeo.

IV) CALCULOS Y RESULTADOS

## 1.0) Balance de materia

$$\text{GOR} = 1000 \frac{\text{SCF}}{\text{bbl dulce}} \quad \dots \text{ gas-oil ratio}$$

$$E = 0.89 \frac{\text{bbl dulce}}{\text{bbl amargo}}$$

$$1000 \frac{\text{SCF}}{\text{bbl dulce}} \times 0.89 \frac{\text{bbl dulce}}{\text{bbl amargo}} = q'_h$$

$$q'_h = 890 \frac{\text{SCF gas producido}}{\text{bbl amargo}}$$

$$\text{Producción} = 100,000 \frac{\text{bbl}}{\text{día}}$$

$$W_1 = 100,000 \frac{\text{bbl}}{\text{día}} \times \frac{\text{bbl amargo}}{0.89 \text{ bbl dulce}} \quad \dots \text{ crudo amargo alimentado}$$

$$W_1 = 112,359.55 \frac{\text{bbl}}{\text{día}}$$

$$q'_a = 10 \times 10^6 \text{ SCFD} \quad \dots \text{ gas producido de alto peso molecular}$$

$$q'_b = 90 \times 10^6 \text{ SCFD} \quad \dots \text{ gas producido de bajo peso molecular}$$

$$= 100 \times 10^6 \text{ SCFD}$$

$$\% \text{ vol.} = \% \text{ mol.}$$

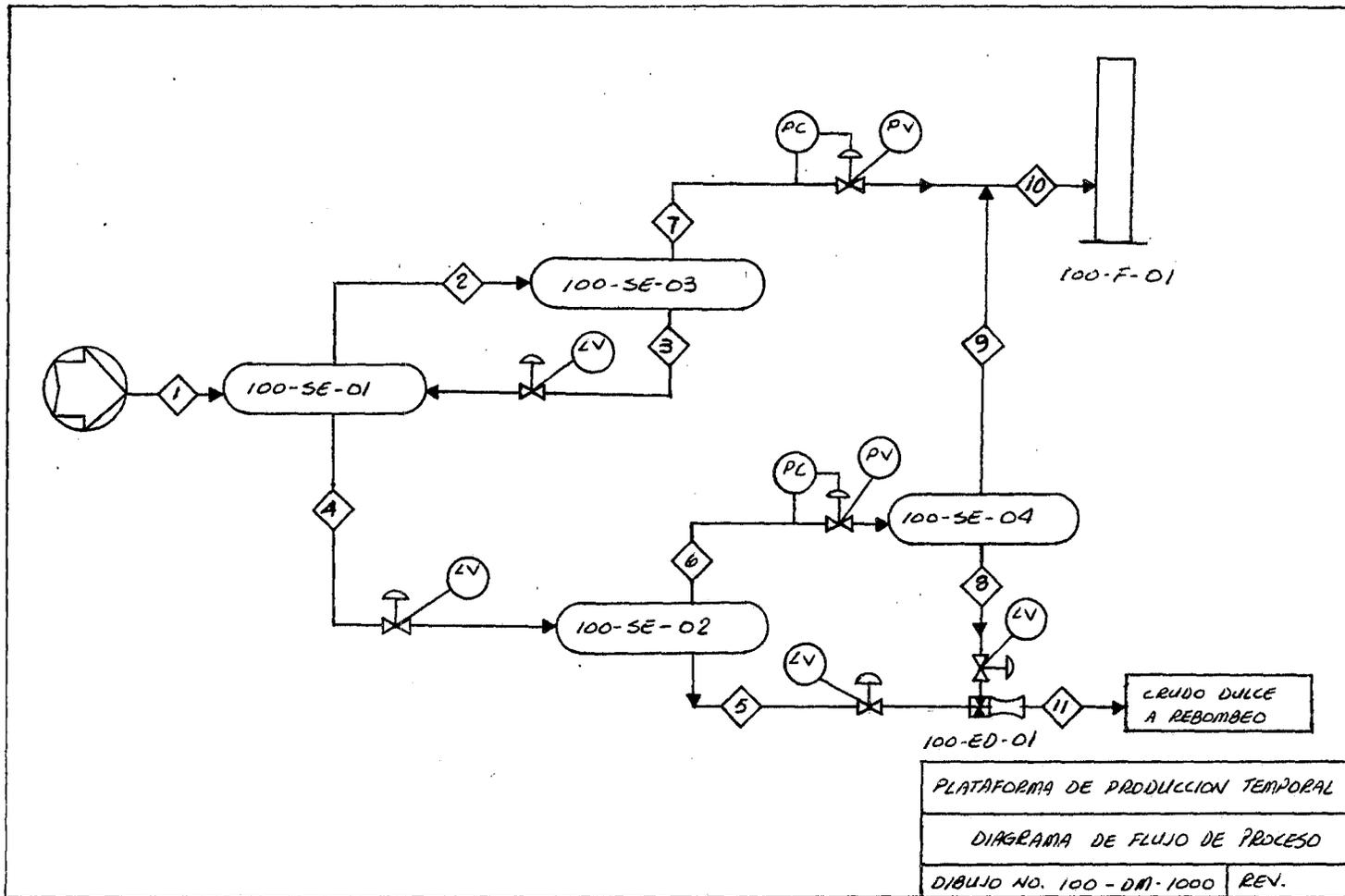
$$(\% \text{ vol.}) q'_a = 10\%$$

$$(\% \text{ vol.}) q'_b = 90\%$$

$$q_a = 890 \frac{\text{SCFD gas producido}}{\text{bbl amargo}} \times \frac{0.1 \text{ SCFD gas bajo PM}}{1 \text{ SCFD gas producido}}$$

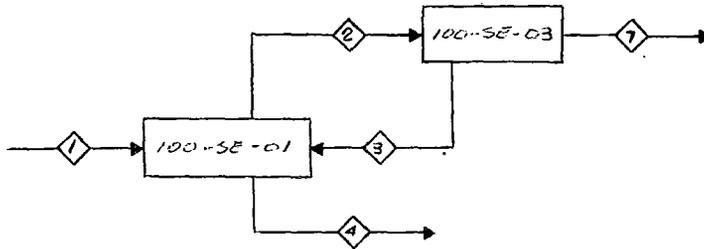
$$= 89 \frac{\text{SCFD gas bajo PM}}{\text{BBL amargo}}$$

$$q_b = 890 \times 0.9 = 801 \frac{\text{SCFD gas alto PM}}{\text{BBL amargo}}$$



PLATAFORMA DE PRODUCCION TEMPORAL	
DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO	
DIBUJO NO. 100 - DA1-1000	REV.

1.2



$$q_{L3} = 90 \times 10^6 \frac{\text{SCF} \times \text{BBL}}{\text{D} \quad 1000 \text{ SCF}} = 90 \times 10^3 \frac{\text{BBL}}{\text{día}}$$

$$q_{L3} = 90 \times 10^3 \times \frac{42}{7.48} = 505,347.6 \text{ CFD}$$

$$q_7 = 90 \times 10^6 \times \frac{618}{520} \times \frac{14.7}{64.7} = 24,301,926 \text{ CFD}$$

$$q_7 = 90 \times 10^6 \times \frac{23}{379.21} \times \frac{1}{24} = 227,447 \text{ lb/hr}$$

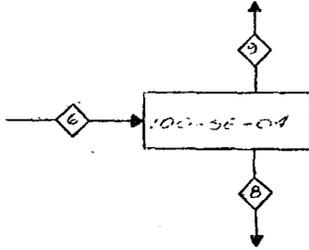
Entonces para 2

$$q_2 = q_3 + q_7 = 505,347.6 + 24,301,926 = \underline{\underline{24,807,273.7}} \text{ CFD}$$

% vol. : X = 2.04% - - - líq.

Y = 97.96% - - - gas

1.3)



$$W_8 = 10 \times 10^6 \frac{\text{SCF}}{\text{D}} \times \frac{\text{BBL producido}}{1000 \text{ SCF}} = 10 \times 10^3 \frac{\text{BBL producido}}{\text{D}}$$

$$q_8 = 10 \times 10^3 \times \frac{42}{7.48} = 56,149.7 \text{ CFD}$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad V_2 = V_1 \times \frac{T_2}{T_1} \times \frac{P_1}{P_2}$$

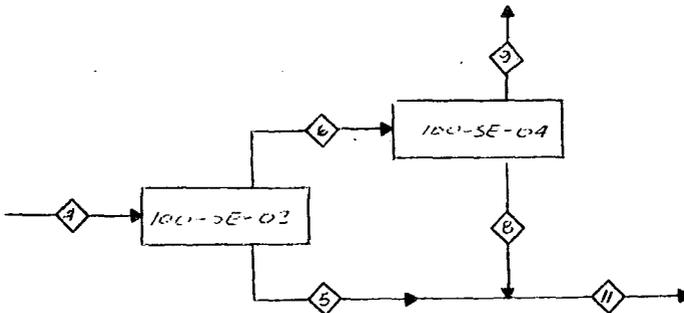
$$V_2 = 10 \times 10^6 \times \frac{618}{520} \times \frac{14.7}{19.7} = q_9 = 8,868,215 \text{ CFD}$$

$$q_6 = q_8 + q_9 = 8,868,215 + 56,149.7 = 8,924,364.7 \text{ CFD}$$

$$\% \text{ vol.} = X = 0.63\%$$

$$Y = 99.37\%$$

1.4)



$$q_5 = q_{11} - q_8 = 100,000 - 10,000 = 90,000 \frac{\text{BBL}}{\text{día}}$$

$$q_5 = 90,000 \times \frac{42}{7.48} = 505,347.6 \text{ CFD}$$

Para 4

$$q_{L4} = 112,359.55 \frac{\text{BBL amargo}}{\text{día}} \times 0.89 \frac{\text{BBL dulce}}{\text{BBL amargo}} = 100,000 \frac{\text{BBL}}{\text{día}}$$

$$q'_{g4} = 10 \times 10^6 \text{ SCFD}$$

$$V_2 = q_{g4} = 10 \times 10^6 \times \frac{618}{520} \times \frac{14.7}{24.7} = 7,073,030.2 \text{ CFD}$$

$$100,000 \frac{\text{BBL}}{\text{día}} \times \frac{42}{7.48} = 561,497.3 \text{ CFD}$$

$$q_4 = q_6 + q_5 = 7,073,030.2 + 561,497.3 = 7,634,527.5 \text{ CFD}$$

$$\% \text{ vol.}: X = 7.35 \%$$

$$Y = 92.65 \%$$

= CUADRO DE BALANCE =

COMPONENTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	% mol.	% mol.	% mol.	% mol.	% mol.	% mol.	% mol.	% mol.	% mol.	% mol.	% mol.
GAS AMARGO	97.72	97.96	----	92.65	----	99.37	100.00	---	100.00	100.00	----
CRUDO	.2.28	2.04	100.00	7.35	100.00	0.63	----	100.00	----	----	100.00
P (psia)	64.7	64.7	64.7	37.0	37.0	20.3	64.7	20.3	20.3	14.7	26.0
T (°F)	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158
60°F GAS (lb/ft <sup>3</sup> )	0.308	0.297	---	0.236	----	0.129	0.297	---	0.129	0.07	----
60°F CRUDO (lb/ft <sup>3</sup> )	56.16	56.16	56.16	56.16	56.16	56.16	---	56.16	----	----	56.16
CRUDO (cp)	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	---	23.0	----	----	23.0
m GAS (lb/lbmol)	23.9	23.0	---	32.0	---	32.0	23.0	----	32.0	23.9	----
SCFD	100 x 10 <sup>6</sup>	90 x 10 <sup>6</sup>	---	10 x 10 <sup>6</sup>	---	10 x 10 <sup>6</sup>	90 x 10 <sup>6</sup>	----	10 x 10 <sup>6</sup>	100 x 10 <sup>6</sup>	----
BBLD	112.359	90 x 10 <sup>3</sup>	90 x 10 <sup>3</sup>	100,000	90,000	10,000	----	10,000	----	----	100,000
CFD TOTALES	27.64 x 10 <sup>6</sup>	24.31 x 10 <sup>6</sup>	50.5 x 10 <sup>4</sup>	7.63 x 10 <sup>6</sup>	50.5 x 10 <sup>4</sup>	8.92 x 10 <sup>6</sup>	24.31 x 10 <sup>6</sup>	5.6 x 10 <sup>4</sup>	8.9 x 10 <sup>6</sup>	118.9 x 10 <sup>6</sup>	56.1 x 10 <sup>4</sup>

## 2.0) Cálculo del quemador

2.1) Una mezcla de gas de alto y bajo peso molecular será alimentada al quemador.

Datos:

Bajo

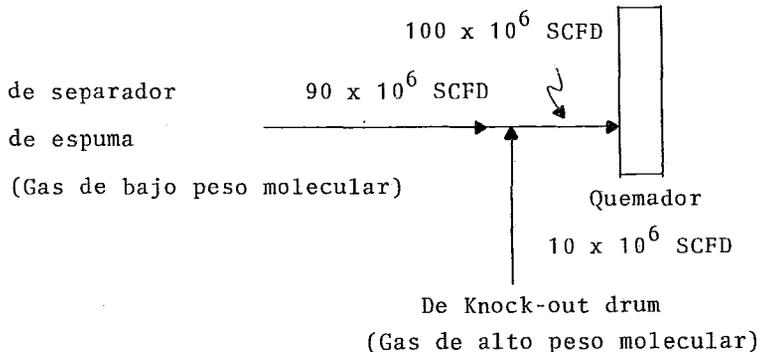
Alto

m=23 lb/lb mol

m=32 lb/lb mol

Z= Factor de compresibilidad de la mezcla = 0.9

T= 158° F



% mol = % volúmen

Gas bajo m = 90%

Gas alto m = 10%

2.2) Peso molecular promedio de la mezcla ( $\bar{m}$ ):

$$\bar{m} = \sum_{i=1}^n m_i x_i \quad \text{mixi; } x = \text{fracción mol} \quad \dots (1)$$

$$\bar{m} = 23 (0.9) + 32 (0.1) = 23.9 \text{ lb/lb mol}$$

2.3) Gasto en masa de la mezcla gaseosa

$$q' = 100 \times 10^6 \text{ SCFD} \dots \text{Flujo volumétrico}$$

$$w = 100 \times 10^6 \times \frac{23.9}{379.21} \times \frac{1}{24} = 262,608 \text{ lb/hr.}$$

2.4) Diámetro del quemador

El quemador debe ser de un diámetro tal que mantenga una flama estable y prevenga una explosión.

Es buena práctica dimensionar el quemador sobre una base del 20% de la velocidad sónica como la velocidad de salida.

#### 2.4.1 Ecuaciones:

$$w = 3600 \rho_g v A_c \quad \dots (2)$$

donde

w = flujo en masa, lb/hr

g = densidad de gas, lb/ft<sup>3</sup>

v = velocidad de salida, ft/seg

A<sub>c</sub> = Sección transversal

La densidad de gas es:

$$\rho_g = \frac{P_m}{10.72 T} \quad \dots (3)$$

La velocidad de salida 0.2 de la velocidad sónica

$$v = \frac{1}{5} \sqrt{\frac{gkRt}{m}} \quad \dots (4)$$

Y la sección transversal de tip

$$A_c = \frac{0.785}{144} d^2 \quad \dots (5)$$

donde

m = Peso molecular de gas

P = Presión absoluta

T = Temperatura de gas, °R

g = Aceleración de la gravedad = 32.2 lb x ft/1b x seg<sup>2</sup>

R = Constante de los gases = 1546 ft x 1b/°R x mol

k = C<sub>p</sub>/C<sub>v</sub> = 1.2

d = Diámetro del tip del quemador, in

Combinando las ecuaciones mostradas líneas arriba y usando los valores para g, k, R y P mencionados, se obtiene:

$$d^2 = \frac{W}{1370} \sqrt{\frac{T}{M}} \dots (6)$$

Substituyendo valores

$$W = 277,391 \text{ lb/hr}$$

$$T = 158 + 460 = 618^\circ\text{R}$$

$$M = 23.9 \text{ lb/lbmol}$$

$$\begin{aligned} d^2 &= \frac{262,608}{1370} \sqrt{\frac{618}{23.9}} \\ &= 974.73 \end{aligned}$$

Así que:  $d = 31.22 \text{ in}$

Por lo que seleccionamos

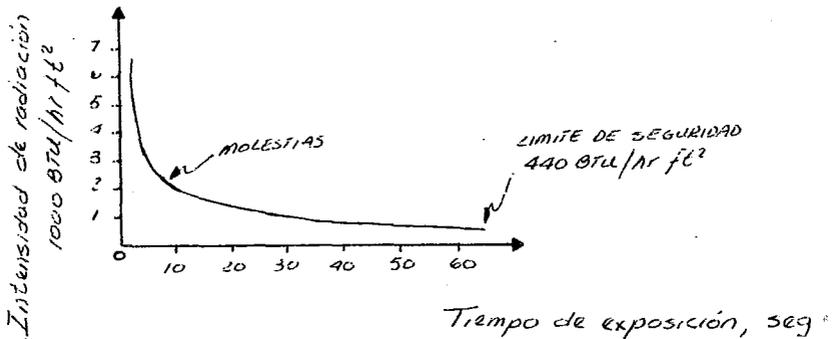
$$d = 36 \text{ in}$$

$$= 3 \text{ ft}$$

## 2.5) Altura y localización del quemador.

2.5.1) La selección de la altura y de la localización del quemador debe hacerse en base a la seguridad del personal de operación así como del equipo.

El efecto de la radiación de calor sobre los humanos es mostrado a continuación.

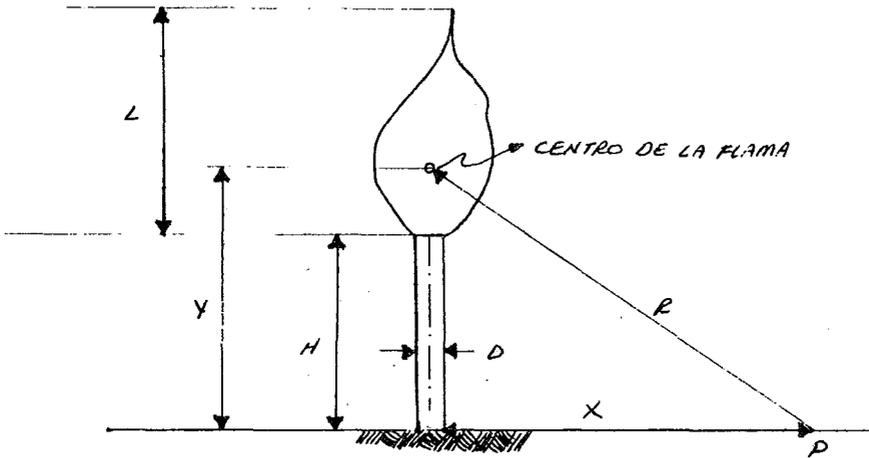


Intensidad de calor BTU/hr ft <sup>2</sup>	Molestia	Ampulación
2,000	8 seg.	20 seg.
5,300	—	5 seg.

Con una intensidad de calor de 2,000 BTU/hr ft<sup>2</sup> (esto es seis veces la intensidad de la radiación solar) y durante un tiempo de exposición de 8 seg. la persona empieza a sentir molestias.

Se ha encontrado que el nivel de seguridad para una intensidad de radiación de calor para tiempo ilimitado de exposición es de 440 BTU/hr ft<sup>2</sup>.

Para efectos de cálculo se considerará una intensidad de calor radiado en la base del quemador de  $1500 \text{ BTU/hr ft}^2$ .



Para encontrar la intensidad de calor en cualquier punto  $P$  desplazado  $X$  ft de la base del quemador, conforme a la figura anterior, tenemos la siguiente expresión:

$$q = \frac{E Q}{4 \pi R^2} \dots (7)$$

donde:

$q$  = intensidad de calor,  $\text{BTU/hr ft}^2$

$E$  = emisividad de la flama

$Q$  = calor generado por la flama

$R$  = distancia del centro de la flama al punto  $P$ , ft

La emisividad puede ser calculada por:

$$E = 0.048 \sqrt{M} \quad \dots (8)$$

donde  $M$  = peso molecular del gas

El calor generado por la flama puede ser expresado por

$$Q = 20,000 W \quad \dots (9)$$

donde  $W$  es el flujo de gas en lb/hr, basado en un poder calorífico de 20,000 BTU/lb. El cuadrado de la distancia,  $R^2$ , puede ser calculada, tal y como lo propone Kent, por medio de

$$Y = \sqrt{H(H+L)} \quad \dots (10)$$

$$y \quad L = 120 D \quad \dots (11)$$

donde  $Y$  es la altura al centro de la flama, ft;  $D$  es el diámetro del quemador, ft; y  $L$  es la longitud de la flama, ft (ver figura). De aquí

$$\begin{aligned} R^2 &= X^2 + Y^2 \\ &= X^2 + H(H + 120 D) \quad \dots (12) \end{aligned}$$

Entonces la ecuación 5 llega a ser

$$q = \frac{960 W M}{4 \pi (X^2 + H(H+120D))} \quad \dots (13)$$

Para

$$q = 1500 \text{ BTU/hr ft}^2$$

$$y \quad x = 0$$

tenemos que

$$1,500 = \frac{960 W M}{4 \pi (H(H+120D))}$$

$$W = 262,608 \text{ lb/hr}$$

$$m = 23.9 \text{ lb/lb mol}$$

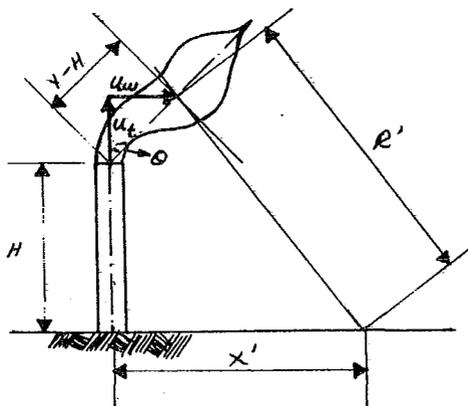
$$D = 3 \text{ ft}$$

Resolviendo para  $H$

$$H = 133 \text{ ft}$$

2.5.2) Distancia a la que se encuentra la zona de seguridad  
 Dado que esta es una zona de protección para el personal de operación, debe pensarse en que en ésta área la intensidad de calor radiado es para un tiempo de exposición ilimitado, es decir:  $440 \frac{B T U}{hr ft^2}$ , bajo condiciones de un fuerte viento.

La inclinación de la flama y su efecto sobre esta zona se determina por las siguientes expresiones referidas a la figura



$$\tan \theta = \frac{U_w}{U_t}$$

$$U_w = (Y-H) \operatorname{sen} \theta$$

$$y \quad U_t = (Y-H) \operatorname{cos} \theta$$

donde

$U_w$  = velocidad de viento

$U_t$  = velocidad en el tip del quemador

$$x' = \left\{ R'^2 - [H + (Y-H) \operatorname{cos} \theta]^2 \right\}^{1/2} + (Y-H) \operatorname{sen} \theta \quad \dots (14)$$

de donde la zona limitante es establecida para el personal de

operación que requiere el equipo.

$$\begin{aligned} U_w &= 250 \text{ km/hr} \\ &= 228 \text{ ft/seg} \end{aligned}$$

$$U_t = 0.2 U_s$$

donde

$U_s$  = velocidad sónica

$$\begin{aligned} U_s &= \left( \frac{\text{kgRt}}{\text{m}} \right)^{1/2} = \left( \frac{1.2 \times 32.2 \times 1546 \times 618}{23.9} \right)^{1/2} \\ &= 1245 \text{ ft/seg} \end{aligned}$$

$$U_t = 0.2 (1245) = 249 \text{ ft/seg}$$

$$\text{Tan}\theta = \frac{U_w}{U_t} = \frac{228}{249} = 0.916$$

$$\theta = 42^\circ$$

$$\text{Sen}\theta = 0.6691 \text{ y } \text{Cos}\theta = 0.7431$$

$$\begin{aligned} Y &= \left[ H(H+L) \right]^{1/2} = \left[ 133(133+360) \right]^{1/2} \\ &= 256.06 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\text{De aquí: } (Y-H) = 256.06 - 133 = 123.06$$

$$\left[ H + (Y-H) \cos\theta \right]^2 = \left[ 133 + (123.06) 0.7431 \right]^2 = 50,376$$

$$\text{Pero } R' = \left( \frac{EQ}{4\pi q} \right)^{1/2}$$

$$E = 0.048 \sqrt{23.9} = 0.234$$

$$Q = 20,000 \text{ W} = 20,000 (262,608)$$

$$= 5252,160,000$$

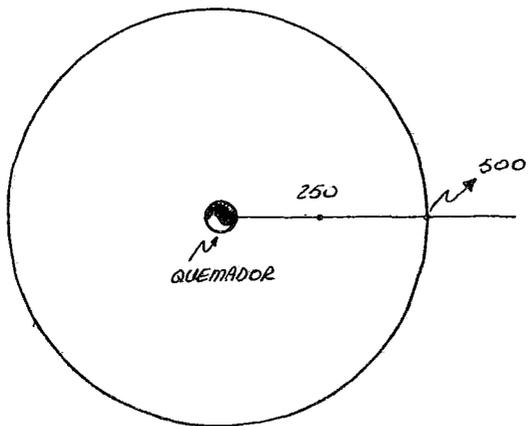
$$q = 440 \text{ BTU/hr ft}^2$$

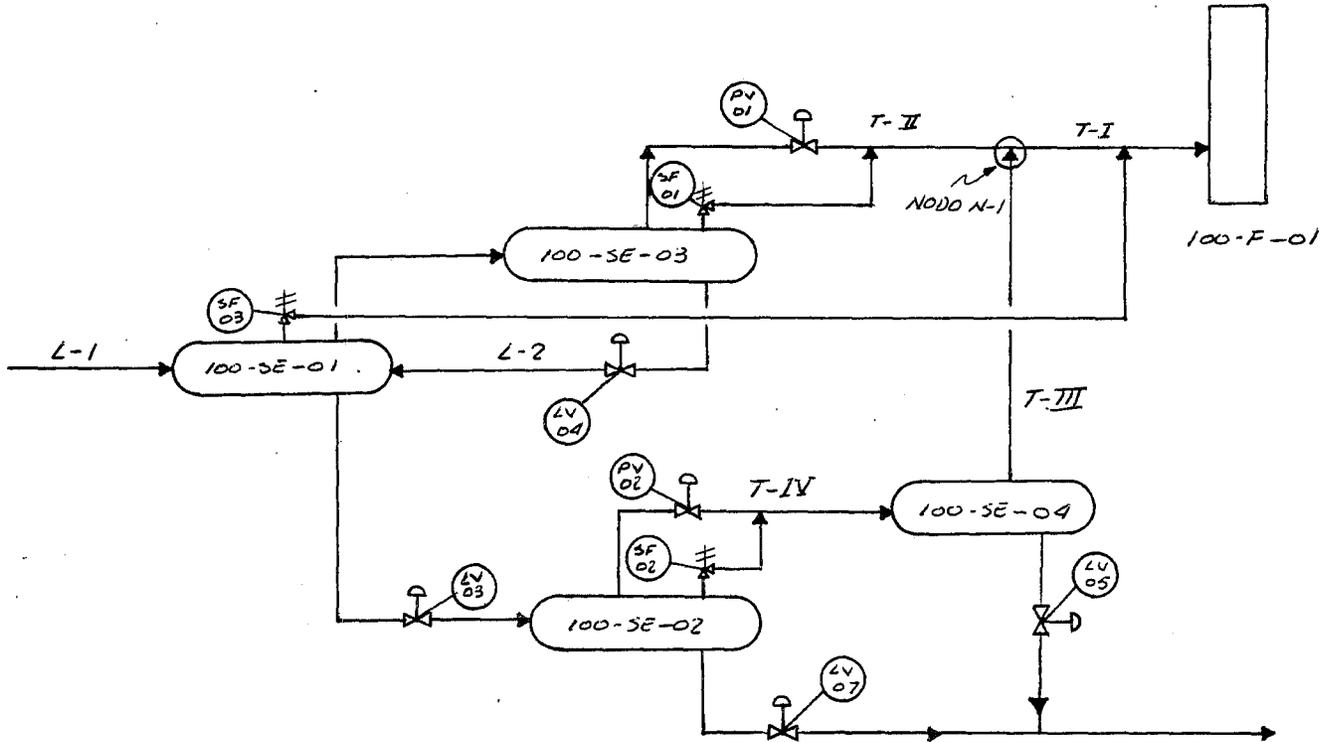
Así que:

$$R'^2 = \frac{0.234 \times 5252.16 \times 10^6}{4 \times \pi \times 440} = 222,275.3$$

Distancia radial desde la base del quemador

$$\begin{aligned} X' &= (222,275.3 - 50,376)^{1/2} + 123.06 (0.6691) \\ &= 496.9 \rightarrow 500 \text{ ft} \end{aligned}$$





### 3.0) Presiones y diámetros de líneas.

3.1) El sistema del quemador se representa en la figura siguiente. Las ecuaciones para el cálculo de las presiones en diferentes puntos del sistema así como para el dimensionamiento de líneas se muestran a continuación.

De la expresión, propuesta por Lapple, para la máxima descarga a través de un orificio bajo condiciones isotérmicas de flujo tenemos:

$$\begin{aligned}
 &= P_o \left( \frac{g_m}{2.718 R T_o} \right)^{1/2} \\
 &= 12.6 P_o \left( \frac{m}{T_o} \right)^{1/2} \text{-----} \quad (15)
 \end{aligned}$$

y la ecuación derivada para el flujo en masa es:

$$W = 247 d^2 P_2 \left( \frac{m}{T_o} \right)^{1/2} \left( \frac{P_2/P_o}{G/G_{cni}} \right)^{-1} \text{-----} \quad (16)$$

donde

$$G_{cni} = \text{lb/seg. ft}^2$$

$$g = \text{Aceleración de la gravedad.}$$

$$= 32.2 \text{ lb x ft / lb x seg}^2.$$

$$m = \text{Peso molecular. lb/lbmol.}$$

$$R = \text{Constante del gas, 1,546 ft x lb/ } ^\circ\text{R x mol}$$

$$T_o = \text{Temperatura del gas sobre la línea en un punto considerado como inicial, } ^\circ\text{R.}$$

- $T_2$  = Temperatura del gas sobre la línea  
 en un punto considerado adelante, °R.  
 $P_2$  = Presión para  $T_2$ , psia  
 $P_2/P_o$  = Razón de presiones  
 $G/G_{cni}$  = Razón descarga actual a máxima  
 =  $f$  (N)  
 $N$  = Coeficiente de fricción

Para el cálculo del diámetro de la línea, la ecuación (13) queda como:

$$d^2 = \frac{W}{247 P_2} \left( \frac{T_o}{m} \right)^{1/2} \left( \frac{P_2/P_o}{G/G_{cni}} \right) N \quad \text{-----} \quad (17)$$

El coeficiente de fricción en las ecuaciones de arriba está dado por:

$$N = \frac{4fL}{D} + \sum K \quad \text{-----} \quad (18)$$

y por la ecuación derivada por Moody tenemos:

$$\frac{4fL}{D} = 0.27 \frac{L}{d^{1.23}} \quad \text{-----} \quad (19)$$

donde

- $f$  = Factor de fricción de Fanning  
 $L$  = Longitud de Tubo, ft  
 $K$  =  $(0.023/d^{0.23}) L_e$  ----- (20)

donde

$K$  = Coeficiente de fricción para accesorios

$L_e$  = Longitud equivalente en diámetros de tubería.

### 3.2) Tramo T-I

#### 3.2.1 Diámetro del tubo

$$d^2 = \frac{W}{247 P_2} \sqrt{\frac{T_o}{m}} \left( \frac{P_2/P_o}{G/G_{cni}} \right)^N$$

$$q' = 100 \times 10^6 \text{ SCFD}$$

$$m = 23.9 \text{ lb/lbmol}$$

$$W = 100 \times 10^6 \times 23.9 \times \frac{1}{379.21} \times \frac{1}{24} = 262,608 \text{ lb/hr}$$

$$P_2 = 14.7 \text{ psia}$$

$$\frac{P_2/P_o}{G/G_{cni}} = 1.5 \text{ ----- Valor promedio}$$

$$d^2 = \frac{262,608}{247(14.7)} \left( \frac{618}{23.9} \right)^{1/2} (1.5) = 551.67$$

$$d \approx 24''$$

#### 3.2.2 Espesor de pared del tubo

Este cálculo se hará para 3 diámetros diferentes, a saber: 24". 30" y 36".

$$t_m = \frac{PD}{2S + 2yP} \quad \text{-----(21)}$$

$$t = \frac{t_m}{1-0.125} \quad \text{-----(22)}$$

donde

$t_m$  = espesor de pared mínimo teórico, in

$t$  = espesor de pared mínimo nominal, in

$P$  = presión interna de diseño, psig

$D$  = diámetro exterior del tubo, in

$S$  = esfuerzo máximo permisible del material, psi

$y$  = factor de temperatura

0.125= tolerancia para el espesor de pared (12.5%)

Datos

$P$  = 150 psig

$D$  = 24", 30" y 36"

$S$  = 20,000 psi para ASTM-A-106, Gr. B

$y$  = 0.4 para 900°F y menor

$$t_m = \frac{(150) D}{2(20,000) + 2(0.4)(150)}$$

D	t(in)	ced.	diam.interno (in)
24"	0.250	10	23.500
30"	0.312	10	29.376
36"	0.312	10	35.554

3.2.3 Presión en el nodo N-I para  $\emptyset = 24''$

$$N = \frac{4 fL}{D} + \sum K$$

$$\frac{4 fL}{D} = 0.27 \frac{L}{d^{1.23}} = 0.27 \left[ \frac{500}{(23.50)^{1.23}} \right] = 2.78$$

Consideramos 3 codos de  $90^\circ$  en la línea

$$L/D = 20 \Rightarrow Le = 20 \times 3 = 60$$

$$\sum K = \left( \frac{0.023}{d^{0.23}} \right) Le = \frac{0.023}{(23.50)^{0.23}} (60) = 0.67$$

$$N = 2.78 + 0.67 = 3.45$$

De carta de Lapple

$$P_2/P_0 = 0.78$$

$$P_0 = 14.7/0.78$$

$$= 18.8 \text{ psia}$$

3.2.4 Para  $\emptyset = 30''$

$$\frac{4 fL}{D} = 0.27 \frac{L}{d^{1.23}} = 0.27 \left[ \frac{500}{(29.376)^{1.23}} \right] = 2.11$$

$$\sum K = \left( \frac{0.023}{d^{0.23}} \right) Le = \frac{0.023}{(29.376)^{0.23}} (60) = 0.63$$

$$N = \frac{4 fL}{D} + \sum K = 2.11 + 0.63 = 2.74$$

Despejando  $\left(\frac{P_2/P_0}{G/G_{cni}}\right)_N$  de la ecuación 16

$$\begin{aligned} \left(\frac{P_2/P_0}{G/G_{cni}}\right)_N &= \frac{247 P_2 d^2}{W} \sqrt{\frac{m}{T_0}} \\ &= \frac{247(14.7)(29.25)^2}{262,608} \sqrt{\frac{23.9}{618}} = 2.33 \end{aligned}$$

De carta de Lapple:

$$P_2/P_0 = 0.92$$

$$P_0 = 14.7/0.92 = 15.9 \text{ psia}$$

3.2.5 Para  $\emptyset = 36''$

$$\frac{4 fL}{D} = 0.27 \left[ \frac{500}{(35.376)^{1.23}} \right] = 1.68$$

$$\sum K = \frac{0.023}{(35.376)^{0.23}} (60) = 0.61$$

$$N = 1.68 + 0.61 = 2.29$$

$$\left(\frac{P_2/P_0}{G/G_{cni}}\right)_N = \frac{247(14.7)(35.25)^2}{262,608} \sqrt{\frac{23.9}{618}} = 3.38$$

De carta de Lapple:

$$P_2/P_0 = 0.96$$

$$P_0 = 14.7/0.96 = 15.3 \text{ psia}$$

## 3.2.6 Resumen para Tramo T - 1

d(in)	$(P_2/P_0)/(G/G_{cni})$	N	Po(psia)
24	1.5	3.45	18.8
30	2.3	2.74	15.9
36	3.4	2.29	15.3

### 3.3 Tramo T - II

#### 3.3.1 Diámetro del tubo

$$d^2 = \frac{W}{247 P_2} \sqrt{\frac{T_o}{m}} \left( \frac{P_2/P_o}{G/G_{cni}} \right) N$$

$$q' = 90 \times 10^6 \text{ SCFD}$$

$$m = 23 \text{ lb/lbmol}$$

$$W = 90 \times 10^6 \times 23 \times \frac{1}{379.21} \times \frac{1}{24} = 227,447 \text{ lb/hr.}$$

$$P_2 = P_{n-I} = 15.9 \text{ psia}$$

$$\left( \frac{P_2/P_o}{G/G_{cni}} \right) = 1.5$$

$$d^2 = \frac{227,447}{247(15.9)} \sqrt{\frac{618}{23}} (1.5) = 450.31$$

$$d \approx 20''$$

#### 3.3.2 Espesor de pared del tubo

$$t_m = \frac{150 D}{2 (20,000) + 2 (150) (0.4)}$$

<u>D(in)</u>	<u>t(in)</u>	<u>ced.</u>	<u>di (in)</u>
16	0.250	10	15.5
18	0.250	10	17.5
20	0.250	10	19.5

3.3.3 Po para  $\emptyset = 20''$

$$N = \frac{4 fL}{D} + \leq K$$

$$\frac{4 fL}{D} = 0.27 \left[ \frac{80}{(19.5)^{1.23}} \right] = 0.56$$

Considerando 1 codo de  $90^\circ$ , 1 reducci3n y 1 entrada tenemos:

$$(L/D) \text{ codo} = 20$$

$$K_{\text{red}} 18'' \times 16'' = 0.04$$

$$K_{\text{entrada}} = 0.78$$

$$\leq K = \frac{0.023}{19.5^{0.23}} (20) = 0.23 + 0.82 = 1.05$$

$$N = 0.56 + 1.05 = 1.61$$

con valor medio de  $\left( \frac{P_2/P_0}{G/G_{cni}} \right)$

$$\left( \frac{P_2/P_0}{G/G_{cni}} \right) = 1.5$$

De carta de Lapple:

$$P_2/P_o = 0.88$$

$$P_o = 15.9/0.88 = 18.0 \text{ psia}$$

3.3.4 Para  $\theta = 18''$

$$N = \frac{4 \text{ fL}}{D} + \epsilon K$$

$$\frac{4 \text{ fL}}{D} = 0.27 \left[ \frac{80}{(17.5)^{1.23}} \right] = 0.64$$

$$EK = \frac{0.023}{(17.5)^{0.23}} (20) + 0.82 = 1.06$$

$$N = 0.64 + 1.06 = 1.7$$

$$\left( \frac{P_2/P_o}{G/G_{cni}} \right) = \frac{247(15.9)(17.5)^2}{227,447} \sqrt{\frac{23}{618}} = 1.02$$

De carta de Lapple:

$$P_2/P_o = 0.73$$

$$P_o = 15.9/0.73 = 21.7 \text{ psia}$$

3.3.5 Para  $\theta = 16''$

$$N = \frac{4 \text{ fL}}{D} + \epsilon K$$

$$\frac{4 fL}{D} = 0.27 \left[ \frac{80}{(15.5)^{1.23}} \right] = 0.74$$

$$\leq K = \left[ \frac{0.023}{(15.5)^{0.23}} \right] (20) + 0.82 = 1.06$$

$$N = 0.74 + 1.06 = 1.80$$

Calculando  $\left( \frac{P_2/P_o}{G/G_{cni}} \right)$

$$\left( \frac{P_2/P_o}{G/G_{cni}} \right) = \frac{247P_2 d^2}{W} \sqrt{\frac{m}{T_o}} = \frac{247(15.9)(15.5)^2}{227,497} \sqrt{\frac{23}{618}}$$

$$= 0.8$$

De carta de Lapple:

$$P_2/P_o = 0.65$$

$$P_o = 15.9/0.65 = 24.4 \text{ psia}$$

### 3.3.6 Resumen para tramo T - II

<u>d (in)</u>	<u>(P<sub>2</sub>/P<sub>o</sub>)(G/G<sub>cni</sub>)</u>	<u>N</u>	<u>P<sub>o</sub>(psia)</u>
16	0.8	1.8	24.4 ←
18	1.02	1.7	21.7
20	1.5	1.6	18.0

3.4 Tramo T - III

## 3.4.1 Diámetro del tubo

$$d^2 = \frac{W}{247P_2} \sqrt{\frac{T_o}{m}} \left( \frac{P_2/P_o}{G/G_{cni}} \right)$$

$$q' = 10 \times 10^6 \text{ SCFD}$$

$$m = 32 \text{ lb/lbmol}$$

$$W = 10 \times 10^6 \times 32 \times \frac{1}{379.21} \times \frac{1}{24} = 35,161 \text{ lb/hr.}$$

$$\left( \frac{P_2/P_o}{G/G_{cni}} \right) = 1.5 \quad \text{----- valor medio}$$

$$d^2 = \frac{35,161}{247 \times 15.9} \sqrt{\frac{618}{32}} (1.5) = 59.02$$

$$d \approx 8''$$

## 3.4.2 Espesor de pared del tubo

$$t_m = \frac{150 D}{2(20,000) + 2(0.4)(150)}$$

<u>d(in)</u>	<u>t(in)</u>	<u>ced.</u>	<u>di (in)</u>
6	0.280	40	6.065
8	0.250	20	8.125
10	0.250	20	10.250

3.4.3 Po para  $\emptyset = 8''$

$$N = \frac{4 fL}{D} + \sum K$$

$$\frac{4 fL}{D} = 0.27 \left[ \frac{70}{(8.125)^{1.23}} \right] = 1.43$$

Consideremos:

1 salida  $\rightarrow K = 0.78$

1 entrada  $\rightarrow K = 1.0$

1 codo  $90^\circ \rightarrow L/D = 20$

$$\sum K = \frac{0.023}{(8.125)^{0.23}} (20) + 1.78 = 2.06$$

$$N = 1.43 + 2.06 = 3.49$$

De carta de Lapple:

$$P_2/P_0 = 0.78$$

$$P_0 = 15.9/0.78 = 20.3 \text{ psia}$$

3.4.4. Po para  $\emptyset = 6''$

$$N = \frac{4 fL}{D} + \sum K$$

$$\frac{4 fL}{D} = 0.27 \left[ \frac{70}{(6.065)^{1.23}} \right] = 2.06$$

$$\sum K = \frac{0.023}{(6.065)^{0.23}} (20) + 1.78 = 2.08$$

$$N = 2.06 + 2.08 = 4.14$$

Calculando:  $\left( \frac{P_2/P_0}{G/G_{cni}} \right)$

$$\left( \frac{P_2/P_0}{G/G_{cni}} \right) = \frac{247 P_2 d^2}{W} \sqrt{\frac{m}{T_0}} = \frac{247 (15.9) (6.065)^2}{35,161} \sqrt{\frac{32}{618}}$$

$$= 0.93$$

De carta de Lapple:

$$P_2/P_0 = 0.62$$

$$P_0 = 15.9/0.62 = 25.6 \text{ psia}$$

3.4.5  $P_0$  para  $\emptyset = 10''$

$$N = \frac{4 fL}{D} + \sum K$$

$$\frac{4 fL}{D} = 0.27 \left[ \frac{70}{(10.25)^{1.23}} \right] = 1.08$$

$$\sum K = \frac{0.023}{(10.25)^{0.23}} (20) + 1.78 = 2.05$$

$$N = 1.08 + 2.05 = 3.13$$

Calculando:  $\left( \frac{P_2/P_o}{G/G_{cni}} \right)$

$$\left( \frac{P_2/P_o}{G/G_{cni}} \right) = \frac{247 P_2 d^2}{W T_o} \sqrt{\frac{m}{T_o}} = \frac{247 (15.9)(10.25)^2}{35,161} \sqrt{\frac{32}{618}} = 2.7$$

De carta de Lapple:

$$P_2/P_o = 0.92$$

$$P_o = 15.9/0.92 = 17.2 \text{ psia}$$

#### 3.4.6 Resumen para tramo T -III

<u>d(in)</u>	<u>(P<sub>2</sub>/P<sub>o</sub>)(G/G<sub>cni</sub>)</u>	<u>N</u>	<u>P<sub>o</sub>(psia)</u>
6	0.93	4.14	25.6
8	1.5	3.49	20.3 ←
10	2.7	3.13	17.2

## 3.5 Tramo T - IV

## 3.5.1 Diámetro del tubo

$$d^2 = \frac{W}{247P_2} \sqrt{\frac{T_o}{m}} \left( \frac{P_2/P_o}{G/G_{cni}} \right)$$

$$q' = 10 \times 10^6 \text{ SCFD}$$

$$m = 32$$

$$W = 10 \times 10^6 \times 32 \times \frac{1}{379.21} \times \frac{1}{24} = 35,161 \text{ lb/hr.}$$

$$P_2 = 20.3 \text{ psia}$$

$$\left( \frac{P_2/P_o}{G/G_{cni}} \right) = 1.5$$

$$d^2 = \frac{35,161}{247(20.3)} \left( \frac{618}{32} \right)^{1/2} (1.5) = 46.23$$

$$d \approx 8''$$

## 3.5.2 Espesor de pared del tubo

$$t_m = 0.00374D$$

$$t = \frac{t_m}{0.875} = \frac{0.00374D}{0.875} = 0.00427D$$

d (in)	t(in)	ced.	di(in)
8	0.250	20	8.125
10	0.250	20	10.250
12	0.250	20	12.250

3.5.3 Po para  $\phi = 8''$

$$N = \frac{4 fL}{D} + \sum K$$

$$\frac{4 fL}{D} = 0.27 \left[ \frac{70}{(8.125)^{1.23}} \right] = 1.43$$

Considerando:

$$1 \text{ "T" } \rightarrow K = 0.84$$

$$1 \text{ Red. } \rightarrow K = 0.15$$

$$1 \text{ entrada } \rightarrow K = 1.0$$

$$\sum K = \frac{0.023}{(8.125)^{0.23}} + 2.0 = 2.01$$

$$N = 1.43 + 2.01 = 3.44$$

De carta de Lapple:

$$P_2/P_0 = 0.76$$

$$P_0 = 20.3/0.76 = 26.7 \text{ psia}$$

3.5.4 Po para  $\phi = 12''$

$$\frac{4fL}{D} = 0.27 \left[ \frac{70}{(12.25)^{1.23}} \right] = 0.87$$

$$\sum K = \frac{0.023}{(12.25)^{0.23}} + 2.0 = 2.01$$

$$\left( \frac{P_2/P_0}{G/G_{cni}} \right) = \frac{247P_2d^2}{W} \sqrt{\frac{m}{T_0}} = \frac{247(20.3)(12.25)^2}{35,161} \sqrt{\frac{32}{618}} = 4.87$$

$$N = 0.87 + 2.01 = 2.88$$

De carta de Lapple:

$$P_2/P_0 = 0.98$$

$$P_0 = 20.3/0.98 = 20.7 \text{ psia}$$

3.5.5 Po para  $\phi = 10''$

$$\frac{4fL}{D} = 0.27 \left[ \frac{70}{(10.25)^{1.23}} \right] = 1.11$$

$$\sum K = \frac{0.023}{(10.25)^{0.23}} = 0.013 + 2.01 = 2.02$$

$$N = 1.11 + 2.02 = 3.12$$

Calculando:  $\left( \frac{P_2/P_0}{G/G_{cni}} \right)$

$$\left( \frac{P_2/P_0}{G/G_{cni}} \right) = \frac{247P_2d^2}{W} \sqrt{\frac{m}{T_0}}$$

$$= \frac{247(20.3)(10.25)^2}{35,161} \sqrt{\frac{32}{618}} = 3.41$$

De carta de Lapple:

$$P_2/P_0 = 0.94$$

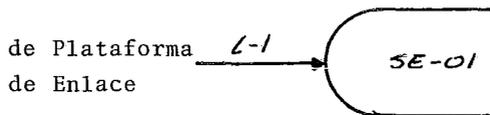
$$P_0 = 20.3/0.94 = 21.5 \text{ psia}$$

### 3.5.6 Resumen para tramo T - IV

<u>d(in)</u>	<u>(P<sub>2</sub>/P<sub>0</sub>)(G/G<sub>cni</sub>)</u>	<u>N</u>	<u>P<sub>0</sub>(psia)</u>
8	1.5	4.06	26.7
10	3.41	3.74	21.5 ←
12	4.87	3.5	20.7

## 3.6) Dimensionamiento de Línea L-1

L-1 línea de alimentación de crudo en dos fases



a) Diámetro de la línea

$$V_e = \frac{c}{(P_m)^{1/2}} \dots \dots \dots (23)$$

donde

$V_e$  = velocidad erosional, ft/seg

$c$  = constante = 100 para proceso continuo

$P_m$  = densidad de la mezcla gas/líquido, lb/ft<sup>3</sup>

$$P_m = \frac{12,409 S_e P + 2.7 R S_g P}{198.7 P + RT} \dots \dots \dots (24)$$

donde

$P$  = presión de operación, psia

$S_e$  = densidad relativa del líquido

$R$  = razón gas/líquido, ft<sup>3</sup>/bb1

$T$  = temperatura de operación, °R

$S_g$  = densidad relativa del gas

una vez que  $V_e$  se calculó, el área mínima transversal para evitar que el fluido erosione puede ser determinado a partir de la sig. expresión:

$$A = \frac{9.35 + \frac{RT}{21.25 P}}{V_e} \dots \dots \dots (25)$$

donde

$$A = \text{área mínima transversal requerida de flujo} \\ = \text{in}^2 / 1000 \text{ bbl/día}$$

b) Caída de presión

$$\Delta P_{100'} = \frac{6.9 \times 10^{-6} W^2}{d_i^5 P_m} \dots (26)$$

donde

$$\Delta P_{100'} = \text{caída de presión c/100 ft, psi}$$

$d_i$  = diámetro interno del tubo, in

$P_m$  = densidad gas/líquido a P y T de flujo  $= [ \text{lb/ft}^3 ]$

W = líquido + vapor, lb/hr

$$W = 3180 Q_g S_g + 14.6 Q_l S_l \dots (27)$$

donde

$Q_g$  = flujo de gas, millones de  $\text{ft}^3/\text{día}$ , 14.7 psia  
y 60 °F

$S_g$  = densidad relativa del gas

$Q_l$  = flujo de líquido bbl/día

$S_e$  = densidad relativa del líquido

c) Cálculos

$$P_m = \frac{12,409 S_e P + 2.7 R S_g P}{198.7 P + RT}$$

datos

$$S_e = 0.9$$

$$P = 64.7 \text{ psia}$$

$$R = 1000 \text{ ft}^3/\text{bbl}$$

$$S_g = 23.9/29 = 0.824$$

$$T = 618 \text{ } ^\circ\text{R}$$

$$P_m = \frac{12.409(0.9)(64.7) + 2.7(1000)(0.824 \times 64.7)}{198.7(64.7) + 100 \times 618} = 1.37 \text{ lb/ft}^3$$

$$V_e = \frac{100}{\sqrt{1.37}} = 85.32 \text{ ft/seg}$$

$$A = \frac{9.35 + \frac{RT}{21.25 P}}{V_e} = \frac{9.35 + (1000 \times 618/21.25 \times 64.7)}{85.32}$$

$$= 5.38 \text{ in}^2/1000 \text{ bbl/día}$$

$$A = 5.38 \frac{\text{in}^2}{1000 \frac{\text{bbl}}{\text{día}}} \times 100,000 \frac{\text{bbl}}{\text{día}} = 538 \text{ in}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \left( \frac{4 \times 538}{\pi} \right)^{1/2} = 26.17 \dots \dots \dots (28)$$

$$\therefore \emptyset = 28'' \text{ ced. } 10$$

$$\Delta P_{100'} = \frac{6.9 \times 10^{-6} W^2}{d_i^5 P_m}$$

$$W = 3180 Q_g S_g + 14.6 Q_1 S_1$$

$$= 3180 \times 100 \times 0.824 + 14.6 \times 100,000 \times 0.9$$

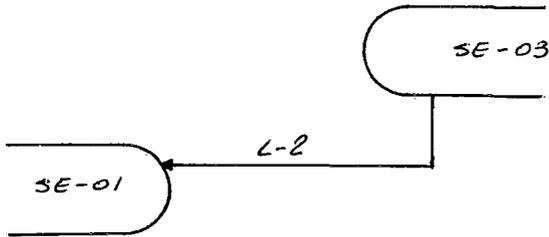
$$= 1,576,032 \text{ lb/hr}$$

$$d_i = 27.376''$$

$$P_m = 1.37 \text{ lb/ft}^3$$

$$\Delta P_{100'} = \frac{6.9 \times 10^{-6} (1,576,032)^2}{(27.376)^5 (1.37)} = 0.81 \text{ psi}$$

## 3.7 Dimensionamiento de Línea L-2



## 3.7.1 Cálculo del número de Reynolds (Re)

$$Re = 50.6 \frac{Q \rho}{d \mu} \dots\dots (29)$$

donde:

Q = gasto, GPM

$\rho$  = densidad, lb/ft<sup>3</sup>

d = diámetro interno del tubo, in

$\mu$  = viscosidad, cp

3.7.2 Cálculo de  $\Delta P_{100}$ 

$$\Delta P_{100} = 0.0216 \frac{f \rho Q^2}{d^5} \dots\dots (30)$$

donde:

f = factor de fricción =  $\phi$  (Re,  $\theta$ )

## 3.7.3 Datos

$$Q = 90,000 \text{ BBLD} = 2625 \text{ GPM}$$

$$\rho = 56.16 \text{ lb/ft}^3$$

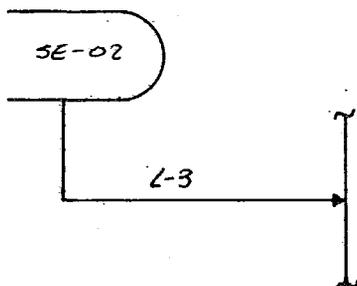
$$\mu = 22 \text{ cp.}$$

## 3.7.4 Resultados

$\emptyset$	12"	14"	16"
di(in)	11	13	15
V(ft/seg)	9.84	7.04	5.29
Re	$3.42 \times 10^4$	$2.89 \times 10^4$	$2.51 \times 10^4$
$\Delta P_{100}$ (Psi)	1.79	0.80	0.4

Se elige la alternativa correspondiente al diámetro de 14".

## 3.8 Dimensionamiento de Línea L-3



## 3.8.1 Datos

$$Q = 90,000 \text{ BBLD}$$

$$= 2625 \text{ GPM}$$

$$\rho = 56.16 \text{ lb/ft}^3$$

$$\mu = 22 \text{ cp}$$

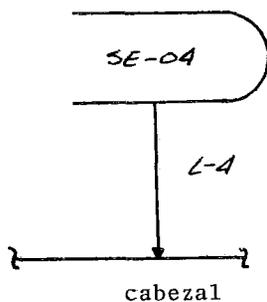
## 3.8.2 Resultados

$\emptyset$	12"	14"	16"
di (in)	11	13	15
V (ft/seg)	9.84	7.04	5.29
Re	$3.42 \times 10^4$	$2.89 \times 10^4$	$2.51 \times 10^4$
$\Delta P_{100}$ (psi)	1.79	0.80	0.4

De lo anterior la alternativa correspondiente a

$$\emptyset = 14''.$$

## 3.9) Dimensionamiento de Línea L-4



## 3.9.1) Datos

$$Q = 10,000 \text{ BBLD}$$

$$= 292 \text{ GPM}$$

$$\rho = 56.16 \text{ lb/ft}^3$$

$$\mu = 23 \text{ cp}$$

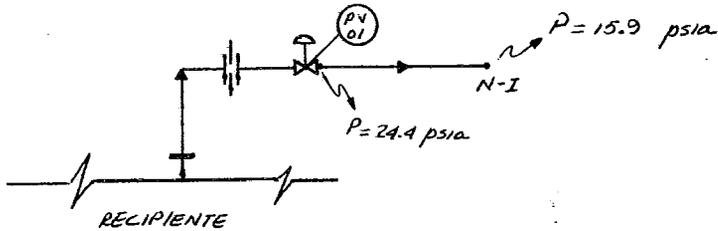
## 3.9.2) Resultados

$\emptyset$	4"	6"	8"
di (in)	3	5	7
V (ft/seg)	6.62	2.38	1.22
Re	$6.28 \times 10^3$	$3.77 \times 10^3$	$2.69 \times 10^3$
$\Delta P_{100}$ (psi)	4.57	0.41	0.08

De los resultados anteriores se selecciona la alternativa correspondiente a  $\emptyset = 6''$

## 4.0 Cálculo de válvulas

## 4.1 Válvula PV-01



a) Presión a la entrada de la válvula (PE)

$$N = \frac{4fL}{D} + \sum K$$

$$L = 40 \text{ ft}; \quad d_i = 15.5 \text{ in}$$

$$\frac{4fL}{D} = 0.27 \left( \frac{L}{d^{1.23}} \right) = 0.27 \left( \frac{40}{(15.5)^{1.23}} \right) = 0.37$$

considerando:

$$2 \text{ codos } 90^\circ \quad \longrightarrow \quad L/D = 20 \implies Le = 2 (20) = 40$$

$$1 \text{ red. } 16'' \times 14'' \quad \longrightarrow \quad K = 0.04$$

$$1 \text{ salida} \quad \longrightarrow \quad K = 1.0$$

$$\sum K = 0.023 \left[ \frac{Le}{d^{0.23}} \right] = 0.023 \left[ \frac{40}{(15.5)^{0.23}} \right] + 1.04 = 1.53$$

$$N = 0.37 + 1.53 = 1.9$$

Para calcular la presión "aguas arriba" la ecuación 16 se escribe:

$$(G/G_{cni}) = \frac{W}{247Pod^2} \sqrt{\frac{T_o}{m}}$$

$$W = 227,447 \text{ lb/hr.}$$

consideramos 1 psi de caída de presión en el "demister":

$$P_o = 64.7 - 1 = 63.7 \text{ psia}$$

$$d = 15.5 \text{ in}$$

$$T_o = 618^\circ R$$

$$m = 23 \text{ lb/lbmol}$$

$$(G/G_{cni}) = \frac{227,447}{247(63.7)(15.5)^2} \sqrt{\frac{618}{23}} = 0.31$$

De carta de Lapple:

$$P_2/P_o = 0.97$$

$$P_2 = 0.97 (63.7) = 61.78 \text{ psia}$$

$$\Delta P_{\text{orificio}} = 300 \text{ in H}_2\text{O} = 10.83 \text{ psi}$$

$$P_E = 61.78 - 10.83 = 50.95 \text{ psia}$$

b) Cálculo del Cv de la válvula

Se considerará válvula de globo

$$C_g = C_v C_i$$

$C_i$  = coeficiente de recuperación

$$C_g = \frac{Q_s}{\sqrt{\frac{520}{S_g T}} P_i \text{ sen} \left[ \frac{3417}{C_i} \sqrt{\frac{\Delta P}{P_i}} \right]} \quad \text{----- (31)}$$

donde:

$Q_s$  = flujo de dimensionamiento = 1.3  $Q_{\text{normal}}$ , SCFH

$S_g$  = densidad relativa del gas

$T$  = temperatura, °R

$P_i$  = presión a la entrada de la válvula, psia

$\Delta P$  = caída de presión en válvula, psia

Datos

$$Q_s = 1.3 \times \frac{90 \times 10^6}{24} \text{ SCFD} = 4.875 \times 10^6 \text{ SCFH}$$

$$S_g = 23/29 = 0.79$$

$$T = 618^\circ \text{R}$$

$$P_i = 50.95 \text{ psia}$$

$$C_i = 35 \text{ p/válv. de globo}$$

$$\Delta P = 50.95 - 24.4 = 26.55 \text{ psi}$$

$$C_g = \frac{4.875 \times 10^6 \text{ SCFH}}{\left(\frac{520}{0.79 \times 618}\right)^{1/2} (50.95) \sin \left[ \frac{3417}{35} \frac{26.55}{50.95} \right]^{1/2}} = 98,108$$

$$C_v = \frac{98,108}{35} = 2,803$$

c) Dimensionamiento de la válvula

$$C_v = \frac{29.9 d^2}{K} \quad \text{----- (32)}$$

$$K = 340 f ; f = 0.013$$

$$K = 340 (0.013) = 4.42$$

$$d^2 = \frac{C_v \sqrt{K}}{29.9} = \frac{2,803 \sqrt{4.42}}{29.9} = 197.09$$

$$d = 14.04 \text{ in}$$

## 4.2 Válvula SF-01

Esta válvula será del tipo balanceada, es decir, para trabajar con contrapresión variable.

$$A = \frac{W}{CKK_{vp}} \left( \frac{TZ}{m} \right)^{1/2} \text{ ----- (33)}$$

donde:

A = área del orificio de flujo, in<sup>2</sup>.

W = flujo en masa, lb/hr.

C = constante = f (k)

K = coeficiente de descarga de la válvula.

K<sub>v</sub> = factor de corrección para contrapresión variable.

P = presión de calibración más sobre presión

T = temperatura, °R.

Z = factor de compresibilidad

m = peso molecular, lb/lbmol.

datos:

W = 240, 251 lb/hr.

C = f (K = C<sub>p</sub>/C<sub>v</sub> = 1.24) = 341

K = 0.975

presión de calibración = 150 psig

contrapresión = 0 - 50 psig

$$\% \text{ contrapresión} = \frac{50}{150} \times 100 = 33.33\%$$

de gráficas  $K_v = 1.0$

$$P = (150 + 14.7) \times 1.1 = 181.17 \text{ psia}$$

$$T = 618^\circ\text{R}$$

$$Z = 0.9$$

$$m = 23 \text{ lb/lbmol.}$$

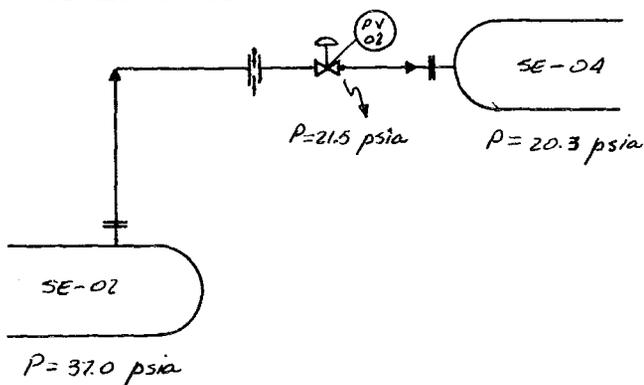
$$A = \frac{240,251}{341 \times 0.975 \times 181.17} \left( \frac{618 \times 0.9}{23} \right)^{1/2} = 19.61 \text{ in}^2.$$

De tablas para tamaños de orificio de válvulas de alivio:

$$\text{elegimos orificio } R = 19.64 \text{ in}^2.$$

válvula 6" x 10"

## 4.3 Válvula PV-02



a) Presión a la entrada de la válvula ( $P_E$ ).

$$N = \frac{4fL}{D} + \sum K$$

$$L = 25 \text{ ft} ; d_i = 10.25''$$

$$\frac{4fL}{D} = 0.27 \frac{L}{d^{1.23}} = 0.27 \left[ \frac{25}{(10.25)^{1.23}} \right] = 0.39$$

considerando:

$$1 \text{ codo } 90^\circ \rightarrow L/D = 20$$

$$1 \text{ red.} \rightarrow K = 0.15$$

$$1 \text{ salida} \rightarrow K = 1.0$$

$$\sum K = 0.023 \frac{L_e}{d^{0.23}} = 0.023 \left[ \frac{20}{(10.25)^{0.23}} \right] = 1.62$$

$$N = 0.39 + 1.62 = 2.01$$

Presión aguas arriba

$$(G/G_{cni}) = \frac{W}{247Pod^2} \sqrt{\frac{To}{m}}$$

$$W = 35,161 \text{ lb/hr.}$$

$$Po = 37.0 \text{ psia}$$

$$d = 10.25''$$

$$To = 618^\circ R$$

$$m = 32 \text{ lb/lbmol.}$$

$$(G/G_{cni}) = \frac{35,161}{247(37)(10.25)^2} \sqrt{\frac{618}{32}} = 0.16$$

De carta de Lapple:

$$P_2/Po = 0.99$$

$$P_2 = 37(0.99) = 36.63$$

$$\Delta P_{orif.} = 250'' \quad H_2O = 9 \text{ psi}$$

$$P_E = 36.63 - 9 = 27.63 \text{ psia}$$

b) Cv de la válvula

Se considerará válvula de globo

$$C_g = C_v C_i$$

$$C_g = \frac{Q_s}{\sqrt{\frac{520}{S_g T} P_i} \operatorname{sen} \left[ \frac{3417}{C_i} \sqrt{\frac{\Delta P}{P}} \right]}$$

datos:

$$Q_s = 1.3(10 \times 10^6 \text{ SCFD}) \times \frac{1}{24} = 541,667 \text{ SCFH}$$

$$S_g = 32/29 = 1.10$$

$$T = 618^\circ \text{R}$$

$$P_i = P_E = 27.63 \text{ psia}$$

$$C_i = 35$$

$$\Delta P = 27.63 - 21.5 = 6.13 \text{ psi}$$

$$C_g = \frac{541,667}{\left( \frac{520}{1.1 \times 618} \right)^{1/2} (27.63) \operatorname{sen} \left[ \frac{3417}{35} \left( \frac{6.13}{27.63} \right)^{1/2} \right]}$$

$$= 31,169$$

$$C_v = \frac{31,169}{35} = 891$$

c) Dimensionamiento de la válvula

$$C_v = \frac{29.9 d^2}{\sqrt{K}}$$

$$K = 340 f$$

$$f = 0.014$$

$$K = 340 (0.014) = 4.76$$

$$\begin{aligned} d^2 &= \frac{C_v \sqrt{K}}{29.9} \\ &= \frac{891 \sqrt{4.76}}{29.9} = 65.01 \end{aligned}$$

$$\therefore d = 8.06''$$

## 4.4 Válvula SF-02

Esta válvula es del tipo balanceada

$$A = \frac{W}{C K K_v P} \left( \frac{TZ}{m} \right)^{1/2}$$

datos:

$$W = 35,161 \text{ lb/hr.}$$

$$C = f(k) = 341$$

$$K = 0.975$$

presión de calibración = 150 psig

contrapresión = 0 - 50 psig

$$\% \text{ contrapresión} = \frac{50}{150} \times 100 = 33.33\%$$

de gráficas  $K_v = 1.0$

$$P = (150 + 14.7) (1.1) = 181.17 \text{ psia}$$

$$T = 618^\circ\text{R}$$

$$Z = 0.9$$

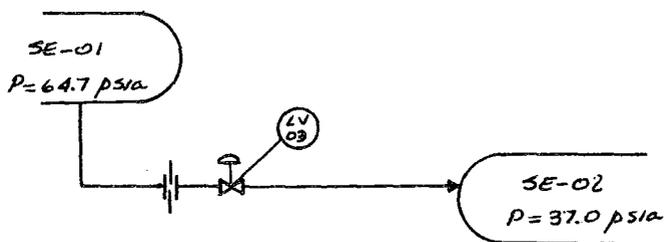
$$m = 32 \text{ lb/lbmol.}$$

$$A = \frac{35,161}{341 \times 0.975 \times 1 \times 181.17} \left( \frac{618 \times 0.9}{32} \right)^{1/2}$$

$$= 2.43 \text{ in}^2.$$

∴ Orificio : L → 3" x 4"

## 4.5) Válvula LV-03



## a) Dimensionamiento de línea

$$Q = 100,000 \text{ BBL/D} = 6.5 \text{ ft}^3/\text{seg} = 2917 \text{ GPM}$$

$$\rho = 56.16 \text{ lb/ft}^3$$

$$\mu = 22 \text{ cp}$$

## a.1) Resultados

$\emptyset$	12"	14"	16"
di (in)	11	13	15
V (ft/seg)	9.84	7.04	5.29
Re	$3.42 \times 10^4$	$2.89 \times 10^4$	$2.51 \times 10^4$
$\Delta P_{100}$ (psi)	1.79	0.80	0.40

De lo mostrado optamos por  $\emptyset = 14''$

b) Presión a la entrada de la válvula ( $P_E$ )

Considerando los siguientes accesorios

1 codo 90° L=35'

1 red. L=19'

1 salida L=90'

$$L_t = 144'$$

Tramos rectos = 23'

Total = 110 + 23 = 133'

$$P = \frac{0.80}{100} \times 144 = 1.152 \text{ psi}$$

considerando 300" H<sub>2</sub>O para  $\Delta P_{\text{orificio}}$

$$P_E = 64.7 - 1.15 - 10.83 = 52.72 \text{ psia}$$

c) Presión a la salida de la válvula

$$2 \text{ codos } 90^\circ \quad L = 70'$$

$$1 \text{ expansión} \quad L = 26'$$

$$1 \text{ entrada} \quad L = 70'$$

$$L_t = 166'$$

Tramos rectos = 22'

Total = 166 + 22 = 188'

$$\Delta P = \frac{0.8}{100} \times 188 = 1.504 \text{ psi}$$

$$P_s = 37 + 1.15 = 38.15 \text{ psia}$$

d)  $C_v$  de la válvula

$$(C_v)_{11q} = Q \sqrt{\frac{S_g}{\Delta P}} \dots \dots \dots (34)$$

$$\Delta P = 52.72 - 38.15 = 14.57 \text{ psi}$$

$$(C_v)_{11q} = 2917 \sqrt{\frac{0.9}{14.57}} = 708.2$$

para dimensionamiento

$$(C_v)_d = 1.3 (C_v)_{11q} = 1.3 (708.2)$$

$$= 920.2$$

e) Dimensionamiento de la válvula

$$C_v = \frac{29.9 d^2}{\sqrt{K}}$$

$$d^2 = \frac{C_w \sqrt{K}}{29.9}$$

$$k = 340 f$$

$$f = 0.013$$

$$k = 340 \times 0.013 = 4.42$$

$$d^2 = \frac{921 \sqrt{4.42}}{29.9} = 64.76$$

$$\therefore d = 8''$$

#### 4.6) Válvula SF-03 \*

Válvula del tipo balanceada

$$A = \frac{W}{C K K_v P} \left( \frac{TZ}{M} \right)^{1/2}$$

datos

$$Q = 240, 251 \text{ lb/hr}$$

$$C = f(k) = 341$$

$$K = 0.975$$

$$K_v = 1.0$$

$$P = 181.17 \text{ psia}$$

$$T = 618^\circ \text{R}$$

$$Z = 0.9$$

$$M = 23 \text{ lb/lb mol}$$

$$A = \frac{240,251}{341 \times 0.975 \times 1.0 \times 181.17} \left( \frac{618 \times 0.9}{23} \right)^{1/2} = 19.61 \text{ in}^2$$

$$\text{Orificio: } R = 19.64 \text{ in}^2$$

$$\therefore \text{válvula de } 6'' \times 10''$$

\* Esta válvula es semejante a la SF-01

4.7 LV-04

a) Cv de la válvula

$$Q = 2625 \text{ GPM}$$

$$S_g = 56.16/62.4 = 0.9$$

$$P = 10 \text{ psi}$$

$$C_v = Q \sqrt{\frac{S_g}{\Delta P}}$$

$$= 2625 \sqrt{\frac{0.9}{10}}$$

$$= 787.50 \approx 788$$

b) Dimensionamiento de la válvula

$$d^2 = \frac{C_v \sqrt{K}}{29.9}$$

$$K = 340 f$$

$$f = 0.014$$

$$K = 340 \times 0.014 = 4.76$$

$$d^2 = \frac{788 \sqrt{4.76}}{29.9} = 57.5$$

$$d = 7.58 \text{ in} \rightarrow 8 \text{ in}$$

## 4.8 LV-05

a) Cv de la válvula

$$Q = 292 \text{ GPM}$$

$$Sg = 0.9$$

$$\Delta P = 5 \text{ psi}$$

$$\begin{aligned} C_v &= Q \sqrt{\frac{Sg}{\Delta P}} \\ &= 292 \sqrt{\frac{0.9}{5}} \\ &= 123.88 \approx 124 \end{aligned}$$

b) Dimensionamiento

$$d^2 = \frac{C_v \sqrt{K}}{29.9}$$

$$K = 340 f$$

$$f = 0.017$$

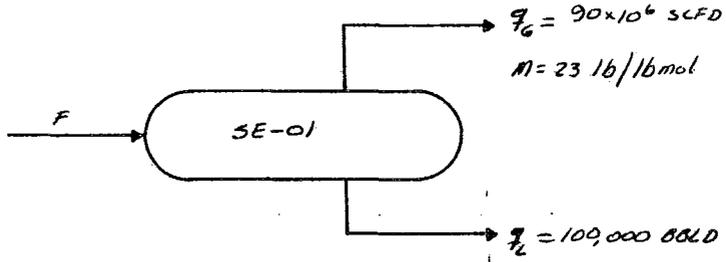
$$K = 340 \times 0.017 = 5.78$$

$$d^2 = \frac{124 \sqrt{5.78}}{29.9} = 9.97$$

$$d = 3.15 \text{ in} \rightarrow 4 \text{ in}$$

## 5.0 Cálculo de separadores

## 5.1 Separador de la primera etapa



P operación = 50 psig

T operación = 158 °F

## 5.1.1 Cálculo del factor de separación (fs)

$$f_s = \frac{W_L}{W_G} \left( \frac{\rho_G}{\rho_L} \right)^{1/2} \quad \text{----- (35)}$$

corrigiendo el gas a condiciones actuales

$$q_G = 90 \times 10^6 \text{ SCFD} = 281.27 \text{ ft}^3/\text{seg.}$$

$$\rho_G = \frac{P_m}{ZRT} = \frac{64.7 \times 23}{0.9 \times 10.72 \times 618} = 0.25 \text{ lb/ft}^3.$$

$$W_G = 90 \times 10^6 \times \frac{1}{379.21} \times 23 \times \frac{1}{24} \times \frac{1}{3600} = 63.18 \text{ lb/seg.}$$

$$q_L = 100,000 \times \frac{42}{7.48} \times \frac{1}{24} \times \frac{1}{3600} = 6.5 \text{ cfs}$$

$$\rho_L = 0.9 \times 62.4 = 56.16 \text{ lb/ft}^3.$$

$$W_L = 6.5 \times 56.16 = 365 \text{ lb/seg.}$$

$$f_s = \frac{365}{63.18} \sqrt{\frac{0.25}{56.16}} = 0.39$$

5.1.2 Obtención de la constante del sistema ( $K_H$ )

De tablas:  $K_H = 0.36$

5.1.3 Cálculo de la velocidad máxima del gas ( $U_G$ ) máx.

$$(U_G)_{\text{máx.}} = K_H \left( \frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G} \right)^{1/2} \text{ ----- (36)}$$

$$= 0.36 \frac{56.16 - 0.25}{0.25}^{1/2} = 5.4 \text{ ft/seg.}$$

5.1.4 Cálculo del área mínima de gas ( $A_G$ ) mín.

$$(A_G)_{\text{mín.}} = \frac{q_G}{(U_G)_{\text{máx.}}} = \frac{281.25 \text{ ft}^3/\text{seg.}}{5.4 \text{ ft/seg.}} = 52.0 \text{ ft}^2$$

5.1.5 Cuando el recipiente está lleno

$$(A_G)_{\text{total}} = (A_G)_{\text{mín.}} / 0.4 = 52 / 0.4 = 130 \text{ ft}^2$$

$$D_{\text{mín.}} = \left( \frac{4(A_G)_{\text{total}}}{\pi} \right)^{1/2} = \left( \frac{4(130)}{\pi} \right)^{1/2} = 12.866 \text{ ft}$$

$$\therefore D = 14 \text{ ft}$$

5.1.6 Cálculo de la longitud del recipiente

$$L = \frac{V_{f1}}{\left(\frac{\pi}{4}\right) D^2} \quad \text{----- (37)}$$

$V_{f1}$  = vol. del recipiente lleno de líquido

$$= q_L \theta = 6.5 \text{ cfs} \times 60 \times \theta = 390 \theta$$

$$L = \frac{V_{f1}}{\left(\frac{\pi}{4}\right) (14)^2} = \frac{V_{f1}}{153.938}$$

Si  $5 < L/D < 3$  recalcular

$\theta$	$V_{f1}$	L	L/D
18	7020	46	3.257
20	7800	51	3.619
25	9750	64	4.524

$$\therefore D = 14 \text{ ft} \quad L/D \text{ 3.286}$$

$$L = 46$$

## 5.1.7 Espesor de placa

$$t = \frac{Pr_i}{SE - 0.6P} \quad \text{----- (38)}$$

donde:

t = espesor de pared, in

P = presión, psig

r<sub>i</sub> = radio, in

E = eficiencia de junta, fracción = 0.85

S = esfuerzo permisible del material, psi

datos:

P = 150 psig

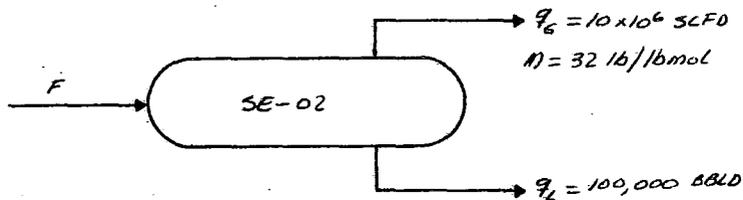
r<sub>i</sub> = (15/2) = 7.5 x 12 = 90 in

S = 13,800 psi para acero ASTM-A-285, Gr. C

$$t = \frac{150 \times 90}{13800(0.85) - 0.6 (150)} = 1.161 \text{ in}$$

∴ *t* = 1 3/16"

## 5.2 Separador de la segunda etapa



P operación = 22.3 psig = 37 psia

T operación = 158°F

## 5.2.1 Cálculo del factor de separación

$$f_s = \frac{W_L}{W_G} \left( \frac{\rho_G}{\rho_L} \right)^{1/2}$$

corrigiendo el gas a condiciones actuales

$$q_G = 10 \times 10^6 \text{ SCFD} = 54.65 \text{ ft}^3/\text{seg.}$$

$$\rho_G = \frac{Pm}{ZRT} = \frac{37 \times 32}{0.9 \times 10.72 \times 618} = 0.19 \text{ lb/ft}^3$$

$$W_G = 10 \times 10^6 \times \frac{1}{379.21} \times 32 \times \frac{1}{24} \times \frac{1}{3600} = 9.77 \text{ lb/seg.}$$

$$q_L = 100,000 \times \frac{42}{7.48} \times \frac{1}{24} \times \frac{1}{3600} = 6.5 \text{ cfs}$$

$$\rho_L = 56.16 \text{ lb/ft}^3$$

$$W_L = 6.5 \times 56.16 = 365 \text{ lb/seg.}$$

$$f_s = \frac{365}{9.77} \sqrt{\frac{0.19}{56.16}} = 2.17$$

### 5.2.2 Obtención de $K_H$

De tablas:  $K_H = 0.09$

### 5.2.3 Cálculo de la velocidad máxima del gas $(U_G)_{\text{máx.}}$

$$\begin{aligned} (U_G)_{\text{máx.}} &= K_H \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G}} \\ &= 0.09 \left( \frac{56.16 - 0.19}{0.19} \right)^{1/2} = 1.54 \text{ ft/seg.} \end{aligned}$$

### 5.2.4 Cálculo del área mínima de gas $(A_G)_{\text{mín.}}$

$$(A_G)_{\text{mín.}} = \frac{q_G}{(U_G)_{\text{máx.}}} = \frac{54.65}{1.54} = 35.5 \text{ ft}^2$$

### 5.2.5 Cuando el recipiente está lleno

$$(A_G)_{\text{total}} = (A_G)_{\text{mín.}} / 0.2 = 35.5 / 0.25 = 142 \text{ ft}^2$$

$$D_{\min.} = \left( \frac{4(A_G)_{total}}{\pi} \right)^{1/2} = \left( \frac{4 \times 142}{\pi} \right)^{1/2} = 13.446 \text{ ft}$$

$$\therefore D = 14 \text{ ft}$$

### 5.2.6 Cálculo de la longitud del recipiente

$$L = \frac{V_{f1}}{\left(\frac{\pi}{4}\right) D^2}$$

$$V_{f1} = q_L \theta = 6.5 \times 60 \times \theta = 390 \theta$$

$$L = \frac{V_{f1}}{\left(\frac{\pi}{4}\right) (14)^2} = \frac{V_{f1}}{153.938}$$

$\theta$	$V_{f1}$	L	L/D
16	6240	41	2.895
18	7020	46	3.257
20	7800	51	3.619
25	9750	64	4.524

$$\therefore D = 14 \text{ ft}$$

$$L = 46 \text{ ft}$$

$$L/D = 3.286$$

## 5.2.7 Espesor de placa

$$t = \frac{Pr_i}{SE - 0.6P}$$

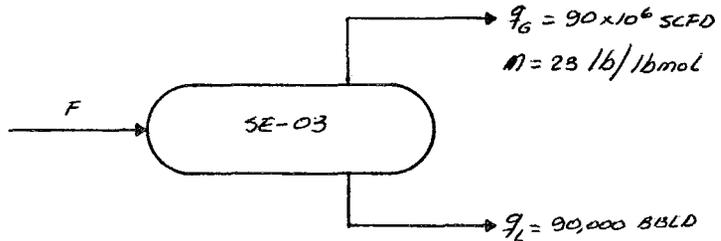
$$t = \frac{150 r_i}{13,800 (0.85) - 0.6(150)} = 0.0129 r_i$$

$$r_i = (15/2) (12) = 90''$$

$$t = 0.0129 (90) = 1.161''$$

$$\therefore \mathcal{P} - 1 \frac{3}{16}''$$

## 5.3 Eliminador de espuma



P operación = 50 psig

T operación = 158°F

## 5.3.1 Factor de separación

$$f_s = \frac{W_L}{W_G} \left( \frac{\rho_G}{\rho_L} \right)^{1/2}$$

$$q_G = 281.27 \text{ ft}^3/\text{seg.}$$

$$\rho_G = 0.25 \text{ lb/ft}^3$$

$$W_G = 63.18 \text{ lb/seg.}$$

$$q_L = 90,000 \times \frac{42}{7.48} \times \frac{1}{24} \times \frac{1}{3600} = 5.849 \text{ ft}^3/\text{seg.}$$

$$\rho_L = 56.16 \text{ lb/ft}^3$$

$$W_L = 5.849 \times 56.16 = 328.480 \text{ lb/seg.}$$

$$f_s = \frac{328.5}{63.18} \sqrt{\frac{0.25}{56.16}} = 0.347$$

5.3.2 Obtención de  $K_H$ 

$$K_H = 0.43$$

5.3.3 Cálculo de  $(U_G)_{\text{máx.}}$ 

$$\begin{aligned} (U_G)_{\text{máx.}} &= K_H \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G}} \\ &= 0.43 \left( \frac{56.16 - 0.25}{0.25} \right)^{1/2} \\ &= 6.43 \text{ ft/seg.} \end{aligned}$$

5.3.4 Cálculo de  $(A_G)_{\text{mín.}}$ 

$$(A_G)_{\text{mín.}} = \frac{q_G}{(U_G)_{\text{máx.}}} = \frac{281.27 \text{ ft}^3/\text{seg.}}{6.43} = 43.74 \text{ ft}^2$$

## 5.3.5 Cuando el recipiente está lleno

$$(A_G)_{\text{total}} = \frac{(A_G)_{\text{mín.}}}{0.9} = 43.74/0.9 = 48.60 \text{ ft}^2$$

$$D_{\text{mín.}} = \sqrt{\frac{4(A_G)_{\text{total}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(48.60)}{\pi}} = 7.87 \text{ ft.}$$

$$\therefore D = 8 \text{ ft}$$

## 5.3.6 Cálculo de la longitud del recipiente

$$L = \frac{V_{f1}}{\left(\frac{\pi}{4}\right) D^2}$$

$$V_{f1} = q_L \theta = 5.849 \times 60 \times \theta = 350.94 \theta$$

$$L = \frac{V_{f1}}{\left(\frac{\pi}{4}\right) (8)^2} = \frac{V_{f1}}{50.27}$$

$\theta$	$V_{f1}$	L	L/D
2	702	14.0	1.75
4	1404	28.0	3.5
5	1755	35.0	4.36

$$\therefore D = 8 \text{ ft}$$

$$L = 35 \text{ ft}$$

$$L/D = 4.38$$

## 5.3.7 Espesor de placa

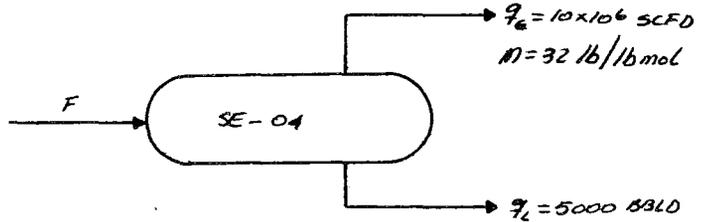
$$t = 0.0129 r_i$$

$$r_i = (8/2) (12) = 48 \text{ in}$$

$$t = 0.0129(48) = 0.6192$$

$$\therefore \phi - 3/4''$$

## 5.4 Knock-out drum



P operación = 5.6 psig = 20.3 psia

T operación = 158°F

## 5.4.1 Corrigiendo el gas a condiciones actuales

$$q_G = 10 \times 10^6 \text{ SCFD} = 358,588 \text{ ft}^3/\text{hr.}$$

$$m = 32 \text{ lb/lbmol.}$$

$$\rho_G = \frac{P m}{ZRT} = \frac{20.3 (32)}{0.9 \times 10.72 \times 618} = 0.109 \text{ lb/ft}^3$$

$$W_G = 10 \times 10^6 \times \frac{1}{379.21} \times 32 \times \frac{1}{24} = 35,161 \text{ lb/hr.}$$

$$\rho_L = 56.16 \text{ lb/ft}^3$$

## 5.4.2 Diámetro

$$D^2 = \frac{W_G}{360 \frac{(L - G)}{T} \text{ mp}^{1/2}} \text{ ----- (39)}$$

39

la ecuación 39 está basada en un tamaño de partícula de 400 micrones.

$$D^2 = \frac{35,161}{360 \left( \frac{(56,16 - 0,109)(32)(20,3)}{618} \right)^{1/2}} = 12,72$$

$$D = 3,6 \text{ ft}$$

corrigiendo el diámetro para un tamaño de partícula para 150 micrones.

$$150 = 400 \left( \frac{D_o}{D} \right)^4$$

donde:

$D_o$  = diámetro obtenido con la ecuación 21

$D$  = diámetro actual

$$D = \left( \frac{400}{150} \right)^{1/4} D_o = 1,28 (3,60)$$

$$= 4,6 \approx 5 \text{ ft}$$

#### 5.4.3 Longitud

La longitud del knock-out drum es de 2 - 3 veces el diámetro, así que:

$$L = 5 \times 3 = 15 \text{ ft}$$

## 5.4.4 Velocidad de separación

$$U_d = 0.145 \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G C}} \quad \text{----- (40)}$$

donde:

C = coeficiente de arrastre

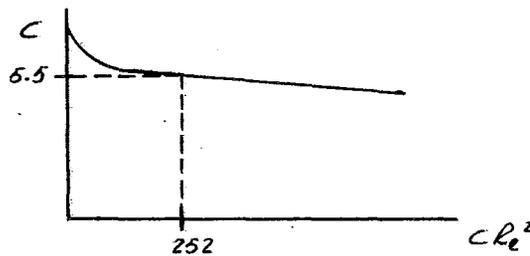
$$CR_e^2 = \frac{119 \times 10^{-4} (\rho_G) (\rho_L - \rho_G)}{\mu^2} \quad \text{----- (41)}$$

$$\mu = 0.017 \text{ cp}$$

$$CR_e^2 = \frac{119 \times 10^{-4} (0.109) (56.16 - 0.109)}{(0.017)^2}$$

$$\approx 252$$

de gráficas



$$C = 5.5$$

$$u_d = 0.145 \sqrt{\frac{56.16 - 0.109}{0.109 (5.5)}} = 1.4 \text{ fps}$$

5.4.5 Suponemos recipiente horizontal con las dimensiones calculadas, es decir:

$$D = 5 \text{ ft}$$

$$L = 15 \text{ ft}$$

a) Area transversal total

$$A_t = \frac{D^2}{4} = \frac{(5)^2}{4} = 19.6 \text{ ft}^2$$

b) Altura del liquido para almacenar 584 Gal. correspondiente a 4 minutos.

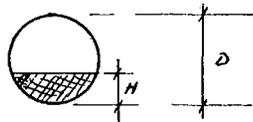
$$V_t = AL = 19.6 \times 15 = 294 \text{ ft}^3$$

$$584 \text{ Gal} \times \frac{1}{7.48} = 78.07 \text{ ft}^3$$

$$X = \frac{78.07}{294} = 0.2655 \times 100 = 26.55\%$$

de gráficas:

$$\frac{H}{D} = 0.314$$



$$\therefore H = 18.84 \approx 19''$$

c) Area transversal para almacenar el líquido

$$\frac{584}{7.48} \times \frac{1}{15} = 5,2 \text{ ft}^2$$

d) Area transversal disponible para el gas

$$19.6 - 5.2 = 14.4 \text{ ft}^2$$

e) Altura vertical disponible para separar el líquido

$$(5 \times 12) - 19 = 41 \text{ in}$$

f) Tiempo para la separación del líquido

$$\theta = \left( \frac{41}{12} \right) \left( \frac{1}{1.4} \right) = 2.4 \text{ seg.}$$

g) Velocidad del gas

$$q = 358,588 \times \frac{1}{3600} = 99.6 \text{ cfs}$$

$$99.6 \times \frac{1}{14.4} = 6.92 \text{ fps}$$



h) Longitud requerida por el bote

$$L = 6.92 \times 2.4 = 16.6 \text{ ft}$$

i) De lo anterior vemos que las dimensiones su-  
puestas son adecuadas, por lo que:

$$D = 5 \text{ ft}$$

$$L = 15 \text{ ft}$$

5.4.6 Consideremos ahora un recipiente vertical.

a) vel. del gas = vel. de separación = 1.4 fps

b) Area transversal del bote

$$= \frac{99.6}{1.4} = 71.14 \text{ ft}^2$$

c) Diámetro

$$D = 71.14 \text{ ft}^2 \left( \frac{4}{\pi} \right) = 9.52 \text{ ft}$$

d) De lo anterior, un recipiente vertical no es  
una elección lógica para el presente caso -  
dadas las dimensiones que resultan

## 5.4.7 Espesor de placa

$$t = 0.0129 r_i$$

$$r_i = (5/2) (12) = 30 \text{ in}$$

$$t = 0.0129 (30) = 0.387$$

$$\therefore \cancel{R} - 1/2''$$

## V ) CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

El trabajo anteriormente desarrollado, considerando su alcance, cumple con el objetivo fijado: diseñar un sistema de desfogues seguro, tanto para personal -- como para equipo. Los cálculos que de ingeniería de -- proceso se realizan fueron la base de lo anterior, es -- decir, dimensionamiento de líneas, válvulas, recipientes y quemador.

Las líneas de gas se dimensionaron con objeto de tirar presión a fin de lograr la presión deseada en -- los puntos en cuestión con objeto de evitar que las -- válvulas de control tiraran tanta presión.

Los recipientes fueron calculados en función de la velocidad máxima del gas a fin de lograr una área -- mínima para manejar el mismo. Del conocimiento de ésta área mínima se parte para cal-- cular las dimensiones del tanque.

Las dimensiones del quemador son función de la -- cantidad de gas a quemar, pues el calor total generado depende de la masa y dicho calor es el que al final --

de cuentas determina, junto con la velocidad del viento, la distancia a la cual debe localizarse la zona de seguridad, es decir, el área en la que personal y equipo se encuentran seguros de los efectos del calor.

El DTI muestra el resumen de los cálculos realizados.

Algunas observaciones deben ser hechas a fin de la correcta interpretación de la información mencionada anteriormente, estas son:

- 1) La codificación del equipo es de la siguiente forma:

AREA	CLAVE DEL EQUIPO	NUMERO CONSECUTIVO
------	------------------------	-----------------------

- 2) Clave del equipo:

SE - separadores  
 F - quemador  
 ED - eductor

- 3) La codificación de las líneas es de la siguiente forma:

Ø NOMINAL DEL TUBO	SERVICIO	NUMERO CONSECUTIVO	ESPECIFICACION DE TUBERIA
-----------------------	----------	-----------------------	------------------------------

- 4) La clave de los servicios (fluidos) en las líneas es:
- a) C - crudo
  - b) G - gas
  - c) A - agua
- 5) Se supuso arbitrariamente que la especificación de la tubería era clase , 150 lbs. y su representación es TBI.
- 6) La instrumentación del proceso es la básica, no abarca la instrumentación del quemador.
- 7) El alcance del trabajo no cubre el cálculo - ni del eductor ni de la línea de agua prove<sup>n</sup>iente del primer separador.

Las observaciones hechas pueden ser constatadas -  
en el diagrama de tuberías e instrumentación que a con-  
tinuación se muestra.



## VI) B I B L I O G R A F I A

- 1.- Pressure Vessel Handbook.  
1977, E.F. Megyesy.
- 2.- Applied Chemical Process Design.  
1978, F. Aerstin &  
G. Street.
- 3.- Manual for Process Engineering Calculation.  
1975, Clarke & Davison.
- 4.- The Process Engineers Pocket Handbook.  
1976, Carl Branam
- 5.- Waste Treatment and Flare Stack Design Handbook.  
Reprinted from Hydrocarbon Processing, 1968.
- 6.- Flow of Fluids  
Crane, Technical Paper No. 410,  
1979.
- 7.- Process Data Book.  
Brown & Root, 1978.
- 8.- Chemical Engineers Handbook.  
John Perry, 1972.
- 9.- Process Instruments and Control Handbook.  
Douglas Considine, 1974.
- 10.- Lyon's Encyclopedia of Valves.  
Van Nostrand - Reinhold, 1975.

- 11.- Design and Installation of Offshore Production  
Platform Piping Systems.

API Recommended Practice, 1975.

- 12.- Piping Design and Engineering.

Grinnell, 1967.