



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Química

SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE BUTADIENO EN
LA TERMINAL MARITIMA DE PAJARITOS VERACRUZ

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO QUIMICO

P r e s e n t a :

ADAN OLVERA CORRALES

México, D. F.

1983



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.

INDICE GENERAL

	Pag.
INTRODUCCION	5
CAPITULO 1	
GENERALIDADES	6
a).- Propiedades Físicas y Químicas	7
b).- Almacenamiento	11
CAPITULO 2	
ALTERNATIVAS DE PROCESO	14
CAPITULO 3	
BASES DE DISEÑO	28
1.- Función de la Planta	29
2.- Tipo de Proceso	29
3.- Capacidad de Almacenamiento	29
4.- Flexibilidad del Sistema de Almacenamiento	29
5.- Especificaciones Sobre Alimentación	29
6.- Especificaciones de los Productos	29
7.- Condiciones de las Alimentaciones en Límite de Bateria	30
8.- Condiciones de los Productos en Límite de Bateria	30
9.- Eliminación de Desechos	30
10.- Servicios Auxiliares	31
11.- Sistema de Seguridad	34
12.- Condiciones del lugar	34
13.- Localización del lugar	36
14.- Bases de Diseño Electrico	36
15.- Bases de Diseño Para Tuberias	37
16.- Drenajes	37

	Pag.
17.- Bases de Diseño Civil	37
18.- Bases de Diseño para Instrumentos	38
19.- Bases para Diseño de Equipo	38
20.- Normas, Codigos y Especificaciones	38
 CAPITULO 4	
DESARROLLO DE INGENIERIA BASICA Y PROCESO	39
a).- Diagrama de flujo de Proceso	
b).- Balance de Materia y Energia	
c).- Diagrama de Tuberia e Instrumentación	
d).- Plano de Localización General	
 CAPITULO 5	
DISEÑO MECANICO DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO	48
a).- Tuberia y Accesorios	49
b).- Bombas	79
c).- Aislamiento	91
 CAPITULO 6	
SEGURIDAD DEL SISTEMA	100
a).- Aislamiento	101
b).- Inhibidor	102
c).- Sistema Contra Incendio	113
 CAPITULO 7	
CONCLUSIONES	114
 BIBLIOGRAFIA.	 116

I N T R O D U C C I O N

El butadieno es uno de los compuestos más usados en la industria del polimero, - pero es muy peligroso si no se usa con pro piedad. En ésta tesis indicamos algunas de sus propiedades físicas y químicas, así co mo el diseño de un sistema de almacenamien to, que comprende, alternativas de proceso bases de diseño, desarrollo de ingeniería- básica y proceso, desarrollo mecánico y se guridad del sistema.

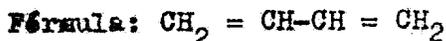
~~Además~~ se dan recomendaciones para el manejo de éste producto.

CAPITULO I

GENERALIDADES

GENERALIDADES

a) PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS.



El butadieno conocido, químicamente como 1,3 butadieno, divinilo o bietileno, es un gas a la temperatura y presión ambientes, razón por la cual normalmente se le maneja comprimido y licuado. Es incoloro y de olor ligeramente aromático. La densidad relativa de sus vapores, a la temperatura de 15.5°C (60°F) y a la presión normal, es de 1.877 (aire = 1). En estado líquido, a 15.5°C (60°F), tiene una densidad relativa de 0.6263 (agua = 1). A 37.8°C (100°F), su presión de vapor es de 4.58 Kg/cm^2 (65 lb/pulg^2). Su punto crítico es a $T_c=152^\circ\text{C}$ (305°F) y $P_c=42.7 \text{ atm}$.

La temperatura de ebullición a la presión normal es de -4.7°C (23.54°F) y funde a -108.7°C (-163.67°F). Es volátil e inflamable, su punto de inflamación ocurre a temperatura menor que -17.8°C (0°F). Con el aire forma mezclas explosivas, siendo su límite inferior de explosibilidad de 2 % en volumen y el superior de 11.5 %.

La temperatura de autoignición es de 450°C (842°F).

La concentración máxima permitida para una jornada de 8 hrs. de trabajo, es de 1000 p.p.m. Durante períodos de no más de 15 minutos, siempre que sean seguidos de intervalos compensatorios de concentración más baja, de tal modo que en el tiempo total de ambas exposiciones, la concentración media no exceda de 1000 p.p.m., puede trabajarse sin protección respiratoria en ambientes que contengan hasta 1250 p.p.m. los vapores en concentraciones considerablemente más altas, causan irritación nasal, pulmonar y

ocular.

En contacto directo con la piel, el butadieno licuado produce quemaduras superficiales y en tales condiciones puede llegar a congelar la parte afectada.

Este producto tiende a autopolimerizarse (generando calor) y a formar peróxidos, por lo cual se almacena y maneja inhibido.

La polimerización se favorece por la presencia de oxígeno, óxido de fierro y por temperaturas elevadas (condiciones de incendio). Si la polimerización se presenta en un recipiente, existe la posibilidad de que este se rompa violentamente.

En contacto, con el aire puede formarse rápidamente peróxidos, los cuales pueden explotar aún a temperaturas medias o por impactos.

El butadieno en estado gaseoso queda libre de los inhibidores, polimerizándose, por lo que debe tenerse en cuenta la posibilidad, de que se obstruyan las líneas de venteo o los arrestadores de flama.

Debe recordarse siempre el peligro que representan las fugas que pueden originar incendios, explosiones o atmósferas nocivas para los trabajadores. El manejo del butadieno constituye una operación industrial muy al manejo de los gases licuados del petróleo, por cuanto se refiere a estos riesgos.

T A B L A No. 1

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS DEL ETADIENO LIQUIDO.

$T(^{\circ}C)$	$\rho_L\left(\frac{g}{cm^3}\right)$	$\mu_L(C_p)$	$P_V(mmHg)$	$C_p\left(\frac{Cal}{g(^{\circ}K)}\right)$	$\Delta H_V\left(\frac{Cal}{g}\right)$	$K_L\left(\frac{micro-Cal}{SXcm^2^{\circ}K}\right)$	$\sigma\left(\frac{Dinas}{cm}\right)$
-108.9	0.761	1.779	0.502	0.456	121.704	442.711	-
-100	0.752	1.326	1.415	0.458	120.109	429.574	-
- 90	0.743	0.987	3.943	0.461	118.276	415.036	-
- 80	0.733	0.758	9.715	0.464	116.394	400.732	-
- 70	0.723	0.598	21.576	0.469	114.462	386.663	-
- 60	0.713	0.482	43.815	0.473	112.474	372.829	-
- 50	0.702	0.397	82.762	0.478	110.428	359.229	-
- 40	0.692	0.332	146.554	0.484	108.318	345.865	-
- 30	0.681	0.282	246.962	0.490	106.138	332.735	-
- 20	0.670	0.242	892.334	0.497	103.883	319.840	-
- 10	0.660	0.210	602.887	0.506	101.546	307.180	-
0	0.647	0.184	890.136	0.515	99.117	294.755	16.040
1	0.646	0.182	925.584	0.516	98.868	293.525	15.912
5	0.641	0.173	1071.166	0.520	97.865	288.630	15.406
10	0.635	0.163	1287.00	0.525	96.586	282.564	14.776
20	0.623	0.146	1781.687	0.537	93.943	270.608	13.531
30	0.610	0.131	2433.324	0.549	91.172	258.887	12.305
40	0.597	0.118	3238.246	0.568	88.257	247.401	11.100
50	0.583	0.107	4237.00	0.579	85.175	236.150	9.916
60	0.568	0.097	5434.133	0.596	81.900	225.133	8.756
70	0.553	0.089	6899.479	0.614	78.396	214.352	7.622
80	0.537	0.082	8609.937	0.635	74.616	203.805	6.516
90	0.520	0.075	10645.953	0.657	70.494	193.493	5.441
100	0.501	0.070	13001.061	0.681	65.936	183.415	4.401

T A B L A No. 2

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS DEL BUTADIENO GAS.

$T (^{\circ}\text{C})$	$\rho_g \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right)$	$\mu_g (\text{micropoise})$	$C_p \left(\frac{\text{Cal}}{\text{g mol} (^{\circ}\text{K})} \right)$	$\Delta H_f^{\circ} \left(\frac{\text{Kcal}}{\text{mol}} \right)$	$\Delta G_f^{\circ} \left(\frac{\text{Kcal}}{\text{mol}} \right)$	$K_g \left(\frac{\mu \text{Cal}}{\text{S cm}^2 \text{K}} \right)$
-108.9	0.000003	-	-	-	-	-
-100	0.000007	-	-	-	-	-
-90	0.000078	-	-	-	-	-
-80	0.00004	-	-	-	-	-
-70	0.00009	-	-	-	-	-
-60	0.00018	-	-	-	-	-
-50	0.00032	-	-	-	-	-
-40	0.00056	-	-	-	-	-
-30	0.0009	-	-	-	-	-
-20	0.0014	-	-	-	-	-
-10	0.0021	75.386	17.316	26.629	34.35	20.690
0	0.0030	78.492	17.870	26.550	34.737	24.356
10	0.0042	78.800	18.415	26.471	35.123	28.030
20	0.006	84.668	18.951	26.394	35.510	81.732
30	0.0076	87.737	19.480	26.319	35.896	35.438
40	0.0102	90.795	20.00	26.243	36.281	39.159
50	0.0130	93.84	20.512	26.168	36.668	42.892
60	0.0166	96.873	21.016	26.095	37.054	46.636
70	0.0211	99.894	21.511	26.022	37.440	50.387
80	0.0264	102.903	22.00	25.949	37.826	54.155
90	0.0328	105.900	22.480	25.878	38.212	57.923
100	0.0403	108.884	22.952	25.807	38.597	61.707

b) ALMACENAMIENTO.

En la operación de una planta de proceso son esenciales las facilidades adecuadas de almacenamiento, tanto para las materias primas como para los productos. Un suministro correcto de materias primas permite operar la planta con independencia de procuraciones temporales o de dificultades en la entrega. El espacio de almacenamiento para los productos terminados hace posible surtir pedidos a los clientes aún en épocas de dificultades en la planta.

Dependiendo del estado y tipo de la materia prima o producto es el tipo de almacenamiento. Para el caso del butadieno líquido que tiene una gran volatilidad se almacena en tanques a presión o a bajas temperatura e inhibido, cuando el tiempo de residencia es considerable, en tanque aislados termicamente.

Haciendo un analisis a fondo, se encontro que las condiciones adecuadas para el almacenamiento del butadieno líquido son: una presión de 9 Psig. y temperatura de 35°F , ya que permite un mejor control, además que la temperatura de almacenamiento esta arriba del punto de congelamiento del agua. Y a un nivel aceptable de la temperatura de autopolimerización.

El butadieno líquido se almacenará en tres tanques-esfericos aislados termicamente con capacidad de 20,000 barriles.

La razón por la cual el butadieno se almacenará en tres tanques, es la siguiente:

Un tanque estará recibiendo butadieno del complejo petroquímico Morelos, después de haber pasado por las unidades de refrigeración. Mientras esto sucede, otro tanque

estará en prueba, se analizarán muestras para checar -- concentraciones de inhibidor y oxígeno u otras impurezas, también se checará temperatura y presión. Todo esto es -- para conservar al butadieno en buen estado y cuando se -- requiera mandarlo a muelles.

El tercer tanque estará mandando butadieno a muelles.

A continuación mencionamos algunas de las precauciones que se deben tomar en cuenta respecto al almacenamiento de butadieno líquido:

- 1).- La temperatura del butadieno almacenado deberá conservarse tan baja como sea posible, pero siempre abajo de 35°C (95°F). Arriba de esta temperatura, la velocidad de polimerización a dímero, aumenta rápidamente; por esta razón, deberá transportarse y almacenarse inhibido.
- 2).- El butadieno almacenado deberá contener siempre en cantidad suficiente, un inhibidor adecuado que impida la polimerización (terbutil catecol, di-n-butilamina, fenil-beta-naftilamina o fenil-alfa-naftilamina). Frecuente--mente se usa 100 p.p.m. de terbutil catecol. Esta concentración de inhibidor deberá ser comprobada periódicamente con objeto de agregar inhibidor, cuando falte.
- 3).- El área de almacenamiento de butadieno deberá contar con muros de contención y con un sistema de drenaje--adecuado para confinar el producto en caso de ruptura -- del tanque de almacenamiento.
- 4).- Las áreas de almacenamiento deberán seleccionarse procurando que se encuentren lejos de toda fuente de ignición, temporal o permanente y deberán ser ventiladas--adecuadamente, por lo que se localizarán fuera de edificios, ya que en lugares confinados se propicia la formación de mezclas explosivas si llega a presentarse una fuga.

Se recomienda el uso de áreas descubiertas. Las áreas de almacenamiento serán objeto de vigilancia constante para localizar con la debida oportunidad cualquier fuga.

5).- Los tanques de almacenamiento de butadieno en capacidad menor a 264.8 m^3 (1666 Bls) se recomienda situarlos por lo menos a una distancia de 22.7 m (7 pies) de todo edificio o grupos de edificios o del límite de una propiedad en que pueda esperarse que se edifique en el futuro una construcción.

Cuando la capacidad sea mayor, esa distancia se recomienda que sea de más de 30 m (100 pies).

6).- Se recomienda que los tanques se encuentren a una distancia no menor de 60 m (200 pies) de los grupos importantes de edificios.

7).- Los tanques de almacenamiento de butadieno no deben encontrarse dentro del mismo dique que otros tanques de almacenamiento que contenga líquidos inflamables. Deben de estar situados cuando menos a 3 m (10 pies) de distancia del dique y cuando menos a 6 m (20 pies) de cualquier otro tanque que contenga líquidos inflamables.

8).- El volumen de los diques debe ser por lo menos la mitad del 100% del recipiente más grande que contenga.

9).- El área dentro de los diques y en una franja de 7.5 m (25 pies) alrededor, debe mantenerse totalmente libre de yerba.

10).- Con objeto de evitar taponamiento y la entrada de aire al desconectar y conectar manómetros, en las líneas de transferencia y en los tanques de almacenamiento, debe existir un sello químico adecuado en la parte superior de la válvula de bloqueo del dispositivo de medición de presión.

CAPITULO 2

ALTERNATIVAS DE PROCESO

A L T E R N A T I V A S D E P R O C E S O

Como el butadieno que se recibirá del Complejo Petroquímico Morelos llegará a una temperatura mayor que la de almacenamiento ó en su defecto puede durar más -- tiempo almacenado del estimado, es necesario considerar un sistema de refrigeración para bajar la temperatura y así de esa forma evitar la formación del dímero y polímero que afectan al sistema.

La selección del sistema de refrigeración que cumpla los requerimientos del proceso al menor costo requiere un conocimiento profundo de los sistemas existentes, que en general son los siguientes:

Refrigeración por vacío.

Refrigeración por absorción.

Refrigeración mecánica.

Para poder hacer una selección adecuado es necesario determinar el nivel de temperatura a la cual la corriente de proceso va a ser enfriada. En general se escoge el sistema con una temperatura del medio de enfriamiento ligeramente menor que la que tiene la corriente a enfriar.

De los sistemas de refrigeración antes mencionados se selecciona el sistema mecánico, ya que las desventa-

jas que presentan los otros sistemas son: Rango de temperaturas en las que trabajan, Capacidades pequeñas, Eficiencia, Sistemas complejos, Grandes cantidades de agua de enfriamiento, Costo inicial alto, etc.

Para evaluar las alternativas primeramente se planteará el problema en este caso, Almacenamiento de butadieno, el cual debido a sus propiedades tanto físicas y químicas antes mencionadas, se almacenará a bajas temperaturas y presión arriba de la atmosférica.

El butadieno llega al límite de batería con una temperatura de 100°F y una presión de 100 Psig. y las condiciones de almacenamiento son a 35°F y 9 Psig., entonces, el problema se puede dividir en tres aspectos fundamentales:

- 1).- Llevar el butadieno a las condiciones de almacenamiento.
- 2).- Manejar los vapores generados por ganancia de calor.
- 3).- Transportación.

El primer aspecto planteado, se puede ver que el problema se reduce a un enfriamiento y una reducción de presión del butadieno; para llevar a cabo lo anterior se presentan dos alternativas básicas.

A).- Enfriamiento isoentálpica, aprovechando el efecto de Joule Thomson, y enfriamiento isobárico (sistema ex

terno de refrigeración) los vapores formados se comprimirán y condensarán, recirculándolos a la carga, fig. 2.1

B).- Enfriamiento isobárico mediante sistema externo de refrigeración abatiendo después la presión fig. 2.2

En la utilización de refrigerante también se presentan tres alternativas:

a).- Absorbiendo calor latente, fig. 2.3

b).- Absorbiendo calor sensible, fig. 2.4

c).- Absorbiendo calor latente y calor sensible, fig. 2.5

Un análisis, preliminar de estas últimas alternativas muestra que en "b" y "c" se requiere mayor cantidad de refrigerante, mientras que la cantidad de vapor que se maneja en la compresora es del mismo orden en las tres alternativas; además, en "b" y "c" se incluye una bomba que puede causar problemas de operación por lo que se selecciona como alternativa más viable la "a".

Con esto, las alternativas que quedan para llevar el butadieno a las condiciones de almacenamiento son "Aa" y "Ba". Un análisis más detallado de estas alternativas indica que como en "A" se tiene que utilizar un sistema externo de refrigeración, un condensador-subenfriador, - compresor, tanque flash y más cantidad de agua de enfriamiento, por lo que la alternativa que resulta más atractiva es "Ba".

Analizando el segundo aspecto en que se dividió el problema, se detectan las siguientes alternativas:

C).- Condensación con refrigerante externo (Sistema en cascada), y bombeo de los condensados al tanque de almacenamiento, fig. 3.6

D).- Compresión y condensación con refrigerante (Sistema simple) recirculándose los condensados al tanque de almacenamiento fig. 2.7

E).- Evitar la formación de vapores recirculando butadieno líquido a los paquetes de refrigeración, la recirculación se hará cuando el butadieno alcance una temperatura de 45 °F, fig. 2.8.

Respecto a éstas tres últimas alternativas, si tomamos en cuenta que no se desea trabajar con butadieno-vapor debido a que se tiene un mayor riesgo de polimerización, entonces las alternativas "C" y "D" se descartan y queda como la más viable la alternativa "E".

Para el problema de la transportación del butadieno se contempla sólo la alternativa de suministro a barcos, Figs. 2.9 y 2.10. Los vapores generados en esta etapa se ventearán a la atmósfera.

La integración de la posible solución para el problema de almacenamiento de butadieno es:

1.- BaE fig. 3.10

En general, los factores que se deben tomar en cuenta para una buena selección del proceso son: Acercamientos de Temperatura, Flujo manejados por compresores y número de equipos requeridos en el proceso. Todo esto respaldado por un análisis económico que incluya costos de operación y costos de inversión de la planta.

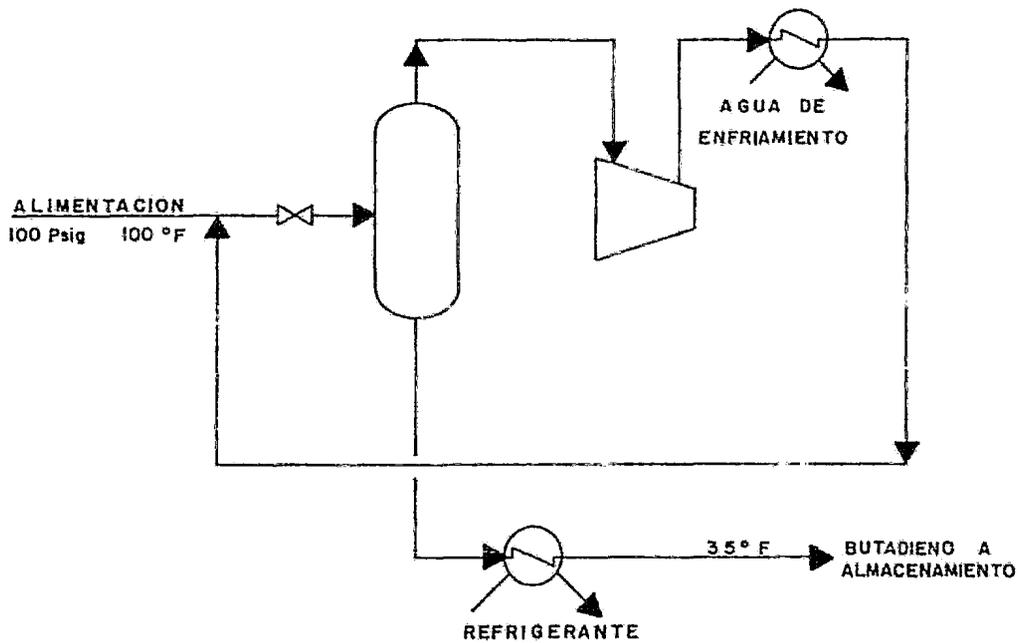
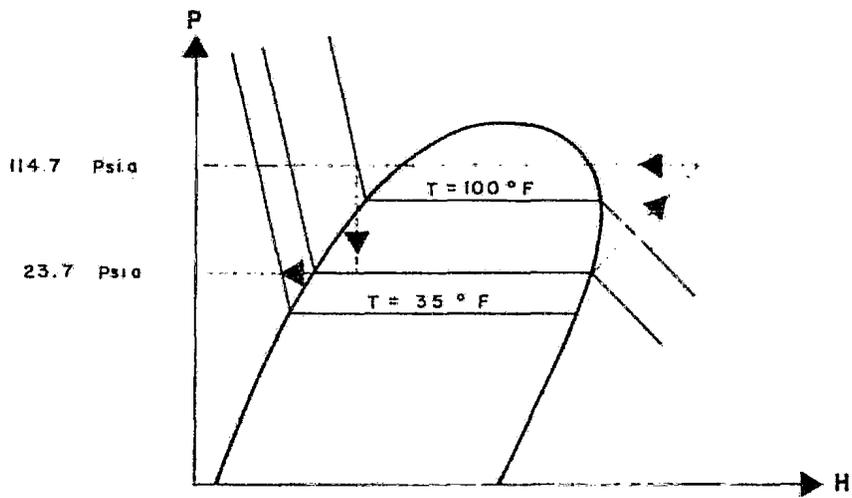


FIG. 2.1 ENFRIAMIENTO ISOENTALPICO E ISOBARICO

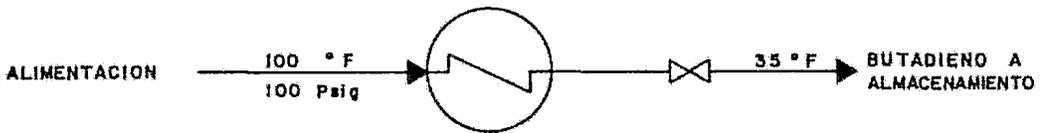
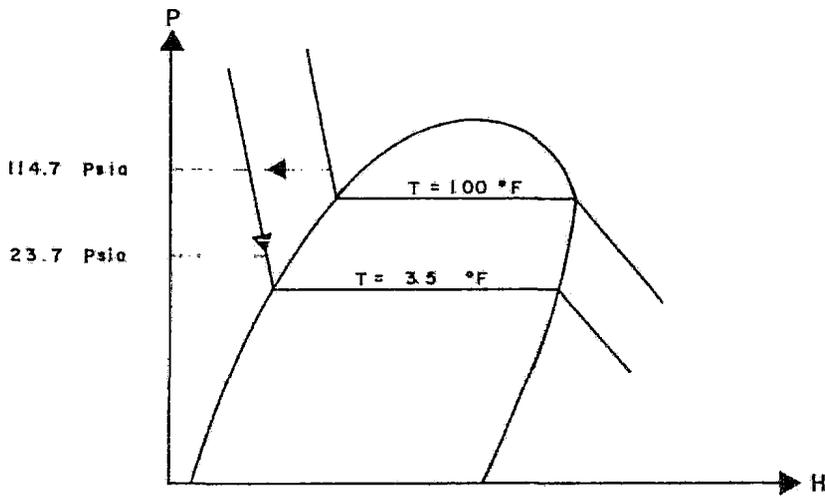


FIG. 2.2 ENFRIAMIENTO ISOBARICO

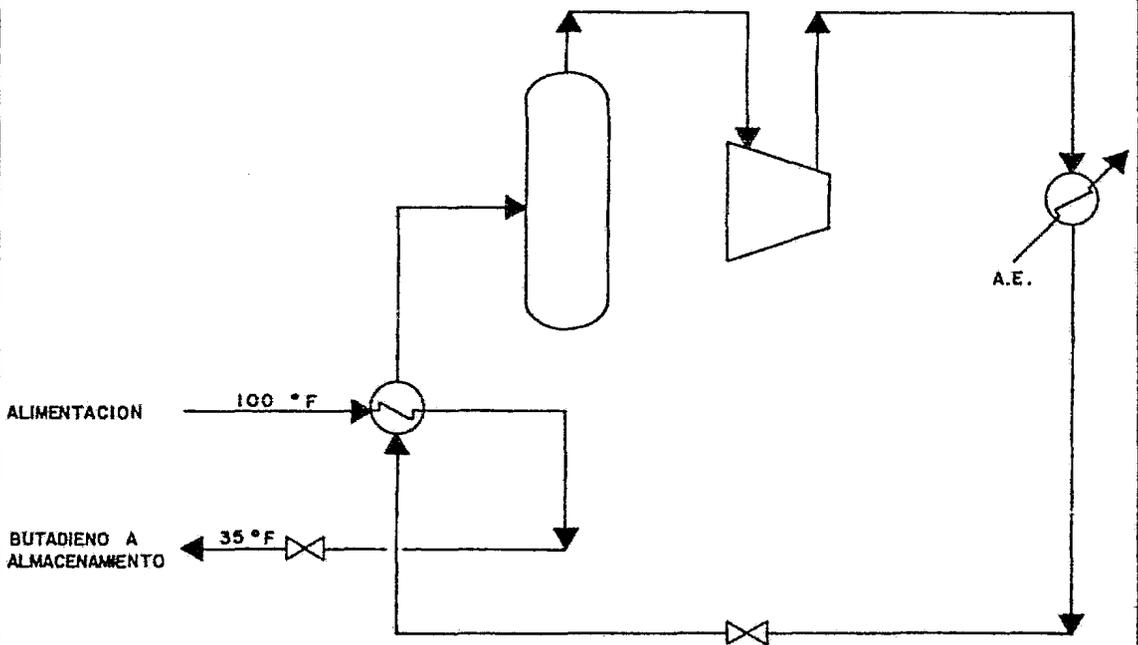
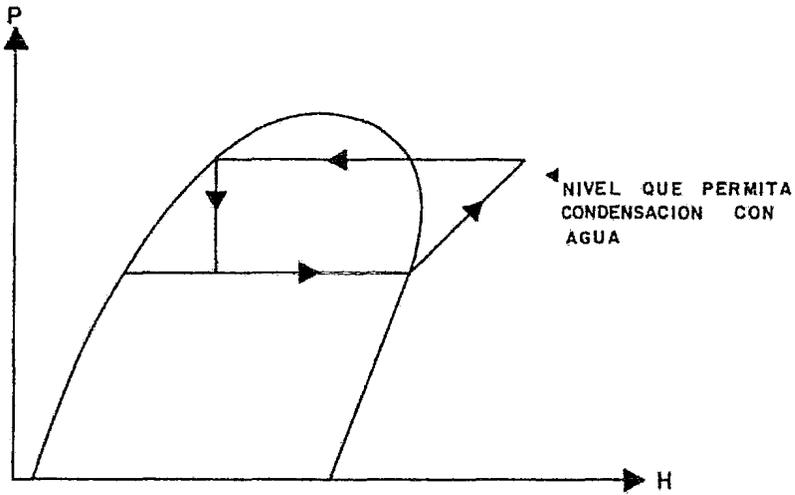


FIG. 2.3 REFRIGERANTE ABSORBIENDO CALOR LATENTE

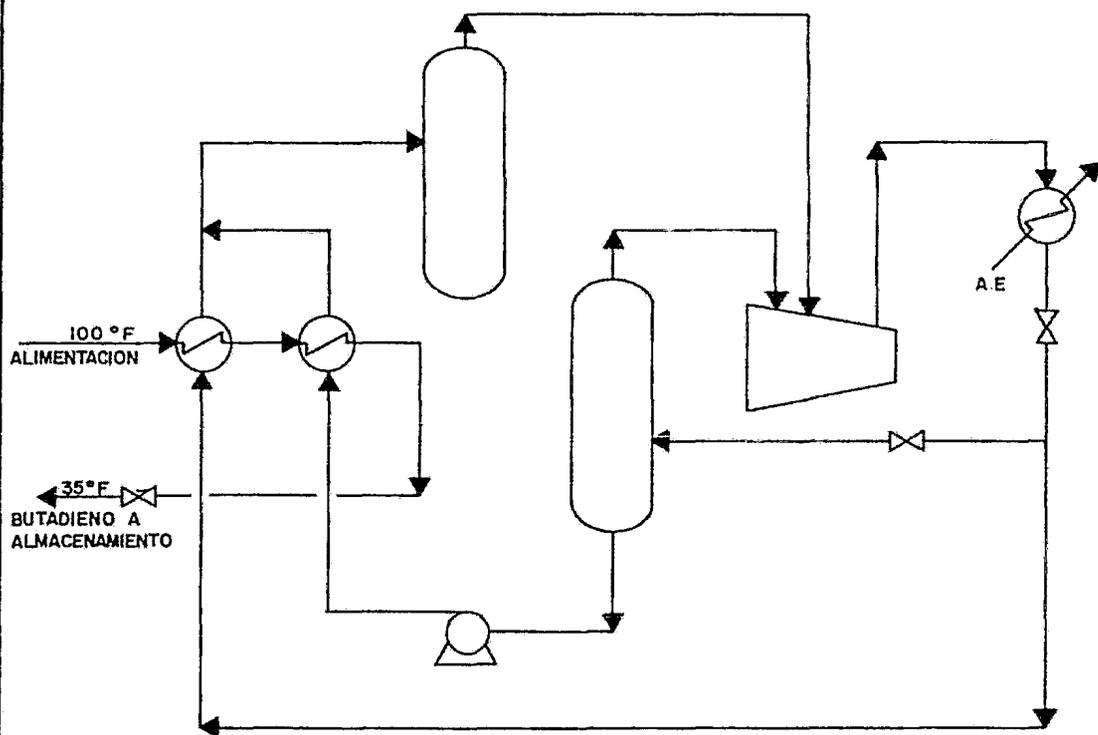
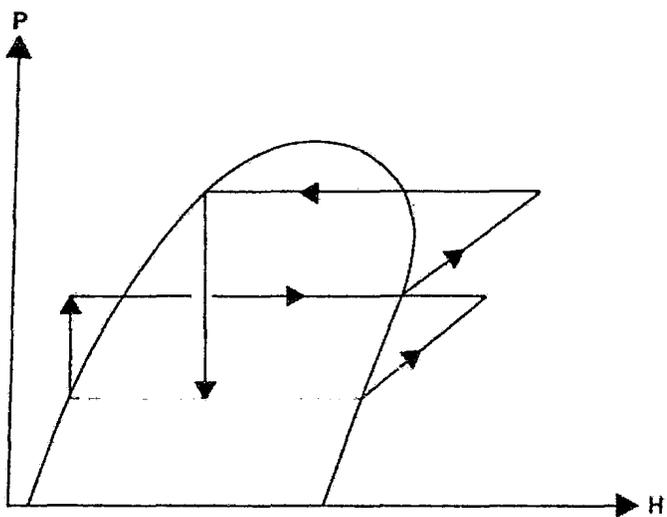


FIG. 2.5 REFRIGERANTE ABSORBIENDO CALOR LATENTE Y SENSIBLE

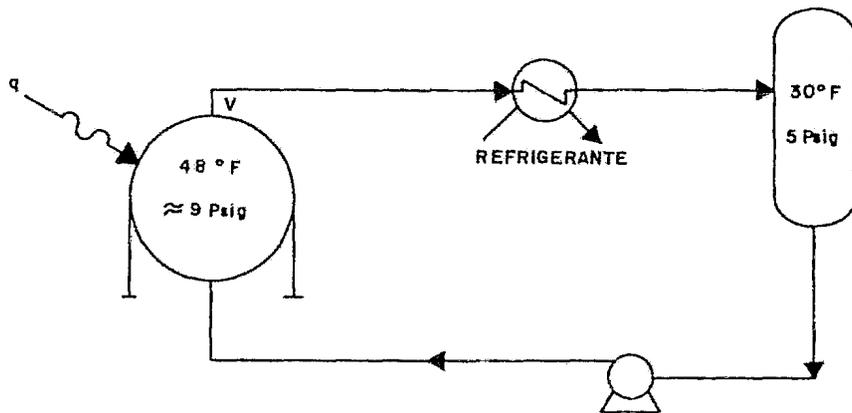


FIG. 2.6 CONDENSACION DE VAPORES CON REFRIGERANTE EXTERNO

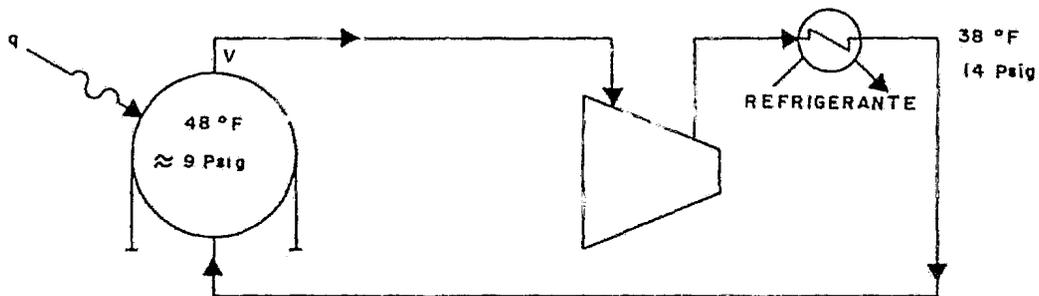


FIG. 2.7 COMPRESION Y CONDENSACION DE VAPORES CON REFRIGERANTE EXTERNO

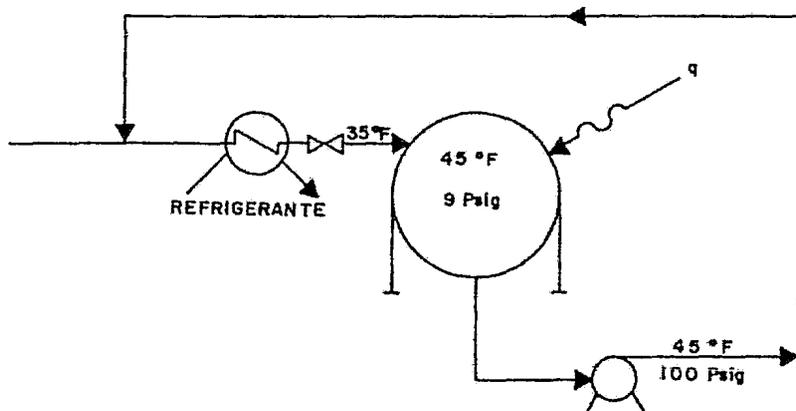


FIG. 2.8 RECIRCULACION DE BUTADIENO LIQUIDO

TANQUE DE
ALMACENAMIENTO

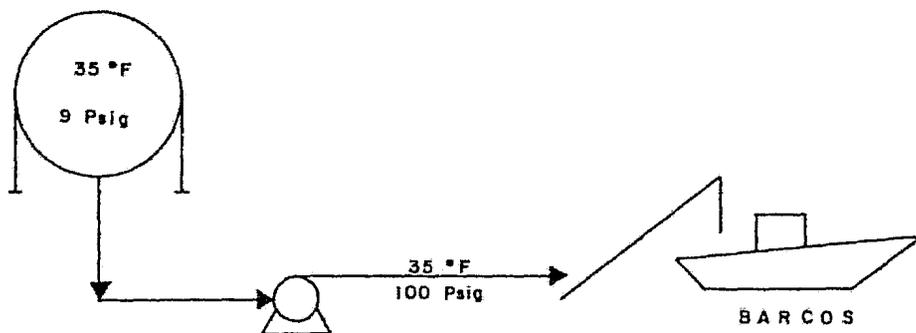


FIG. 2.9 ENVIO DE BUTADIENO A BARCOS

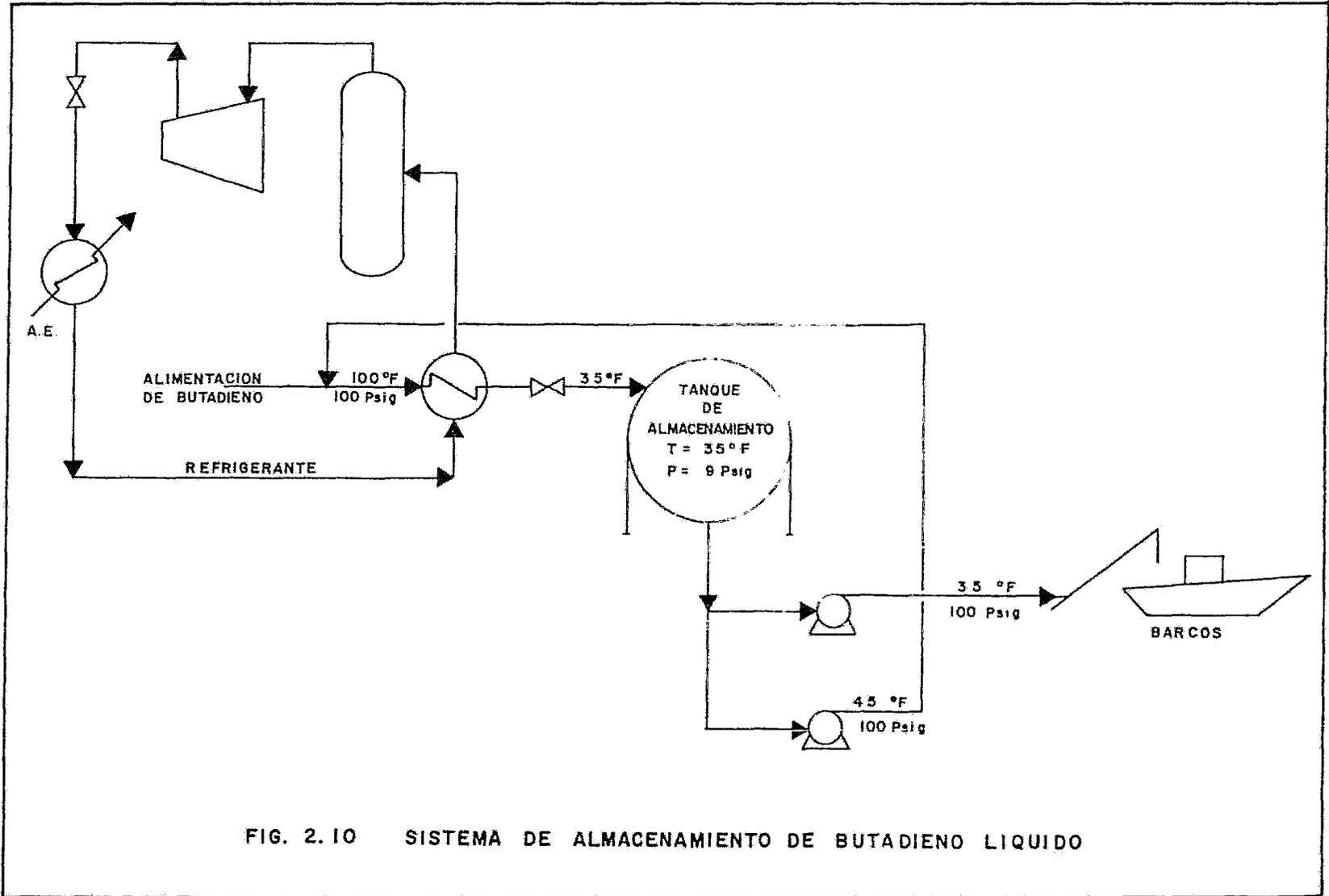


FIG. 2.10 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE BUTADIENO LIQUIDO

CAPITULO 3

BASES DE DISEÑO

BASES DE DISEÑO.

1.- FUNCION DE LA PLANTA.

La planta estará diseñada para dar recepción, en---
friamiento y manejo de la corriente procedente de la ---
planta de butadieno del complejo petroquimico Morelos,--
para su posterior envio a barcos.

2.- TIPO DE PROCESO.

Enfriamiento y almacenamiento de butadieno a 9 Psig.
y 35 °F.

3.- CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO.

60,000 BLS.

3.1.- FACTOR DE SERVICIO.

80 %

4.- FLEXIBILIDAD DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO.

4.1.- A falta de energia electrica no operará.

4.2.- A falta de agua de enfriamiento no operará.

4.3.- A falta de nitrógeno no operará.

4.4.- A falta de inhibidor (Terbutil catecol) no operará.

4.5.- A falta de aire no operará.

4.6.- A falta de vapor si operará.

4.7.- A falta de gas natural y diesel especial si operará.

4.8.- Ampliaciones futuras.

No.

5.- ESPECIFICACIONES SOBRE ALIMENTACION.

COMPOSICION.

Butadieno líquido de la planta 99.70 % Vol.

Butadieno líquido 0.30 % Vol.

6.- ESPECIFICACIONES DE LOS PRODUCTOS.

COMPOSICION.

Butadieno líquido 99.70 %

Butadieno líquido 0.30 %

7.- CONDICIONES DE LAS ALIMENTACIONES EN LIMITE DE BATERIA.

Alimentación: Butadieno.

Estado Físico: Líquido.

Presión: 100 Psig.

Temperatura: 100 °F

Flujo: 47.5 ton/hr.

Procedencia: Complejo Petroquímico Morelos. Allende,
ver.

8.- CONDICIONES DE LOS PRODUCTOS EN LIMITE DE BATERIA.

Producto: Butadieno.

Estado Físico: Líquido.

Presión: 100 Psig.

Temperatura: 35 °F

Flujo: 615 ton/hr.

Envío: A barcos.

9.- ELIMINACION DE DESECHOS.

9.1.- NORMAS Y REQUERIMIENTOS RESPECTO A LA PUREZA DE:

a).- Agua: Reglamento del diario oficial de Marzo 29 de 1973.

b).- Aire: Reglamento del diario oficial de Septiembre - 17 de 1971.

c).- Otros: Ruido reglamento del diario oficial de Enero 2 de 1976.

9.2.- SISTEMAS PREFERIDOS DE ELIMINACION DE DESECHOS.

a).- Hidrocarburos Gaseosos: Venteo elevado.

b).- Los desechos líquidos (drenaje aceitoso) se trataran en un sistema común de los otros tanques refrigerados.

c).- Fosa séptica para desecho sanitario dentro de L.B.

10.- SERVICIOS AUXILIARES.

10.1.- VAPOR.

No será generado dentro del límite de batería.

Presión: 60 Psig.

Temperatura: 307 °F

Calidad: Saturado.

Disponibilidad: La necesaria.

10.2.- RETORNO DE CONDENSADO:

Presión: 45 Psig.

Temperatura: 293 °F.

10.3.- AGUA DE ENFRIAMIENTO.

Fuente de suministro: De la torre de enfriamiento - común a terminales de almacenamiento, localizado fuera - de L.B.

Presión de entrada: 60 Psig.

Temperatura de entrada: 90 °F.

Disponibilidad: La requerida por el diseño.

Presión de Retorno: 40 Psig.

Temperatura de Retorno: 115 °F.

Análisis:

Contenido de Silice. 150 p.p.m.

Sólido Totales. 2400 p.p.m.

pH. 6.8 a 7.0

10.4.- AGUA DE SERVICIOS.

Fuente de suministro: Del Complejo Petroquímico Moreles.

Presión en L.B.: 50 Psig.

Temperatura en L.B.: 100 °F.

Disponibilidad: Ilimitada.

10.5.- AGUA POTABLE.

Se suministrara en garrafrones para su consumo.

10.6.- AGUA CONTRA INCENDIO.

Procedencia: Laguna de Pajaritos.

Presión en L.B.: 150 Psig.

Temperatura en L.B.: 100 °F.

10.7.- AIRE DE INSTRUMENTOS.

Procedencia: Area de Servicio Auxiliares de la Terminal Maritima (Area Norte).

Presión en L.B.: 100 Psig.

10.8.- AIRE DE PLANTA.

Procedencia: Area de Servicios Auxiliares de la Terminal Maritima (Area Norte).

Presión en L.B.: 100 Psig.

NOTA: El aire de planta sera relevo del aire de instrumentos en condiciones críticas.

10.9.- COMBUSTIBLE.

10.9.1.- GAS.

Naturaleza: Gas Natural.

Presión en L.B.: 350 Psig.

Temperatura en L.B.: 100 °F.

Disponibilidad: La requerida.

10.9.2.- LIQUIDO.

Naturaleza: Diesel Especial.

Presión en L.B.: 60 Psig.

Temperatura en L.B.: 100 °F.

Disponibilidad: La requerida.

10.9.3.- SOLIDO.

No se requiere.

10.10.- INERTES.

Naturaleza: Nitrogeno gaseoso

Composición: 99.99 % Nitrogeno, 3 p.p.m de Oxígeno
y 1 p.p.m. de Agua.

Presión en L.B.: 70 Psig.

Temperatura en L.B.: 100 °F.

Disponibilidad: Ilimitada.

10.11.- INHIBIDOR.

Naturaleza: Solución de Terbutil catecol.

10.12.- REFRIGERANTE.

Por proveedor.

10.13.- ALIMENTACION DE ENERGIA ELECTRICA.

Fuente de suministro: Sera por medio de dos turbogeneradores de 20 M.W., localizados en el área de servicios auxiliares del area norte.

Interrupciones:

Frecuencia: 2 veces/año

Duración Máxima: 4 horas, Promedio: 2 horas.

Causas: Accidentes diversos.

Tensión: 13.8 KV

Número de fases: 3

Frecuencia: 60 Hertz.

Capacidad interruptiva al corto circuito: 750 MVA

Factor de potencia: 0.85

Número de conductores: Tres

Material del conductor: Cobre.

Aislamiento del conductor: Plastico.

Diámetro del ducto: Norma Pemex

Material del ducto: Asbesto-cemento.

Acometida (Subterránea o Aérea): Subterránea.

Nivel y coordenadas de la acometida: E-160, N-1690

10.14.- ALIMENTACION DE ENERGIA ELECTRICA DE EMERGENCIA.

Fuente de suministro: C.F.E.

Tensión: 13.8 KV.

Número de fases: 3

Frecuencia: 60 Hertz.

Capacidad interruptiva al corto circuito: 750 LVA

Número de conductores: 3

Material del conductor: Cobre.

Aislamiento del conductor: Plastico.

Acometida: Subterránea.

10.15.- COMUNICACIONES

Interna: Telefono.

Externa: Telefono.

Acometida: Subterránea.

10.16.- SISTEMA DE DESFOGUE.

Se llevará el desfogue a travez de un cabezal hasta un venteo.

11.- SISTEMA DE SEGURIDAD

Contra Incendio: Normas de seguridad de Pemex y --- NFPA.

Se elaborará un plano preliminar con la localización del hidrante, monitores y rociadores en el equipo que se requiera.

Protección de Personal: Por Pemex.

12.- CONDICIONES DEL LUGAR.

1.- VIENTO.

1.1.- El de mayor frecuencia (reinante),

su velocidad media anual y dirección 12 Km/hr. N-NW
 1.2.- El de máxima intensidad (dominante) 165 Km/hr N-W
 1.3.- Velocidad máxima de diseño 200 Km/hr.

2.- LLUVIA.

2.1.- Máxima en una hora 90 mm
 2.2.- Máxima en 24 horas 440 mm
 2.3.- Máxima en 30 días 880 mm
 2.4.- Media anual 3100 mm

3.- TORMENTAS ELECTRICAS.

Septiembre, Octubre, Noviembre, Diciembre, 3 por mes.

4.- TEMPERATURA.

4.1.- Extremas:

4.1.1.- Máxima 107 °F
 4.1.2.- Mínima 50 °F

4.2.- Media Anual:

4.2.1.- Máxima 100 °F
 4.2.2.- Mínima 57 °F

4.3.- Promedio de las medias mensuales.

4.3.1.- Más altas 100 °F (Abr., Mayo, Junio, Jul.,
 Agosto, Sep., Oct.)
 4.3.2.- Más bajas 60 °F (Nov., Dic., Enero, Feb.,
 Marzo.)

4.4.- Media mensual.

4.4.1.- Máxima 106 °F
 4.4.2.- Mínima 54 °F

4.5.- Oscilación media mensual

4.5.1.- Máxima 50 °F
 4.5.2.- Mínima 40 °F

4.6.- A bulbo húmedo, medio mensual

4.6.1.- Máxima 78 °F
 4.6.2.- Mínima 55 °F

5.- HUMEDAD RELATIVA.

5.1.- Media mensual.

5.1.1.- Máxima 95 %

5.1.2.- Mínima 50 %

5.2.- Media anual 82 %

6.- ATMOSFERA.

6.1.- Presión barométrica

6.1.1.- Máxima 767 mm Hg.

6.1.2.- Media 758 mm Hg.

6.1.3.- Mínima 748 mm Hg.

6.2.- Corrosión.

6.2.1.- Corrosión por contaminación marina directa
(brisa marina), y gases industriales.

7.- ELEVACION.

7.1.- Sobre el nivel del mar 5 Metros.

13.- LOCALIZACION DE LA PLANTA.

Se localizará en la parte N-E de la Terminal Marítima Pajarito, ver plano de localización general.

Coordenadas en límite de batería:

Este: 170

Oeste: 130

Norte: 1690-1870

14.- BASES DE DISEÑO ELECTRICO.

1.- Código para clasificación de áreas: Pemex -API.

2.- Resistencia eléctrica del terreno:

Promedio 1600 Máxima 2800 Mínima 720 ohm cm

3.- Características de la alimentación a motores.

POTENCIA HP	VOLTS	FASES
0- 3/4 HP	115	1
1- 200 HP	440	3
más de 200 HP	4000	3

4.- Corriente para alumbrado.

Voltaje: 115 V Fase: 1

5.- Corriente para instrumentos de control.

Voltaje: 115 V Fase: 1

6.- Distribución de corriente dentro del L.B.
Subterránea.

15.- BASES DE DISEÑO PARA TUBERIAS.

1.- Soportes de tubería y trincheras.

Tipo de Soportes: Marcos de concreto.

Requerimientos especiales de altura de soporte en --
L.B. 4.5 Metros y 6.1 Metros en cruzamiento de ca--
lles. (Estandar Pemex), y no se permite el uso de --
trincheras.

16.- DRENAJES.

TIPOS DE DRENAJES	RECEPTOR	MATERIAL PREFERIDO	ELEVACION
Aceitoso	En L.B.	FoFo	Pendiente
Pluvial	En L.B.	Concreto	Pendiente
Sanitario	Fosa séptica dentro L.B.	Cemento asbesto	Pendiente

17.- BASES DE DISEÑO CIVIL.

1.- Solicitaciones para viento y sismo:

Manual elaborado por Pemex.

2.- Nivel de piso terminado:

100.00 m (equivalente a 5.50 m s.n.m)

3.- Tipo de edificios o construcciones que se desean
dentro del L.B.

Cuarto de control de instrumentos: Si

Cuarto de control eléctrico: Si

Oficinas: Si

Sanitarios: Si

Cobertizos para compresoras de proceso: Si

Cobertizos para compresoras de aire: No

Cobertizo para bombas: Si

Agrupados en un sólo edificio.

18.- BASES DE DISEÑO PARA INSTRUMENTOS.

1.- Tipo de tablero (gráfico, semigrafico, o no gráfico): Semigrafico.

2.- Tipo de señal (Eléctrica o neumática): Ambas, - de preferencia neumática.

19.- BASES PARA DISEÑO DE EQUIPO.

1.- Compresoras:

Tipo preferido de compresoras: Reciprocante

Tipo preferido de accionadores: Motor eléctrico

Sobre diseño deseado: 25 %

2.- Bombas:

Tipo de accionadores: Motores eléctricos.

3.- Cambiadores de calor:

Factores de incrustación: Agua: 0.001

20.- NORMAS, CODIGOS Y ESPECIFICACIONES.

Bombas y compresores - API

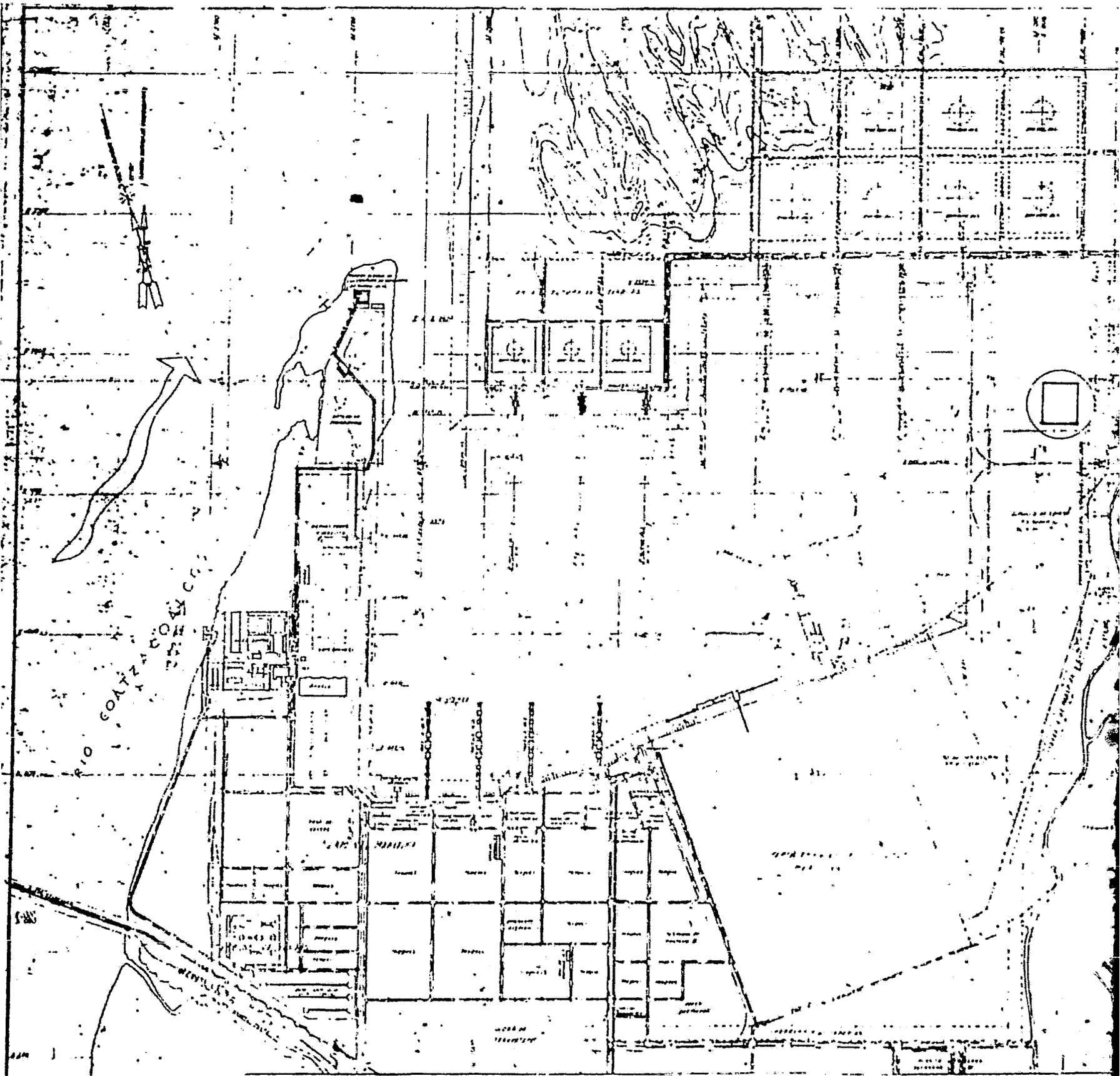
Recipientes - ASME Sec. VIII Div. I

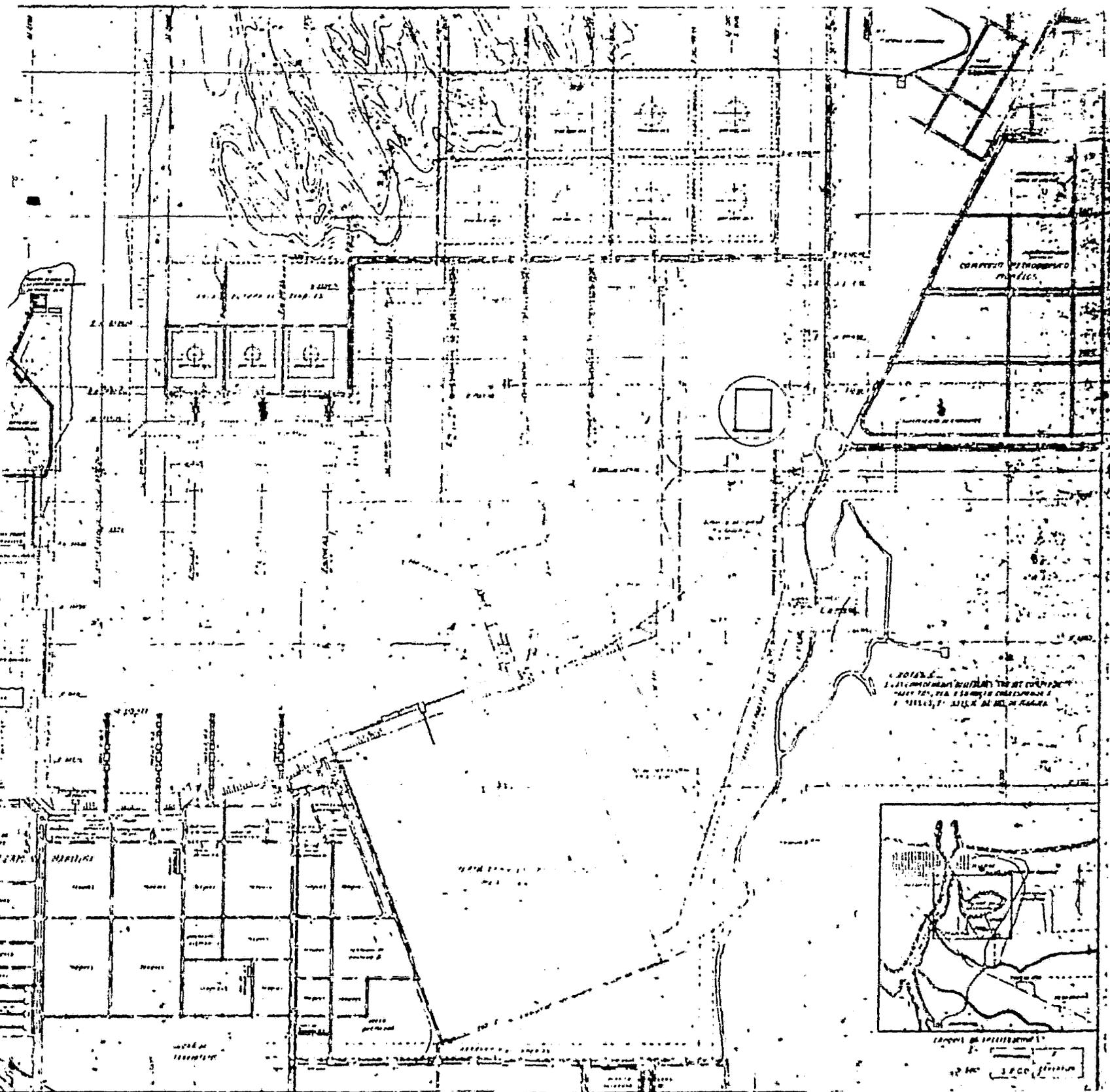
Equipo eléctrico - NEMA

Materiales - ASTM

Protección ambiental - Normas gubernamentales

INFORMACION UNICAMENTE COMO REFERENCIA.





CAPITULO 4

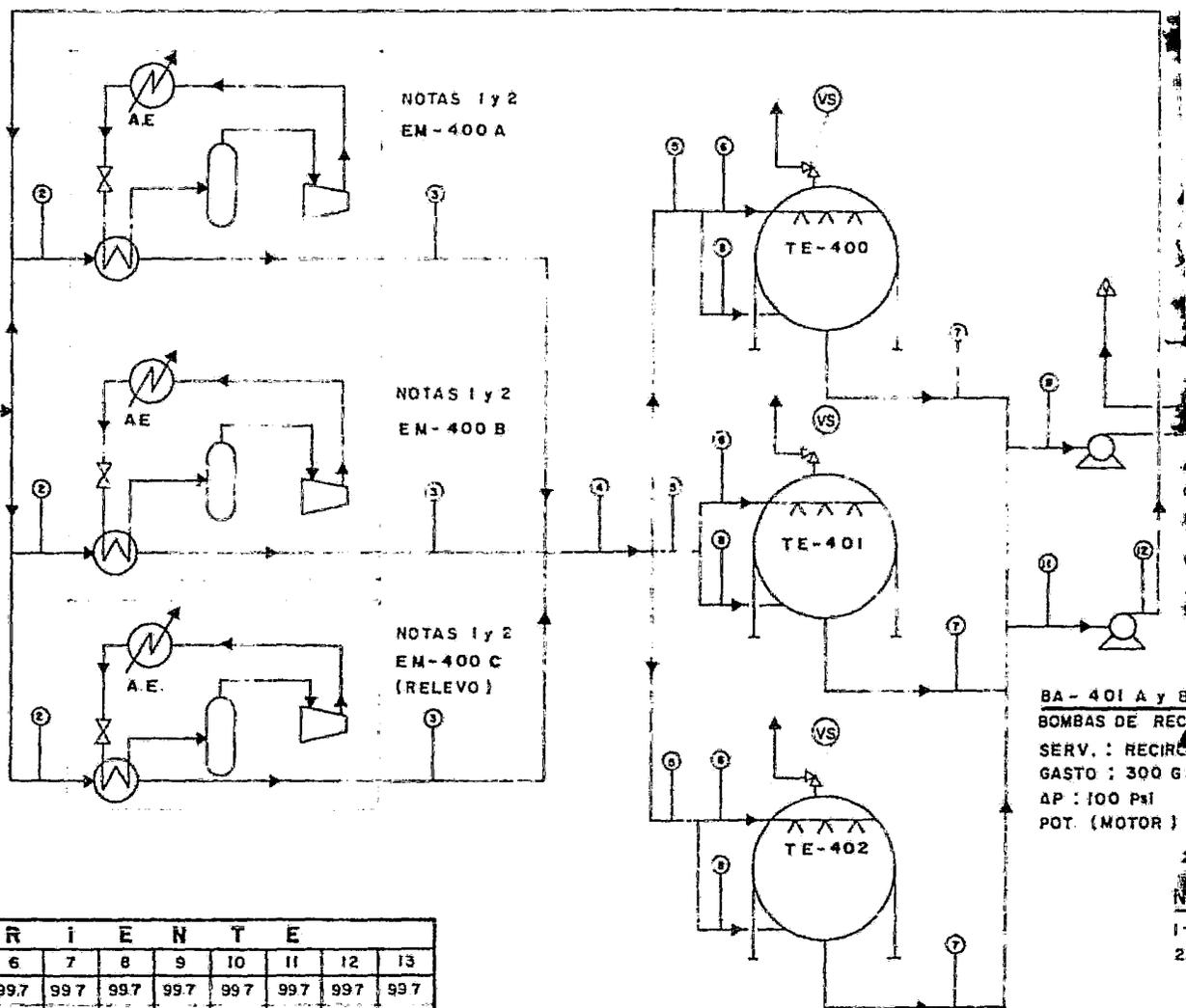
DESARROLLO DE INGENIERIA BASICA Y PROCESO

BUTADIENO
DEL COMPLEJO
PETROQUIMICO
MORELOS

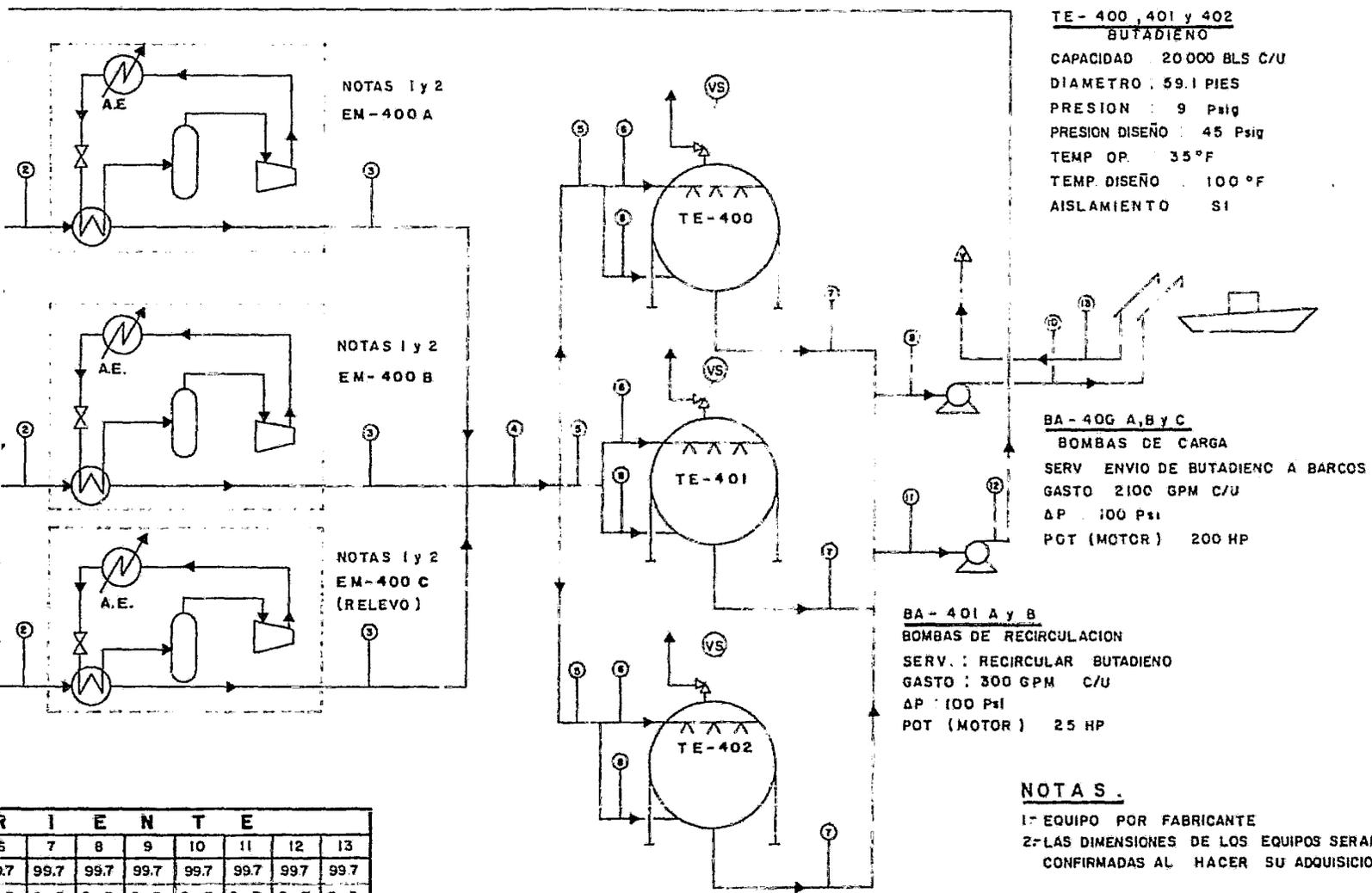
EM-400 A, B y C

PAQUETES DE REFRIGERACION
ENFRIAMIENTO DE BUTADIENO.

CAPACIDAD : 175 TON REF C/U
REFRIGERANTE : POR FABRICANTE
TEMP. BUTADIENO . ENT./SAL. : 100°F/35°F
FLUJO DE BUTADIENO : 54,282 lb./hr.
CALOR TRANSFERIDO : 1,898,242 BTU/hr.



CONCEPTO	C O R R I E N T E												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
BUTADIENO % MOL	99.7	99.7	99.7	99.7	99.7	99.7	99.7	99.7	99.7	99.7	99.7	99.7	99.7
BUTANO % MOL	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
TOTAL % MOL	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
lb mol / Hr	2010	1005	1005	2010	2010	753	25098	1258	25098	25098	1773	1773	257
lb / Hr	108564	54282	54282	108564	108564	40659	355300	67905	355300	355300	95756	95756	8810
P. M.	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
B P D	12400	6200	5767	11534	11534	4320	144000	7214	144000	144000	10286	10286	-
M M S C F D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.485
DENSIDAD REL.	0.6	0.6	0.645	0.645	0.645	0.645	0.645	0.645	0.645	0.645	0.638	0.638	1.86
VISCOSIDAD (CP)	0.12	0.12	0.181	0.181	0.181	0.181	0.181	0.181	0.181	0.181	0.169	0.169	0.008
Pv (PSIA)	58.8	58.8	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	22.5	22.5	-
TEMPERATURA (°F)	100	100	35	35	35	35	35	35	35	35	45	45	35
PRESION (PSIG)	100	100	90	90	85	80	9	80	9	100	9	100	9

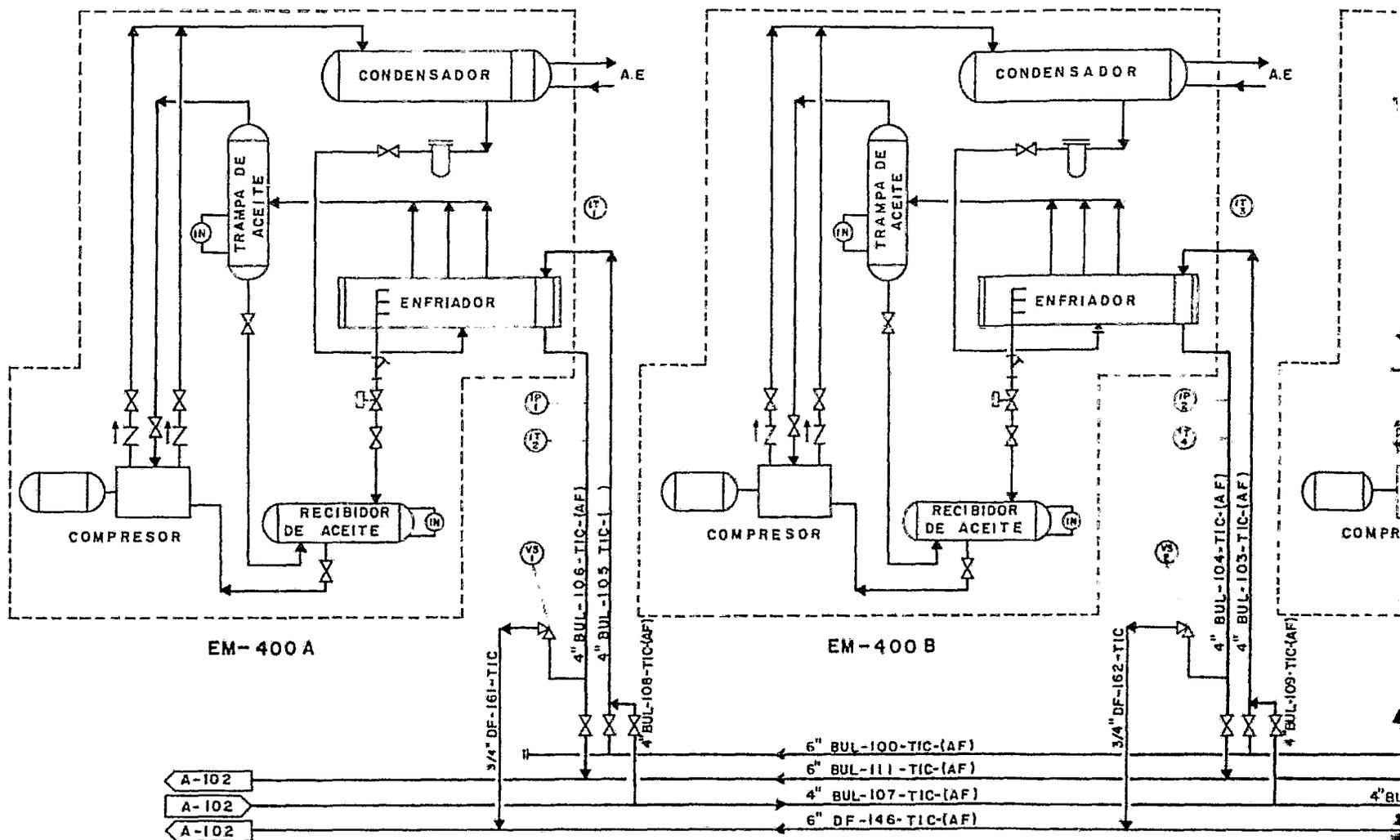


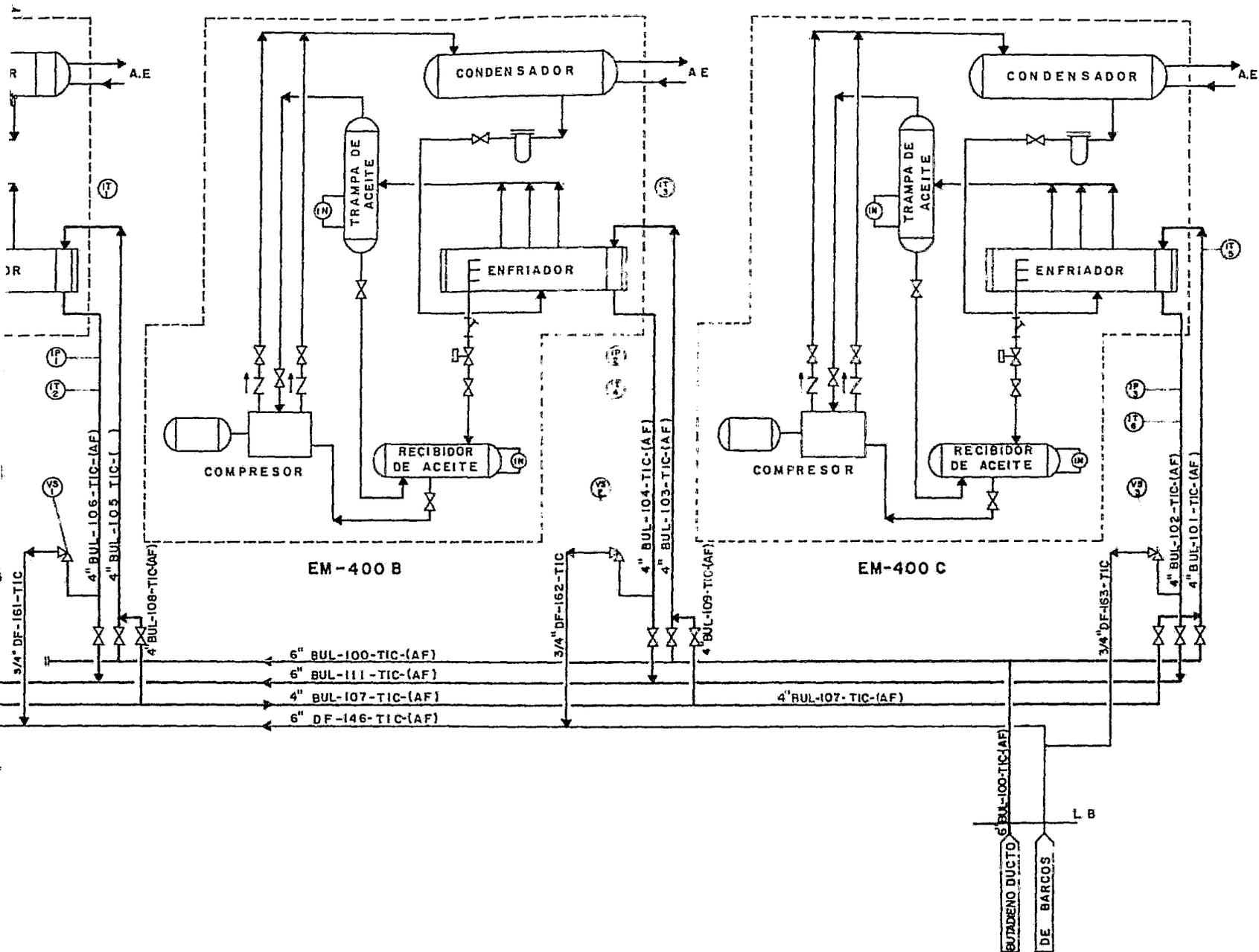
R I E N T E							
5	7	8	9	10	11	12	13
99.7	99.7	99.7	99.7	99.7	99.7	99.7	99.7
0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
100	100	100	100	100	100	100	100
25098	1258	25098	25098	1773	1773	257	
659	355300	67905	355300	355300	95756	95756	8810
4	54	54	54	54	54	54	54
20	144000	7214	144000	144000	10286	10286	-
	-	-	-	-	-	-	1485
45	0.645	0.645	0.645	0.645	0.638	0.638	1.36
81	0.181	0.181	0.181	0.181	0.169	0.169	0.008
5	18.5	18.5	18.5	18.5	22.5	22.5	-
0	35	35	35	35	45	45	35
0	9	80	9	100	9	100	9

TERMINAL DE ALMACENAMIENTO DE BUTADIENO

diagrama de proceso

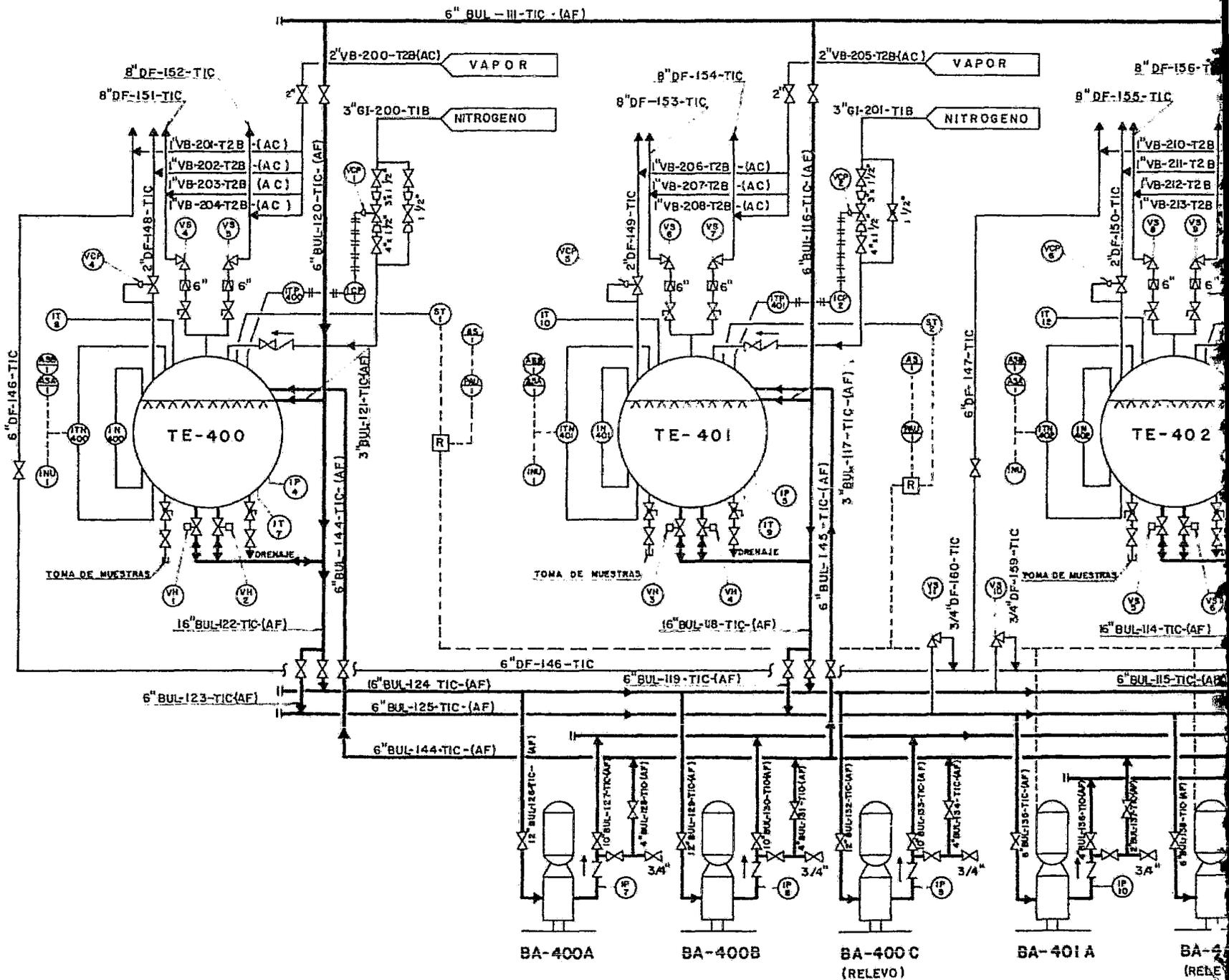
PLANO : A-100

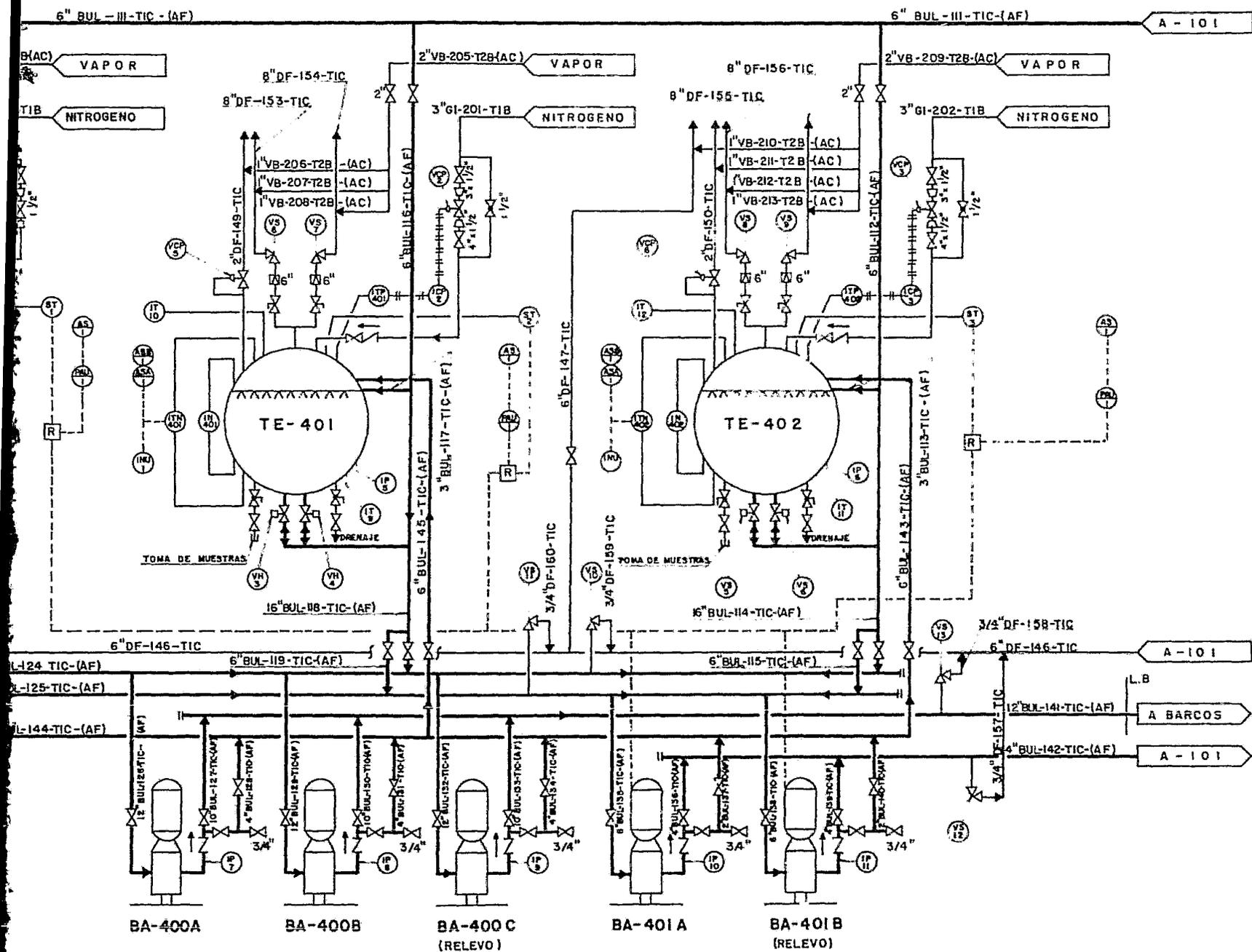




TERMINAL DE ALMACENAMIENTO DE BUTADIENO
 DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION
 UNIDADES DE REFRIGERACION.

PLANO A - 101





TERMINAL DE ALMACENAMIENTO DE BUTADIENO
 DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION
 TANQUES DE ALMACENAMIENTO Y BOMBAS.
 PLANO : A - 102

ESPECIFICACION TIA

1.- CLASE

125# ANSI, cara plana, acero al carbón, hierro fundido, hierro maleable galvanizado y bronce.

2.- SERVICIO

Agua cruda, agua tratada (no desmineralizada), -- agua de enfriamiento, agua de pozo, condensado; agua potable y para sanitarios, sobre y bajo nivel de piso; vapor de escape, aire de servicio y de instrumentos.

3.- TOLERANCIA POR CORROSION : 0.05"

4.- LIMITES DE TEMPERATURA Y PRESION

- a) 12"0 y menores: 8.8 Kg/cm² a 178°C, vapor.
12.3 Kg/cm² a 65.6°C, agua y aire.
- b) 14" a 16"0 8.8 Kg/cm² a 178°C, vapor.
10.5 Kg/cm² a 65.6°C, agua.
- c) 18" a 24"0: 7.0 Kg/cm² a 170°C, vapor.
10.5 Kg/cm² a 65.6°C, agua.
- d) 30" a 54"0: 10.5 Kg/cm² a 65.6°C, agua.

5.- TUBERIA

- a) 1 1/2 y menores: Acero al carbón, sin costura, -
Ced. 80, ASTM-A-53 Gr.A
- b) 2" a 6" ø : Acero al carbón, sin costura, -
Ced. 40, ASTM-A-53, Gr.B

- c) 8" a 10" \varnothing : Acero al carbón, con o sin costura, Ced. 30, ASTM-A-53, Gr.B
- d) 12" a 18" \varnothing : Acero al carbón, con o sin costura, Esp. 0.250", ASTM-A-53, Gr.B
- e) 20" a 24" \varnothing : Acero al carbón, con o sin costura, Esp. 0.312", ASTM-A-53, Gr.B

ESPECIFICACION T1B

1.- CLASE

150# ANSI, cara realzada, acero al carbón.

2.- SERVICIO

Hidrocarburo líquido no corrosivos, vapores, aceite combustible, gas natural, amoníaco refrigerante y -nitrogeno.

3.- TOLERANCIA POR CORROSION: 1.27 mm. (0.05")

4.- LIMITES DE TEMPERATURA Y PRESION

- a) 7.0 Kg/cm² a 399 °C
- b) 10.5 Kg/cm² a 260 °C
- c) 19.4 Kg/cm² de -29 °C a 38 °C

5.- TUBERIA

- a) 1 1/2" y menores: Acero al carbón, sin costura,-
Ced. 80, ASTM-A-53, Gr.B
- b) 2" a 6" \varnothing : Acero al carbón, sin costura,-
Ced. 40, ASTM-A-53, Gr.B
- c) 8" a 12" \varnothing : Acero al carbón sin costura, -
Ced. 30, ASTM-A-53, Gr.B
- d) 14" a 16" \varnothing : Acero al carbón, sin costura,-
Ced. 10, ASTM-A-53, Gr. B
- e) 18" a 20" \varnothing : Acero al carbón, con o sin costu
ra, Ced. 10, ASTM-A-53, Gr.B
- f) 24" a mayores: Acero al carbón, con costura,-
Esp. calcular, ASTM-A-155, Gr.
C55, clase 2

ESPECIFICACION T2B

1.- CLASE

150# ANSI, cara realzada, acero al carbón.

2.- SERVICIO

Vapor, condensado, agua de proceso y de alimentación a calderas.

3.- TOLERANCIA POR CORROSION: 1.27 mm (0.05")

4.- LIMITES DE TEMPERATURA Y PRESION

a) 7.0 Kg/cm² a 399 °C

b) 11.6 Kg/cm² a 232 °C

5.- TUBERIA

a) 1 1/2" \varnothing y menores: Acero al carbón, sin costura,

Ced. 80, ASTM-A-53, Gr. A

b) 2" a 8" \varnothing :

Acero al carbón, sin costura,

Ced. 40, ASTM-A-53, Gr. B

c) 10" a 12" \varnothing :

Acero al carbón, sin costura,

Ced. 30, ASTM-A-53, Gr. B

d) 14" a 18" \varnothing :

Acero al carbón, sin costura,

Ced. 20, ASTM-A-53, Gr. B

e) 20" a 24" \varnothing :

Acero al carbón, con costura,

Esp. 0.312", ASTM-A-53, Gr. B

ESPECIFICACION TIC

1.- CLASE

300# ANSI, cara realzada, acero al carbón.

2.- SERVICIO

Butadieno

3.- TOLERANCIA POR CORROSION: 1.27 mm (0.05")

4.- LIMITES DE TEMPERATURA Y PRESION

Presión: 50.61 Kg/cm²

Temperatura: -28.9 °C a 43.3 °C

5.- TUBERIA

- a) 1 1/2" ϕ y menores: Acero al carbón, sin costura,-
Ced. 80, ASTM-A-53, Gr.B
- b) 2" a 10" ϕ : Acero al carbón, sin costura,-
Ced. 40, ASTM-A-53, Gr. B
- c) 12" a 14" ϕ : Acero al carbón, sin costura,-
Esp. 0.375", ASTM-A-53, Gr.B
- d) 16" ϕ : Acero al carbón, sin costura,-
Esp. 0.500", ASTM-A-53, Gr.B
- e) 18" ϕ : Acero al carbón, con costura,-
Esp. 0.500", ASTM-A-53, Gr.B
- f) 20" a 22" ϕ : Acero al carbón, con costura,-
Esp. 0.625" ASTM-A-53 Gr.B
- g) 24" a 30" ϕ : Acero al carbón, con costura,-
Esp. 0.687", ASTM-A-53, Gr.B

SIMBOLOGIA EMPLEADA EN DIAGRAMAS

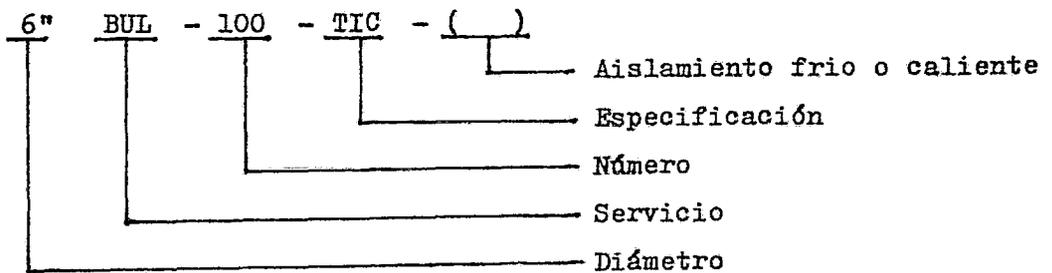
Lineas de proceso, servicios e instrumentos

	Linea de proceso
	Linea de servicios
	Señal neumática
	Señal eléctrica
	Señal hidráulica

Válvulas y accesorios

	Válvula de compuerta
	Válvula de globo
	Válvula macho
	Válvula de bola
	Válvula de retención (check)
	Válvula de tres vias
	Válvula de control
	Válvula de control de presión con toma externa
	Válvula con operador hidráulico
	Válvula de diafragma
	Válvula de control con válvula solenoide
	Válvula de seguridad
	Venteo a la atmosfera
	Reducción concentrica
	Disco de ruptura
	Filtro tipo "Y"
	Filtro tipo canasta
	Tapon cachucha roscado
	Torrencia contra incendio (Monitor)
	Rociadores

Abreviaturas en lineas.



Abreviaturas de servicios

- BUL - Butadieno líquido.
- VB - Vapor de baja.
- GI - Nitrógeno
- DF - Butadieno vapor a desfogue.
- ACI - AGUA CONTRA INCENDIO.
- AE - AGUA DE ENFRIAMIENTO.
- Af - Aislamiento frio.
- AC - Aislamiento caliente.

Abreviaturas en instrumentos

- 1.- IT - Indicador de temperatura.
- 2.- IP - Indicador de presión.
- 3.- IN - Indicador de nivel tipo mirilla.
- 4.- ITP - Indicador transmisor de presión.
- 5.- ITN - Indicador transmisor de nivel.
- 6.- ST - Interruptor de temperatura.
- 7.- ICP - Indicador controlador de presión.
- 8.- R - Relevador
- 9.- INU - Indicador de nivel multiple.
- 10.- PAU - Panel de alarmas multiple.
- 11.- AS - Alarma sonora por alta temperatura.
- 12.- ASB - Alarma sonora por bajo nivel.
- 13.- ASA - Alarma sonora por alto nivel.

VCP - Válvula controladora de presión.

VS - Válvula de seguridad.

VH - Válvula Hidraulica.

S - Válvula Solenoide.

○ Montaje local.

⊖ Montado en tablero de control principal.

Abreviaturas de equipo

BA - Bomba centrifuga.

EM - Unidad de refrigeración.

TE - Tanque esferico.

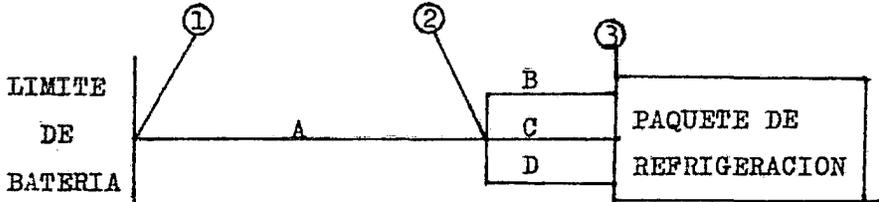
CAPITULO 5

DISEÑO MECANICO DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

DISEÑO MECANICO DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

a).- CALCULO DE TUBERIAS.

1).- Del límite de batería a paquete de refrigeración.



DATOS

Gasto = 362 GPM

$T_1 = 100 \text{ }^\circ\text{F}$

$P_1 = 100 \text{ Psig}$

$T_3 = 100 \text{ }^\circ\text{F}$

$L_A = 230 \text{ pies}$

$L_B = 39 \text{ pies}$

$L_B = L_C = L_D$

$\rho = 37.4 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3} \text{ a } 100 \text{ }^\circ\text{F}$

$\mu = 0.12 \text{ CP. a } 100 \text{ }^\circ\text{F}$

$P_v = 58.8 \text{ Psia a } 100 \text{ }^\circ\text{F}$

INCOGNITAS

Diámetros

$d_A, d_B, d_C \text{ y } d_D$

Presiones

$P_2 \text{ y } P_3$

Se considera un 20% de la longitud de las tuberías-concepto de accesorios.

1.a) Cálculo del diámetro de la corriente A

Balance de Energía.

$$Z_1 + \frac{v_1^2}{2g_c} + P_1 \times \frac{144}{\rho} = Z_2 + \frac{v_2^2}{2g_c} + P_2 \times \frac{144}{\rho} + \Sigma F_A$$

De los terminos de la ecuación, anterior se tiene que:

$Z_1 = Z_2$ y $V_1 = V_2$, entonces:

$$P_1 \times \frac{144}{\rho} = P_2 \times \frac{144}{\rho} + \Sigma F_A$$

Calculo de ΣF_A

$$\Sigma F = \frac{f V^2 L}{2gc \times ID}$$

De la fórmula anterior no conocemos diametro y velocidad por lo que suponemos una velocidad.

$$V_s = 6 \frac{\text{pies}}{\text{seg.}}$$

$$\text{Gasto} = 0.806 \frac{\text{pies}^3}{\text{seg.}}$$

$$A = \frac{\text{Gasto}}{\text{Velocidad}}$$

$$A = \frac{0.806 \frac{\text{pies}^3}{\text{seg.}}}{6 \frac{\text{pies}}{\text{seg.}}} = 0.134 \text{ pies}^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} \times D^2$$

$$D = \left(\frac{4}{\pi} \times A \right)^{1/2}$$

$$D = \left(\frac{4}{\pi} \times 0.134 \right)^{1/2} = 0.413 \text{ pies}$$

$$d = 6 \text{ pulg.}$$

Corrección de velocidad.

$$ID = 0.505 \text{ pies}$$

$$V = \frac{\text{Gasto}}{\text{Area}}$$

$$A = 0.2006 \text{ pies}^2$$

$$V = \frac{0.806 \text{ pies}^3/\text{seg}}{0.2006 \text{ pies}^2} = 4.0 \frac{\text{pies}}{\text{seg}}$$

Cálculo del Reynolds.

$$R_e = \frac{DV\rho}{\mu}$$

$$R_e = \frac{0.505 \times 4.0 \times 37.4}{0.12 \times 6.72 \times 10^{-4}} = 9.37 \times 10^5$$

$$= 0.0003 \text{ (Pag. A-23 del CRANE)}$$

Factor de Fricción, f

Con el R_e y $\frac{E}{D}$ obtenemos f , (Pag. a-24 del CRANE)

$$f = 0.0155$$

Cálculo de ΣF_A

$$\Sigma F_A = \frac{0.0155 \times 4.0^2 \times 754.53}{2 \times 32.2 \times 0.505} = 2.1 \text{ Pies}$$

Cálculo de P_2

$$P_2 \times \frac{144}{\rho} = P_1 \frac{144}{\rho} - \Sigma F_A$$

$$P_2 \times 3.85 = 100 \times 3.85 - 2.1 = 382.9 \text{ pies}$$

$$P_2 = 99.4 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$$

1,b) Cálculo del diámetro de la corriente B, C y D

Como son tres unidades de refrigeración y una de ellas es relevo, entonces el flujo que viene de la corriente A se divide en dos.

$$\text{Gasto} = \frac{362}{2} = 181 \text{ GPM}$$

$$L_{BT} = 1.2 \times L_2$$

$$L_{BT} = 1.2 \times 39 = 47 \text{ pies}$$

Balance de Energia.

$$Z_2 + \frac{v_2^2}{2 \times g_c} + P_2 \times \frac{144}{\rho} = Z_3 + \frac{v_3^2}{2 \times g_c} + P_3 \times \frac{144}{\rho} + \Sigma F_B$$

Las alturas y velocidades se eliminan porque son iguales en los dos puntos, entonces.

$$P_2 \times \frac{144}{\rho} = P_3 \times \frac{144}{\rho} + \Sigma F_B$$

Cálculo de ΣF_B

$$\Sigma F_B = \frac{f v^2 L}{2 g_c \times 1D}$$

Se supone una velocidad.

$$V_s = 6 \frac{\text{pies}}{\text{seg.}}$$

$$A = \frac{\text{Gasto}}{\text{Velocidad}}$$

$$A = \frac{0.403 \text{ pies}^3/\text{seg.}}{6 \text{ pies/seg.}} = 0.067 \text{ pies}^2$$

$$D = \left(\frac{4}{\pi} \times A \right)^{1/2}$$

$$D = \left(\frac{4}{\pi} \times 0.067 \right)^{1/2} = 0.292 \text{ pies}$$

$$d_B = 4 \text{ pulg.}$$

Corrección de la velocidad.

$$ID = 0.3355 \text{ pies}$$

$$V = \frac{\text{Gasto}}{\text{Area.}}$$

$$A = 0.0884 \text{ pies}^2$$

$$V = \frac{0.403 \text{ pies}^3/\text{seg.}}{0.0884 \text{ pies}^2} = 4.56 \frac{\text{pies}}{\text{seg.}}$$

Cálculo del Reynolds.

$$R_e = \frac{ID V \rho}{\mu}$$

$$R_e = \frac{0.3355 \times 4.56 \times 37.4}{0.12 \times 6.72 \times 10^{-4}} = 7.1 \times 10^5$$

$$\frac{E}{D} = 0.00045 \text{ (Pag. A-23 del CRANE)}$$

Factor de fricción f .

Con el R_e y $\frac{E}{D}$ obtenemos f (Pag. A-24 del CRANE)

$$f = 0.017$$

Cálculo de ΣF .

$$\Sigma F_B = \frac{0.017 \times 4.56^2 \times 37.4}{2 \times 32.2 \times 0.3355} = 0.773 \text{ pies}$$

Cálculo de P_3 .

$$P_3 \times \frac{144}{\rho} = P_2 \frac{144}{\rho} - \Sigma F$$

$$P_3 \times 3.85 = 99.4 \times 3.85 - 0.773 = 382 \text{ pies}$$

$$P_3 = 99.2 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$$

Como las corrientes B, C y D tienen el mismo gasto y longitud, por lo tanto tendran el mismo diámetro.

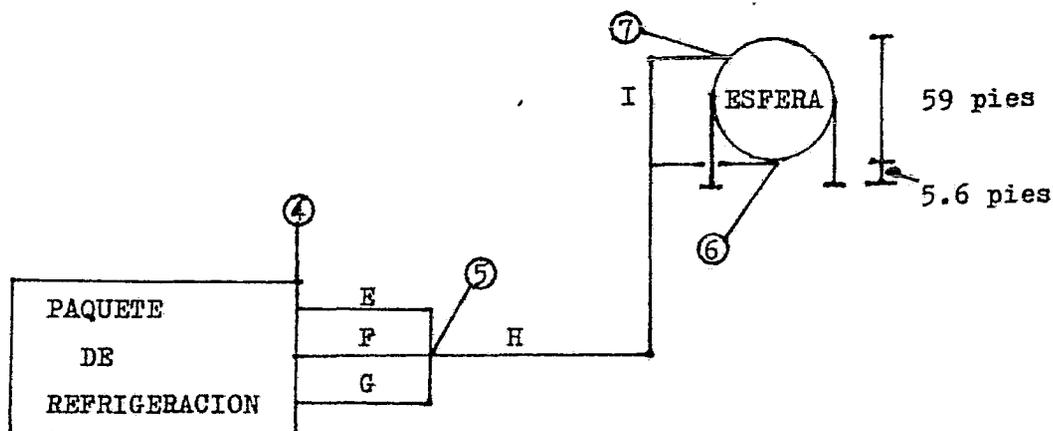
$$d_B = 4 \text{ pulg.}$$

$$d_C = 4 \text{ pulg.}$$

$$d_D = 4 \text{ pulg.}$$

$$P_3 = 99.2 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$$

2).- De unidades de Refrigeración a Esferas.



De la corriente H salen tres líneas que van a las -
esferas (Línea por esfera), pero para simplificar cal-
culos, representaremos una sola línea.

DATOS	INCOGNITA
Gasto = 181 GPM	Diámetros
$T_4 = 35^{\circ} F$	d_E, d_F, d_G y d_H
$T_5 = 35^{\circ} F$	Presiones
$T_6 = 35^{\circ} F$	P_6 y P_7
$P_4 = 89.7$ Psig	$P_6 = P_7$
$\rho = 40.23 \frac{lb}{pulg^2}$	
$\mu = 0.181$ CP.	
$L_E = L_F = L_G = 39$ pies	
$L_H = 367$ pies (Se escoge el tanque más retirado)	

2.a). Cálculo del diámetro de las corrientes E, F y G.

Las corrientes E, F y G manejan el mismo gasto y lle-
gan al punto 5 por lo que se calcula una sola línea.

$$Z_4 + \frac{V_4^2}{2\alpha g_c} + P_4 \frac{144}{\rho} = Z_5 + \frac{V_5^2}{2\alpha g_c} + P_5 \frac{144}{\rho} + \Sigma F_E$$

Como $Z_4 = Z_5$ y $V_4 = V_5$ entonces

$$P_4 \frac{144}{\rho} = P_5 \frac{144}{\rho} + \Sigma F_E$$

Cálculo de ΣF_E

$$\Sigma F_E = \frac{fV^2 L}{2 g_c ID}$$

Se supone una velocidad

$$V_s = 6 \frac{\text{pies}}{\text{seg.}}$$

$$\text{Gasto volumetrico} = 0.403 \frac{\text{pies}^3}{\text{ség.}}$$

$$A = \frac{\text{Gasto vol.}}{\text{Velocidad}}$$

$$A = \frac{0.403}{6} = 0.067 \text{ pies}^2$$

$$A = 0.785 D^2$$

$$D = \left(\frac{A}{0.785} \right)^{1/2}$$

$$D = \left(\frac{0.067 \text{ pies}^2}{0.785} \right)^{1/2} = 0.292 \text{ pies}$$

$$d = 3.5 \text{ pulg.}$$

Diámetro nominal

$$d = 4 \text{ pulg.}$$

Numero de Regnolds

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

$$Re = \frac{0.3355 \times 4.56 \times 40.23}{0.181 \times 6.72 \times 10^4} = 5.06 \times 10^5$$

$$\frac{E}{D} = 0.00045 \quad (\text{Pag. A-23 del CRANE})$$

Factor de Friccion f

Con el Re y $\frac{E}{D}$ obtenemos f (Pag. A-24 del CRANE)

$$f = 0.017$$

Cálculo de ΣF_E

$$L_T = 1.2 \times 39 = 47 \text{ pies}$$

$$\Sigma F_E = \frac{0.017 \times 4.56^2 \times 47}{2 \times 32.2 \times 0.3355} = 0.773 \text{ pies}$$

Cálculo de P_5

$$P_5 \times \frac{144}{40.23} = 89.7 \times \frac{144}{40.23} - 0.773 = 320.3 \text{ pies}$$

$$P_5 = 89.48 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$$

Los diámetros serán:

$$d_E = 4 \text{ pulg}$$

$$d_F = 4 \text{ pulg}$$

$$d_G = 4 \text{ pulg}$$

$$P_5 = 89.48 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$$

2.b) Cálculo del diámetro de la corriente H

Balance de Energía

$$Z_5 + \frac{V_5^2}{2 \times 9.8} + P_5 \times \frac{144}{\rho} = Z_6 + \frac{V_6^2}{2 \times 9.8} + P_6 \times \frac{144}{\rho} + \Sigma F_H$$

Tomando como nivel de referencia $Z_5 = 0$ sea $Z_5 = 0$ y $V_5 = V_6$, entonces la ecuación anterior queda

$$P_5 \frac{144}{\rho} = Z_6 + P_6 \times \frac{144}{\rho} + \Sigma F_H$$

Cálculo de ΣF_H

$$\Sigma F_H = \frac{f V^2 L}{2 \epsilon_c ID}$$

Se supone una velocidad

$$V_s = 6 \frac{\text{pies}}{\text{seg.}}$$

$$A = \frac{0.806}{6} = 0.134 \text{ pies}^2$$

$$D = \left(\frac{0.134}{0.785} \right)^{1/2} = 0.413 \text{ pies}$$

$$d = 4.96 \text{ pulg.} \quad 6 \text{ pulg.}$$

Corrección de velocidad

$$ID = 0.5054 \text{ pies}$$

$$A = 0.2006 \text{ pies}^2$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0.806}{0.2006} = 4 \frac{\text{pies}}{\text{seg.}}$$

Número de Reynolds R_e

$$R_e = \frac{0.5054 \times 4 \times 40.23}{0.181 \times 6.72 \times 10^{-4}} = 6.7 \times 10^5$$

$$\frac{\epsilon}{D} = 0.0003$$

Factor de Fricción f

Con el R_e y $\frac{\epsilon}{D}$ obtenemos f

$$f = 0.0158$$

Cálculo de ΣF

$$L_T = 367 \times 1.2 = 441 \text{ pies}$$

$$\Sigma F_H = \frac{0.0158 \times 4^2 \times 441}{2 \times 32.2 \times 0.5054} = 3.414 \text{ pies}$$

Cálculo de P_6

Considerando que todo el butadieno llega hasta la parte superior de la esfera, la altura será: $Z_3 = 65$ pies

$$P_6 \times 3.58 = P_5 \times 3.58 - Z_3 - \Sigma F_H$$

$$P_6 \times 3.58 = 89.48 \times 3.58 - 65 - 3.414 = 252.3 \text{ pies}$$

$$P_6 = 70.5 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$$

2.c).- Cálculo de la corriente I

El flujo de la corriente I se determinó por el número de espreas y capacidad de las mismas (localizadas en el interior del tanque esféricos)

Número de espreas = 42

Capacidad de la espreas = 3 GPM

flujo total= 42x3 = 126 GPM

Determinación del diámetro

$$A = \frac{\text{Gasto Vol.}}{\text{Velocidad}} =$$

$$\text{Gasto Vol.} = 0.28 \text{ Pies}^3/\text{seg.}$$

$$V_s = 6 \frac{\text{pies}}{\text{seg.}}$$

$$A = \frac{0.28}{6} = 0.046 \text{ pies}^2$$

$$D = \left(\frac{0.046}{0.785} \right)^{1/2} = 0.244 \text{ pies}$$

$$d = 3 \text{ pulg.}$$

3).- Cálculo de la línea de Desfogue

EL cabezal de desfogue se calculará, en base al flujo máximo. Esto sucede, cuando se está recibiendo vapores de barcos.

Los vapores serán venteados a la atmosfera disueltos en vapor de agua, por medio de dos venteos, - localizados en la parte superior de los tanques esféricos. (Un venteo será relevo del otro).



DATOS

Gasto = 1.486 MM SCFD

$T_1 = 35^{\circ}F$

$P_1 = 9$ Psig

P.M. = 54

$\mu = 0.008$ cp.

$k = 1.12$

$L = 5670$ pies

$e = 2.718$

$R = 1544$

$g_c = 32.2 \frac{\text{pies lb}}{\text{seg}^2 \text{ lb}_f}$

$W = 8810 \frac{\text{lb}}{\text{Hr}}$

Utilizando el método de LAPPLE calcularemos el diámetro.

1.- Determinación de G_{cni}

$$G_{cni} = P_i \sqrt{\frac{\epsilon_c P.M.}{e R T'_1}}$$

$$G_{cni} = 23.7 \sqrt{\frac{32.2 \times 54}{2.718 \times 1544 \times 495}} \times 144 = 98.74 \frac{\text{lb}}{\text{seg. pie}^2}$$

2.- Número de Reynolds

$$R_e = \frac{6.32 \times W}{\mu d}$$

Se supone el diámetro

$d = 6$ pulg.

ID = 05054 pies

$A = 0.2006$ pies²

$$R_e = \frac{6.32 \times 8810}{0.008 \times 6.065} = 1.147 \times 10^6$$

3.- Factor de fricción f'

$$\frac{\epsilon}{D} = 0.0003$$

Con ϵ/D y R_e obtenemos f

$$f = 0.014$$

$$f' = \frac{f}{4} = \frac{0.014}{4} = 0.0035$$

4.- N

$$N = \frac{f \cdot L}{ID}$$

$$N = \frac{0.0035 \times 5670}{0.5054} = 39.2$$

5.- Cálculo de G'

$$G' = \frac{W}{A}$$

$$G' = \frac{8810}{0.2006 \times 3600} = 12.2 \frac{\text{lb}}{\text{seg. pie}^2}$$

6.- Relación de $\frac{G'}{G_{cnl}}$

$$\frac{G'}{G_{cnl}} = \frac{12.2}{98.74} = 0.123$$

7.- Cálculo de P'_2

Con $\frac{G'}{G_{cnl}}$ y N obtenemos $\frac{P'_2}{P'_1}$ (Gráfica de Lapple)

$$\frac{P'_2}{P'_1} = 0.33$$

$$P'_2 = 0.88 \times 23.7 = 20.856 \text{ Psia}$$

$$P_2 = 6.156 \text{ Psig.}$$

8.- Cálculo de ΔP

$$\Delta P = P'_1 - P'_2 = 21.7 - 20.856 = 2.844 \text{ Psi}$$

$$\Delta P/100 = 0.05 \text{ Psi}$$

9.- Velocidad Sónica

$$V'_S = 223 \times \left(\frac{k T (^{\circ}R)}{P.M.} \right)^{1/2}$$

$$V'_S = 223 \times \left(\frac{1.12 \times 495}{54} \right)^{1/2} = 714.5 \frac{\text{pies}}{\text{seg.}}$$

10.- Número de Mach.

$$\text{Mach} = \frac{V}{V'_S}$$

$$\text{Mach} = \frac{50.58}{714.5} = 0.07$$

Los valores de $\Delta P/100$ y Mach son razonables por lo que se acepta el diámetro de 6 pulg.

4.- CALCULO DE VALVULAS DE SEGURIDAD

4.1).- CONDICION DE FUEGO

4.1.1).- Las valvulas de los tanques esfericos se calcularán en base a éste fenomeno.

DATOS

$$D_E = 59.1 \text{ pies}$$

$$P_{op.} = 9 \text{ psig}$$

$$P_{Diseño} = 45 \text{ psig}$$

$$T_{op.} = 35 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_{Diseño} = 100 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$PM = 54$$

$$P_a = 35 \text{ Psig.}$$

Tanque aislado

$$\text{Sotrepresión} = 21 \%$$

$$T_c = 765 \text{ } ^\circ\text{R}$$

$$P_c = 629.7 \text{ Psia.}$$

Fórmula:

$$A^* = \frac{W \sqrt{T_a} \sqrt{Z}}{1.047 P_1 C_1 \sqrt{PM}}$$

Los valores de los factores no conocidos, se determinan de la manera siguiente:

a).- Cálculo del área mojada A_m

$$A_m = \pi d^2$$

$$A_m = 3.1416 \times (29.55)^2 = 2743.2 \text{ pies}^2$$

Para el factor ambiental se considera $F = 1$ esta su posición es valido, porque en el caso de un incendio prolongado, el aislante puede desprenderse.

b).- Determinación de Q

$$Q = 21000 F (Am)^{0.82}$$

$$Q = 21000 \times 1 \times (2743.2)^{0.82} = 13854486 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr}}$$

c).- Determinación de la presión de relevo.

$$P_1' = P_a + SP + P_{\text{atm.}}$$

$$P_1' = 35 + (0.21)(35) + 14.7 = 57 \text{ PSIA}$$

d).- Calor latente de vaporización, λ

Con la P_1 y la gráfica No.11 del API- 520, obtenemos λ

$$\lambda = 166 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}}$$

$$T_a = 82 \text{ } ^\circ\text{F} = 542 \text{ R}$$

e).- Determinación de W

$$W = \frac{Q}{\lambda}$$

$$W = \frac{13854486}{166} = 83461 \frac{\text{lb}}{\text{Hr}}$$

f).- Determinación de presión del coeficiente de orificio C_1 .

Con la " P_1 " y la gráfica C-1 del API- 520

$$n = 1.04$$

Con la gráfica C-2 y n obtenemos C_1

$$C_1 = 320$$

g).- Factor de compresibilidad Z'

$$P_r = \frac{P_1'}{P_c} = \frac{57}{629.7} = 0.09$$

$$T_r = \frac{T_a'}{T_c} = \frac{542}{765} = 0.7$$

$$Z' = 0.37$$

h).- Sustituyendo valores obtenemos A'

$$A' = \frac{83461 \times \sqrt{542} \times \sqrt{0.37}}{1.047 \times 57 \times 320 \times \sqrt{54}} = 12.9 \text{ pulg}^2$$

Con el valor de "A'" nos vamos al catalogo de valvulas de seguridad y obtenemos una de: 6 x 8 pulg. 150 # x 150 #

Cada esfera tendra 2 valvulas de seguridad (UNA DE-RELEVO).

4.1.2).- Las valvulas de seguridad localizadas en la lineas de salida del paquete de refrigeración que manejan butadieno y retorno de agua de enfriamiento se calculan para condición de fuego.

BUTADIENO

DATOS

$$d = 4.026 \text{ pulg}$$

$$ID = 0.3355 \text{ pies}$$

$$A = 0.0884 \text{ pies}^2$$

$$L = 12 \text{ m} = 40 \text{ pies}$$

$$P. \text{ op} = 100 \text{ Psig}$$

$$P_{\text{ajuste}} = 150 \text{ Psig}$$

$$T. \text{ op} = 35 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

Linea aislada

$$T_c = 765 \text{ }^{\circ}\text{R}$$

$$P_c = 629.7 \text{ Psig}$$

$$\text{Sobrepresión} = 10\%$$

a).- Cálculo del área mojada.

$$A_m = \pi \times ID \times L$$

$$A_m = \pi \times 0.3355 \times 40 = 42.16 \text{ pies}^2$$

b).- Calor absorbido por la linea.

Como $20 < A < 200$ emplearemos la siguiente ecuación.

$$Q = 20000 F A_m$$

donde

$$F = 0.15 \text{ (DE API - 2000)}$$

$$Q = 20000 \times 0.15 \times 42.16 = 126480 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr}}$$

c).- Determinación de presión de relevo.

$$P_R = 150 + 0.10 \times 150 + 14.7 = 179.7 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} \text{ (abs)}$$

d).- Calor latente de vaporización

$$\lambda = 123 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} \text{ (Con } P_R \text{ y Gráfica del API-520)}$$

$$T_a = 625 \text{ }^\circ\text{R}$$

e).- Cálculo de W

$$W = \frac{Q}{\lambda} =$$

$$W = \frac{126480}{123} = 1028.3 \frac{\text{lb}}{\text{Hr}}$$

f).- Determinación de Z'

$$T_R = \frac{625}{765} = 0.82$$

$$P_R = \frac{179.7}{629.7} = 0.28$$

$$Z' = 0.78$$

g).- Cálculo del área de orificio.

$$A' = \frac{W \sqrt{T_a} \sqrt{Z'}}{1.047 \times P_R \times C_1 \sqrt{P.M.}}$$

$$A' = \frac{1028.3 \sqrt{625} \sqrt{0.78}}{1.047 \times 179.7 \times 301 \sqrt{54}}$$

$$A' = 0.054 \text{ pulg}^2$$

Con el valor de "A" nos vamos al catalogo de valvulas de seguridad y obtenemos.

$$\text{Tamaño: } \frac{1}{2} \text{ pulg. } \times \frac{3}{4} \text{ pulg.}$$

Area: 0.121 pulg²

Serán tres valvulas de seguridad ya que son tres paquetes de refrigeración.

4.2).- CONDICION DE EXPANSION DE LIQUIDO

Con el objeto de simplificar los calculos, a continuación calcularemos la válvula de seguridad que se encuentra instalada sobre la tubería más larga de la terminal, que es la línea de carga a barcos.

DATOS

Fluido: Butadieno

$$T_{\text{fluido}} = 35 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_{\text{amb.}} = 100 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$d_{\text{ext.}} = 12.75 \text{ pulg.}$$

$$d'_{\text{ext.}} = 17.75 \text{ pulg.}$$

$$h_{\text{cr}} = 0.72 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr } ^\circ\text{F pie}^2}$$

$$K = 0.15 \frac{\text{BTU pulg.}}{\text{Hr } ^\circ\text{F pie}^2}$$

$$L = 1575 \text{ m} = 5166 \text{ pies}$$

$$S.G.N. = 0.645$$

$$C_p = 0.516 \frac{\text{BTU}}{\text{lb } ^\circ\text{F}}$$

$$B = 0.001$$

a).- Determinación del calor absorbido

$$Q = \frac{97 (T_{\text{amb.}} - T_{\text{fluido}}) \times 1/12}{\frac{1}{2} \frac{1}{K} \ln \frac{d'_{\text{ext.}}}{d_{\text{ext.}}} + \frac{1}{h_{\text{cr}} \times d'_{\text{ext.}}}}$$

$$Q = \frac{3.1416 (100 - 35) \times 1/12}{\frac{1}{2 \times 0.15} \ln \frac{17.75}{12.75} + \frac{1}{0.72 \times 17.75}} = 14.41 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr pie}}$$

$$Q_T = Q \times L$$

$$Q_T = 14.41 \times 5166 = 74442 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr}}$$

b).- Determinación del flujo.

$$\text{GPM} = \frac{\text{BQ}}{500 \times \text{S. G.} \times C_p}$$

$$\text{GPM} = \frac{0.001 \times 74442}{500 \times 0.645 \times 0.516} = 0.447$$

Según el cálculo anterior, se infiere que el gasto de relevo es muy pequeño, por lo que se empleará una valvula de seguridad se $\frac{1}{2}$ pulg. x $\frac{3}{4}$ pulg. 150 # x 150 # (Del catalogo de consolidated) y tendrá una presión de ajuste de 150 Psig.

5).- CALCULO DE VALVULAS DE CONTROL

5.1).- Para el caso de presión en las esferas.

DATOS

Fluido: Butadieno

P_{entrado} : 11 PSIG

P_{salida} : 14.7 PSIA

Temperatura: 35 °F

S. Gr. = 1.86

Capacidad de llenado = 362 GPM

a).- Determinación del flujo.

$$Q_g = 362 \frac{\text{Gal}}{\text{min}} \times \frac{\text{Pie}^3}{7.48 \text{ Gal}} \times \frac{60 \text{ min}}{\text{Hr}} = 2904 \frac{\text{Pies}^3}{\text{Hr}}$$

A condiciones estandar

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

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

$$Q'_g = \frac{25.7 \times 2904}{495} \times \frac{520}{14.7} = 5333.5 \frac{\text{Pies}^3}{\text{Hr}} \text{ (estandar)}$$

b).- Cálculo de C_g

$$C_g = \frac{Q'_g}{\sqrt{\frac{520}{(S.Gr.) \cdot (T)}} P'_1 \times \text{Sen} \left[\frac{3417}{C_I} \sqrt{\frac{P}{P_I}} \right]}$$

$$C_I = 35$$

$$C_g = \frac{5333.5}{\frac{520}{(1.86)(495)} \times 25.7 \times \text{Sen} \left[\frac{3417}{35} \sqrt{\frac{11}{25.7}} \right]}$$

$$C_g = 327.5$$

Obtenemos una válvula de 2 pulg.

Serán tres válvulas de control, debido a que son tres tanques. esfericos.

6).- CALCULO DE DISCOS DE RUPTURA.

Los discos de ruptura iran colocados antes de las valvulas de seguridad de las esferas. (Para evitar el contacto directo del butadieno con el asiento de las valvulas y de ésta forma evitar la polimerización).

DATOS

$$W = 83461 \frac{\text{lb}}{\text{Hr}}$$

$$T = 82 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$P_a = 35 \text{ Psia}$$

$$P.M. = 54$$

$$= 0.142 \frac{\text{lb}}{\text{pies}} \text{ a condiciones estandar.}$$

Fórmula

$$A_R = \frac{Q_g^*}{11.41 P_R} \sqrt{\frac{460 + T}{520}} \sqrt{\frac{P.M.}{29}}$$

a).- Cálculo de Q_g^*

$$Q_g^* = \frac{W}{\rho(\text{condiciones estandar})}$$

$$Q_g^* = \frac{83461}{0.142} = 587754 \frac{\text{Pies}^3}{\text{Hr}} \times \frac{\text{Hr}}{60 \text{ min}} = 9796 \frac{\text{Pies}^3}{\text{min}} (\text{estandar})$$

b).- Presión de Ruptura

$$P_R = P_a + P_{atm}$$

$$P_R = 35 + 14.7 = 49.7 \text{ Psia}$$

$$c).- A_R = \frac{9796}{11.41 \times 49.7} \sqrt{\frac{460 + 82}{520}} \sqrt{\frac{54}{29}}$$

$$A_R = 24.06 \text{ pulg}^2$$

d).- Diámetro del Disco de Ruptura

$$d = \frac{4 AR}{\pi}$$

d= 5.53 pulg.

Tamaño comercial

d= 6 pulg.

Serán 6 discos de ruptura ya que son dos por esfera.

7.- CALCULO DEL DIAMETRO DE LA GARZA

DATOS

Gasto = 4200 GPM

T = 35 °F

S.Gr. = 0.645

μ = 0.181 cp. = 1.3 SSU

Procedimiento

1.- Con el gasto nos vamos a las tablas del fabricante y dependiendo del diámetro escogido, se obtiene una velocidad, (Si no hay el gasto deseado se escoge el inmediato superior)

2.- En el mismo renglon del gasto, pero donde se cruza con la columna correspondiente a la viscosidad del fluido, se lee la caída de presión.

3.- La caída de presión se multiplica por la gravedad específica, para obtener una P correspondiente al fluido.

Características de la Garza

Diámetro = 10 pulg.

Velocidad = 18 pies/seg.

ΔP = 4.5 Psi

ΔP corregida = 2.9 Psi

El criterio para la selección del diámetro de la garza, debe estar basado en la velocidad (Menor de 30 pies/seg.), para evitar vibraciones y en la ΔP (Menor de 10 Psi). considerandó que es la parte más alocada de la bomba y no se cuenta con mucha presión.

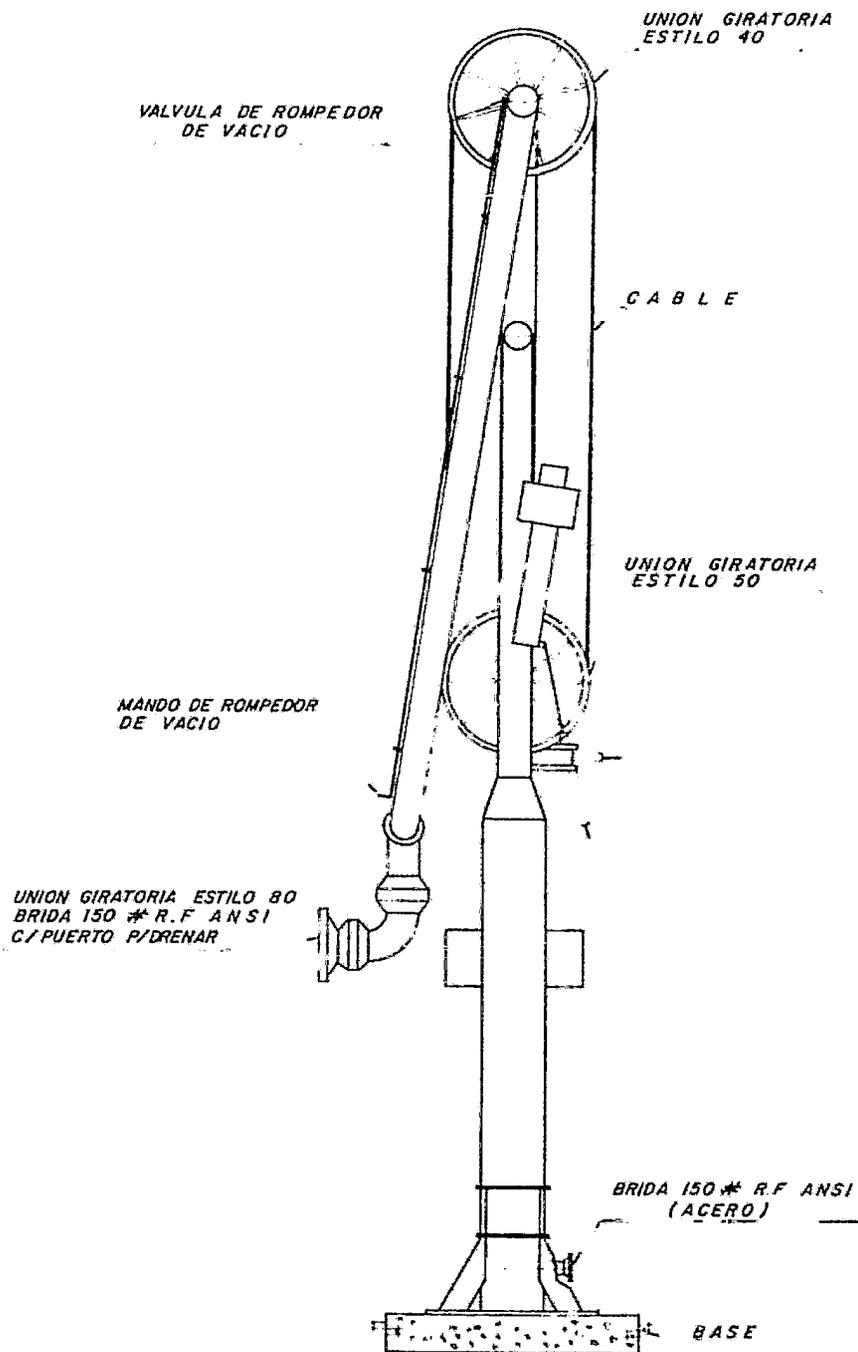
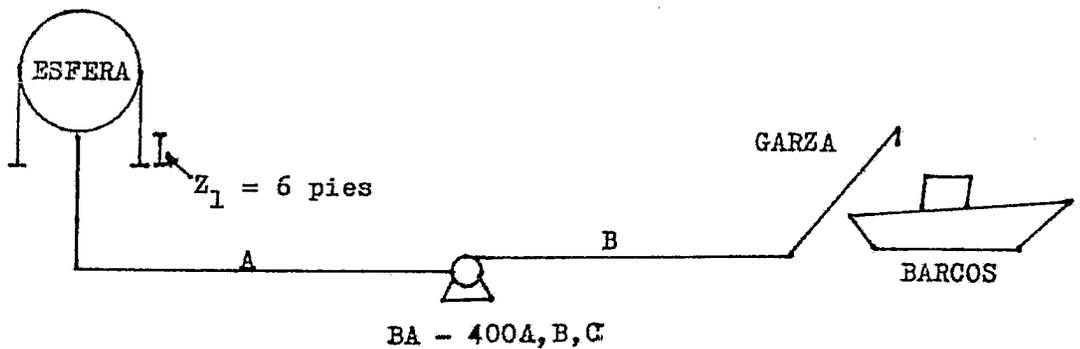


FIG. 5.1 GARZA PARA CARGA DE BARCOS
 SIN ESCALA

b).- CALCULO DE BOMBAS

1).- Cálculo de bombas BA-400 A,B,C



DATOS

Gasto = 4200 GPM

T = 35 °F

P_{esf} = 9 Psig

P_D = 100 Psig (establecida en las bases de diámetro de la bomba)

L_A = 440 pies

L_B = 5166 pies

Z_1 = 6 pies

Z_2 = 39 pies (altura de la garza)

P_v = 18.5 Psia

ρ = 40.23 $\frac{\text{lb}}{\text{pies}^3}$

μ = 0.181 CP.

INCOGNITAS

Diámetros

d_s y d_D

Presiones

P_s

Bomba

NPSH

BHP

Cálculo de NPSH

$$\text{NPSH} = P'_{esf} \times \frac{2.31}{\text{S. Gr.}} + (Z_1 - Z_B) - \frac{f V^2 L}{2gc \text{ ID}} - P_v \times \frac{2.31}{\text{S. Gr.}}$$

El termino $\frac{f V^2 L}{2gc \text{ ID}}$ se refiere a la caída de presión

a través de la tubería y la podemos calcular de la siguiente manera.

$$\Delta P_{/100 \text{ ft}} = \Delta P_{\text{agua}/100 \text{ ft}} \times \left(\frac{\mu}{\mu_{\text{agua}}} \right)^{0.2} \times \left(\frac{\rho}{\rho_{\text{agua}}} \right)^{0.8}$$

$$\Delta P_{/100 \text{ ft}} = \Delta P_{\text{agua}/100 \text{ ft}} \times \left(\frac{0.181}{1.7} \right)^{0.2} \times \left(\frac{40.23}{62.4} \right)^{0.8}$$

$$\Delta P_{/100 \text{ ft}} = \Delta P_{\text{agua}/100 \text{ ft}} \times 0.45$$

Se suponen diámetros

d (in)	V (ft/seg)	$\Delta P_{\text{agua}/100 \text{ ft}}$ (Psi)	$\Delta P_{/100 \text{ ft}}$ (Psi)	ΔP_T (Psi)	ΔP_T (ft)	L_T (ft)
10	17.092	3.41	1.534	8.09	28.97	527.4
12	13.564	1.9	0.855	4.5	16.14	527.4
14	9.778	0.832	0.375	1.97	7.076	527.4
16	7.633	0.445	0.2	1.05	3.78	527.4
18	5.942	0.241	0.108	0.57	2.05	527.4

$$\Delta Z = 5.576 \text{ pies}$$

$$P_{\text{esf}} \times \frac{2.31}{\text{S.Gr.}} = 23.7 \times \frac{2.31}{0.645} = 84.88 \text{ pies de fluido}$$

$$P_v \times \frac{2.31}{\text{S.Gr.}} = 18.5 \times \frac{2.31}{0.645} = 66.256 \text{ pies de fluido}$$

$$\text{NPSH} = 84.88 + 5.576 - 28.97 - 66.256 = -4.77 \text{ pies de fluido}$$

$$\text{NPSH} = 84.88 + 5.576 - 16.14 - 66.256 = 8.06 \text{ pies de fluido}$$

$$\text{NPSH} = 84.88 + 5.576 - 7.076 - 66.256 = 17.12 \text{ pies de fluido}$$

$$\text{NPSH} = 84.88 + 5.576 - 3.78 - 66.256 = 20.42 \text{ pies de fluido}$$

$$\text{NPSH} = 84.88 + 5.576 - 2.05 - 66.256 = 22.19 \text{ pies de fluido}$$

Para seleccionar un NPSH adecuado nos auxiliamos de las figuras 5.1 y 5.2 .

Explicación del método

En la figura 5.1 por medio de la altura desarrollada por la bomba en (m.) y el gasto en (lts/min) - se establece la velocidad a la cual se operaría más eficientemente la bomba.

Conocida la velocidad de la bomba en R.P.M., la figura 5.2 nos indica mediante el gasto, el NPSH requerido en pies de agua.

NPSH seleccionado = 20.42 pies de fluido

Diámetro de la línea de succión = 16 pulg.

Del cabezal de succión salen tres líneas que van a las bombas BA-400 A,B,C respectivamente, pero por su pequeña longitud y caída de presión no las consideramos en el calculo del NPSH y solamente calculamos su diámetro.

$$\text{Gasto: } 2100 \text{ GPM} = 4.579 \frac{\text{pies}^3}{\text{seg.}}$$

$$V_s = 6 \frac{\text{pies}}{\text{seg}}$$

$$A = \frac{G}{V}$$

$$A = \frac{4.679}{6} \cong 0.78 \text{ pies}^2$$

$$D = \left(\frac{A}{0.785} \right)^{1/2}$$

$$D = \left(\frac{0.78}{0.785} \right)^{1/2} = 0.997 \text{ pies}$$

$$d = 12 \text{ pulg.}$$

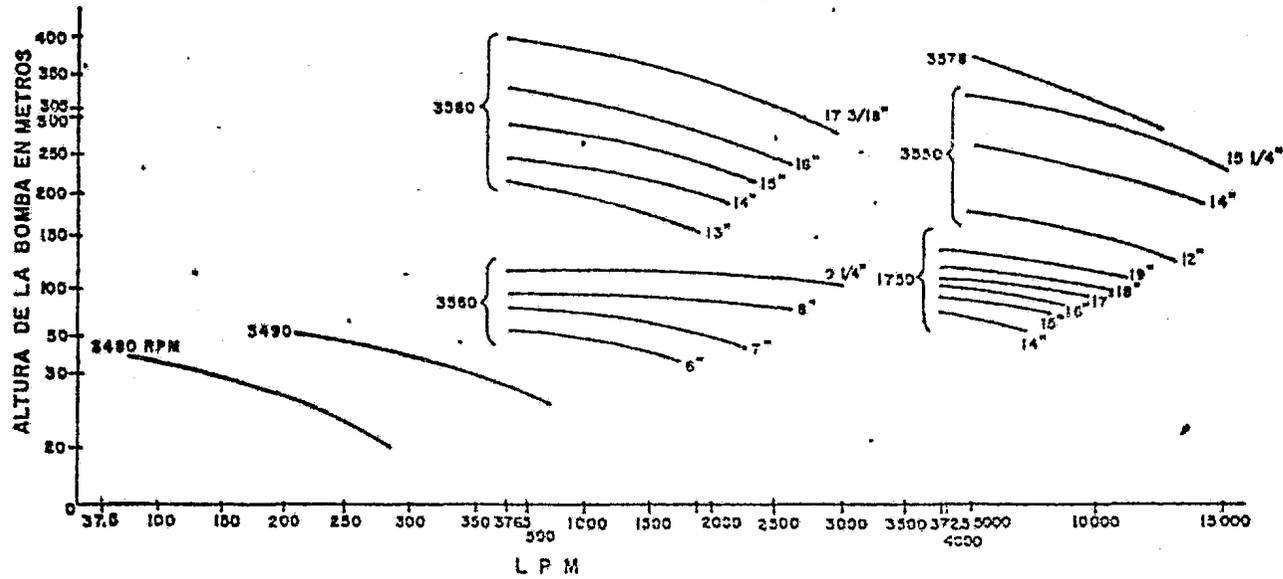


FIG. 5.1 GRAFICA DE VELOCIDADES RECCOMENDABLES.

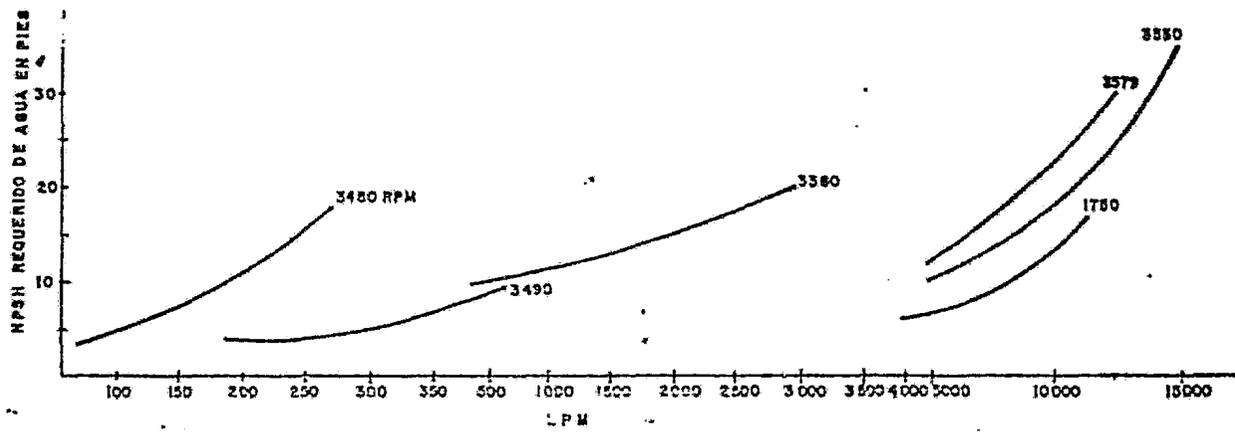


FIG. 5.2. NPSH REQUERIDO (AGUA).

Cálculo del diámetro de la línea de descarga (cabzal)

Suponemos una velocidad

$$V_s = 12 \frac{\text{pies}}{\text{seg.}}$$

$$A = \frac{G}{V}$$

$$A = \frac{9.358}{12} = 0.779 \text{ pies}^2$$

$$A = 0.785 D^2$$

$$D = \left(\frac{A}{0.785} \right)^{1/2}$$

$$D = 0.996 \text{ pies}$$

$$d = 12 \text{ pulg.}$$

Cálculo del diámetro de las líneas de descarga de -
cada bomba.

$$\text{Gasto} = 2100 \text{ GPM} = 4.679 \frac{\text{pies}^3}{\text{seg.}}$$

Suponemos una velocidad

$$V_s = 12 \frac{\text{pies}}{\text{seg.}}$$

$$A = \frac{4.679}{12} = 0.39 \text{ pies}^2$$

$$D = 0.704 \text{ pies}$$

$$d = 8.46 \text{ pulg.} \Rightarrow 10 \text{ pulg.}$$

CALCULO DE BHP

$$\text{BHP} = \frac{\text{GPM} \times \Delta P}{1714 \times \eta}$$

$$\eta = 70 \%$$

$$\text{Gasto} = 2100 \text{ GPM}$$

$$\Delta P = (P_p - P_s) = (100 - 0) = 100 \text{ Psi}$$

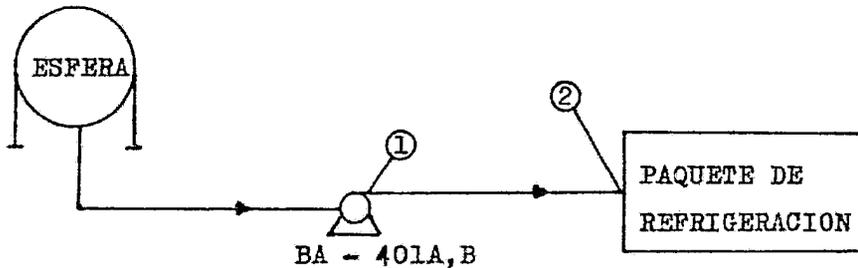
La presión de succión P_s se considera igual a cero para tener un margen de seguridad.

$$\text{BHP} = \frac{2100 \times 100}{1714 \times 0.7} = 175$$

Potencia del motor: 200 HP

NOTA: Se recomienda que las bombas sean verticales ya que la presión de vapor está cerca de la presión de succión.

2.- CALCULO DE BOMBAS BA - 401 A, B



En un momento dado, el butadieno alcanzará una temperatura de 45 °F, en éste momento, empezarán a trabajar - las bombas de recirculación, a las cuales se les fijará - un régimen de bombeo basado en lo siguiente:

Capacidad del tanque = 20000 BLS

Eficiencia de llenado: 80 %

Tiempo de bombeo: 48 Hrs.

Capacidad real del tanque: 20000 x 0.8 = 16000 BLS.

Como los 16000 BLS se bombearán en 48 hrs.

$$\text{Régimen de bombeo} = \frac{16000 \text{ BLS}}{48 \text{ Hrs}} = 333.33 \frac{\text{BLS}}{\text{Hr.}} = 233.3 \text{ GPM}$$

Para manejar el gasto anterior utilizaremos una bomba.

(En realidad serán dos bombas, una será de relevo)

$$\text{GPM}_D = \text{GPM}_N \times \text{Factor de sobre diseño}$$

F.S.D. = 25 %

$$\text{GPM}_D = 233.33 \times 1.25 = 291.7 \approx 300$$

DATOS.

Gasto: 300 GPM

$$T = 45 \text{ } ^\circ\text{F}$$

P = 9 psig (Presión de succión en el cabezal)

$$\rho = 39.82 \text{ lb/pie}^3$$

$$\mu = 0.169 \text{ CP}$$

$$P_v = 22.465 \text{ Psig}$$

3.1).- Cálculo de NPSH

$$\text{NPSH} = P_s - P_v$$

$$= 23.7 - 22.465 = 1.235 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} = 4.471$$

Diámetro de la línea de succión

Suponemos velocidad

$$V_s = 6 \frac{\text{pies}}{\text{seg.}}$$

$$\text{Gasto} = 0.668 \frac{\text{pies}^3}{\text{seg}}$$

$$A = \frac{0.668}{6} = 0.111 \text{ pies}^2$$

$$D = 0.376 \text{ pies}$$

$$d = 4.5 \text{ pulg} \Rightarrow 6 \text{ pulg.}$$

Diámetro de la línea de descarga.

$$L = 37.4 \text{ m} = 123 \text{ pies}$$

$$P_2 = 100 \text{ PSIG}$$

De la ecuación de Bernoulli obtenemos:

$$P_D \frac{144}{f} = P_2 \frac{144}{f} + \Sigma F$$

Cálculo de ΣF

$$\Sigma F = \frac{f V^2 L}{2g_c \times ID}$$

Suponemos Velocidad

$$V_s = 12 \text{ pies/seg}$$

$$A = \frac{0.668}{12} = 0.055 \text{ pies}^2$$

$$D = 0.266 \text{ pies}$$

$$d = 3.2 \text{ 4 pulg.}$$

Corrección de velocidad

$$A = 0.0884 \text{ pies}^2$$

$$ID = 0.3355 \text{ pies}$$

$$V = \frac{0.668}{0.0884} = 7.5 \text{ pies/seg}$$

Número de Re

$$Re = \frac{0.3355 \times 7.5 \times 39.82}{0.169 \times 6.72 \times 10^{-4}} = 8.8 \times 10^5$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0.00045$$

$$f = 0.0168$$

$$\Sigma F = \frac{0.0168 \times 7.5^2 \times 123}{64.4 \times 0.3355} = 5.4 \text{ pies}$$

$$P_D \frac{2.31}{0.638} = 100 \times \frac{2.31}{0.638} + 5.4 \text{ pies} = 367.5 \text{ pies}$$

$$P_D = 101.5 \text{ lb/pulg}^2$$

Como las pérdidas por fricción es pequeña, la podemos despreciar.

$$P_D = 100 \text{ lb/pulg}^2$$

Cálculo de BHP

$$\text{BHP} = \frac{P \times \text{GPM}}{1714 \times \eta}$$

Considerando la $P_s = 0$ se tiene que la ΔP . es:

$$\Delta P = (P_D - P_s) = (100 - 0) = 100 \text{ psi}$$

Gasto = 300 GPM

$$\eta = 70 \%$$

$$\text{BHP} = \frac{100 \times 300}{1714 \times 0.7} = 25$$

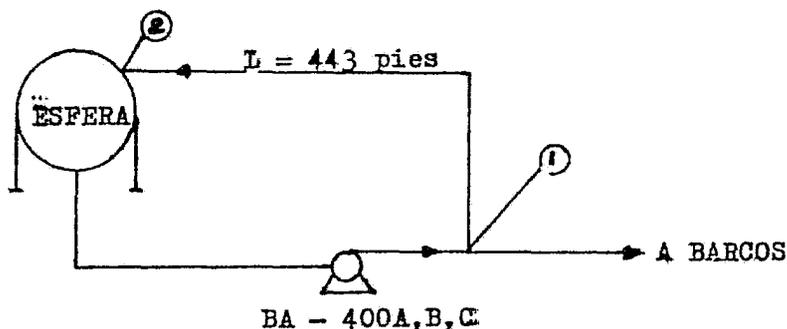
Potencia del motor = 25 HP

NOTA: Se recomienda que las bombas sean verticales.

3.- CALCULO DE LA LINEA DE DEPRESIONAMIENTO.

El objetivo principal de ésta línea, es proteger -- las bombas de una cavitación, por bloqueo en la línea de descarga.

Se considera un 20 % del flujo que maneja la bomba y se manda a las esferas.



$$G = 840 \text{ GPM}$$

$$P_1 = 100 \text{ Psig}$$

$$P_2 = 9 \text{ Psig.}$$

$$Z_2 = 65 \text{ pies}$$

Se considera el gasto de las bombas BA - 400 A, B, C

Se supone una velocidad.

$$V_s = 12 \frac{\text{pies}}{\text{seg.}}$$

$$A = \frac{1.872}{12} = 0.156 \text{ pies}^2$$

$$D = 0.445 \text{ pies}$$

$$d = 5.3 \Rightarrow 6 \text{ pulg.}$$

c).- ESPESOR DEL AISLAMIENTO

Como primer punto seleccionaremos el aislamiento. El butadieno se manejará normalmente a 35 °F y no deberá pasar de una temperatura de 48 °F. Basandose en éste rango de temperaturas y en las normas de Pemex, se obtiene que el aislamiento adecuado es el Poliuretano.

El espesor deberá calcularse con tendencia que al cabo de 30 días la temperatura no pase de los 48 °F.

ESFERA

Capacidad = 20000 Bls.

Diámetro interior = 59.1 pies

Espesor de la placa = 1/2 pulg.

Diámetro exterior = 59.183 pies

Superficie exterior = 11004 pies²

BUTADIENO

Temperatura inicial = 35 °F

Temperatura final = 48 °F

Tiempo de almacenaje = 30 días = 720 Hrs.

Calor específico a 35 °F = 0.516 BTU/lb °F

Calor específico a 48 °F = 0.525 BTU/ lb °F

Densidad relativa a 35 °F = 0.645

Densidad relativa a 48 °F = 0.635

Masa Total

$$M = 20000 \text{ Bls} \times \frac{42 \text{ Gal.}}{\text{Bls}} \times \frac{\text{pie}^3}{7.48 \text{ Gal}} \times 0.64 \times 62.4$$

$$M = 4484791 \text{ lb}$$

Calor Absorbido

$$Q' = M C_p \Delta T$$

$$C_{p_m} = \frac{0.516 + 0.525}{2} = 0.52 \frac{\text{BTU}}{\text{lb } ^\circ\text{F}}$$

$$Q' = 4,484,791 \times 0.52 \times (48-35)$$

$$Q' = 30,317,187 \text{ BTU}$$

$$Q = \frac{30,317,187 \text{ BTU}}{720 \text{ Hrs}} = 42107 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr}}$$

$$q = \frac{Q}{S_1} = \frac{42107}{11004} = 3.82 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr pie}^2}$$

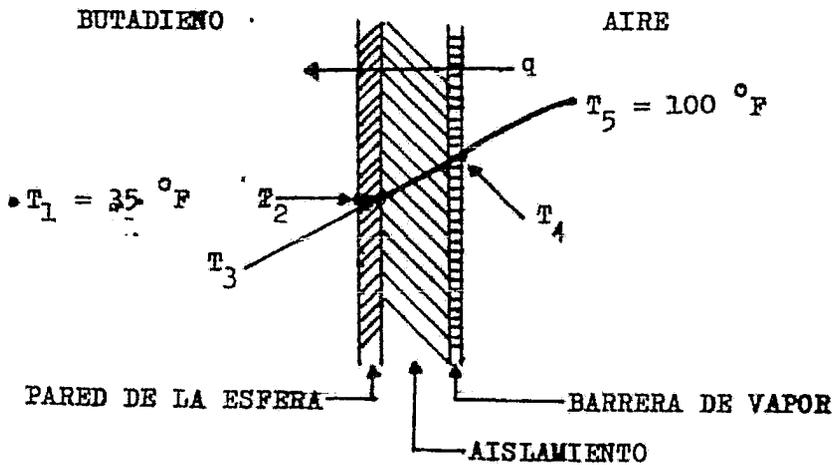
POLIURETANO

$$K = 0.014 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F/pie}}$$

$$\epsilon_j = 0.228$$

CALCULO DEL ESPESOR

Como aproximación se despreciará la resistencia presentada por la pared de la esfera y de la barrera de vapor (Acabado).



Como se despreció la resistencia de la pared, -
 la $T_1 = T_2 = T_3$, entonces, la temperatura que desco-
 nocemos es T_4 , ya que la T_5 es igual a la temperatu-
 ra ambiente.

PROCEDIMIENTO DEL CÁLCULO

a).- Suponer T_4

b).- Cálculo del coeficiente de convección

$$h_c = 0.3 (\Delta T)^{0.25}$$

$$\Delta T = T_5 - T_4$$

c).- Cálculo del coeficiente de radiación

$$h_r = \frac{0.173 \times \epsilon_1 \left[\left(\frac{T_4}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_5}{100} \right)^4 \right]}{T_4 - T_5}$$

d).- Coeficiente combinado

$$h_{cr} = h_c + h_r$$

e).- Cálculo de q_c

$$q_c = h_{cr} \times (T_5 - T_4)$$

$$\text{Entonces: } q = q_c$$

Si $q \neq q_c$, se regresa al inciso a

f).- Cálculo del espesor

$$q = \frac{Q}{S_1} = \frac{T_4 - T_1}{\frac{x}{k}}$$

$$x = \frac{(T_4 - T_1) k}{\frac{Q}{A}}$$

$$a).- T_4 = 80 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$b).- h_c = 0.3 (100 - 80)^{0.25} = 0.634 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}$$

$$c).- h_r = \frac{0.173 \times 0.228 \left[\left(\frac{540}{100} \right)^4 - \left(\frac{560}{100} \right)^4 \right]}{80 - 100} = 0.262 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}$$

$$d).- h_{cr} = 0.634 + 0.262 = 0.896 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}$$

$$e).- q_c = 0.896 \times (100 - 80) = 17.92 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}$$

$$3.825 \neq 17.92$$

Se regresa al inciso a

$$a).- T = 95 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$b).- h_c = 0.3 (100 - 95)^{0.25} = 0.450 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}$$

$$c).- h_r = \frac{0.173 \times 0.228 \left[\left(\frac{555}{100} \right)^4 - \left(\frac{560}{100} \right)^4 \right]}{95 - 100} = 0.273 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}$$

$$d).- h_{cr} = 0.723 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}$$

$$e).- q_c = 0.723 \times (100 - 95) = 3.615 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr pie}^2}$$

$$3.825 \quad 3.615$$

$$f).- X = \frac{(95 - 35) 0.014}{3.615}$$

$$X = 0.232 \text{ pies} = 2.784 \text{ pulg.}$$

$$X = 3 \text{ pulg.}$$

g).-- Corrección del tiempo de almacenamiento

$$q = \frac{(95 - 35) 0.014}{3/12} = 3.36 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr pie}^2}$$

Area promedio

$$S_m = \frac{S_2 - S_1}{\frac{S_2}{S_1}}$$

$$S_2 = \pi x D'^2 = \pi x (59.683)^2 = 11190.5 \text{ pies}^2$$

$$S_1 = 11004 \text{ pies}^2$$

$$S_m = \frac{11190.5 - 11004}{\frac{11190.5}{11004}} = 11097 \text{ pies}^2$$

Como

$$q = \frac{Q}{S_m}$$

$$Q = q x S_m = 3.36 x 11097 = 37286 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr}}$$

$$\text{Tiempo de almacenamiento} = \frac{Q'}{Q}$$

$$\text{---} = \frac{30,317,187}{37286} = 813 \text{ Hrs}$$

$$\text{---} = 33.87 \text{ Dias}$$

Podemos decir teóricamente que con el espesor de — tres pulgadas se requerirán 33.87 días (813 Hrs) para que el butadieno alcance una temperatura de 9 °C (48 °F).

El tiempo es realmente mayor por que el flujo de calor va disminuyendo a medida que aumenta T_1 .

Para el espesor del aislamiento en tuberías se basen en las normas de Pemex, de donde se obtuvo la siguiente — tabla.

AISLAMIENTO FRIO (PULIURETANO)

Diámetro en pulg.	1/2	1	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18
Espesor en mm.	38	38	38	51	51	51	51	51	64	64	64	64

NOMENCLATURA

A	= Area de la sección transversal del tubo, en pies ²
A_m	= Area mojada del recipiente ó tubo, en pies ²
A_R	= Area del disco de ruptura, en pulg. ²
A'	= Area del orificio de la válvula, en pulg. ²
B	= Coeficiente de expansión volumetrica, adimensional
BHP	= Potencia al freno, en HP
C_p	= Calor específico, en BTU/lb °F
C_{pm}	= Calor específico promedio, en BTU/lb °F
C_l	= Coeficiente de orificio, adimensional
C_g	= Coeficiente de la válvula, adimensional
d	= Diámetro nominal del tubo, en pulg.
ID	= Diámetro interno del tubo, en pies
D_E	= Diámetro de la esfera, en pies
$d'_{ext.}$	= Diámetro exterior del tubo, incluyendo espesor del aislamiento, en pulg.
e	= Base del logaritmo natural = 2.718
f	= Factor de fricción (Darcy), adimensional
f'	= Factor de fricción (Fanning), adimensional
FSD	= Factor de sobre diseño, en porciento
ΔF	= Pérdida total de fricción en el fluido, en pies lb _f /lb
g	= Aceleración de la gravedad = 32.2 pies/seg. ²
g_c	Constante = 32.2 lb pies/lb _f seg. ²
G^*	= Masa velocidad, en lb/seg. pies ²
G_{cni}	= Flujo máximo isotermico, en lb/seg. pies ²
GPM	= Galones por minuto
GPM_D	= Galones por minuto de diseño

- h_c = Coeficiente de convección, en BTU/Hr $^{\circ}$ F pie²
 h_r = Coeficiente de radiación, en BTU/Hr $^{\circ}$ F pie²
 h_{cr} = Coeficiente combinado ($h_c + h_r$), en-
 BTU/Hr $^{\circ}$ F pie²
 k = Relación de calores específicos = C_p/C_v
 K = Conductividad térmica del aislamiento, en-
 BTU/Hr pie² $^{\circ}$ F/pie
 L = Longitud, en pies
 M = Masa, en lb.
 N = Resistencia friccional = $f'L/ID$
 NPSH = Cabeza neta positiva de succión, en pies
 P = Presión, en lb/pulg.² man.
 P' = Presión, en lb/pulg.² abs.
 P_a = Presión de ajuste, en lb/pulg.² man.
 P_c = Presión crítica, en lb/pulg.² abs.
 P_D = Presión de descarga de la bomba, en lb/pulg.²
 P_R = Presión de ruptura
 P_r = Presión relativa = P'/p_c
 P_s = Presión de succión, en lb/pulg.²
 P_v = Presión de vapor, en lb/pulg.²
 PM = Peso molecular
 Q = Calor absorbido, en BTU/Hr
 Q' = Calor absorbido, en BTU
 Q_g = Flujo de gas, en pies³/Hr a condiciones op.
 Q'_g = Flujo de gas, en pies³/Hr a condiciones std.
 R = Constante universal de los gases = 1544
 Re = Número de Reynolds, adimensional
 S_1 = Superficie exterior de la esfera, sin aisla-
 miento, en pies²
 S_2 = Superficie exterior de la esfera, con aisla-
 miento, en pies²

- S_m = Superficie promedio ($S_1 + S_2$), en pies²
 $SGr.$ = Gravedad especifica, adimensional
 T = Temperatura, en °F
 T' = Temperatura absoluta, en °R
 T_a = Temperatura de entrada en la válvula, en °R
 T_p = Temperatura reducida = T'/T_c
 T_c = Temperatura crítica, en °F
 V = Velocidad del fluido, en pies/seg.
 V_s = Velocidad del fluido, supuesta, en pies/seg.
 V'_s = Velocidad sónica de un gas, en pies/seg.
 W = Velocidad de flujo de la masa, en lb/Hr
 X = Espesor del aislamiento, en pulg.
 Z = Altura, en pies
 Z' = Factor de compresibilidad, adimensional
 ∞ = Factor relacionado con la energía cinética,
 Δ = Diferencia entre dos puntos
 ϵ = Rugosidad absoluta, en pies
 E_j = Emisividad, adimensional
 ρ = Densidad del fluido, en lb/pie³
 λ = Calor latente de vaporización, en BTU/lb
 μ = Viscosidad absoluta, en centipoise
 η = Eficiencia
 π = Constante = 3.1416

CAPITULO 6

SEGURIDAD DEL SISTEMA

SEGURIDAD DEL SISTEMA

La seguridad debe ser el elemento más importante en el proyecto de una planta de proceso, ya que finalmente estará operada por seres humanos cuya salud y bienestar habrá que proteger.

En nuestro caso, un manejo seguro del butadieno es: a bajas temperaturas y bajas presiones e inhibido. Por ésta razón los factores involucrados directamente en el proceso son: Aislamiento e Inhibidor.

a) AISLAMIENTO.

El aislamiento térmico, propiamente aplicado, asegura una operación efectiva del equipo de proceso y conserva el calor, con los beneficios económicos que ello implica. Para una situación dada, existe siempre una amplia variedad de materiales aislantes y a cada tipo se le debe dar una consideración cuidadosa para poder hacer una decisión inteligente.

De acuerdo con la experiencia que se ha tenido con los diferentes materiales aislantes para bajas temperaturas, se encontró que el más indicado es la espuma rígida de poliuretano aplicada por aspersión.

Este material se ha visto que es el que presenta mayores ventajas para absorber las expansiones y contracciones de los recipientes originadas por los cambios de temperatura.

Las propiedades y característica que debiera tener la espuma rígida de poliuretano son las siguientes:

PROPIEDAD.

Densidad

$$2.18 \frac{\text{lb.}}{\text{pie}^3}$$

Resistencia a la compresión	27 Psi
Resistencia a la tensión	45 Psi
Estabilidad dimensional	
Temperatura ambiente	no hay cambio.
158 °F, 100 % Humedad relativa, 1 semana	4.9 % Vol.
-4 °F, seco, 1 semana	-1.0 % Vol.
Conductividad térmica	0.12 BTU/Hr pie ² °F/pulg.
Rango temperatura servicio	-301 °F a 257 °F
Temperatura distorsión	320 °F
Absorción de agua	0.033 $\frac{\text{lb}}{\text{pie}^2}$
Resistencia a la flama	S.E. 1 pulg.
Transmisión de vapor	1-3

b) INHIBIDOR.

b.1).- Efectos toxicos del butadieno

El butadieno no se considera generalmente como veneno, pero en concentraciones suficientemente altas tiene un efecto narcótico como la mayoría de los hidrocarburos ligeros. Debido a su bajo punto de ebullición (-4.5 °C)- el contacto del cuerpo humano es generalmente con sus vapores. La concentración máxima tolerable especificada es de 1000 p.p.m. pero la inhalación de 10,000 p.p.m. a mojado que no tiene ningún efecto sobre la presión de la sangre o sobre la respiración. La exposición a 8,000 — p.p.m. de vapores de butadieno tiene el mismo efecto narcótico que 200 p.p.m. de tolueno. El respirar 25%(250,000 p.p.m.) de vapores de butadieno a provocado la muerte de conejos en 23 minutos.

El butadieno tiene efecto irritantes sobre la piel- ojos y aparato respiratorio. Una concentración suficien-

te puede provocar una grave irritación de las corneas, -- enrojecimiento de la piel y una fuerte irritación en las mucosas de la boca y de la nariz.

El butadieno líquido en contacto con la piel puede causar quemaduras semejantes a las tenidas por congelamiento.

Los síntomas de intoxicación con butadieno pueden incluir náusea, fuerte irritación en la boca o en la garganta provocando tos o enrojecimiento y comezón de la piel y visión nublada.

Los efectos narcóticos generalmente desaparecen cuando el paciente pasa a un ambiente con aire fresco. La irritación de la piel desaparece lavandola con agua tibia y jabón. Si los ojos están irritados deben de lavarse con gran cantidad de agua.

Las medidas de protección pueden incluir lentes de seguridad, máscaras y ropa protectora. Todos los edificios cerrados expuestos al butadieno deben estar bien ventilados y todas las trincheras y drenajes deberan ser cuidadosamente vigilados dado que el vapor del butadieno es más pesado que el aire y se puede coleccionar en tales sitios.

Deben emplearse máscaras del tipo de mascarilla con filtro para concentraciones de vapor arriba del 2 % pero sólo para una exposición de 30 minutos como máximo. Para mayores concentraciones o períodos más largos de tiempo deberán emplearse mascara con suministro independiente de aire o de generación de oxígeno. Al entrar a un espacio cerrado tal como un cuarto o tanque, se recomienda el empleo de estas máscaras, dado que la concentración del butadieno puede muy bien aumentar arriba de 2 % que es el límite permisible para las mascarillas del tipo anotado anteriormente.

Esta reacción es exotérmica, el calor de reacción varía de 575 BTU/Lb a 630 BTU/Lb, la velocidad de reacción depende solamente de la temperatura y concentración de los reactantes. No se conocen catalizadores ni inhibidores de esta reacción, El dímero es un líquido estable de un punto de ebullición de 132 °C. Es fácilmente miscible con butadieno en todas proporciones a temperaturas ordinarias, aunque se han reportado trimerizaciones muy lentas (una mol de dímero más una mol de monómero).

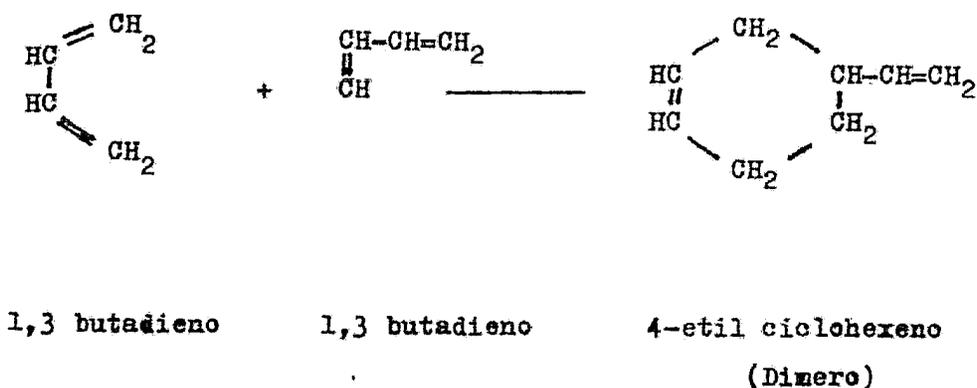
Altas temperaturas del orden de 371 a 427 °C dan polímeros aceitosos de mayor peso molecular. Aunque puede ser terrible que resulte una pobre disipación del calor a temperaturas muy altas y un rápido desprendimiento de calor debido a tal polimerización, los procedimientos de operación normales son tales, que esto es casi imposible. El principal problema causado por la dimerización es la pérdida de butadieno y esto sólo puede ser controlado reduciendo los períodos de almacenamiento a un período de tiempo tan corto como sea posible y manteniendo la temperatura del butadieno lo más baja posible.

Un segundo tipo de polimerización que puede ocurrir con el butadieno es la polimerización en cadena. Este tipo de polimerización puede conducir a dos tipos de productos: Un polímero de cadena lineal tipo hule o un polímero de cadena entrecruzada resinoso. El primero es un producto muy similar a los copolímeros de hule sintético pero generalmente con propiedades físicas diferentes. Algunos de los primeros tipos de hule sin-

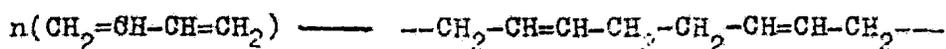
b.2).- Riesgo por la formación de polimero de butadieno llamado popcorn.

El butadieno bajo condiciones normales de procesamiento, algunas veces forma espontáneamente un polimero resinoso bastante duro conocido como Popcorn. Este polimero insoluble de gran dureza, que tiene mucha semejanza con las palomitas de maíz y al cual debe su nombre, puede, bajo las condiciones adecuadas, crecer muy rápidamente. Este polimero tapona el equipo y debido a la expansión que tiene lugar a medida que la masa crece, ejerce fuerzas tremendas sobre el equipo de tal manera que puede pandearlo y aún romperlo.

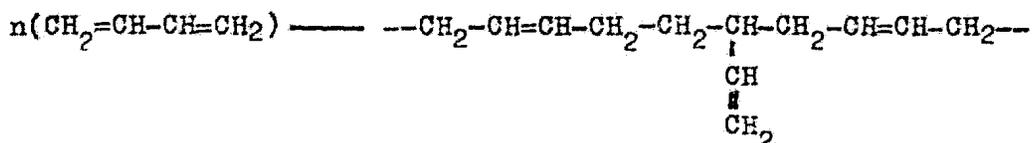
La polimerización del butadieno puede ocurrir por varios métodos. El proceso más simple es el térmico o dimerización cíclica por la condensación Diels-Alder.



tético Alemanes y Rusos fueron de este tipo de polimeros catalizados con sodio. Aunque algunos trabajos reciente- parecen indicar que los polimeros del tipo de hule se- pueden formar en el butadieno puro sin la presencia de - ningún otro agente, lo más cierto es que se requiere al- gún tipo de catalizador. Un catalizador efectivo es el - oxígeno activo generalmente en la forma de un peróxido-- o hidroperóxido. El peróxido forma radicales libres que- inician el crecimiento de la cadena del butadieno y es- ta en enseguida autopropagante. Sólo se requieren algu- nas trasas de oxígeno activo para iniciar esta reacción- y producir largas cadenas de polibutadieno. Esta reacción es principalmente de adición 1,4:



Puede presentarse la adición 1,2 quedando entonces:



La dimerización puede ser considerada como una com- binación de las adiciones 1:2 y 1:4, así que para las rea- cciones anteriores se aplica el mismo grado de calores-- exotérmicos, 575 a 630 BTU/Lb.

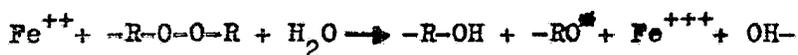
El polimero es soluble en butadieno y en la mayoría de los solventes comunes. La velocidad de reacción aumen- ta con la temperatura, con la raíz cuadrada de la concen- tración del catalizador, con la actividad del cataliza- dor y naturalmente con la concentración del reactante.

El polimero de butadieno llamado Popcorn es de cade- na ramificada y normalmente producido por una reacción-- de radicales libres, en esta reacción el polimero resul-

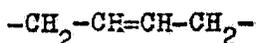
tante tiene una estructura fuertemente entrecruzada que da una resina dura e infusible, insoluble en butadieno y de hecho en todos los solventes ordinarios. Durante su descomposición, los grupos peróxidos pueden formar radicales libres a partir de los cuales se originan las cadenas de polibutadieno. Los radicales peróxido son formados ya sea por descomposición normal.



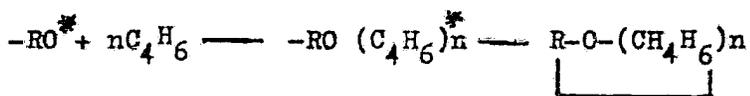
O por ruptura catalizada como:



Cuando -R- representa grupos tales como:



Estos radicales producen polimeros del tipo.



La reacción del Popcorn parece proceder a través de dos etapas.

Un período de inducción durante el cual se forma la semilla y enseguida un rápido período de crecimiento durante el cual ocurre la reacción con una aceleración proporcional a la masa de Popcorn presente, la etapa de semilla puede ser la etapa donde las estructuras anilladas que están incorporando los grupos peróxidos se forman primero, conduciendo a la ligadura entrecruzada que hace insoluble a la molécula.

La velocidad de reacción aumenta con la temperatura particularmente a temperatura arriba de 27 °C. Una mayor concentración de butadieno también aumenta la velocidad, especialmente arriba de 80 % de butadieno. El hierro (es

pecialmente viruta de hierro) acelera el crecimiento, lo mismo pasa con el nique, aluminio, zinc, magnesio, bario, plata, oro y otros metales pero no plomo o cobre. Ciertos cristales de sales inorgánicas tales como dicromato de potasio y cloruro de sodio tambien se reportan como aceleradoras del crecimiento.

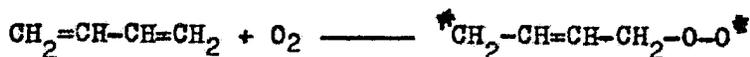
Debido a que el polimero formado es un sólido y la reacción tiene lugar dentro de éste sólido la disipación de calor puede ser pobre y la temperatura se elevará acelerando la reacción. A medida que aumenta la temperatura se rompe la ligadura del peróxido a mayor velocidad, la polimerización se lleva a cabo a una velocidad aún mayor, desprendiendo más y más calor, hasta resultar en una reacción rápidamente explosiva.

b.3).- Formación del peróxido de butadieno.

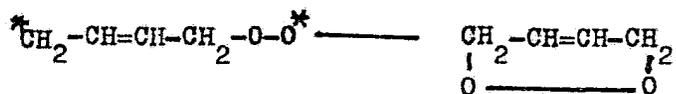
El butadieno en presencia de aire, oxígeno u otras sustancias oxidantes reacciona con el oxígeno para formar un peróxido polimérico que es muy inestable y peligroso.

Se requiere tan sólo pequeños trasas de oxígeno para causar la peroxidación del butadieno y dado que el producto es prácticamente insoluble en butadieno y mucho más densa que él puede acumularse fácilmente.

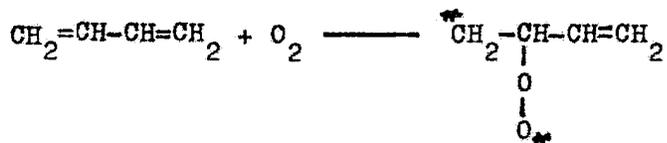
La formación del peróxido resulta de una reacción de un radical libre, muy similar a la que tiene lugar en la formación del polimero de butadieno llamado "Popcorn" Boland y Gee sugieren que la reacción tiene lugar en dos etapas, primero la formación de un radical libre y en segunda la formación del peróxido. Usando una sola molécula de butadieno para ilustrar las reacciones, se tiene:



Y enseguida.



También puede ocurrir adición 1,2, así que:



Estos monómeros peroxidados son solubles en butadieno y generalmente no se concentran hasta alcanzar niveles, peligrosos excepto, posiblemente en el equipo de destilación.

La reacción del radical libre conduce, sin embargo, a la polimerización que produce polímeros peroxidados aceitosos que tienen una solubilidad muy ilimitada en el butadieno.

Siendo más densos que estos los polímeros peroxidados se asientan en una carga concentrada y es en esta forma que los peróxidos constituyen el riesgo más grande asociado con el manejo del butadieno.

b.4).- Inhibición de la polimerización.

Dado que con excepción de las reacciones de polimerización encaminados a producir hule sintético, todas las otras formas de polimerización tienen efectos indeseable, se han investigado diversos métodos que permitan inhibir o prevenir su ocurrencia.

Para la reacción de dimerización no hay inhibidores conocidos, y dado que solamente la temperatura y la concentración de los reactantes afectan la velocidad de reacción el control de estas condiciones es el único método de control. El almacenar y procesar el butadieno a tan bajas temperaturas como sea practico y posible, asegurara la mínima formación del dimero. Manteniendo bajos niveles de inventario de procesamiento y almacenamiento se reducirá el tiempo durante el cual puede tener lugar la dimerización y de esta manera se reduce la cantidad de dimeros formados. La dilución del butadieno con otros hidrocarburos inertes disminuirá la reacción pero esto no es muy práctico excepto cuando los programas de producción permitan el almacenamiento del producto diluido del proceso de deshidrogenación del butadieno en vez del butadieno puro producido en la unidad de extracción.

Dado que las reacciones para producir tanto el polimeo del tipo de hule, peróxidos y el polimero del tipo - Popcorn requieren un catalizador, la inhibición de estas reacciones es posible empleando reactivos que puedan destruir el catalizador, tales reacciones son muy similares y son activadas por el mismo catalizador, así que un ---inhibidor para uno será igualmente efectivo para los otros. La mayoría de las investigaciones realizadas han ---tenido por objeto resolver el problema de la formación -

del polimero tipo Popcorn, así lo que a continuación se expresa, se aplicará particularmente a la reacción de polimerización del Popcorn.

No se ha encontrado un inhibidor para fase vapor -- que sea efectivo, aunque el ácido sulfhídrico ha sido -- ensayado. Tiene una buena acción de inhibición pero produce una severa corrosión del equipo de acero ordinario. Se ha tenido algo de éxito al inhibir espacios de vapor, particularmente en los condensadores, rociando soluciones de terbutil catecol en el equipo para mantener húmedas todas las superficies.

Para inhibir el crecimiento de la "semilla ha sido un problema más difícil. Los inhibidores mencionados --- arriba son parcialmente efectivos pero mucho menos que -- para inhibir la formación de la "semilla". Dado que no -- es necesaria la presencia de oxígeno libre para promover el crecimiento del Popcorn, los inhibidores deben de atacar los peróxidos incorporados en la estructura del "Popcorn".

Los inhibidores no penetran fácilmente esta masa dura e insoluble. En la fase líquida, se emplean soluciones de terbutil catecol y de nitrito de sodio, pero generalmente estos sólo retardan el crecimiento pero no lo -- suspenden. El nitrito de sodio sólo debe ser usado en soluciones acuosas muy diluidas dado que la Philips Chemical Co., reporta la detección de un polimero explosivo -- de butadieno y nitrogeno cuando tal inhibidor se permitió que se concentrara a un 5 % de nitrito de sodio en -- el equipo de proceso, aún cuando el pH fué controlado -- para dar un medio básico. Un procedimiento que ha sido -- desarrollado es un tratamiento de "desinfección" para de-

sactivar todas las "semillas" de Popcorn presentes. Esto involucra el paro del equipo la eliminación completa de los monómeros, limpieza mecánica para eliminar tanto Popcorn como sea posible, el secado del equipo, el tratamiento durante algunas horas a $82^{\circ}\text{C} - 88^{\circ}\text{C}$ con NO_2 diluido (alrededor del 5%) en aire o gas inerte y seguida su purga y arranque de la unidad de nuevo. El NO_2 ataca el Popcorn volviendolo amarillo o café y volviendolo inactivo. Otros óxidos de nitrogeno y el nitrometano tambien son efectivas. Este procedimiento no es completamente efectivo pero extiende apreciablemente la duración de las corridas antes de que por taponamiento la planta requiera parar para proceder a la limpieza mecánica. El tratamiento sin embargo es bastante retardado y puede ser peligroso. Combinado con los monómeros, el NO_2 puede producir compuestos explosivos, por lo que el equipo debe estar perfectamente limpio. El NO_2 líquido más el hidrocarburo líquido ha sido empleado como explosivo, por lo que se requiere tener mucho cuidado para eliminar cualquier posibilidad de que el NO_2 se condense en el equipo de proceso. Además, los vapores de NO_2 son bastantes venenosos y muy corrosivos en presencia de agua.

c) SISTEMA CONTRA INCENDIO.

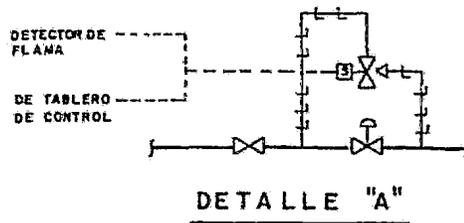
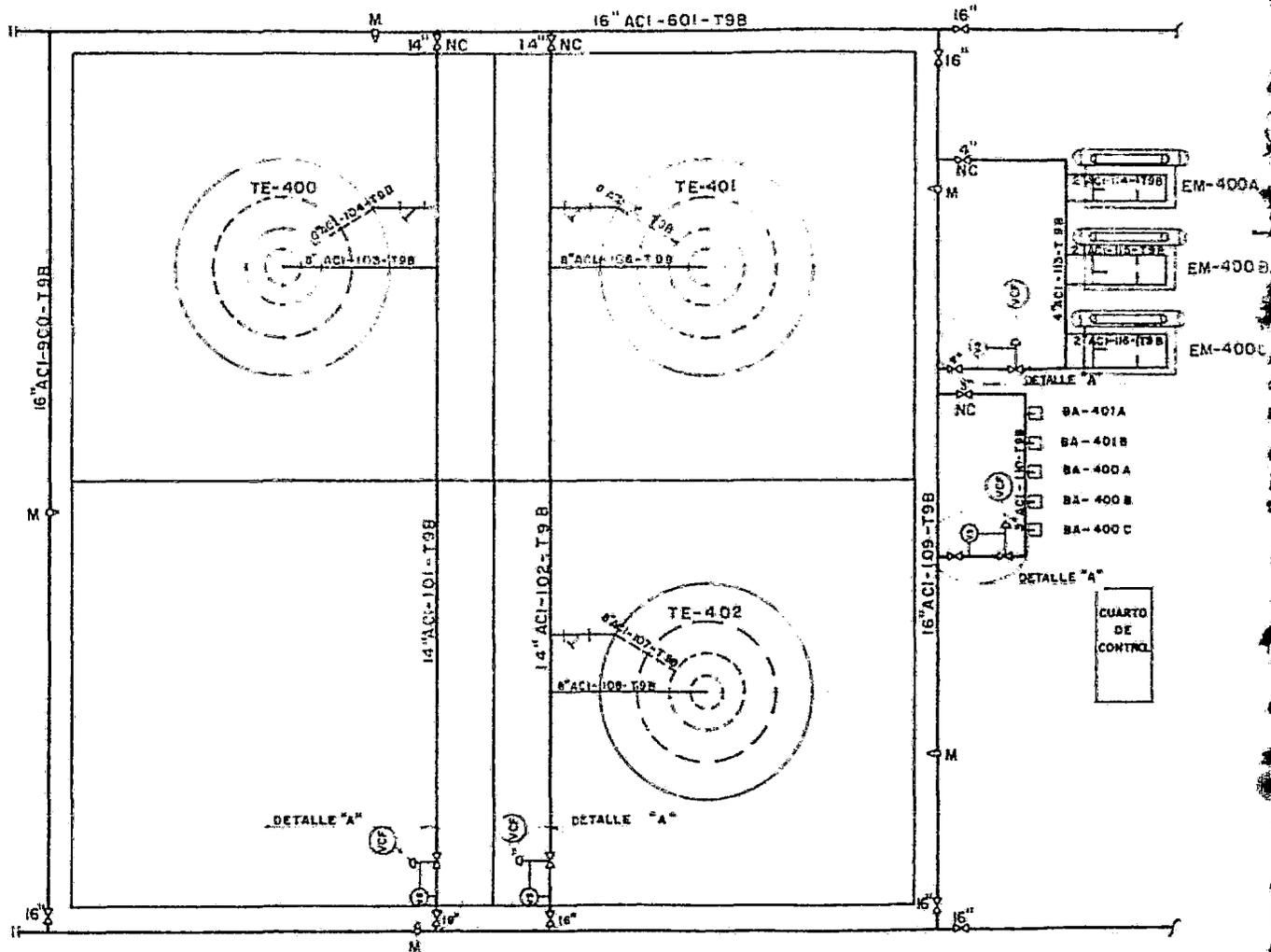
Todas las plantas industriales, debén tener un sistema de seguridad para en caso de incendio.

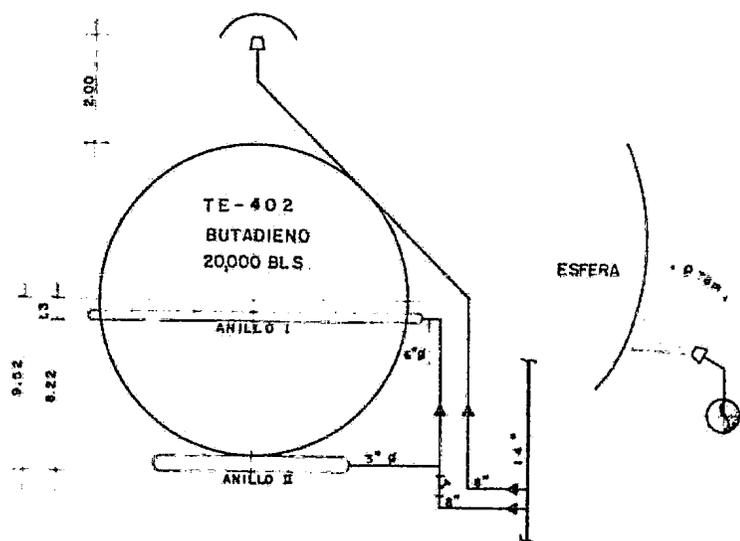
En la industria del petroleo, normalmente se utiliza agua y compuestos espumosos, pra proteger las áreas de proceso y almacenamiento.

Para el caso del butadieno, los incendios de grandes cantidades de éste producto son peligrosos y difíciles de extinguir, por lo que para controlar el fuego, lo indicado es eliminar la fuente de abastecimiento de combustible (butadieno) y enfriar con agua el equipo e instalaciones cercanas que lo requieran.

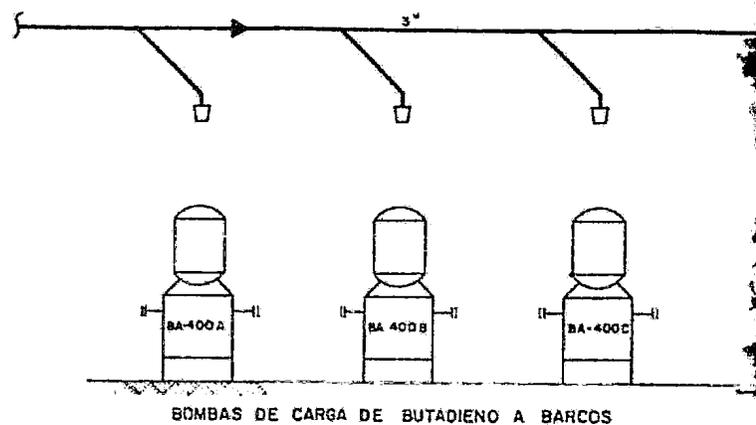
Los pequeños incendio producidos por fugas de butadieno, pueden apagarse con extinguidores portatiles de bióxido de carbono (CO_2) o de productos químicos secos.

En base a lo anterior, los equipos que se protejeran en caso de incendio, seran: Esferas, bombas y paquetes de refrigeración. Esta protección será por medio de una red de agua contra incendio, que dará servicio a monitores y sistemas de aspersión, localizados alrededor del area de almacenamiento y sobre los equipos respectivamente. Ver detalles en el plano A-200 y A-201.

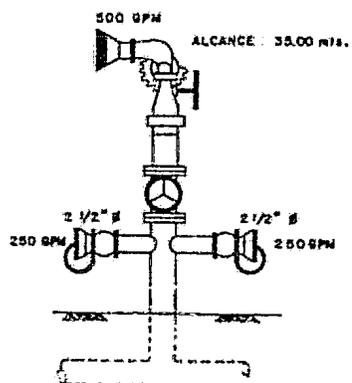




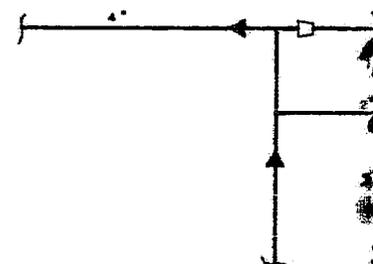
DETALLE TIPICO DE TANQUES ESFERICOS



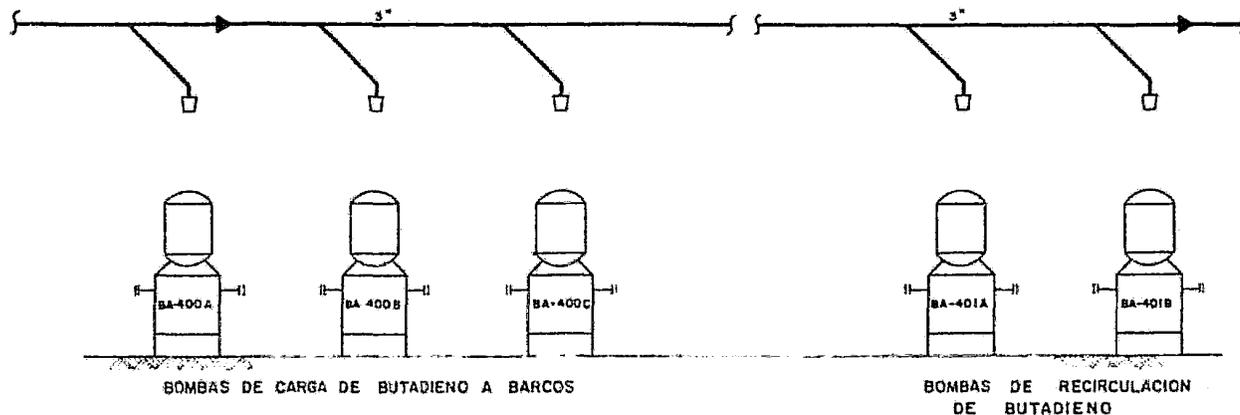
DETALLE DE



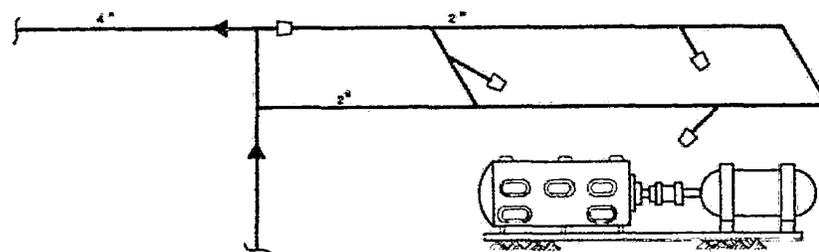
DETALLE TIPICO DE MONITORES



DETALLE TIPICO DE



DETALLE DE BOMBAS



DETALLE TIPICO DE UNIDADES DE REFRIGERACION

TERMINAL DE ALMACENAMIENTO DE BUTADIENO
 SISTEMA DE CONTRAINCENDIO
 DETALLES

PLANO : A - 201



ESFERICOS

UNITORES

CAPITULO 7

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Debido a la demanda que ha adquirido el butadieno en estos últimos años, principalmente en la industria-hulera, se diseñó y actualmente está en periodo de --- construcción una planta para el procesamiento de éste-producto, en el Complejo Petroquímico Morelos. lo cual ha traído como consecuencia la necesidad de una terminal de almacenamiento de butadieno.

Aprovechando el lugar estratégico en que se encuentra la Terminal Marítima Pajaritos en cuanto a recibo y distribución de productos (Poliuctos, Gasoductos, Barcos, Autos-tanque, Carros-tanque, etc.), se decidió que la terminal de almacenamiento se localizara en éste lugar.

Para llevar al butadieno a las condiciones de almacenamiento, consideramos varias alternativas de proceso, las cuales fuimos eliminando una por una, respaldados por un análisis técnico-económico que nos permitió seleccionar el proceso idóneo para nuestro sistema de almacenamiento.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- A.P.I RP 520, Design and Installation of Pressure - Relieving Systems in Refineries, Part. I - 3rd. Ed.,- (1967).
- 2.- A.P.I Standard 2000, Venting Atmospheric and Low - Pressure Storage Tanks, Second. Ed., (1963).
- 3.- Carl L. Yaws. Butadiene, Isoprene and Chloroprene, -- Chemical Engineering, March I, 1976.
- 4.- Donal Q. Kern, Procesos de Transferencia de Calor, -- IIIa. Edición, CEGSA, (1977).
- 5.- Ernest E. Ludwig. Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants, Volumen 1,2 and 3, Gulf Publishing Company, 1964.
- 6.- Flow of Fluids. Crane Industrial Products Group, Chicago, 1972.
- 7.- Kul B. Uppal. Insulating Tanks: What it costs and how it's done, Hydrocarbon Processing, April 1980.
- 8.- L.L. Leach Jr. Insulations for Cryogenic Vessels, Hydrocarbon Processing & Petroleum Refiner, 1962, Vol. 41, No. II
- 9.- Marx Isaacs. Selecting Efficient, Economical Insulation, Chemical Engineering, March 24, 1959.
- 10.- Manual de Seguridad de Butadieno de Pemex.
- 11.- Normas y Especificaciones de Pemex.
- 12.- Robert H. Perry and Cecil H. Chilton, Chemical Engineers' Handbook, Fifth Ed., McGraw - Hill Book Co.-- 1973.

13.- Howard F. Rase y M. H. Barrow. Ingeniería de Proyecto para Plantas de Proceso, Cuarta Edición, CECSA, - 1977.