

300617

NO
Ley



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE INGENIERIA

Incorporada a la UNAM

ESTUDIO TECNICO ECONOMICO DE UN SISTEMA DE
VACIO PARA UNA PLANTA DE EXTRUSION
DE PLASTICO.

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Titulo de
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
(Area Mecánica)

p r e s e n t a

ALFONSO VACA GOMEZ

México, D. F.

1989

FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

Pag.

INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I: "BOMBAS DE VACIO".	
1.1.- GENERALIDADES.....	3
1.2.- TIPOS DE BOMBAS DE VACIO.....	3
1.2.1- BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO.....	4
1.2.1.1.- BOMBA RECIPROCANTE.....	4
1.1.1.2.- BOMBAS ROTATORIAS.....	8
1.1.1.2.1.- BOMBAS DE PISTON ROTATORIO.....	9
1.2.1.2.2.- BOMBAS DE PALETAS ROTATORIOS.....	11
1.2.1.2.3.- BOMBAS DE LOBULOS ROTATORIOS.....	13
1.2.1.3.- BOMBAS DE ANILLO LIQUIDO.....	16
1.3.- TRABAJO TEORICO DE LAS BOMBAS DE VACIO.....	29
1.4.- NOMENCLATURA.....	31
CAPITULO II: "EYECTORES".	
2.1. GENERALIDADES.....	32
2.2. CLASIFICACION DE LOS EYECTORES.....	33
2.2.1 CLASIFICACION DE ACUERDO A SU FLUIDO MOTRIZ.....	33
2.2.2. CLASIFICACION DE ACUERDO A SU FUNCION OPERACIONAL.....	34
2.3. CARACTERISTICAS GENERALES DEL EYECTOR.....	37
2.4. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS EYECTORES.....	39

2.5. FUNDAMENTOS TEORICOS.....	41
2.5.1. ANTECEDENTES.....	41
2.5.2. TOBERA.....	42
2.5.3. SECCION DE MEZCLADO.....	47
2.5.4. DIFUSOR.....	48
2.5.5. RELACION DE AREAS.....	49
2.6. CARACTERISTICAS GENERALES DE CONSTRUCCION DEL EYECTOR.....	49
2.6.1.- TOBERA.....	49
2.6.2.- DIFUSOR.....	50
2.7. CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO.....	51
2.7.1. ESTABILIDAD DE FUNCIONAMIENTO.....	51
2.7.2. DETERMINACION DE COMPOTAMIENTO DEL EYECTOR EN FUNCION DE LA CAPACIDAD DEL FLUIDO SUCCIONADO.....	56
2.7.3. COMPOTAMIENTO DEL EYECTOR DE ACUERDO A LA POSICION DE LA TOBERA EN RELACION A LA ENTRADA DEL DIFUSOR.....	58
2.8. CODIGOS DE DISEÑO, CONSTRUCCION Y PRUEBA.....	58
2.8.1.- ESTANDERES DEL HEAT EXCHANGE INSTITUTE (HEI). 60	
2.8.2.- ESTANDERES DEL INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARIZATION (ISO).....	60
2.9.- MATERIALES Y REQUISITOS PARA LA CONSTRUCCION DE EYECTORES.....	61
2.9.1.- MATERIALES.....	61
2.9.2.- ESPESOR DE LA CAMARA DE SUCCION Y DIFUSOR....	61
2.10.- NOMENCLATURA.....	63

CAPITULO III: "SISTEMAS DE VACIO".

3.1.- GENERALIDADES.....	65
3.2.- CONDENSADORES.....	67
3.2.1.- TIPOS DE CONDENSADORES.....	68
3.2.2.- CONDENSADORES DE CONTACTO DIRECTO.....	69
3.2.3.- CONDESADORES DE CONTACTO INDIRECTO O DE SUPERFICIE.....	84
3.2.3.1.- CODIGOS.....	85
3.3.- SISTEMA DE VACIO A BASE DE EYECTORES.....	87
3.3.1.- ETAPA SIMPLE.....	89
3.3.2.- SISTEMA DE EYECTORES DE MULTITAPAS.....	92
3.3.3.- EVALUACION.....	94
3.3.4.- INSTALACIONES DE LOS SISTEMAS DE EYECTORES..	104
3.4.- SISTEMAS DE VACIO INTEGRADOS.....	105
3.4.1.- SISTEMAS INTEGRADOS DE BOMBAS DE VACIO.....	106
3.4.2.- SISTEMAS DE VACIO A BASE DE BOMBAS CON EYECTORES.....	110
3.5.- INFILTRACIONES DE AIRE AL SISTEMA.....	111
3.6.- CRITERIOS DE SELECCION PARA SISTEMAS DE VACIO.	113
3.6.1.- PRESION/CAPACIDAD.....	114
3.6.2.- CONFIABILIDAD/MANTENIMIENTO.....	116
3.6.3.- COMPRA E INSTALACION.....	117
3.6.4.- COSTOS DE OPERACION.....	122
3.6.5.- FACTORES AMBIENTALES.....	124
3.7.- NOMENCLATURA.....	127

CAPITULO IV: "SELECCION DEL SISTEMA DE VACIO DE LA PLANTA DE EXTRUSION DE PLASTICOS".

4.1 DESCRIPCION DE LA PLANTA EXTRUSORA DE PLASTICO.....	130
4.2.- DESCRIPCION DEL PROCESO DE EXTRUSION DE PLASTICO.....	133
4.3.- CONVERSION DE LOS GASES A VENTEAR A LA BASE DAE.....	134
4.4.- INFILTRACIONES DE AIRE AL SISTEMA.....	139
4.5.- PROCEDIMIENTO DE SELECCION DE LOS SISTEMAS VACIO.....	140
4.6.- EVALUACION DE CRITERIOS.....	141
4.6.1.- PRESION/CAPACIDAD.....	141
4.6.2.- CONFIABILIDAD/MANTENIMIENTO.....	141
4.6.3.- COMPRA/INSTALACION.....	144
4.6.3.1.- COMPRA.....	144
4.6.3.2.- COSTOS DE INSTALACION.....	155
4.6.4.- COSTOS DE OPERACION Y MANTENIMIENTO.....	156
4.6.4.1.- COSTOS DE OPERACION.....	156
4.6.4.2.- COSTOS DE MANTENIMIENTO.....	157
4.6.5.- FACTORES AMBIENTALES.....	157
4.7.- RESUMEN DE COSTOS Y CARACTERISTICAS TECNICAS DE EQUIPOS COTIZADOS.....	157
4.8.- COSTO REAL DE INSTALACION.....	159
4.8.1.-SISTEMA DE EYECTORES.....	159
4.8.2.-BOMBA DE ANILLO LIQUIDO.....	172
4.9.- RESUMEN DE COSTOS REALES.....	188

4.10.- ESTUDIO DEFINITIVO PARA LA SELECCION DEL EQUIPO.....	188
4.10.1.- COSTO A VALOR PRESENTE DE LOS EYECTORES....	189
4.10.2.- COSTO A VALOR PRESENTE DE LA BOMBA DE VACIO AT-704.....	190
4.10.3.- SELECCION FINAL DEL SISTEMA DE VACIO.....	191
4.11.- NOMENCLATURA.....	192
CONCLUSIONES.....	193
BIBLIOGRAFIA.....	196

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

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

Desde hace aproximadamente 30 años la tecnología del vacío se ha venido transformado de una herramienta de la investigación hasta ser una rama especializada de la ingeniería actual, por lo que su información tecnológica ha cobrado mayor importancia en la industria en general, ya que hay una multitud de procesos realizados a presión subatmosférica, como por ejemplo: extrusión de plásticos, destilaciones al vacío, manufactura de focos eléctricos, cinescopios y tubos catódicos, enlatado de alimentos, producción de medicinas, etc.

La presión de vacío que generada por medio de bombas de vacío, ya sean eyectores o bombas mecánicas, es necesariamente inferior a la presión atmosférica del lugar donde se realice esta operación. Para lograr esta diferencia de presiones, es necesario retirar de un sistema hermético el gas o líquido que se encuentre desarrollando una presión en las paredes internas de ese sistema.

El objetivo de este trabajo es el seleccionar el sistema idóneo que cumpla con los requerimientos de presión de vacío y de capacidad de evacuación para un proceso de extrusión de plástico ABS (Acrilo-Butadieno-Estireno) mediante un estudio técnico-económico. Para poder llevar a cabo este estudio se requiere establecer un método de selección, el

cual englobe los aspectos técnicos y económicos más importantes. Para el establecimiento de este procedimiento, se estudiarán en el capítulo I las bombas mecánicas de vacío y posteriormente en el capítulo II se explicarán los principios teóricos y de funcionamiento de los eyectores. El objetivo de estos dos capítulos anteriores es el establecer las bases para el desarrollo del capítulo III, "Sistemas de Vacío", donde se estudiarán los condensadores para servicios de vacío, los diferentes sistemas de vacío que existen y el procedimiento de selección; éste último se aplicará en el capítulo IV "Selección del Sistema de Vacío para la Planta de Extrusión de Plástico". Una vez seleccionado el sistema, se analizarán en el capítulo V "Conclusiones" los resultados y limitaciones obtenidos en este trabajo.

Cabe hacer notar que el sistema de unidades que se utilizará en este trabajo es el sistema inglés, debido a que casi toda la literatura está referida a este sistema; además de que para el caso particular de la presión de vacío, se medirá en pulgadas de mercurio absolutas (pulg. Hg Abs).

CAPITULO I

BOMBAS DE VACIO

C A P I T U L O I

B O M B A S D E V A C I O

1.1 GENERALIDADES

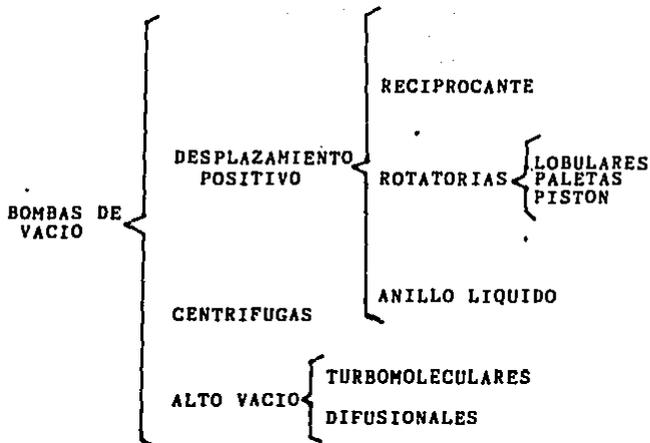
Una bomba de vacío es un compresor que tiene la succión a una presión subatmosférica y usualmente su compresión no es mayor que la atmosférica. En ciertas aplicaciones donde se requieran presiones de vacío muy inferiores o de gran capacidad se pueden usar dos o más bombas en serie.

En este capítulo, se describirán las principales características de construcción y funcionamiento, así como las ventajas y desventajas existentes para cada tipo de bombas de vacío y capacidad de evacuación para el proceso de extrusión de plástico analizado en el capítulo IV.

Las bombas de alto vacío solo se mencionarán ya que quedan fuera del rango de vacío que se manejará en este trabajo.

1.2 TIPOS DE BOMBAS DE VACIO

Los tipos de bombas pueden ser clasificadas de acuerdo a su principio de funcionamiento y grado de vacío en base al siguiente cuadro:



1.2.1 BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

Las bombas de desplazamiento positivo pueden ser del tipo reciprocante o rotatorio. La característica primordial de estas bombas, es que manejan cantidades definidas de fluido por cada ciclo o revolución del elemento. Algunos equipos de desplazamiento positivo, tienen como propiedad de diseño el permitir la inyección de un líquido para enfriamiento o sellado, permitiendo a la unidad operar a vacíos más altos de los que se pueden obtener por medio de una operación seca.

1.2.1.1.- BOMBA RECIPROCANTE

La bomba reciprocante comprime el aire por medio de un pistón que tiene un movimiento alternativo dentro de un cilindro. Por lo tanto, este tipo de bomba adiciona energía a un sistema mediante la acción de un pistón que actúa

contra un fluido que se encuentra confinado en una cámara hermética. (Ver fig. 1.1).

Para cada ciclo del pistón, una cantidad fija de fluido se descarga de la bomba. Esta cantidad dependerá sólo del volumen del cilindro y del número de veces que el pistón se mueva dentro del cilindro permitiendo la entrada del fluido a la bomba, consecuentemente, el manejo del fluido es pulsante. Tales pulsaciones pueden ser disminuidas usando

Conexión para el
alimento de la
Zona de la
bomba

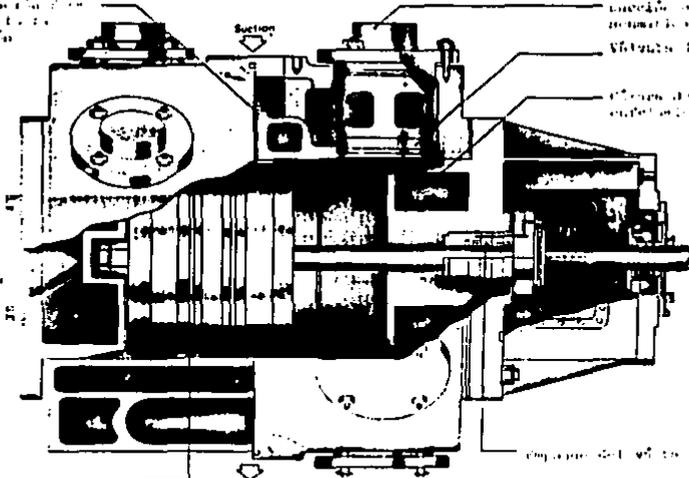


Fig. 1.1

(Ver fig. 1.2.), sin embargo, éstas fluctuaciones no pueden ser eliminadas en su totalidad, siendo ésta una de sus principales desventajas.

La eficiencia volumétrica de una bomba recíprocante es la relación del volumen de descarga real al volumen de desplazamiento del pistón y para una bomba con un buen mantenimiento podrá ser hasta del 95%.

La eficiencia de operación es aquella que relaciona las pérdidas mecánicas y procesos irreversibles internos; por lo tanto, ésta eficiencia será igual al trabajo hecho sobre el fluido dividido entre el trabajo hecho por la bomba. La eficiencia total de la mayoría de las bombas recíprocantes es, por lo general, entre un 65% y 80%.

Las bombas recíprocantes pueden ser de los siguientes tipos:

- 1.- Acción Sencilla: la compresión sólo se efectúa en un solo extremo del cilindro.
- 2.- Doble Acción: La compresión del fluido se realiza en ambos extremos del cilindro.
- 3.- Etapa sencilla: Este tipo de equipo se caracteriza porque la compresión se realiza desde el inicio hasta el final de la etapa y esto ocurre en cada impulso de trabajo del pistón. (Un sólo cilindro).
- 4.- Multietapa: El gas es comprimido desde una compresión inicial a una intermedia de un primer cilindro y es completada en uno o más cilindros posteriores.

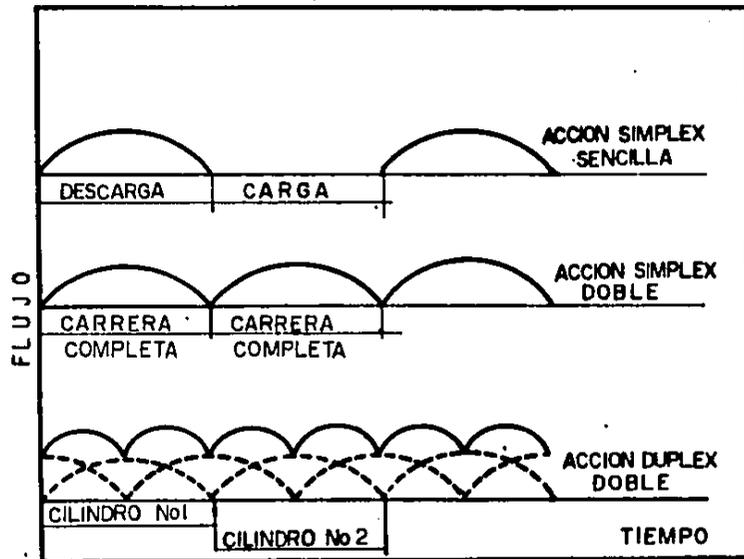


FIG. 1-2 CURVAS DE DESCARGA PARA BOMBAS RECIPROCANTES

- 5.- Vertical: El pistón realiza la compresión en posición vertical.
- 6.- Horizontal: El pistón realiza la compresión en posición horizontal.
- 7.- En ángulo: Es el tipo de compresores con multicilindros que tienen un ángulo entre los ejes de los cilindros.
- 8.- Duplex: Dos cilindros paralelos conectados a un mismo eje.
- 9.- Enfriados por aire: El enfriamiento de estos compresores es por medio de circulación de aire atmosférico a través de aletas (sólo se aplican para pequeñas capacidades).
- 10.- Enfriados por agua: Son aquellos compresores que tienen chaquetas con agua en circulación alrededor de los cilindros.

1.2.1.2.- BOMBAS ROTATORIAS

Esta clase de bombas se caracterizan por el método de carga y descarga del fluido, a diferencia de la bomba recíprocante, que depende de sus válvulas de retención para controlar la carga y descarga, una bomba rotatoria atrapa una cantidad de fluido y lo mueve hasta el punto de descarga; por otro lado, su compresión se efectúa por la acción del desplazamiento positivo de los elementos rotatorios.

1.2.1.2.1.- BOMBA DE PISTON ROTATORIO

Este tipo de bomba se utiliza para la producción de vacío medio (hasta .04 pulg Hg abs.) y normalmente usan aceite para su lubricación y sellado.

En la fig. 1.3 se muestra un corte seccional de un diseño típico para una bomba de una etapa, en la cual conforme el pistón gira excéntricamente, con el sello de aceite, cierra el acceso de entrada y el gas es confinado. El pistón posteriormente comprime al gas, se abre la válvula de descarga y el gas es expulsado a la atmósfera, creando así vacío en la succión de la bomba.

La cantidad de flujo y distribución del aceite a través de la bomba, son factores importantes para el diseño de una bomba de pistón rotatorio, ya que el pistón necesita una cantidad fija de aceite para que quede constantemente lubricado, por lo tanto, su mantenimiento es más complicado que las bombas de anillo líquido o de paletas rotatorias. El pistón gira excéntricamente y requiere un contrabalance para reducir la vibración. El cárter de aceite se vuelve inevitablemente en una trampa que almacena los vapores de proceso condensados y sólidos, los cuales pueden causar un rápido desgaste en sus elementos mecánicos y un deterioro en su operación; para prevenir este inconveniente, se hace recircular y limpiar al aceite en forma constante.

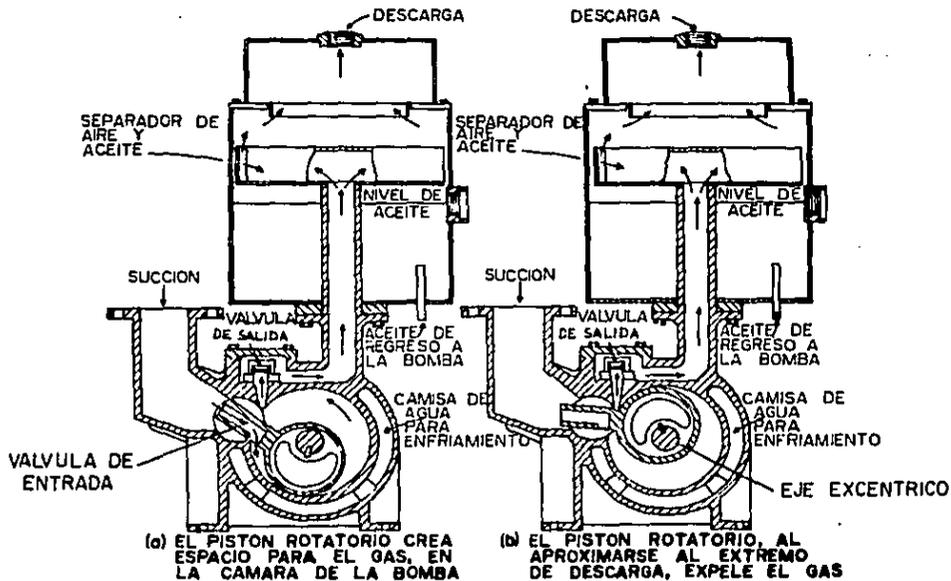


FIG. 1.3 CORTE DE UNA BOMBA DE PISTON ROTATORIO Y SU CICLO DE OPERACION

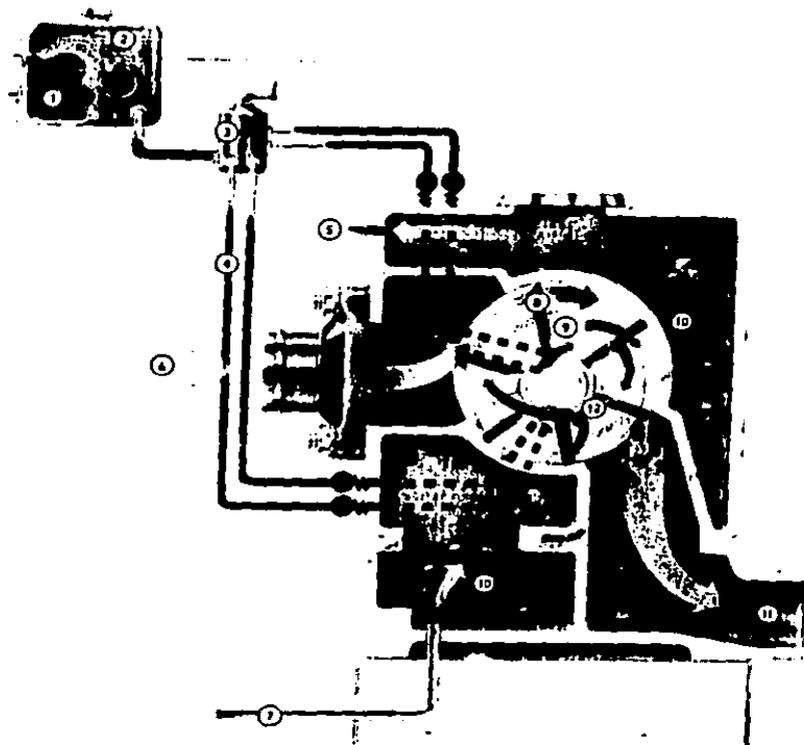
1.2.1.2.2.- BOMBA DE PALETAS ROTATORIAS

La bomba de paletas rotatorias es una bomba sellada con aceite y de desplazamiento positivo.

El diseño básico se muestra en la fig. 14, donde se observa que tiene un rotor cilíndrico montado excéntricamente dentro de una carcaza. Dicho rotor consta de dos o más paletas rotatorias, montadas en un dispositivo de ajuste por medio de resortes, que las hacen dirigir junto con el fluido hacia afuera del rotor, sellando contra las paredes de la bomba por medio de una película de aceite.

Una desventaja que tiene esta bomba, es que la contaminación dentro de la carcaza ocasiona que se origine un rápido deterioro de las piezas que se encuentran en contacto con el aceite, así como una operación ineficiente; por lo que se requerirá darle limpieza cada determinado tiempo. Para su mantenimiento, se requiere personal altamente calificado, debido a que un error en el ajuste entre las paletas rotatorias y la carcaza cilíndrica puede ocasionar ineficiencias de la operación o lo que es peor, una rotura de una o más paletas al pegar contra la carcaza.

En algunos diseños, el cárter es limado y se prefiere usar un sistema de circulación de aceite nuevo exclusivamente, es decir, que el aceite sólo pasará una sola vez por la carcaza para que cumpla con las funciones de sello y lubricación con un consumo modesto (4 litros en una bomba de 500 CFM en 24 horas de operación), eliminando así posibles



- 1.- INTERRUPTOR DE NIVEL. 2.- TANQUE DE ACEITE. 3.- BOMBA DE ACEITE.
 4.- LINEA DE ACEITE. 5.- SALIDA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO. 6.- SUCCION.
 7.- ENTRADA DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO. 8.- PALETA. 9.- ROTOR.
 10.- CAMISA PARA AGUA. 11.-SALIDA. 12.- ACEITE DE SELLO.

FIG. 1.4. BOMBA DE PALETAS ROTATORIAS.

contaminaciones del aceite que se pudieran encontrar en el depósito.

1.2.1.2.3 BOMBA DE LOBULOS ROTATORIOS

Esta bomba opera con relaciones bajas de compresión, aproximadamente desde 3:1 hasta 10:1, por lo que los niveles de vacío que alcanza son bajos a comparación de otras bombas mecánicas, otra característica es que su operación se realiza a altas velocidades rotatorias, normalmente de 2000 hasta 4000 rpm, y por lo tanto su capacidad puede ir desde 100 hasta 12,000 CFM.

La bomba de lobulos rotatorios utiliza dos lóbulos en forma de ocho que giran opuestamente para atrapar y comprimir al fluido, donde cada media parte de los lóbulos, al pasar por la succión, atraparán la misma cantidad de aire que un cuarto del desplazamiento de el soplador; es decir, que el atrapamiento ocurre cada cuatro veces durante cada revolución, moviendo el aire desde la entrada hasta la salida, como se puede observar en la fig. 1.5.

Esta bomba también es utilizada ampliamente como soplador sin tener modificaciones importantes, la principal diferencia en su funcionamiento es que el soplador tiene la succión a presión atmosférica.

Otra característica importante de esta bomba es que no utiliza válvulas y el potencial de sobrecalentamiento, es inherente a su operación. En algunos casos se utiliza

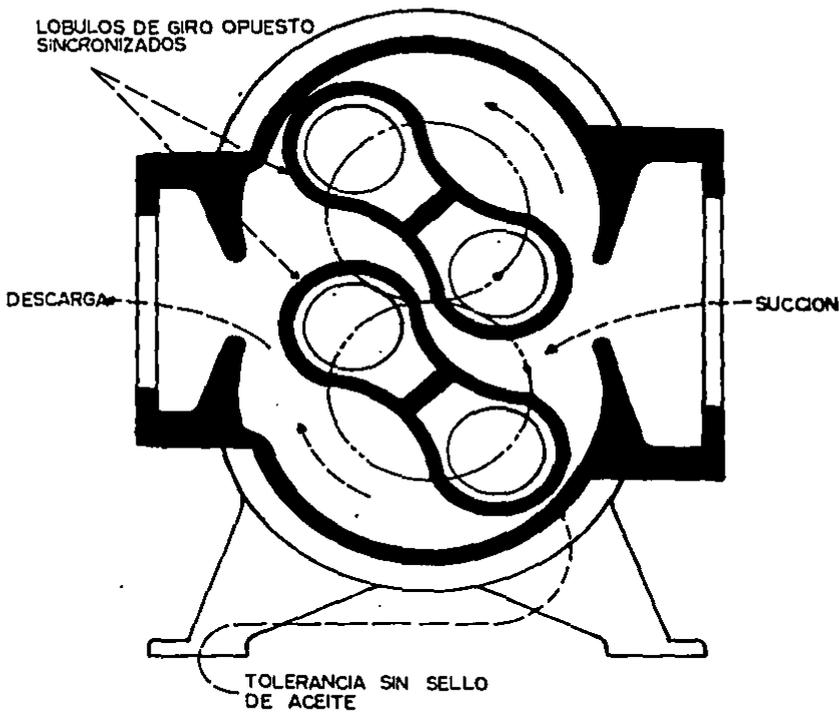


FIG. 1.5 BOMBA DE LOBULOS ROTATORIOS

bomba de respaldo que desaloje los gases calientes que pudieran quedarse en el ducto de salida y regresarse nuevamente a la bomba.

Los lóbulos se encuentran sincronizados por engranes externos que son lubricados por aceite junto con los baleros, desde afuera de la bomba, garantizando así una compresión libre de aceite. Los engranes se colocan de tal manera que el claro entre los lóbulos sea desde 0.001 hasta 0.010 de pulgada, permitiendo que la bomba opere con una eficiencia volumétrica alta sin el uso de sellos internos o lubricación. Debido a este diminuto espacio libre entre los impulsores, una cierta cantidad de aire escapa hacia la succión pasando por los claros de operación. Esta fuga denominada como "slip", es constante en cualquier bomba a cualquier presión y es expresada en rpm, dividiendo el volumen de fuga por minuto entre el desplazamiento por revolución. Debido a que el "slip" es constante, la bomba deberá operarse a la velocidad máxima recomendada para obtener la máxima eficiencia volumétrica.

La velocidad de operación total de este tipo de bombas dentro de un rango de operación, está dada por la siguiente expresión:

$$\text{RPM TOTALES} = \frac{\text{Capacidad deseada en CFM}}{\text{Desplazamiento en CFR}} + \text{slip} \quad (1)$$

El incremento de temperatura aproximado esta dado por:

$$T = T + (R)^{(k-1)/k} \quad (3)$$

Donde $(R)^{(k-1)/k}$ es determinado en tablas de aire y gases.

Este tipo de soplador es una máquina de precisión que depende de los pequeños claros entre los lóbulos para una operación eficiente. Por otro lado, es recomendable proveer a la bomba de una cimentación adecuada, diseñada para mantener el peso de la bomba y motor teniendo la suficiente rigidez para conservar el nivel y alineación correctos para su operación, disminuyendo así las vibraciones excesivas.

Antes del arranque de la bomba, deberá inspeccionarse que la succión esté completamente limpia de suciedad u otros materiales extraños, los cuales, si llegaran a caer dentro de la bomba, lo más probable es que ocasionen un serio daño al equipo.

En la práctica industrial, los fabricantes acostumbran garantizar la capacidad o consumo de potencia con una tolerancia del $\pm 4\%$.

1.2.1.3.- BOMBA DE ANILLO LIQUIDO

Esta bomba de vacío es utilizada generalmente para el manejo de los gases más volátiles y corrosivos en plantas

químicas y petroquímicas, siendo indispensable en el manejo de gases exotérmicos como cloro, oxígeno y acetileno. Otra aplicación que tiene es el manejo de líquidos para el cebado de bombas centrifugas, así como también para la producción de vacío en las máquinas de extrusión y moldeado. Todas estas aplicaciones se ofrecen con la ventaja de que la compresión del gas se hace libre de aceite.

La bomba de anillo líquido tiene solamente una parte en movimiento, que es un rotor balanceado que gira sin lubricación interna. Esta simplicidad es posible porque todas las funciones de un pistón mecánico o una paleta deslizante, son realizadas por una banda rotatoria de un líquido compresor.

Mientras que la potencia necesaria para mantener al anillo girando es transmitida por el rotor, éste anillo líquido se centrará en la carcasa cilíndrica u ovalada, según sea el caso, a pesar de que el eje cilíndrico esté desplazado del eje del cuerpo, como se muestra en la fig. 1.6.

Todas las bombas de anillo líquido operan bajo el mismo principio: antes del arranque, la carcasa de la bomba se llena parcialmente con el líquido compresor, al momento de girar el rotor, por efecto de la fuerza centrífuga, cada cámara entre las aspas del rotor se vaciarán parcialmente, para que en ese espacio libre se introduzca el gas succionado hacia las cámaras del rotor, como se muestra en los pasos A y B de la fig. 1.7. El líquido en el paso C, se moverá hacia adentro comprimiendo al gas debido a que la distancia

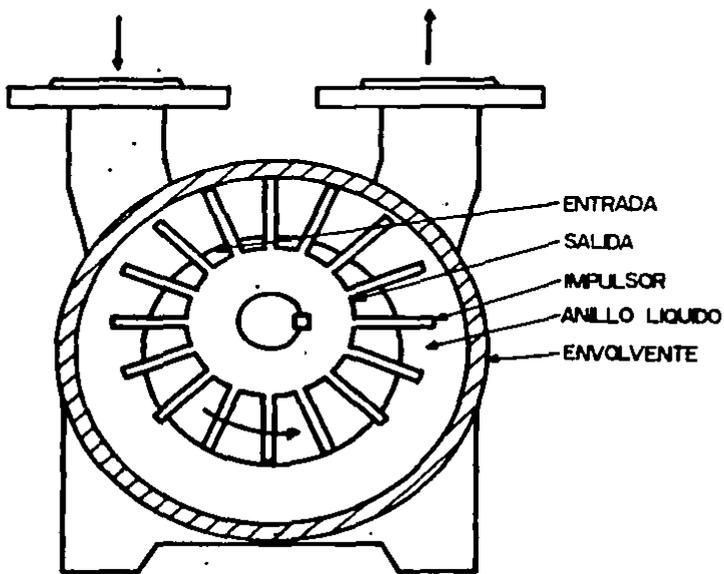
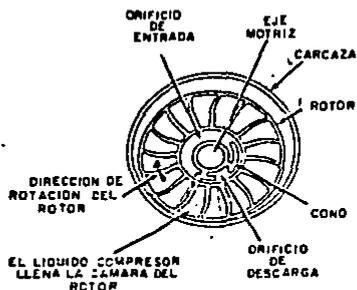
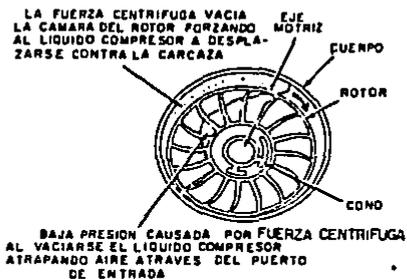


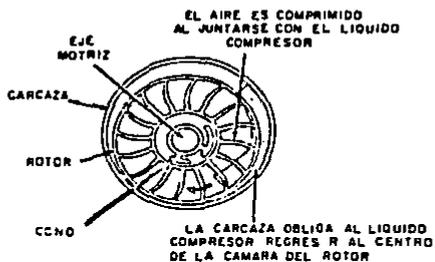
FIG. 1.6 BOMBA DE ANILLO LIQUIDO



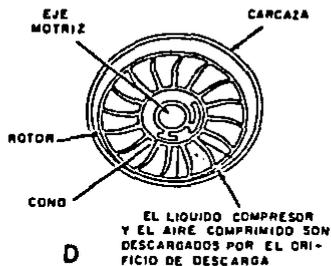
A



B



C



D

FIG-17. FLUJO DE AIRE COMPRIMIDO Y EL LIQUIDO COMPRESOR

entre el rotor y la carcasa disminuye. En el paso D, el gas que ya ha sido comprimido, escapa hacia los orificios de descarga que se encuentran en los conos estacionarios del rotor.

La bomba de anillo líquido es una máquina isotérmica, ya que el anillo actúa como un receptor de calor para mantener una temperatura constante de operación.

Por ejemplo, suponiendo un flujo de líquido de sello normal, existirá un incremento en la temperatura de 5 a 10 °F. Cuando se comprime aire desde 7.87 pulg. de Hg. hasta la presión atmosférica. Para una compresión similar en un compresor adiabático sin enfriamiento, la temperatura excedería los 200 °F.

La condensación o evaporación que pueda ocurrir al operar la bomba, deberán ser considerados con el dimensionamiento de ésta. El enfriamiento evaporativo, se lleva a cabo cuando se introducen gases secos a temperaturas mayores a los del líquido del sello, y la condensación ocurre, cuando el gas bombeado está saturado con vapor y el líquido de sello está a una temperatura menor, en este caso, la bomba se comporta como un condensador de contacto directo.

Esta bomba está inherentemente limitada por la presión de vapor del sello del líquido. Al operar la bomba cerca de la presión de vapor de su anillo líquido, puede cavitarse causando daños a la misma. Por ejemplo, si se usa agua, su presión de vapor a 77 °F es de 1 pulg. de Hg. a 100.4 °F,

Su presión de vapor es de 2 pulg. de Hg.

La limitación de la presión de vacío puede ser reducida al seleccionar otro fluido de sello, como por ejemplo el etilén-glicol, adicionando gases no condensables o recirculando el fluido. Esto último requerirá retirar el calor proporcionado por la compresión, por medio de una bomba de circulación y un intercambiador de calor. Por otro lado, también se requieren remover los condensados y/o partículas que no sean compatibles con el líquido de sello o el proceso.

Esta recirculación del líquido de sello, puede convertirse en un modo de operación muy eficiente en sistemas que sólo tienen un componente. Tanto en el vapor de proceso, como en el líquido de sello seleccionado, la bomba puede actuar como un condensador para ese vapor.

Cuando se usa agua como líquido de sello, es normal recircular parte del flujo para que la bomba siempre tenga un adecuado suministro del fluido para realizar su función y adicionar agua nueva para controlar la temperatura de la bomba. Para la mayoría de las bombas, el flujo de recirculación es más alto que el que se requiere para el enfriamiento.

Algunas veces, el líquido o fluido de sello está compuesto por líquidos mutuamente solubles, en este caso se aplicará la ley de Raoult, la cual establece que la presión

de vapor parcial de un solvente en equilibrio con una solución es directamente proporcional a su fracción molar N_o , o sea:

$$P = N_o P_o, \quad (4)$$

donde P_o es la presión de vapor del puro solvente a la misma temperatura.

Por otro lado, cuando la mezcla consista en fluidos insolubles, la presión de vapor resultante puede depender del peso específico de los componentes. Por ejemplo, una mezcla de diclorometano (Peso específico = 1.34) y agua tendrá una presión de vapor igual a la del agua, por lo que se permitirá hacer uso del solvente sin necesidad de refrigeración, por el simple método de decantación. El anillo líquido consistirá en dos capas: la capa del solvente que es más pesada y tiene una presión de vapor más alta, cubierta por la segunda capa que es la del agua; con el resultado de la anulación de los efectos ocasionados por el solvente. Este comportamiento es distinto al que ocurre con líquidos de similar peso específico, que de acuerdo a la ley de Dalton, el vapor de presión efectivo es la suma aritmética de las presiones de vapor de cada componente.

Las bombas de vacío de anillo líquido tienen la ventaja de poder aceptar ciertas partículas sólidas que sean arrastradas por el gas que entre a la succión. Con la reserva de que, si esas partículas sólidas son abrasivas podrían acortar drásticamente el tiempo de vida y si son demasiado grandes, podrían causar roturas en el interior de la bomba.

Por lo general, este aspecto deberá estar supervisado por el fabricante. En caso de sobrepasar estos límites, las partículas deberán ser filtradas. Sin embargo, en muchos casos las partículas que comúnmente contaminan a los sistemas de vacío y no pueden ser manejados por otro tipo de bomba, se utilizan satisfactoriamente las de anillo líquido.

La bomba de anillo líquido de dos etapas consiste, como su nombre lo indica, en una serie de dos etapas que trabajan en tandem; cada una de ellas tiene su propio rotor balanceado. El ensamble principal se muestra en la fig. 1.8. El motor eléctrico está acoplado directamente o por bandas "V", mientras que los rotores de cada etapa están rígidamente montados en el eje y rotan a la misma velocidad que éste.

El principio de operación de este tipo de bomba de vacío es descrita en la fig. 1.9. En el caso de que la bomba opere a bajo vacío, el gas evacuado es descargado a la atmósfera después de haber pasado por la primera etapa al múltiple de descarga de la segunda etapa. Durante ésta operación, una válvula de retención que se encuentra en el múltiple, se abre permitiendo así que la descarga de la primera etapa fluya a un separador de descarga atmosférico, localizado en el exterior de la bomba. Por lo tanto, cuando la bomba sólo opera a bajo vacío, la primera etapa realiza una función de evacuación sin que intervenga la segunda.

Durante la operación de alto vacío, la válvula de retención es automáticamente cerrada y entonces, la descarga de la

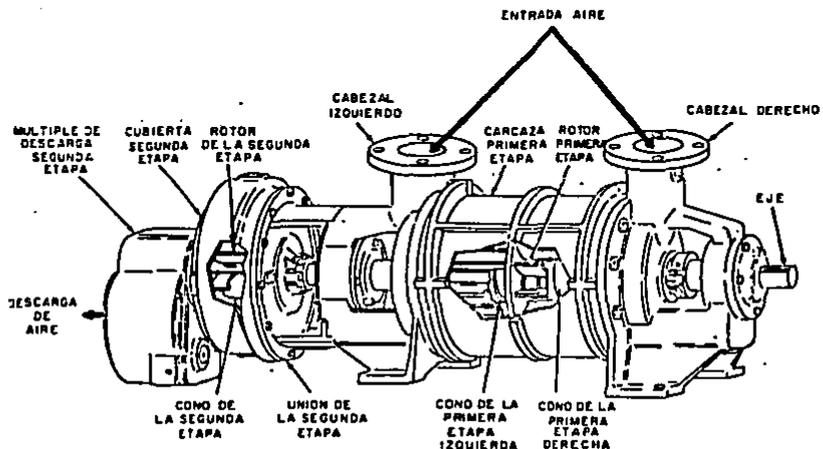
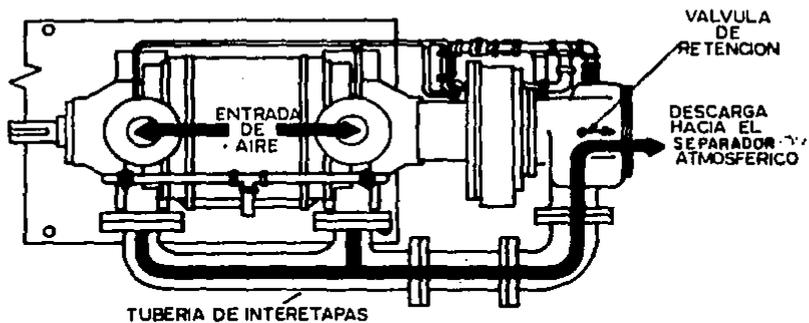
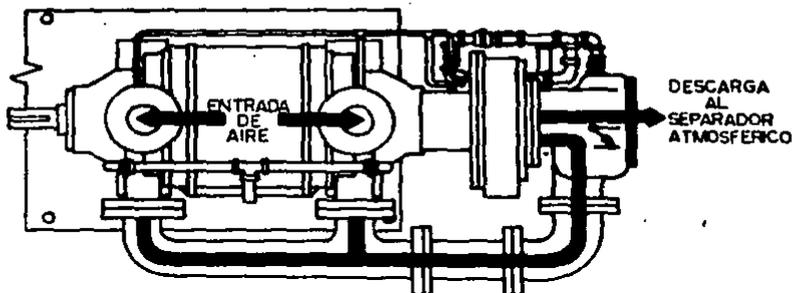


FIG- 18 COMPONENTES PRINCIPALES DE LA BOMBA DE DOS ETAPAS

OPERACION DE BAJO VACIO



OPERACION DE ALTO VACIO



NOTA → FLUJO DE AIRE Y AGUA DESCARGADOS DE LA PRIMERA ETAPA

FIG. 1.9
OPERACIONES DE ALTO Y BAJO VACIO

la primera etapa es dirigida a la entrada de la segunda etapa, para que posteriormente el gas fluya al múltiple y al separador.

El líquido de sello entra a la bomba en el cabezal de la primera etapa como se puede observar en la fig. 1.10, entonces fluye por una tubería desde los cabezales hasta los conos a través del claro existente entre éstos y el rotor, para alojarse en la cámara del rotor. El líquido de compresión o sello es descargado con los gases evacuados hacia el separador de descarga atmosférico, en el caso de ser operación a bajo vacío, fluirá a la segunda etapa antes de ser descargada con los gases succionados al separador atmosférico.

Las chumaceras contienen empaques que son lubricados por el líquido de anillo de sello. Dicho líquido está presurizado y es alimentado de la segunda etapa, como se muestra en la fig. 1.11. La presión de flujo del líquido de sello (de 2 a 5 psig), previene que el aire atmosférico entre a la bomba de vacío por las chumaceras.

La bomba de anillo líquido tiene una eficiencia promedio contra infiltraciones de aire del 45% a una velocidad periférica normal de bombeo de 60 pies por seg., pero si ésta velocidad es reducida a 30 pies por seg., la eficiencia subirá hasta un 63%, sin embargo, en el caso contrario de

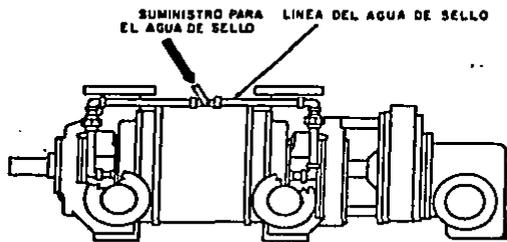


FIG - 1.10. FLUJO DEL AGUA DE SELLO

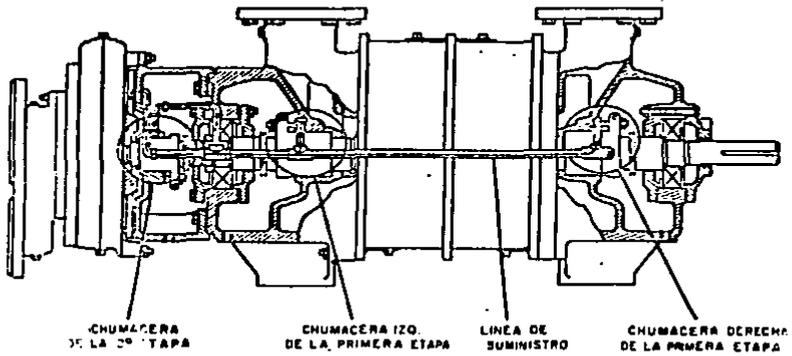


FIG - 1.11. FLUJO DE AGUA PARA LUBRICACION DE EMPAQUES

que la velocidad periférica aumentará hasta 80 pies por seg., la eficiencia disminuirá hasta un 40%.

En el diseño del sistema de vacío, las pérdidas por carga y salida no deberán exceder del 2% y las pérdidas en el múltiple están estimadas en un 3%. En cuanto a las pérdidas mecánicas, no deberán exceder del 5%, con lo cual, todo ésto en conjunto da una pérdida máxima permisible del 10%.

Para calcular una eficiencia mecánica y de compresión, a groso modo, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\eta = 90 / (100 + (f_{ps})^{1.10} \cdot (\text{Sp. Gr.})^2 / (\text{CE})) \quad (5)$$

En la ecuación anterior, se ha establecido que las pérdidas varían con el cuadrado del peso específico e inversamente por el arrastre viscoso en el impulsor (CE). Los valores de las viscosidades típicas, según el Instituto Americano de Hidráulica, son mostradas en la tabla 1.1.

TABLA 1.1
EFECTO DE LA VISCOSIDAD EN LA EFICIENCIA
MECANICA Y DE COMPRESION

VISCOSIDAD SSU	FACTOR DE CORRECCION CE
40 y MENOR	1.00
85	0.9
200	0.8
600	0.7
1000	0.6
1800	0.5
2500	0.4

Como desventajas de las bombas de anillo líquido, pueden mencionarse los problemas de corrosión en general, intergranular y galvánica, que hacen que la bomba opere con dificultad e ineficientemente.

Las fallas por fatiga de los ejes, generalmente se encuentran localizadas donde la corrosión esté atacando con mayor intensidad.

En algunos lugares, el agua que se utiliza tiene cierta dureza que puede contribuir a que se formen depósitos de carbono y fosfatos. En tales casos, se deberán tomar las medidas preventivas, ya sea con un tratamiento del agua o modificando la frecuencia del mantenimiento preventivo de la bomba, para evitar un depósito excesivo.

1.3 TRABAJO TEÓRICO DE LAS BOMBAS DE VACIO.

El trabajo teórico requerido por la compresión de un vapor o gas, es la integración de los cambios de volumen y presión. El trabajo específico para un gas perfecto, se aplica la siguiente fórmula para una etapa:

$$W = (n/n-1) * RT * ((P_f / P_A)^{(n-1/n)} - 1) \quad (6)$$

Con multietapas, el mínimo trabajo teórico requerido ocurrirá cuando cada etapa haga el mismo trabajo con un perfecto interenfriamiento entre etapas. Otra forma del establecimiento de esto es que la relación de presiones

y la temperatura de entrada en cada etapa, deberán de ser las mismas para obtener el mínimo trabajo teórico.

Para obtener la mejor relación de compresión teórica se utiliza la siguiente fórmula:

$$e = (\tau)^{1/3} \quad (7)$$

donde:

$$\tau = (P_f / P_i) \quad (8)$$

Las bombas de vacío tienen pérdidas que evitan que se acerquen a sus requerimientos teóricos de energía. Dichas pérdidas son por fricción, eléctricas, por enfriamientos auxiliares, vaporizaciones y fugas internas.

1.4 NOMENCLATURA.

AP = Diferencia de Presiones, psi.

CE = Factor de la viscosidad en la eficiencia mecánica y de compresión. Tabla 1.1.

CFM = Pie cúbico por minuto.

CFR = Pie cúbico por revolución.

N = Fracción Molar.

P = Presión, lb/pulg²

R = Constante Universal de los Gases, 1545 ft-lb mol⁻¹°R).

RPM = Revoluciones por minuto

Sp. Gr. = Peso específico del líquido compresor.

T = Temperatura, °F.

W = Trabajo teórico requerido por la compresión de un vapor o gas.

hp = caballos de Potencia.

fps = Velocidad de bombeo, ft/seg.

e = relación de compresión ideal por etapa.

k = Relación de Calores Específicos.

n = Coeficiente politrópico.

s = Número de etapas.

t = Relación de compresión total.

psi = libras por pulgada cuadrada.

η = Eficiencia de la bomba de anillo líquido.

Subíndices:

f = Final

i = Inicial

o = Relativo al solvente.

C A P I T U L O I I

E Y E C T O R E S

CAPITULO II

EYECTORES

2.1.- GENERALIDADES

El uso de los eyectores para la producción y mantenimiento de vacío en las industrias químicas y petroquímicas es muy amplio, además de ser los más ampliamente utilizados, a pesar de la crisis de energéticos.

Su construcción es la más simple de los sistemas de vacío, ya que carecen de partes móviles, permitiendo que su mantenimiento prácticamente se reduzca a la limpieza interior y el cambio esporádico de las toberas cuando se encuentren desgastadas. Estas características permiten que los eyectores tengan bajos costos de adquisición, instalación y mantenimiento.

La aplicación práctica de los eyectores se debe a su habilidad de mover fluidos, en base al principio de arrastre, el cual se genera por la acción de descarga de un fluido motriz a una velocidad elevada, el cual arrastra y comprime a otro fluido secundario de baja velocidad.

Los eyectores pueden construirse de diversos materiales, dependiendo de las condiciones donde vaya a operar el sistema y pueden ser hechos de materiales resistentes a la corrosión, como acero inoxidable, grafito cerámica, vidrio, etc., de

tal manera que son los sistemas de vacío que mejor manejan los gases que sean altamente corrosivos.

En este capítulo, se verán los principales tipos de eyectores que actualmente existen y posteriormente se analizarán el diseño y las características generales de construcción y de operación para el eyector actuado con vapor de agua. Esto es debido a que es el eyector más ampliamente utilizado en la industria.

2.2.- CLASIFICACION DE LOS EYECTORES

Los eyectores pueden estar clasificados de acuerdo a su fluido motriz, al tipo de función operacional o al número de etapas e intercondensadores que utiliza. Esta última clasificación se verá en el siguiente capítulo (Sistemas de Vacío).

2.2.1.- CLASIFICACION DE ACUERDO A SU FLUIDO MOTRIZ

-Eyector actuado con vapor de agua. Este es el eyector que más comúnmente es utilizado en la industria para la generación de vacío, por lo que en este capítulo se centrará a su estudio en detalle. Generalmente se le conoce como eyector de vapor o simplemente eyector.

-Eyector actuado con agua o líquidos. Los eyectores que utilizan agua o líquidos a presión, están diseñados

para manejar económicamente grandes volúmenes de vapores condensables. Otra aplicación es que son usados popularmente para el lavado de gases o vapores.

-Eyectores actuados por un gas o vapor que no sea vapor de agua. Un ejemplo de éstos son los eyectores actuados por gas natural para comprimir el gas refinado de baja presión, regular la alta presión del gas natural y combinar los gases a una correcta proporción.

2.2.2.- CLASIFICACION DE ACUERDO A SU FUNCION OPERACIONAL.

- Eyector: Es el término general aplicado para toda la variedad de bombas de vacío a chorro, pero preferentemente, el eyector es aquél que utiliza vapor de agua como fluido motriz.

(Ver fig. 2.1.)

- Compresor: Es aquél que utiliza un gas de alta presión para arrastrar a otro gas de baja presión, de tal manera que la presión de descarga sea intermedia.

-Inyector: Este tipo utiliza un gas condensable para arrastrar un líquido y descargar contra una presión mayor que cualquiera de las presiones del gas motriz o de la succión. Su uso principal se encuentra en las calderas.

- Termosifón: Son eyectores de una sola etapa operado con vapor de agua para el bombeo de líquidos; su construcción es hecha generalmente con materiales resistentes a la corrosión y utilizados para el manejo de fluidos corrosivos o

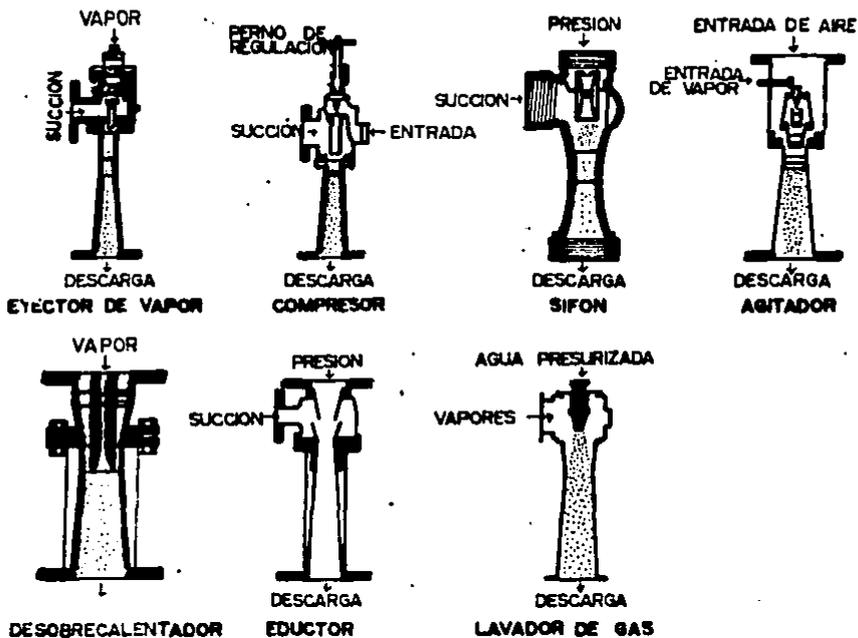


FIG. 2.1 APLICACIONES DE LOS EYECTORES

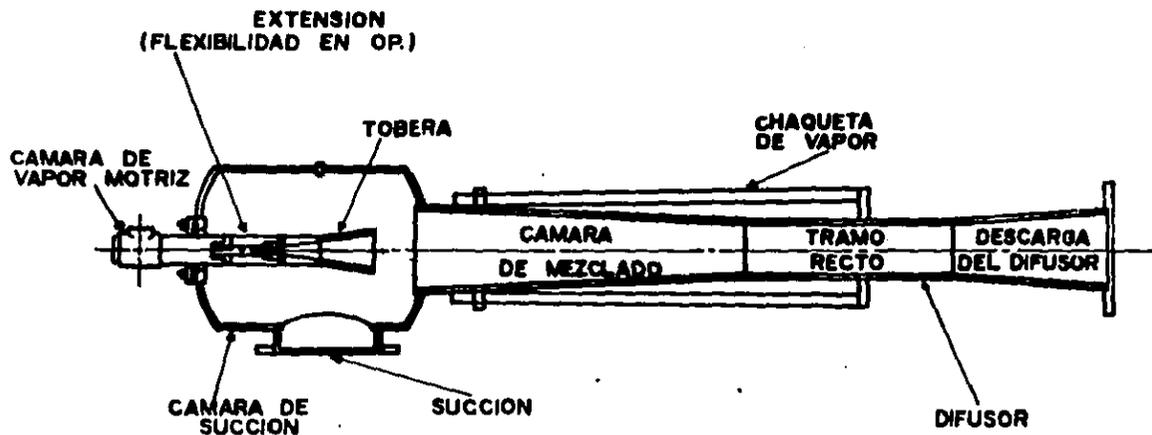


FIG. 2.2 CARACTERISTICAS DE CONSTRUCCION DE

radiactivos donde una fuga de una bomba mecánica no es permisible.

- Desobrecalentador: Estos eyectores mezclan y atomizan el líquido inyectado en la garganta en pequeñas gotas. Por la alta velocidad del vapor, el vapor sobrecalentado es enfriado por la evaporación de pequeñas gotas a lo largo del flujo en el desobrecalentador.

- Eductor. En este equipo, se utiliza un líquido a alta presión para arrastrar un segundo líquido, mezclándolos y descargándolos a una presión intermedia.

- Agitador. Este tipo de eyectores se utilizan para mover aire o otros gases por medio de vapor de agua o aire como fluidos motrices, teniendo como función el agitar el fluido succionado.

- Lavador de Gas: Consiste en un eyector con agua presurizada como fluido motriz y vapores de proceso en la succión que serán lavados por el agua al momento de mezclarse.

2.3.- CARACTERISTICAS GENERALES DEL EYECTOR.

Un eyector está constituido por tres partes básicas: la boquilla o tobera, la cámara de succión y el difusor, que se muestran en la fig. 2.2.

La boquilla o tobera, es el elemento que convierte la energía de alta presión del fluido motriz a energía de velocidad y puede tener dos formas geométricas: divergente,

que se utiliza en relaciones de compresión bajas y medias y convergente-divergente utilizada para relaciones de compresión medias y altas.

La cámara de succión sirve como entrada del fluido a ser evacuado a través de una boquilla bridada llamada succión, y además, en esta cámara existe suficiente espacio para que se desarrolle el arrastre del fluido succionado con el vapor motriz.

En el difusor, el proceso que se lleva a cabo es el inverso que el de la tobera. En un difusor convergente-divergente, se convertirá la velocidad en presión con la mayor eficiencia posible.

La porción convergente es comúnmente conocida como cámara de mezclado, ya que en esta región se mezclan los fluidos succionados y motriz. Existen eyectores con relaciones de compresión bajas que pueden carecer de esta zona, y hacer la mezcla en su tramo recto.

A la porción divergente por donde escapan los fluidos motriz y succionado se le denomina descarga del eyector.

Como elementos adicionales que conforman al eyector se encuentran: la cámara de vapor motriz y la extensión de la tobera, esta última permite modificar la posición de la tobera con respecto a la entrada del difusor. Algunos eyectores que operan con temperaturas cercanas al punto de congelación utilizan además chaquetas de vapor.

2.4.- PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS EYECTORES.

A grandes rasgos, se determina que en el funcionamiento de los eyectores, (ver fig. 2.3), la potencia motriz se proporciona por medio de una corriente de fluido a alta presión dirigida a través de una boquilla diseñada expresamente para producir la velocidad más alta posible. El chorro resultante del fluido a alta velocidad crea una zona de baja presión en la cámara de succión, lo que origina que el fluido de succión se dirija hacia esta cámara. Idealmente hay, un intercambio de momentum en este punto, que produce una corriente uniformemente mezclada viajando a una velocidad intermedia entre la velocidad del fluido motriz y el de succión. El difusor tiene una forma adecuada para reducir la velocidad uniformemente y convertirla en energía de presión en la región de descarga con las mínimas pérdidas posibles.

En términos generales, el comportamiento descrito anteriormente se presenta en todos los tipos de eyectores, sin embargo, el proceso termodinámico es variante de acuerdo a la geometría de su construcción y a las características de los fluidos motriz y succionado.

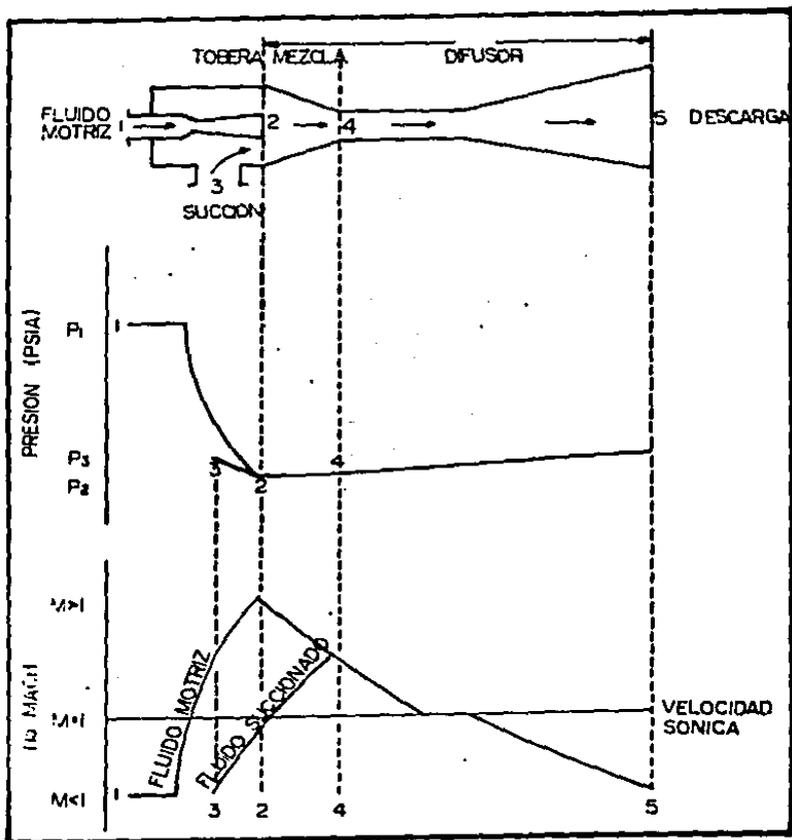


FIG. 23 PERFILES DE VELOCIDAD Y PRESION

2.5.-FUNDAMENTOS TEORICOS.

2.5.1.-ANTECEDENTES.

Debido a que los eyectores de vapor de tipo venturi con tobera y difusor de geometría divergente, son los más comúnmente utilizados en la industria, se analizará su tratamiento termodinámico.

El análisis termodinámico teórico de un eyector de vapor, se fundamenta en las ecuaciones de continuidad y en balances de momentum y energía, a partir de los cuales se pueden determinar la forma y las dimensiones de un eyector.

Para efectuar este análisis, se consideran las siguientes condiciones ideales:

- 1.-La tobera y el difusor tienen procesos que corresponden a expansiones adiabáticas reversibles y por lo tanto, se consideran como procesos isoentrópicos.
- 2.-Los flujos son adiabáticos.
- 3.-No existen esfuerzos entre la pared y el flujo.
- 4.-Los fluidos bajo el análisis están regidos por la ley de los gases ideales:

$$PV = n R T$$

- 5.- La aceleración de ambos fluidos, motriz y succionado, es reversible y uniformemente variable, desde un

valor inicial igual a cero hasta un valor final en la sección donde se inicie el mezclado.

6.-El mezclado es completo y la velocidad es supersónica a la entrada del difusor.

7.-La presión de ambos fluidos en el punto de mezclado, es exactamente la misma.

8.-El proceso se efectua con energía potencial constante.

2.5.2.-TOBERA.

Con las 8 suposiciones anteriores el desarrollo termodinámico es el siguiente de acuerdo a la referencia bibliográfica No. 15. y a la fig. 2.3.

La ecuación diferencial para un flujo permanente es:

$$\frac{dP}{w} + \frac{v dv}{g} + dz + dp = 0 \quad (1)$$

En este caso, dz y dp son iguales a cero debido a los parámetros antes establecidos, o sea que es un proceso de energía potencial constante y sin pérdidas y por lo tanto queda:

$$\frac{dP}{w} + \frac{v dv}{g} = 0 \quad (2)$$

La integración es como sigue:

a)El término dp/w se integra conociendo la expresión de w en función de la variable P . Dicha relación, para

condiciones adiabáticas, se determina a partir de la ley general de los gases perfectos y se reduce a (ref. 15):

$$\left(\frac{w}{w_1}\right)^k = \frac{p}{p_1} \quad \text{o} \quad \frac{p_1}{w_1}^{1/k} = \frac{p}{w}^{1/k} = \text{constante}$$

así:

$$w = w_1 \left(\frac{p}{p_1}\right)^{1/k}$$

donde k es el exponente del proceso adiabático. Hallando el valor de dp/w e integrando se obtiene (ref. 15):

$$\int_{p_1}^p \frac{dp}{w_1 (p/p_1)^{1/k}} = \frac{p_1^{1/k}}{w_1} \int_{p_1}^p \frac{dp}{p^{1/k}} = \frac{k}{k-1} * \frac{p_1}{w_1} \left[\left(\frac{p}{p_1}\right)^{(k-1)/k} - 1 \right] \quad (3)$$

b) Por otro lado, el elemento $v dv/g$, se integra normalmente y queda:

$$\frac{1}{g} \int_{v_1}^v v dv = \frac{v^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} \quad (4)$$

c) Finalmente, la ecuación de Bernoulli toma la forma (ref. 15):

$$\frac{k}{k-1} \left(\frac{p_1}{w_1}\right) + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{k}{k-1} \left(\frac{p_1}{w_1}\right) \left(\frac{p}{p_1}\right)^{(k-1)/k} + \frac{v^2}{2g} \quad (5)$$

Considerando que la velocidad de entrada $v_1^2 = 0$ y la ecuación queda de la siguiente manera (ref. 16):

$$v = \left(2g \left(\frac{k}{k-1}\right) \frac{p_1}{w_1} \left[1 - \frac{p}{p_1}^{(k-1)/k} \right] \right)^{1/2} \quad (6)$$

Esta última ecuación permite calcular la velocidad del fluido motriz en función de la relación de expansión (P/P_1).

El área de la tobera (A_t), se obtiene mediante la combinación de la ecuación (6) y la ecuación de continuidad (7), como sigue (ref.16):

$$\dot{W} = \rho v A_t = \text{Constante} \quad (7)$$

$$A_t = \frac{\dot{W}}{\rho v} ; \quad \rho = \rho_1 \frac{P}{P_1}^{1/k}$$

Entonces, A_t , es igual a la siguiente ecuación:

$$A_t = \frac{W}{\left(2g \frac{k}{k-1} P_1 \rho_1 \left[\left(\frac{P}{P_1}\right)^{2/k} - \left(\frac{P}{P_1}\right)^{(k+1)/k} \right]^{1/2}\right)} \quad (8)$$

Utilizando esta expresión, se relaciona la presión del fluido con el área transversal de cualquier punto de la tobera.

Un análisis de esta ecuación, permite tener los siguientes parámetros (ref. 13):

$$A_t = \frac{\dot{W}}{k_1 k_2} \quad (9)$$

$$k_1 = \left[2g \frac{k}{k-1} P_1 \rho_1 \right]^{1/2} \quad (10)$$

$$k_2 = \left[\left(\frac{P}{P_1}\right)^{2/k} - \left(\frac{P}{P_1}\right)^{k+1/k} \right]^{1/2} \quad (11)$$

De acuerdo a la presión (P) en la tobera, el factor K_2 puede tener los siguientes valores:

$$K_2 > 0, \text{ si } 0 < P/P_1 < 1$$

$$K_2 = 0, \text{ P} = 0, \text{ o } P = P_1$$

En la fig. 2.4 se muestra el comportamiento de la función K_2 . El punto donde K_2 es máximo, se denomina "Presión Crítica" (P_c) de la tobera, o sea que en estas condiciones, la velocidad que alcanza el fluido es sónica.

En la fig. 2.5. se relaciona la presión (P) contra el área de la tobera. El área que corresponde al valor crítico de presión es cuando el área es mínima y a esta última se le denomina "garganta" de la tobera.

El valor de la presión Crítica se puede obtener diferenciando y resolviendo la ecuación K_2 para el valor máximo:

$$\frac{dK_2}{dP} = \frac{d}{dP} \left[\left(\frac{P}{P_1} \right)^{2/k} \left(\frac{P}{P_1} \right)^{(k+1)/k} \right]^{1/2} = 0 \quad (12)$$

Como la ecuación (12) está igualada a cero, se puede reducir a la siguiente expresión:

$$\frac{d}{dP} \left[\left(\frac{P}{P_1} \right)^{2/k} - \left(\frac{P}{P_1} \right)^{(k+1)/k} \right] = 0 \quad (13)$$

Al derivar la ecuación (13), queda entonces:

$$\frac{2}{k} \left(\frac{P}{P_1} \right)^{(2-k)/k} - \frac{k+1}{k} \left(\frac{P}{P_1} \right)^{1/k} = 0 \quad (14)$$

y simplificando, se obtiene:

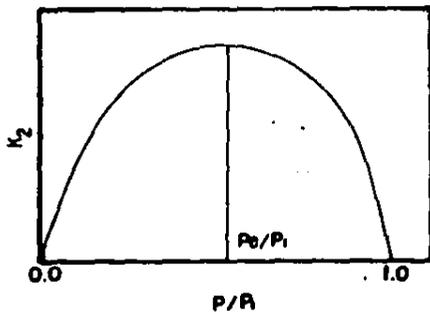


FIG. 2.4. K_2 CONTRA P/P_1

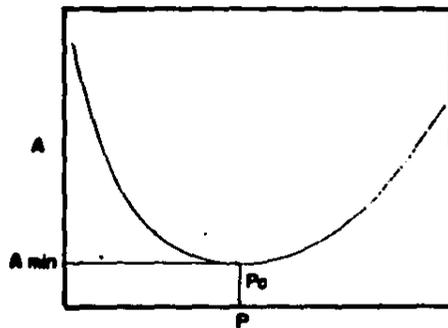


FIG. 2.5 A CONTRA P

$$\frac{P}{P_1} = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{k/(k-1)} \quad (15)$$

Por lo tanto, la presión crítica está dada por la siguiente relación:

$$P_c = P_1 \left(\frac{2}{k+1} \right)^{k/(k-1)} \quad (16)$$

2.5.3.- SECCION DE MEZCLADO.

La sección de mezclado estudiaremos el número de Mach a la entrada del difusor a presión constante (ref. 16):

$$M = \frac{v}{c} \quad (17)$$

La velocidad c es la velocidad del sonido que puede ser obtenida por el gas si es expandido en forma adiabática y reversiblemente desde su reposo.

La ecuación de momentum para la sección de mezclado es:

$$\left[\dot{W}^* v \right]_1 + \left[\dot{W}^* v \right]_3 + P_2 A_5 - \left[\dot{W}^* v \right]_5 = P_5 A_5 \quad (18)$$

El análisis dimensional de esta ecuación es de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} [MT^{-1}][LT^{-1}] + [MT^{-1}][LT^{-1}] + [ML^{-1}T^{-2}][L^2] - [MT^{-1}][LT^2] - [ML^{-1}T^{-2}][L^2] \\ [MLT^{-2}] - [MLT^{-2}] \end{aligned}$$

Como P_2 y P_5 son iguales la ecuación de momentum queda:

$$\dot{W}_1 v_1 + \dot{W}_3 v_3 = \dot{W}_5 v_5 \quad (19)$$

Considerando que:

$$\dot{W}_1 + \dot{W}_3 = \dot{W}_5 \quad (20)$$

La ecuación de momentum puede escribirse como sigue:

$$\dot{W}_1 v_1 + \dot{W}_3 v_3 = (\dot{W}_1 + \dot{W}_3) v_5 \quad (21)$$

Aplicando la ecuación de Mach:

$$\dot{W}_1 M_1 C_1 + \dot{W}_3 M_3 C_3 = (\dot{W}_1 + \dot{W}_3) M_5 C_5 \quad (22)$$

Y despejando el número de Mach a la salida de la sección de mezclado queda:

$$M_5 = \frac{\dot{W}_1 M_1 C_1 + \dot{W}_3 M_3 C_3}{(\dot{W}_1 + \dot{W}_3) C_5} \quad (23)$$

2.5.4.- DIFUSOR

Un difusor recibe un fluido a alta velocidad y descarga a una presión más alta, por lo que parte de la energía cinética inicial, es 100% disponible y se usa para transformarla a energía de presión.

De acuerdo con la referencia No. 17 "Optimum Design of Ejectors using Digital Computers", de L.A. De Frate y A. E. Hoerl, la fórmula para encontrar la relación de compresión para una desaceleración adiabática reversible del fluido en el difusor a velocidad subsónica está dada por:

$$\frac{P_6}{P_5} = \frac{1}{\left(1 - \frac{(k_5 - 1)}{(k_5 + 1)} (M_5)^2\right)^{k_5 / (k_5 - 1)}} \quad (24)$$

2.5.5.- RELACION DE AREAS

La relación de áreas de la garganta de la tobera a la garganta del difusor se expresa con la siguiente ecuación, de acuerdo nuevamente con la referencia No. 15:

$$\frac{A_d}{A_E} = \left[1 + \frac{W_3}{W_1} \right] \left[\frac{2}{k_1+1} \right]^{1/(k_1-1)} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \left(\frac{W_1}{W_5} \right) \left(\frac{T_3}{T_1} \right) * \quad (25)$$
$$* \frac{C_1}{C_5} \left[\frac{1-(k_5-1)/(k_5+1)}{M_5} (M_5)^2 \right]$$

2.6 CARACTERISTICAS GENERALES DE CONSTRUCCION DEL EYECTOR

2.6.1.- TOBERA

La tobera es la parte más importante en el cálculo de un eyector, ya que si está mal diseñada, se podrían causar ondas de choque y expansiones innecesarias del fluido motriz, además de que determina el rango de presión dentro del cual el eyector trabajará correctamente.

Las áreas de flujo de la tobera son el área de la garganta y de la descarga, que estarán conectadas por un conducto que tenga un área incremental uniforme para que el ángulo del cono divergente se asemeje lo más posible al del cono generado por el fluido motriz a alta velocidad. La relación de áreas 1:10 (que corresponde a un ángulo de 12°), da por resultado una área friccional mínima.

2.6.2.- DIFUSOR

-Entrada del Difusor.

La entrada del difusor debe de ser del tipo campana con bordes bien redondeados con un ángulo de 25° para evitar ondas de choque indeseables o pérdidas por fricción, debidas a la formación de vórtices en la entrada.

-Garganta del Difusor.

El diámetro y la forma de la garganta del difusor tienen también una gran importancia. Una garganta que consiste de una parte recta permitirá una mejor recuperación, y por tanto un mejor vacío que un difusor sin porción recta, que presente una restricción gradual de manera uniforme desde la garganta hacia la salida.

La importancia de este parámetro se debe también, a que un cambio pequeño en el área de la garganta ocasiona una gran diferencia en la cantidad del fluido succionado. Si la garganta es muy pequeña se puede estrangular y si es demasiado grande, se pueden tener fugas de los fluidos de regreso al sistema.

La relación óptima del área de garganta de la tobera al área de garganta del difusor es de 1 a 10.

La distancia que exista entre la garganta del difusor y la descarga de la tobera, será mínima cuando el eyector esté trabajando al alto vacío y con poca carga de succión. En el caso de que la presión del fluido motriz se incrementara, esta distancia tendría que ser mayor, debido a que

el chorro de descarga de la tobera también se incrementaría.

-Descarga del Difusor.

La descarga del difusor es una sección divergente con un ángulo entre 4° y 10° y con una longitud entre 4 y 8 veces el diámetro de la garganta del difusor, con el objeto de obtener una óptima recuperación de presión.

2.7.- CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO.

2.7.1- ESTABILIDAD DE FUNCIONAMIENTO.

Como ya se ha establecido anteriormente, el diseño de un eyector descansa básicamente en el dimensionamiento de la tobera y del difusor. Sin embargo, esta aparente sencillez en el diseño, impone restricciones en la flexibilidad operacional del equipo. Esto se debe fundamentalmente, a que el eyector es un dispositivo diseñado para un conjunto prefijado de condiciones de operación, las cuales determinan la geometría final de los componentes principales que una vez fabricado, no pueden ser fácilmente modificados. A pesar de lo anterior, es posible variar el vacío producido dentro de ciertos límites, ya sea alternando algunas de las condiciones de operación del fluido motriz o de la presión de descarga del eyector; o bien, modificando la localización de la tobera con respecto a la entrada del difusor. Cada uno de estos factores tiene efectos bien definidos sobre la capacidad, y por lo tanto, sobre la relación de

compresión (presión de descarga/presión de succión) del eyector bajo análisis.

Un requisito necesario para que un eyector durante su operación mantenga un vacío constante y continuo, es que la presión de suministro del fluido matriz esté cerca de su valor de diseño. Por esta razón, se requiere seleccionar cuidadosamente un valor de diseño de la presión del fluido matriz, de tal manera que, se asegure la operación confiable y estable del eyector.

En el caso de los eyectores tipo venturi, en los que el fluido matriz alcanza velocidades elevadas, la presión de este fluido es crítica, ya que tiene un efecto importante sobre la relación de compresión del eyector y sobre la transición de velocidades en los fluidos de la tobera y en el difusor.

La estabilidad para un sistema de eyectores se determina experimentalmente y se representan por curvas características que relacionan la capacidad y la presión de descarga con la presión de succión, como se puede observar en la fig. 2.6.

Para fijar los límites de operación estable, se requiere determinar los valores de la presión mínima del fluido matriz y la presión máxima de descarga aceptables para el eyector.

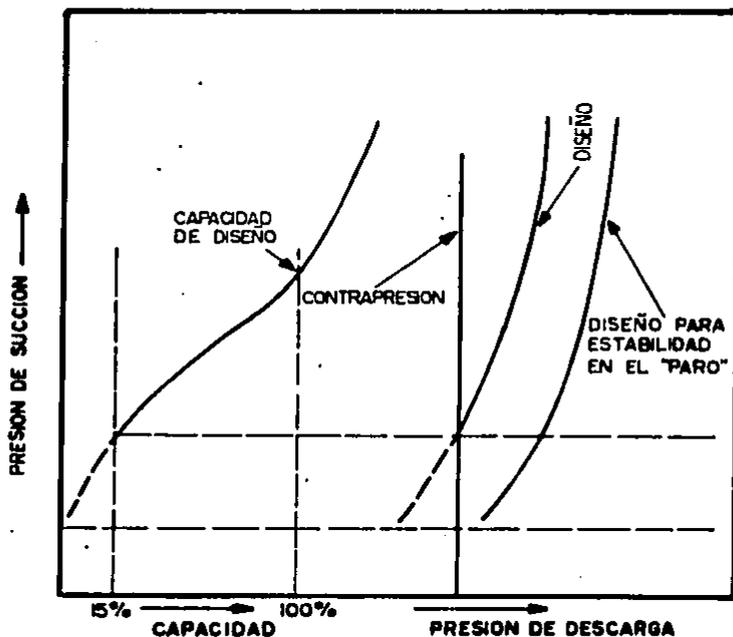


FIG. 2.6 CURVA DE OPERACION DE UN EYECTOR DE ETAPA SIMPLE

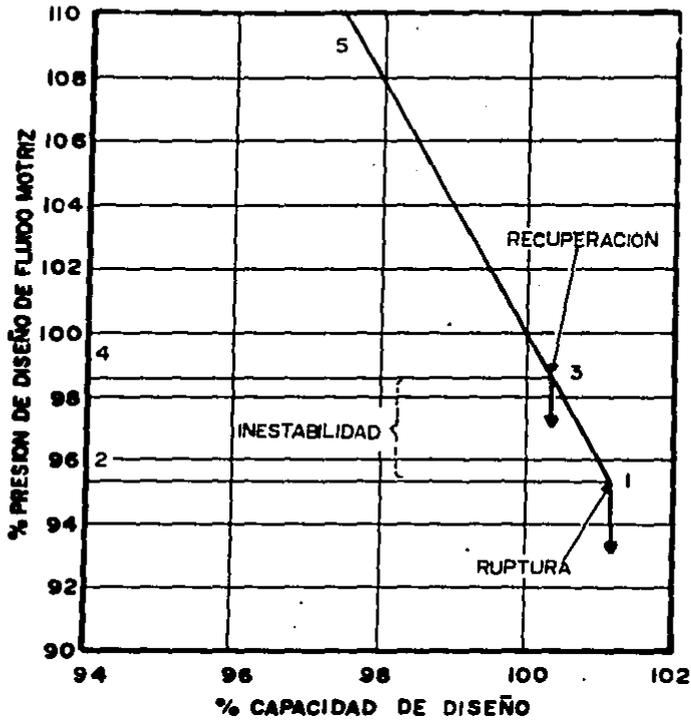


FIG. 2.7 PRESION DEL FLUIDO MOTRIZ v.s. CAPACIDAD

Los procedimientos para encontrar estos valores son:

- La presión mínima del fluido motriz, se determina disminuyendo lentamente el flujo del mismo hasta que se invierta el flujo a la succión del eyector, observándose una perturbación en la presión de succión. Durante la determinación se mantiene constante la presión de descarga en el valor de diseño. En un sistema de varias etapas, la determinación se hace sólo para la última etapa.

- La presión máxima de descarga del eyector, se determina al restringir lentamente la descarga, manteniendo constante la presión del fluido motriz hasta que se invierta el flujo en la succión del eyector.

En ambos casos, el valor de la presión que se obtenga se denomina "Presión de Ruptura de Vacío". (Break pressure).

De igual o de mayor importancia es la determinación de los valores de la presión del fluido motriz y de la presión de descarga, en las cuales, se recupera la operación estable. Estos valores se denominan "Presiones de Recuperación", (Recovery Pressures), que en general, son bastantes diferentes a las presiones de ruptura. (Ver fig. 2.7).

La estabilidad a carga cero se determina cerrando completamente la entrada a la succión, manteniendo las presiones del fluido motriz y la descarga de diseño.

2.7.2.- DETERMINACION DEL COMPORTAMIENTO DEL EYECTOR EN FUNCION DE LA CAPACIDAD DEL FLUIDO SUCCIONADO.

La determinación del comportamiento del eyector, de acuerdo a la capacidad del fluido succionado, se logra obteniendo los valores de las presiones de succión y de descarga, variando el flujo en la succión, obteniendose con estos datos, la curva de operación del equipo a la presión de diseño del fluido motriz. (Ver fig. 2.8).

Para la construcción de las curvas de comportamiento, en función de la variación de la capacidad del fluido succionado y la presión del fluido motriz, (fig. 2.8), la curva de presión de succión - capacidad se comporta en forma opuesta por encima y por debajo del punto de diseño. Cuando el eyector opera arriba de su punto de diseño (50%); mientras que por debajo del punto de diseño la capacidad aumenta. Por el contrario, si la presión del fluido motriz se eleva por encima de su valor de diseño (120%), la capacidad aumenta cuando se opera por arriba del punto de diseño y disminuye cuando se opera por arriba del punto de diseño y disminuye cuando se encuentre debajo del punto de diseño.

Al aumentar la presión del fluido motriz, la curva de presión de descarga se desplaza de manera directa con todo el rango de la presión de succión.

Al variar la presión del fluido motriz se tienen efectos en su flujo, de tal manera que con una mayor relación de

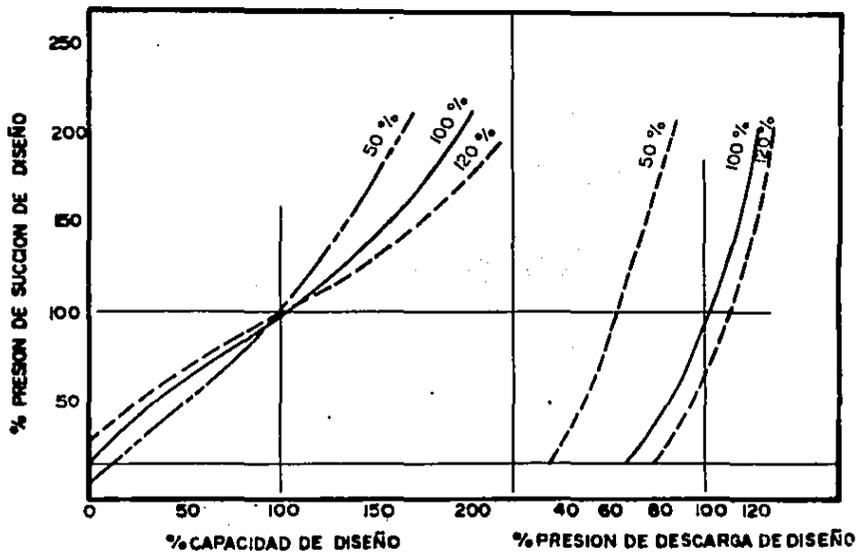


FIG. 2.8 EFECTO DE LA PRESION DEL FLUIDO MOTRIZ

compresión se requiere mayor cantidad de fluido motriz para una capacidad dada. Por otro lado, a mayor presión del fluido motriz, se requiere menor flujo del mismo para una capacidad y relación de compresión dadas.

2.7.3.- COMPORTAMIENTO DEL EYECTOR DE ACUERDO A LA POSICION DE LA TOBERA EN RELACION A LA ENTRADA DEL DIFUSOR.

La modificación de la distancia entre la tobera y la entrada del difusor afecta simultáneamente las curvas de presión de descarga y de succión, como se puede observar en la fig. 2.9. Si dicha distancia se aumenta, se incrementará la capacidad de la unidad disminuyendo la presión de descarga para una presión de succión dada, en cambio, si se disminuye la distancia, se presentará una situación contraria.

La distancia se modifica por medio de extensiones de diferente longitud, que se acoplan a la tobera.

2.8 CODIGOS DE DISEÑO, CONSTRUCCION Y PRUEBA.

El diseño, construcción y prueba de los eyectores así como equipo auxiliar, se encuentran regidos por códigos y estándares internacionales, con el objeto de que operen eficientemente y sin peligro.

A continuación se verán los estándares y códigos más usuales en la industria.

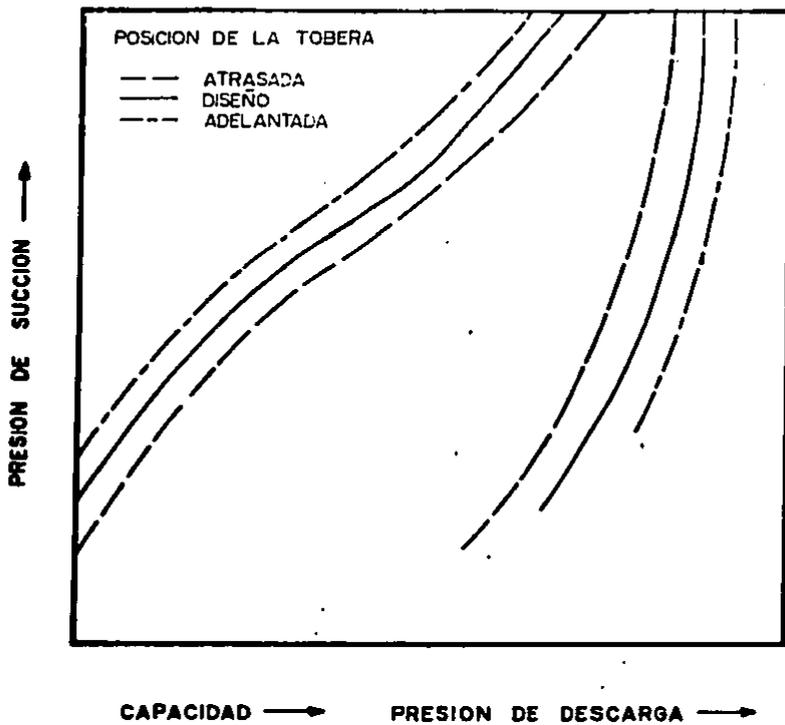


FIG. 2.9 EFECTO DE LA POSICION DE LA TOBERA

2.8.1.- ESTANDARES DEL HEAT EXCHANGE INSTITUTE.

El Heat Exchange Institute, HEI, ha editado los estándares para eyectores y equipo auxiliar más aceptados en la industria debido a que son los más completos. Dichos estándares son:

- 1) Estándar para Eyectores de Vapor.
- 2) Estándar para la prueba de Campo.
- 3) Código para la Medición del Sonido en un Eyector de Vapor.
- 4) Estándar de Construcción para Componentes de Eyectores de Vapor.
- 5) Estándar para Condensadores Barométricos.

2.8.2.- ESTANDARES DEL INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARIZATION (ISO).

El organismo Internacional Organization for Standardization (ISO), ha editado los siguientes estándares para eyectores:

- ISO 3529/I Tecnología de Vacío. Vocabulario. Términos Generales.
- ISO 3529/II Tecnología de Vacío. Vocabulario. Bombas de Vacío.
- ISO 1608/I Bombas de Vacío de Vapor. Medición de las Características de Operación. Parte I: Medición de la Velocidad de Bombeo.
- ISO 1608/II Bombas de Vacío de Vapor. Medición de las

Características de Operación. parte 2:
Medición de la Presión de Recuperación.

2.9.- MATERIALES Y REQUISITOS PARA LA CONSTRUCCION DE
EYECTORES.

2.9.1.- MATERIALES.

Debido a que los eyectores no presentan partes móviles, es factible de que puedan construirse en una gran variedad de materiales, para cumplir con las condiciones de operación y tipos de fluido. Sin embargo, el estándar para la construcción de eyectores editado por el HEI, recomienda los materiales más apropiados para la construcción de cada parte del eyector.

Para el caso de eyectores de vapor, uno de los factores a considerar es la alta velocidad del vapor al pasar por la tobera, la cual puede alcanzar velocidades entre 3000 y 4000 pies por segundo, teniendo efectos erosivos o corrosivos sobre el material. El otro factor se refiere al manejo de fluidos corrosivos o abrasivos que sean diferentes al vapor de agua como fluido motriz. Una última consideración se refiere a las características de resistencia a la corrosión o ercción del material de construcción.

2.9.2.- ESPESOR DE LA CAMARA DE SUCCION Y DIFUSOR.

Los difusores y las cámaras de succión consisten en secciones cónicas y cilíndricas, ya sea solas o en combinación. Las siguientes fórmulas son utilizadas para

determinar el espesor requerido por la presión interna:

(a) Sección Cónica

$$t = \frac{P D}{2 \cos \alpha (S E - 0.6P)} \quad (23)$$

(b) Sección Cilíndrica:

El espesor que sea más grande de:

$$t = \frac{P*r}{S*E - 0.6*P} \quad (24) \quad \text{o} \quad t = \frac{P*r}{2S*E + 0.4*P} \quad (25)$$

El diseño de la cámara de succión y el difusor, tendrán una presión de diseño de 15 psig como presión interna y el vacío total como presión externa.

2.10. NOMENCLATURA

A = Area, pies².

C = Velocidad del sonido, pies/seg.

D = Diámetro interior del cono máximo, medido perpendicularmente a su eje longitudinal, pulg.

E = Eficiencia en la unión de soldadura.

M = Número de Mach.

P = Presión Absoluta, psia.

PM = Peso Molecular, lb/lb-mol.

R = Constante Universal de los gases, 1545 ft-lb/(lb mol °R).

S = Esfuerzo permisible, psi.

T = Temperatura Absoluta, °R.

V = Volumen, ft³.

V.E. = Volumen Específico, ft³/lb.

W = Flujo, lb/seg.

\dot{W} = Flujo másico, lb_{masa}/seg.

ft = pie

g = Aceleración de la gravedad, 32.174 ft/seg.

h = Entalpía, ft-lb/lb

k = Relación de calores específicos.

lb = libra

n = Número de libras- moles.

p = Pérdidas en ft.

psi = libras por pulgada cuadrada.

psia = libras por pulgada cuadrada absolutas.

pulg = pulgada

r = radio interior del cilindro sin tolerancia por corrosión, pulg.

- t = Espesor requerido sin la tolerancia por corrosión, pulg.
v = Velocidad, ft/seg.
w = peso específico, lb/ft³
z = Energía Potencial, ft.
 α = Un medio del ángulo interior del elemento cónico.
 ρ = Densidad, lb_{masa}/ft³.

SUBINDICES

- c = crítico
ap = alta presión
bp = baja presión
t = Sección transversal de la tobera.
1 = Entrada de la tobera
2 = Descarga de la tobera
3 = Entrada del fluido succionado
4 = Entrada al difusor
5 = Salida de la sección de mezcla
6 = Descarga del difusor

CAPITULO III

SISTEMAS DE VACIO

C A P I T U L O I I I

S I S T E M A S D E V A C I O

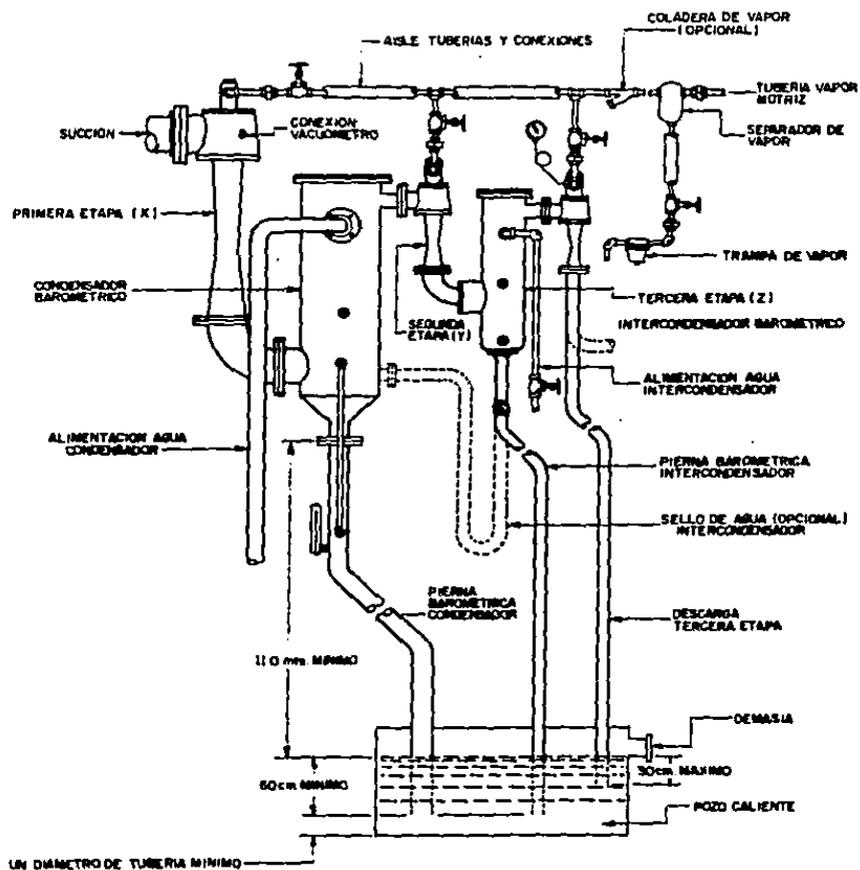
3.1.- GENERALIDADES.

Existen diversos arreglos de los sistemas de vacío, y se clasifican de acuerdo a los dispositivos que utilizan para la generación de vacío, el número de etapas y el uso de condensadores.

El sistema de vacío comprende de la fuente generadora de vacío y sus accesorios como son válvulas, tuberías, condensadores, recipientes sujetos a presión externa, etc., que en conjunto hacen posible la generación de la presión de vacío. (Ver fig. 3.1).

En este capítulo se estudiarán los condensadores para sistemas de vacío y diferentes sistemas de vacío, ya sea a base de eyectores, de bombas de vacío o la combinación de ambos.

Posteriormente se analizará un criterio de selección para distinguir cual es el sistema más adecuado para una determinada necesidad, ya que el comparar los sistemas disponibles, para un proceso específico o una aplicación de propósitos generales, es difícil y lento. Este capítulo



EJEMPLO DE UN SISTEMA DE VACIO
(A BASE DE EYECTORES)

FIG. 3.1

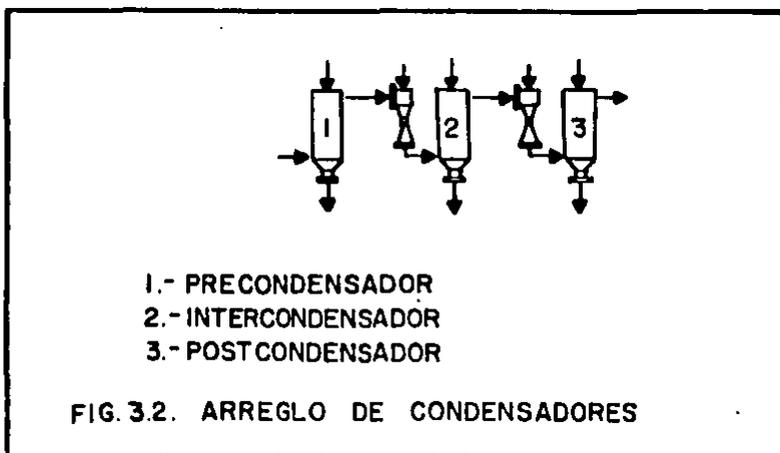
presenta además las consideraciones de proceso, económicas y ambientales más importantes para la selección de la fuente productora de vacío y se discuten las características de varios sistemas de bombeo conforme se relacionan a tales consideraciones.

3.2.- CONDENSADORES.

Los condensadores en los sistemas de vacío juegan un papel de mucha importancia, máxime si se trata de un sistema de eyectores de varias etapas, ya que en el caso de dos o más etapas en serie, la descarga del fluido de la primera etapa constituye el flujo a la succión de la segunda etapa, que junto con el vapor requerido para esta última, resultará la carga para el tercer eyector. Esto en otras palabras, significa que es el factor que ocasiona que el tamaño de los eyectores de etapas en serie vaya creciendo conforme aumenta la cantidad de flujo entre cada etapa. Por lo tanto, es deseable disminuir la cantidad de flujo de carga a cada etapa, de tal manera de que el tamaño de los eyectores no aumente de una manera desmesurada. La manera más práctica de disminuir ese tamaño de los eyectores posteriores a la primera etapa, siempre y cuando las condiciones de operación lo permitan, es por medio de condensadores colocados precisamente antes de la boquilla de succión cuya función será el condensar los vapores saturados presentes en la corriente de proceso, ya que así el requerimiento de fluido motriz se minimiza y con ello, las dimensiones finales del equipo.

3.2.1.- TIPOS DE CONDENSADORES.

Los condensadores de un sistema pueden ser precondensadores, intercondensadores o postcondensadores en función de las condiciones de operación y de su colocación antes, entre o después de cada etapa respectivamente. (ver fig. 3.2.)



-El precondensador tiene como objetivo principal reducir la carga original de diseño y operación del sistema de vacío, condensando el vapor saturado y enfriando los incondensables, minimizando al mismo tiempo, el contenido de sólidos y/o el arrastre del líquido.

-El intercondensador es el tipo de condensador más utilizado, ya que su función principal es la de disminuir la carga de vapores que vayan a la succión de la siguiente etapa.

-El Postcondensador opera por lo general a presión atmosférica, además de que no tiene efecto sobre el consumo de vapor ni sobre la operación del sistema, por lo que son los menos utilizados.

Otra forma de clasificar a los condensadores es por medio de los arreglos de flujo. Los tipos básicos de arreglo de flujo del vapor y el medio de enfriamiento son en paralelo y contracorriente, según la dirección que tengan ambos fluidos.

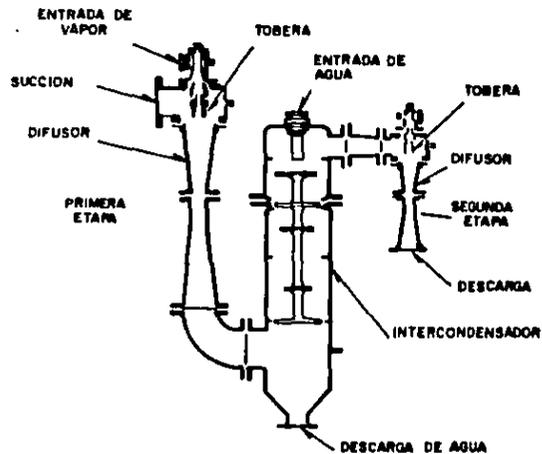
Además, los condensadores pueden ser clasificados de otra forma, según a la manera de realizar la condensación:

- a) Condensadores de Contacto Directo.
- b) Condensadores de Contacto Indirecto o de Superficie.

Primeramente, se analizará de una manera más detallada los primeros, debido a que son los más utilizados en los sistemas de vacío, para posteriormente estudiar de una manera somera los segundos. (Ver figs. 3.3 y 3.4.)

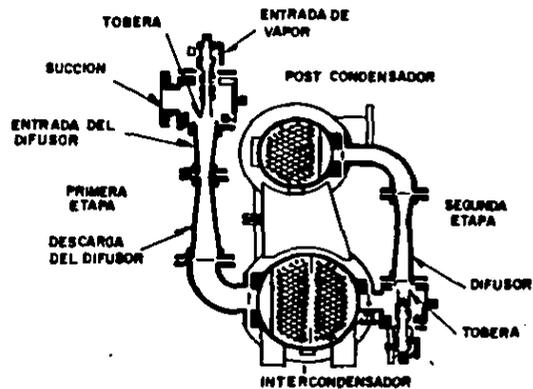
3.2.2.- CONDENSADORES DE CONTACTO DIRECTO.

Los condensadores de contacto directo son baratos y de fácil construcción, pero tienen limitaciones en sus



**CONDENSADOR BAROMETRICO
ó DE CONTACTO DIRECTO**

FIG. 3.3



CONDENSADOR DE SUPERFICIE

FIG. 3.4

aplicaciones debido a la mezcla de las corrientes y a los escasos métodos de diseño que hay en la actualidad.

La transferencia de calor en estos equipos se realiza de una manera excelente, gracias a la eliminación de la pared intermedia, lo que significa también que no habrá ni ensuciamiento ni incrustaciones en el condensador, que aunado a la posibilidad de obtener una gran área de contacto entre los fluidos, se traduce en equipos de intercambio térmico compactos debido a su alta eficiencia en dicho intercambio de calor, aspecto particularmente valioso en operaciones de vacío en presencia de incondensables. Es por ello que la selección de los sistemas de distribución del medio de condensación, se enfoca al mayor contacto posible entre las fases. (Ver fig. 3.5.)

Independientemente de su construcción interna, los condensadores de contacto directo para sistemas de vacío se clasifican en dos tipos principales, de acuerdo a la forma de evacuación de la mezcla condensado-medio de condensación desde la reducida presión interna del equipo hasta un recipiente atmosférico o a mayor presión, estos son: el condensador de bajo nivel y el condensador barométrico.

-Condensadores de Bajo Nivel.

En este tipo de sistema, se utilizan bombas para desalojar al líquido del condensador en combinación con controladores de nivel.

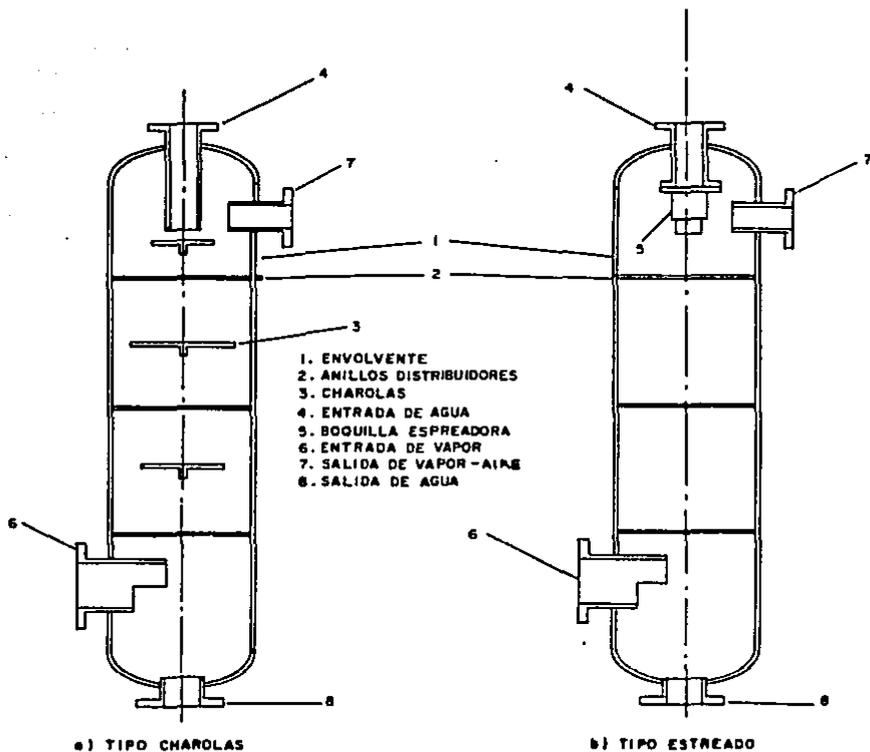


FIG. 3.5 ARREGLOS DE INTERNOS DE CONDENSADORES DE CONTACTO DIRECTO

-Condensadores Barométricos.

El método común para desalojar el líquido del condensador, es por medio de una pierna barométrica a la cual debe su nombre el equipo y que consiste de una tubería de descarga con una altura tal que permite el drenado del agua desde el vacío hasta la atmósfera. Esta altura es de 35 pies a nivel del mar y varía de acuerdo a la presión atmosférica del sitio en que se ubica el sistema de vacío, es decir que la carga hidrostática del líquido balancea la diferencia de presiones entre el interior del equipo y el recipiente de descarga. La fig. 3.6 muestra dos etapas de condensadores barométricos, en los cuales se eliminan los vapores y los condensados enviándolos a un pozo caliente, mientras que los incondensables son manejados por eyectores o bombas de vacío después de cada etapa de condensación.

Para su construcción, los condensadores de contacto directo pueden ser del tipo alberca, espreado, a chorro o húmedos, de cascada y de lluvia, pudiendo existir una gran diversidad de construcciones y arreglos internos.

-Condensadores Tipo Alberca.

En estos equipos, el vapor se inyecta dentro de un recipiente o una alberca de líquido haciéndola burbujear, ya sea para precalentar un fluido del proceso, mantener una temperatura o eliminar algún vapor que salga de una reactor.

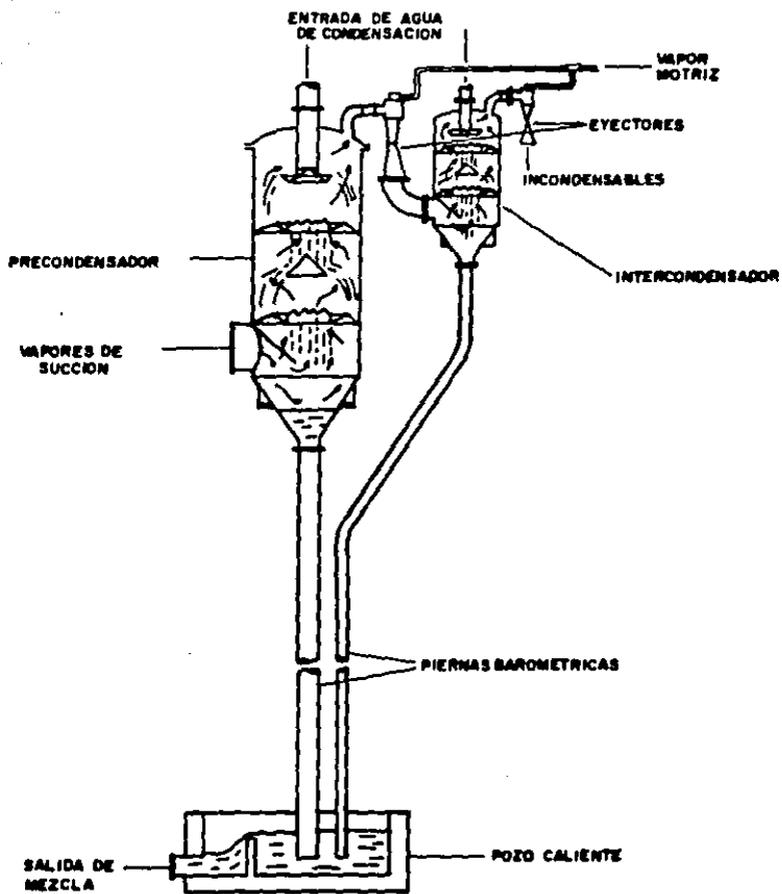


FIGURA 3.6 ARREGLO DE LA PIERNA BAROMETRICA

-Condensadores Tipo Espreado.

Estos equipos son de construcción muy simple y económica, consistiendo principalmente de un recipiente cilíndrico en cuyo domo se localizan espreas de atomización del líquido.

La función de las espreas es la creación de una fase líquida altamente dispersa por medio de atomización en un espacio de vapor, de tal manera que este último condense sobre las superficie de las gotas formadas. Para generar estas gotas líquidas se utilizan las espreas, cuya base de funcionamiento es la atomización por medio de presión. Estas se clasifican en función del tipo de espreado, de la siguiente manera:

- a) Centrifugas
- b) Remolino
- c) Rectas

En todas ellas, la atomización se logra haciendo pasar el líquido por un orificio de diámetro muy pequeño. Un aspecto muy interesante en las espreas de tipo centrifugo y remolino, es que imparten un movimiento circular al líquido antes de que llegue a la descarga. Este movimiento se logra por medio de dispositivos internos o ranurados en la cámara de la esprea, o de otra manera, haciendo pasar el líquido a dicha cámara en una forma tangencial. En ambos casos, el fluido espreado adquiere una forma cónica, de gotas de tamaño muy pequeño y ampliamente disperso.

La esprea de tipo centrifugo genera conos huecos y la de remolino conos sólidos. (Ver fig. 3.7.) Por su parte, las espreas rectas generan espreados no muy uniformes en cuanto al tamaño de la partícula, sin embargo, se logran obtener espreados de diversas formas tales como planos elípticos.

El condensador de espreas tiene las siguientes ventajas sobre los otros condensadores de contacto directo:

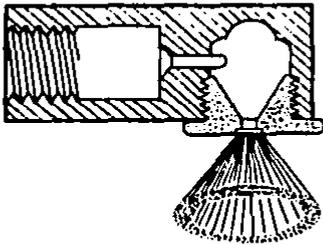
- Requiere menor cantidad de agua
- Proporciona mayor área de transferencia interfacial por unidad de volumen.
- Caída de presión muy baja.

Sin embargo, una desventaja que tienen estos condensadores es que las espreas pueden taponarse fácilmente si se utilizan fluidos sucios o con sólidos en suspensión.

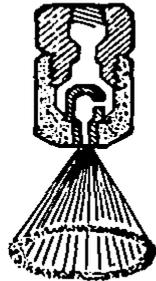
-Condensadores a Chorro o Húmedos.

En estos equipos se inyectan chorros de líquido a alta velocidad por medio de boquillas colocadas en el domo del recipiente cilíndrico. Las boquillas generan corrientes sólidas de chorros de agua a alta velocidad que descargan generalmente en un receptor cónico o de tipo venturi. Con este efecto se arrastra todo o por lo menos una parte substancial de los incondensables hacia la pierna barométrica, de modo que descargan junto con el efluente de agua. En un condensador de este tipo, se tienen varias corrientes a chorro que convergen en el receptor de agua. (Ver fig. 3.8 a y d.)

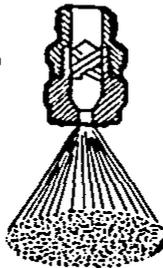
BOQUILLAS TIPO CENTRIFUGO



CONO VACIO



BOQUILLA TIPO REMOLINO



CONO LLENO

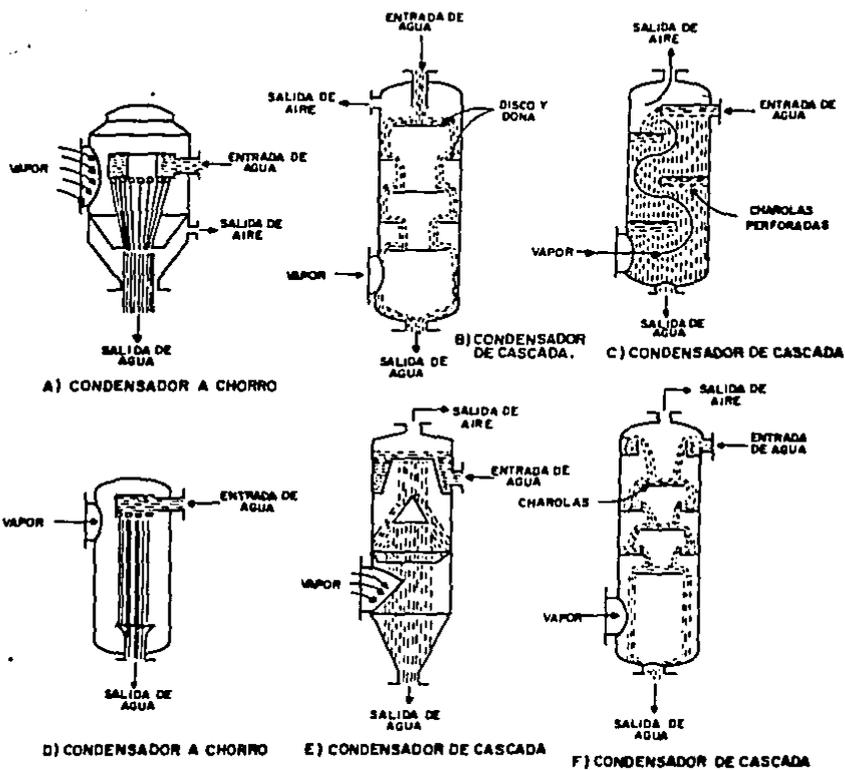
TIPOS DE ESPREAS

FIG. 3.7

Generalmente no cuentan con venteo debido a que el chorro del líquido, además de condensar vapores, tiene la función de inducir con él la salida de los gases incondensables, constituyendo ésto su ventaja principal por la eliminación de la bomba o eyector de vacío. Su desventaja es que requiere más agua que los otros tipos de condensadores de contacto directo tipo cascada o esreado, además de su inestabilidad de operación como generadores de vacío, empleándose mejor en aquellos casos en que la proporción de los gases incondensables es baja, los requerimientos de vacío no son muy altos o bien cuando las condiciones de operación son muy estables y no están sujetas a modificaciones constantes. Este tipo de condensador es el más simple entre los del tipo barométrico, pero lo más frecuente es encontrarlo como condensador de bajo nivel por requerir mayor control del nivel del líquido dentro del mismo.

-Condensadores de Cascada.

Dentro de esta clasificación pueden englobarse los condensadores de lluvia, existiendo una amplia gama de construcciones como se muestra en las figs. 3.8 b, c, e y f. También se denominan condensadores de contacto directo a contracorriente, gracias a que la disposición de sus elementos internos fuerza a los fluidos a seguir en ese patrón de flujo. Los baffles o charolas son placas metálicas, colocadas alternativamente a lo largo del cuerpo del condensador



ARREGLOS DE FLUJO DE CONDENSADORES DE CONTACTO DIRECTO
 FIG. 3.8

ESTA TESIS NO DEBE
 SALIR DE LA BIBLIOTECA

pueden ser segmentadas o del tipo de disco y dona. Dichas placas se encuentran espaciadas una cierta distancia para permitir la interacción líquido-vapores y facilitar el flujo de ambas fases. Adicionalmente, las placas pueden ser perforadas. Esta última característica determina en gran medida el patrón del flujo descendente el agua, ya que cuando las charolas son sólidas, el agua fluye como cascadas entre una y otra, en tanto que si son perforadas, el agua desciende en forma continua desde el distribuidor en el domo, hasta la descarga del condensador. Los baffles o charolas se aplican donde la cantidad de condensables es ligeramente apreciable y la caída de presión de vapor no es una variable restrictiva. Requieren de una bomba o eyector de vacío para el desalojo de los incondensables y se colocan generalmente a una altura barométrica. A pesar de obtenerse mayores potenciales térmicos, las velocidades de transferencia de calor son menores que en condensadores de tipo esparado, debido a que se obtienen menores áreas de contacto entre las fases.

Los equipos tipo esparados, a chorro o de cascada, son usados mayormente en la operación de condensación para servicios a vacío, pudiendo ser barométricos o de bajo nivel.

- Diseño de Condensadores de Contacto Directo.

La información disponible para el diseño de estos condensadores es escasa, además de que se encuentra dispersa. Por otro, lado una información más completa sería del tipo confidencial por pertenecer a los fabricantes de estos equipos.

Sin embargo, la geometría básica de estos condensadores es tan simple que una unidad sobrediseñada no implica un costo adicional muy elevado.

Es un hecho que la operación de un condensador no puede ser exactamente predecida para cada situación y para las diferentes condiciones de operación, y consecuentemente, las curvas o tabulaciones de la operación de un condensador son solo aproximadas, excepto para una condición específica llamada "Punto de Diseño".

La fórmula básica para determinar la cantidad requerida de agua de condensación es la siguiente (ref. 6):

$$GPM = \frac{Q}{500 * \Delta T} \quad (1)$$

El calor transmitido (Q), al agua de condensamiento es obtenida por el cálculo de balance de calor de acuerdo a la siguiente fórmula y al diagrama de la figura 3.5 donde se relacionan los subíndices con las entradas y salidas del condensador (ref. 6):

$$Q_c = (Q_{\text{ent. vapor}} - Q_{\text{sal. no cond.}}) - Q_{\text{sal. agua}} + Q_{\text{no cond.}} \Delta T$$

$$Q_c = ((W_6 * h_{g6}) - (W_7 * h_{g7})) - ((W_6 - W_7) * h_{fg}) + (W_a * c_p * (t_6 - t_7)) \quad (2)$$

La diferencia terminal de temperaturas está normada por el diseño del condensador, las condiciones de operación o bien para la combinación de ambos y se recomienda una diferencia terminal de temperaturas de 5 °F para condiciones de operación normales. Cuando la carga contenga una cantidad

mínima de gases no condensables, la diferencia terminal de temperaturas puede ser hasta de 3 °F. Cuando la carga del condensador tenga una alta cantidad de gases no condensables, se recomienda que la diferencia terminal sea mayor de los 5°F.

La temperatura del agua de salida está determinada por la sustracción de la diferencia terminal de temperaturas y por la temperatura correspondiente de la presión absoluta parcial del vapor condensable a la entrada del condensador.

La presión parcial absoluta, es calculada de acuerdo a la ley de Dalton, al asumir que la relación de la presión parcial a la presión total de la mezcla, es exactamente igual a la relación de los moles de vapor de agua (o vapores condensables) a la cantidad total de moles de la mezcla. Para una mayor comprensión de lo anterior, se da el siguiente ejemplo:

Carga del Condensador

Cantidad de Aire	100 lbs/hr.
Cantidad de Vapor de Agua	1000 lbs/hr.
Presión de Succión	2 pulg Hg Abs.
Peso Molecular de Aire	28.97
Peso Molecular del Vapor de Agua	18.00

$$\text{Moles de Aire en la Mezcla: } \frac{100}{28,97} = 3.45$$

$$\text{Moles de Vapor de Agua en la Mezcla: } \frac{1000}{18} = 55.55$$

$$\text{Moles Totales en la Mezcla: } \underline{59.00}$$

Pv = Presión Parcial del Vapor Condensable
 Pt = Presión Total de la Mezcla

$$\frac{P_v}{P_t} = \frac{\text{Moles de Vapor Condensable}}{\text{Moles Totales de la Mezcla}} \quad (3)$$

$$P_v = 2.00 * \frac{55.55}{59.00} = 1.88 \text{ pulg. Hg Abs.}$$

La temperatura de vapor de agua saturada correspondiente a 1.88 pulg. Hg Abs. es de 99.08 °F.

$$\text{La temperatura del agua de salida: } 99.08 \text{ °F} - 5 \text{ °F} = 94.08 \text{ °F}$$

Continuando con el ejemplo, supóngase que hay una transferencia de calor de 950 BTU/lb de vapor de agua y una temperatura del agua de entrada de 70 °F, entonces la cantidad del agua de condensados se calcula como sigue:

$$\text{Incremento de Temperatura: } 94.08 \text{ °F} - 70 \text{ °F} = 24.08 \text{ °F}$$

La cantidad del agua de condensados es calculada en base a la ecuación 1:

$$\frac{1000 * 950}{500 * 24.08} = 78.9 \text{ GPM}$$

La presión total a la salida del aire-vapor será igual a la presión de succión menos 0.1 pulg Hg. Cuando la proporción relativa de gases no condensables es considerable, la caída de presión puede ser mayor de 0.1 pulg Hg. por lo que se deberá tomar en cuenta para los cálculos.

La pierna barométrica es la tubería de descarga que se coloca desde el condensador hasta el nivel del suelo y está en función de un balance hidráulico que incluye las pérdidas por fricción y la carga hidrostática del líquido. Esa altura es calculada por la siguiente ecuación (ref. 6):

$$H = (P_{\text{atm}} + P_f) * 144 \text{ (FS)} / \rho \quad (4)$$

Una pierna barométrica es un dispositivo simple y que casi no tiene posibilidad de falla, usa la fuerza de la gravedad para llevar el agua abajo y sacarla del condensador contra una presión atmosférica.

Como se observó en la fórmula anterior, la longitud de la pierna depende del vacío que exista contra el condensador. A nivel del mar, la presión atmosférica es de 30 pulg Hg Abs que es equivalente a 35 pies de columna de agua.

En sistemas donde se tiene la certeza de que el eyector solamente desarrollará un vacío moderado, aún sin carga, se podría utilizar una pierna barométrica más corta. Si el sistema se encuentra a niveles de altitud arriba del nivel del mar, la pierna se modificará igualmente.

3.2.3.- CONDENSADORES DE CONTACTO INDIRECTO O DE SUPERFICIE.

Los condensadores de superficie son equipos de tubos y envolvente cuya geometría, diseño y fabricación son bastante más complicados que los condensadores de contacto directo. El equipo consta de un haz de tubos por el cual circula uno de los fluidos y la envolvente que recubre el haz y delimita al espacio por donde se desplaza el otro fluido. La condensación se realiza en la superficie interna o externa de los tubos. En este caso los procesos de transferencia de momentum y calor requieren de áreas

de flujo y superficie muy grandes, por lo que en algunos casos, estos condensadores pueden llegar a ser grandes y voluminosos.

3.2.3.1.-CODIGOS.

El diseño y fabricación de los intercambiadores de calor está regido por códigos internacionales y/o locales, así como por especificaciones propias de cada cliente.

-Código ASME.

El código que tiene aceptación universal en la industria de Refinación y Petroquímica, es el que publica la American Society of Mechanical Engineers (ASME) y en particular la sección VIII, División 1, titulada "Reglas para la Construcción de Recipientes a Presión". Este código presenta los requerimientos mínimos para el diseño, fabricación, inspección y certificación de recipientes sujetos a presiones desde el vacío total hasta 3000 psig.

-Estándar TEMA.

Según la asociación Tubular Exchanger Manufacturers Association, TEMA, establece la nomenclatura que es hasta ahora de las más aceptadas para los tipos básicos de intercambiadores.

Dentro del estándar TEMA se consideran tres tipos de intercambiadores: Clase R, Clase C y Clase B. Para especificar apropiadamente la clase de intercambiador se deben considerar: la diferencia en costo entre una y otra, las

condiciones de servicio, el mantenimiento, la intercambialidad de partes, etc. Comúnmente la selección se hace en los siguientes términos.

-TEMA Clase R.

Generalmente se aplica a condiciones rigurosas de servicio y mantenimiento como las requeridas en las plantas de Refinación y Petroquímica. Normalmente se seleccionan para el manejo de hidrocarburos ligeros y otros servicios clasificados como peligrosos o tóxicos.

-TEMA Clase C

Generalmente se aplica a condiciones de servicio moderadas en aplicaciones comerciales y procesos generales. Normalmente servicios clasificados como no peligrosos.

-TEMA Clase B

Generalmente se aplica a condiciones de servicio modernas en procesos químicos. Normalmente es seleccionado para servicios químicos que no requieren más de 1/16" de tolerancia por corrosión y para líquidos inflamables pero que no se vaporicen a rápidamente a presión atmosférica.

El estándar TEMA establece también la nomenclatura para sus partes y componentes típicos.

- Tamaño.

El tamaño de la envolvente y haz de tubos se designa por números que describen el diámetro de éstos y la longitud de tubos como sigue:

-Diámetro Nominal.

El diámetro nominal será el diámetro interno de la envolvente. Para envolventes tipo Kettle, el diámetro nominal será el diámetro del canal seguido por el diámetro de la envolvente. Los valores serán en pulgadas y redondeados a su entero más próximo.

-Longitud Nominal.

En tubos rectos será la longitud real de los tubos y para tubos en "U" se tomará la longitud recta hasta la tangente de la "U". Ambas longitudes se dan en pulgadas.

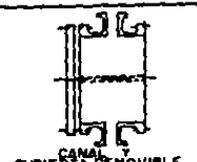
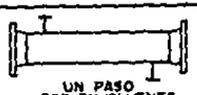
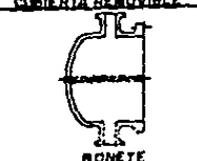
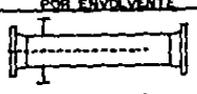
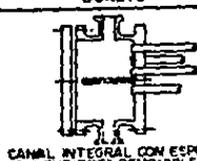
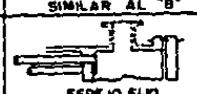
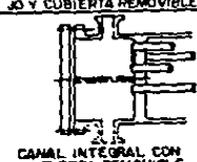
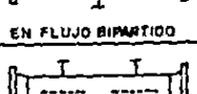
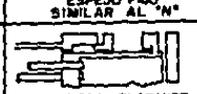
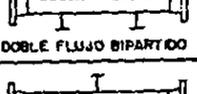
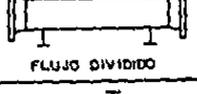
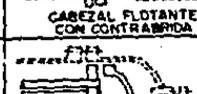
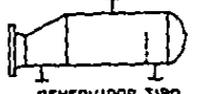
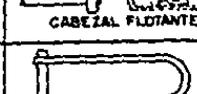
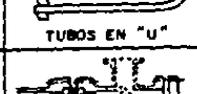
-Tipo.

El tipo de intercambiador se designa por una serie de letras, en base a la fig. 3.9. La primera indica el tipo de construcción del canal de admisión; la segunda, el tipo de construcción de la envolvente (se escribe "-" si solo es un haz de tubos); y la última letra el tipo de construcción del cabezal de retorno.

3.3.- SISTEMAS DE VACIO A BASE DE EYECTORES.

Existen diversos arreglos de los sistemas de vacío a base de eyectores y se clasifican de acuerdo al número de etapas, junto con el tipo y localización de los condensadores en el sistema.

La selección del arreglo en un sistema de vacío, será básicamente de acuerdo con la presión de succión deseada

CABEZAL DE ADMISION		ENVOLVENTE	CABEZAL DE RETORNO		
A	 CANAL Y CUBIERTA REMOVIBLE	E	 UN PASO POR ENVOLVENTE	L	 ESPEJO FLUJ. SIMILAR AL "A"
B	 BONETE	F	 DOS PASOS POR ENVOLVENTE	M	 ESPEJO FLUJ. SIMILAR AL "B"
C	 CANAL INTEGRAL CON ESPEJO Y CUBIERTA REMOVIBLE	G	 EN FLUJO BIPARTIDO	N	 ESPEJO FLUJ. SIMILAR AL "N"
M	 CANAL INTEGRAL CON CUBIERTA REMOVIBLE	H	 DOBLE FLUJO BIPARTIDO	P	 CABEZAL FLOTANTE EMPACADO EXTERNAMENTE
O	 CABEZAL ESPECIAL DE ALTA PRESION	J	 FLUJO DIVIDIDO	S	 CABEZAL FLOTANTE CON CONTRABANDA
		K	 RENERVIDOR TIPO KETTLE	T	 CABEZAL FLOTANTE
		X	 FLUJO CRUZADO	U	 TUBOS EN "U"
				W	 ESPEJO FLOTANTE SELLADO EXTERNAMENTE

NOMENCLATURA DE INTERCAMBIADORES DE CALOR DE TUBO Y ENVOLVENTE

FIG. 3.9.

y el tipo de fluido a manejar, para ello se tiene la disponibilidad de usar hasta seis etapas de eyectores. La fig. 3.10, muestra las capacidades y grados de vacío que se pueden lograr con los diferentes sistemas de eyectores.

3.3.1.- ETAPA SIMPLE.

Como se había visto anteriormente, la relación de compresión máxima que desarrolla un eyector es aproximadamente de 10 a 1. Por lo tanto, se especificará un sistema de una sola etapa cuando la relación de compresión no exceda a dicho valor, con el objeto de obtener una economía razonable de consumo de vapor.

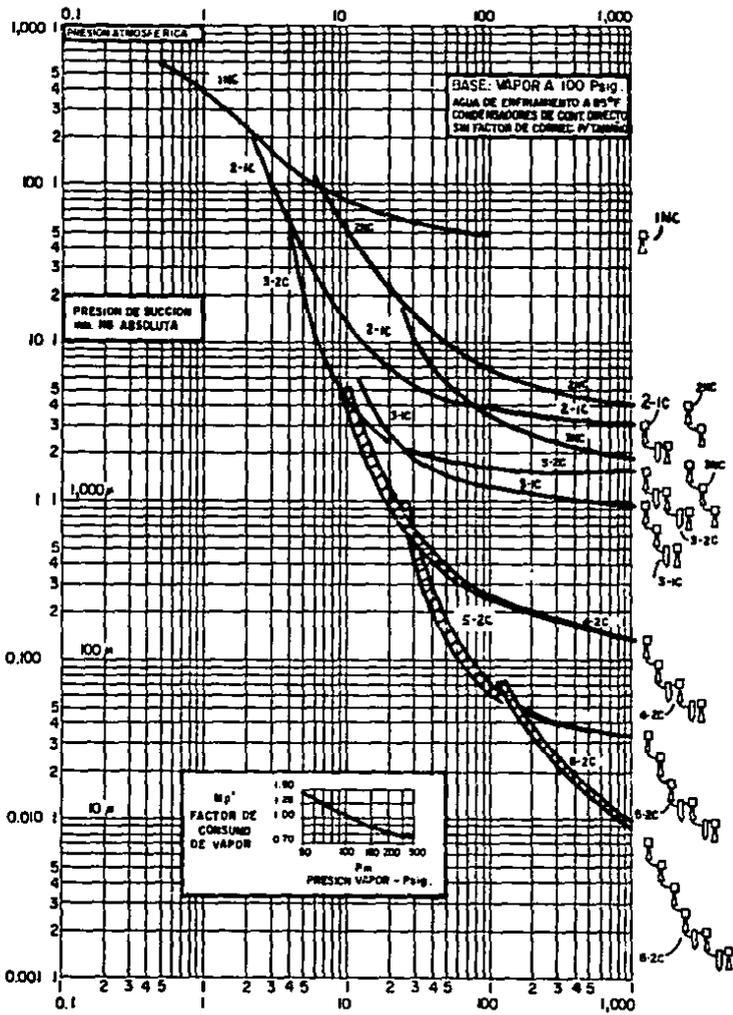
Existen dos tipos de sistemas de eyectores de una sola etapa, los cuales son:

a) Etapa Simple, Elemento Simple.

Es el sistema más sencillo ya que sólo consta de un solo elemento, o sea, un eyector. (Fig. 3.11 A), el cual está diseñado para operar a una presión de succión por debajo de la atmosférica y descargar a una presión mayor.

b) Etapa Simple, Elementos Múltiples.

Este tipo de arreglo, que aunque no es muy usual, tiene su principal aplicación en el manejo de grandes volúmenes de gas o vapor para succionar a un nivel de vacío medio. El sistema consiste en dos o más eyectores colocados en paralelo, tal como se puede observar en la fig. 3.11.B.



R_a, LIBRAS DE VAPOR MOTRIZ POR LIBRA DE AIRE SUCCIONADO
 (SUMAR EL 20% PARA EL FACTOR DE CORRECCION DE TAMAÑO TÍPICO)

FIG. 3.10

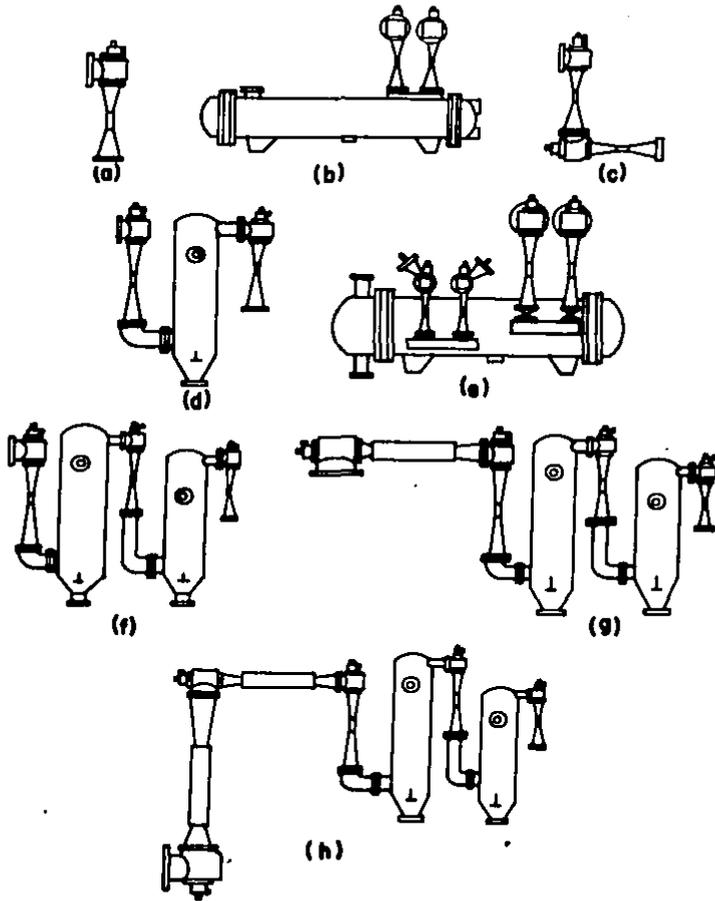


FIG. 3.11 DIFERENTES TIPOS DE ARREGLOS

3.3.2.-SISTEMAS DE EYECTORES DE MULTITETAPAS

La característica general de los sistemas de eyectores multitapas es que utilizan por lo menos dos eyectores en serie, y la mayoría de las veces tienen integrado uno o más intercondensadores para condensar el vapor motriz proveniente de la etapa o las etapas que lo o los anteceden con el objeto de disminuir la cantidad de vapor motriz requerido para las etapas subsecuentes.

La fig. 3.12 muestra la terminología que se emplea en los sistemas de eyectores multitapas. Como se puede observar, cada etapa del eyector y condensador tiene una o más letras distintas como símbolo, las cuales están en función de su posición en el sistema, tomadas en base a la última etapa que se le asigna con la letra "Z". Las etapas precedentes se nombran en sentido inverso, por ejemplo, la etapa directamente precedida de la etapa "Z", deberá tener la letra "Y".

Los intercondensadores son asignados con dos letras que son las correspondientes a las etapas en las que se encuentra localizado, por ejemplo, un condensador que sea "YZ" es aquél que se encuentra entre las etapas "Y" y "Z". junto con la letra del eyector que le sigue. Por ejemplo, si se usa un precondensador delante de un sistema de dos etapas, se le asignará la clave "PY". Todas las designaciones deberán de ser precedidas por el número de serie de la unidad que proporciona el fabricante.

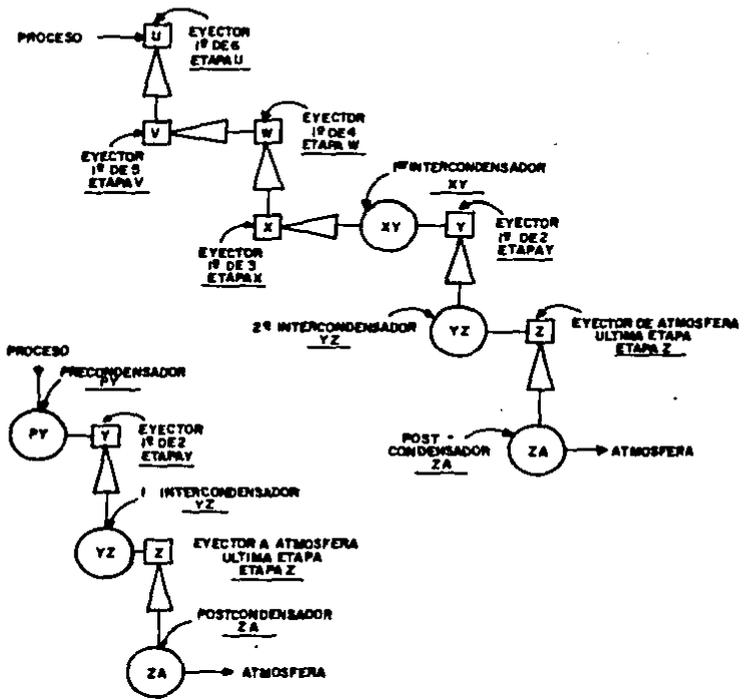


FIG. N. 3.12 NOMENCLATURA DE ETAPAS, DE ACUERDO A SU POSICION EN EL SISTEMA.

Los principales arreglos de multietapas que se utilizan son los siguientes:

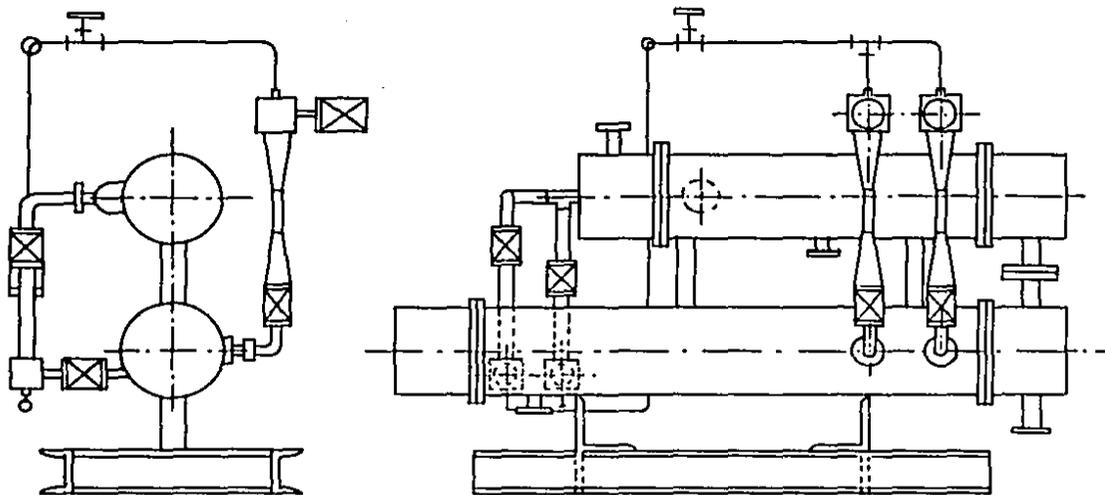
a) Multietapas, Elemento Simple. Consiste de dos o más eyectores arreglados en serie, el primero y cualquier otro eyector intermedio se diseñará para operar a presiones de succión y descarga por debajo de la presión atmosférica, el eyector final, se diseña para descargar a una presión atmosférica o mayor. (Ver fig. 3.11 c, d, f, g. y h)

b) Multietapas, Elementos Múltiples. Este tipo de unidad está formado por dos o más multietapas arregladas en paralelo, como se puede ver en la fig. 3.11 e. Este arreglo permite la operación de cualquiera de las multietapas independientemente o en combinación entre ellas. Puede usarse en condensadores comunes con válvulas en cada etapa o condensadores subdivididos. (Ver fig. 3.13 y 3.14.)

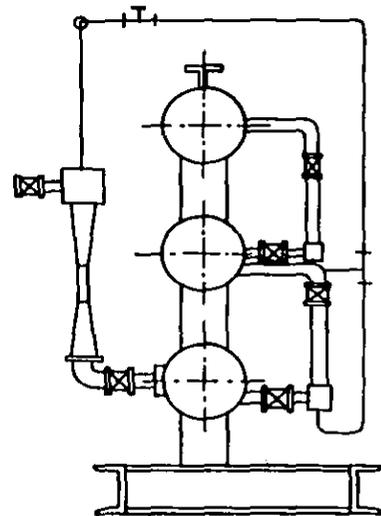
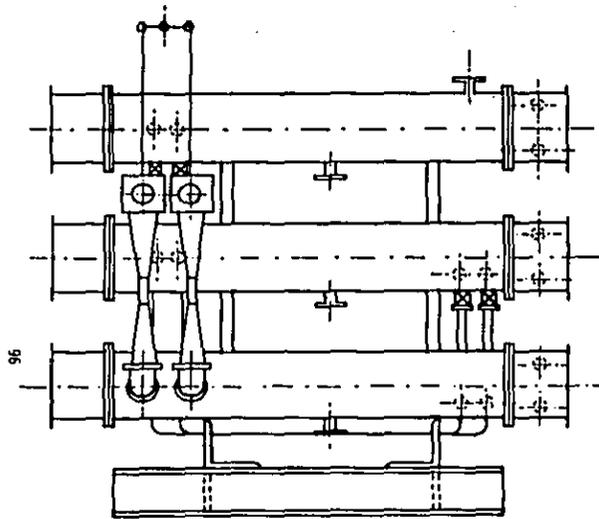
3.3.3.- EVALUACION.

La evaluación principal para un sistema de eyectores, es la comparación de su capacidad contra una base establecida que es el aire seco equivalente (DAE, por sus siglas en inglés), a 70 °F, de acuerdo al estándar HEI que se utiliza para la evaluación de eyectores, para ello se seguirán los siguientes pasos, según las condiciones que se tengan en la succión:

a) Aire con Temperatura Diferente de los 70 °F.



**FIG. No. 3.13 ARREGLO DE DOS ETAPAS Y ELEMENTOS GEMELOS CON
CONDENSADOR DE TUBOS Y ENVOLVENTE**



**FIG. N. 3.14 ARREGLO DE TRES ETAPAS Y ELEMENTOS GEMELOS CON
CONDENSADORES DE TUBOS Y ENVOLVENTE**

El aire equivalente a 70 °F se obtiene utilizando los datos de la curva "Relación de Temperaturas". (Ver fig. 3.15). Por ejemplo: El aire equivalente a 70 °F de 75 lb/hr de aire a 700°F es:

$$DAE = \frac{75 \text{ lbs./hr aire}}{0.85 \text{ lbs./hr aire}} = 88.2 \text{ lb/hr. aire a } 70 \text{ °F}$$

b) Vapor de Agua.

El primer paso es determinar el vapor equivalente a 70 °F usando la relación de temperaturas (para el vapor, de la fig. 3.15). Posteriormente se calculará el aire equivalente, con la curva de "Relación de Peso Molecular", de la fig. 3.16. Por ejemplo, el vapor equivalente a 70 °F de 1500 lb/hr de vapor a 400°F es:

De la fig. 3.15:

$$V.E. = \frac{1500 \text{ lb/hr vapor}}{0.89 \text{ lb/hr vapor}} = 1685 \text{ lb/hr vapor a } 70 \text{ °F}$$

De la fig. 3.16:

Con el peso molecular del vapor de 18 se obtiene:

$$DAE = \frac{1685 \text{ lb/hr vapor a } 70 \text{ °F}}{0.81 \text{ lb/hr vapor a } 70 \text{ °F}} = 2080 \text{ lb/hr aire a } 70 \text{ °F}$$

c) Mezclas de Vapor y Aire:

En este caso el aire equivalente, DAE, se calcula por separado de acuerdo a los incisos a y b, para posteriormente sumarse. Por ejemplo, si se tienen 660 lb/hr de una mezcla

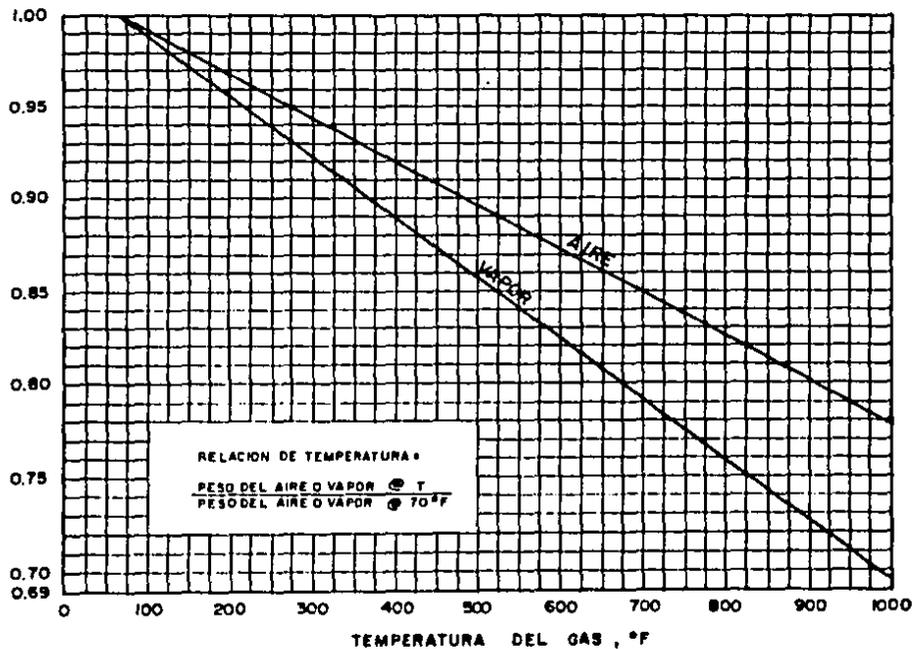


FIGURA 3.15 RELACION DE TEMPERATURAS

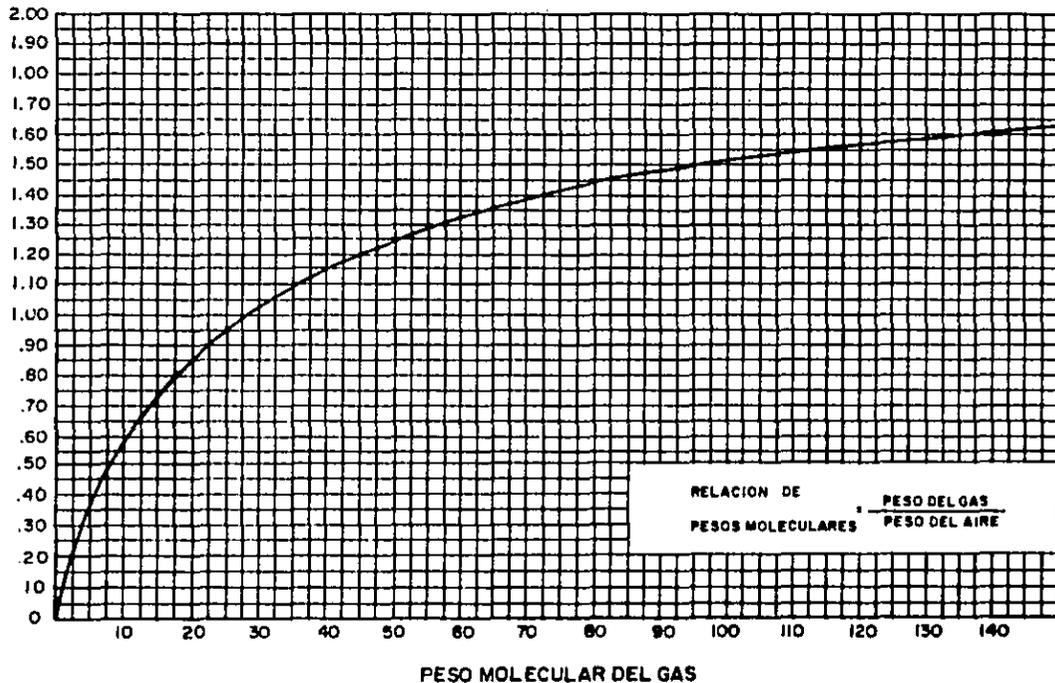


FIGURA 3.16 RELACION DE PESOS MOLECULARES

consiste en 200 lb/hr de aire y 460 lb/hr de vapor a 400°F.
El aire equivalente de la mezcla es:

De la fig. 3.15:

$$DAE = \frac{200}{0.921} = 217 \text{ lb/hr de aire a } 70^\circ\text{F}$$

El aire equivalente del vapor es:

De la fig. 3.15:

$$V.E. = \frac{460}{0.892} = 516 \text{ lb/hr de vapor a } 70^\circ\text{F}$$

De la fig. 3.16

$$DAE = \frac{516}{0.81} = 637 \text{ lb/hr aire a } 70^\circ\text{F}$$

Por lo tanto, el aire equivalente a 70°F de la mezcla
es:

$$DAE = 217 + 637 = 854 \text{ lb/hr .}$$

d) Mezclas de Gases que no Contengan Vapor de Agua.

El aire equivalente se determina primero calculando el peso molecular por medio de la mezcla de gases, luego el aire equivalente en la fig. 3.16 y el aire equivalente a 70°F utilizando al curva del aire de la fig. 3.15. Por ejemplo se da el siguiente caso:

Se tiene una mezcla que consiste de 6 lb/hr de He, haciendo un total de 200 lb/hr, el peso molecular promedio se determina dividiendo el peso total entre la suma de las lb mol/hr totales de la mezcla de gases:

$$\begin{aligned}
 \text{CO}_2: & \quad 6/44 = 0.136 \text{ lb mol/hr} \\
 \text{N}_2: & \quad 24/28 = 0.857 \text{ lb mol/hr} \\
 \text{Ar:} & \quad 62/40 = 1.550 \text{ lb mol/hr} \\
 \text{He:} & \quad \frac{108}{200} \cdot 4 = \frac{27.00}{29.543} \text{ lb mol/hr}
 \end{aligned}$$

El peso molecular promedio es de $200/29.543 = 6.77 \text{ lb/mol}$

Considerando el aire equivalente de 200 lb/hr de mezcla con 6.77 de peso molecular y en la fig. 3.16 se obtiene una relación de peso molecular de 0.44 por lo que el peso del aire por hora es el siguiente:

$$P.A. = \frac{200}{0.44} = 454.91 \text{ lb/hr a } 400^\circ\text{F}$$

, y en la fig. 3.15 con la curva de aire se tiene que:

$$DAE = \frac{454.91}{0.921} = 493.53 \text{ lb/hr}$$

e) Mezclas de Gases Incluyendo Vapor de Agua.

Cuando se tiene este tipo de mezcla, el aire equivalente a 70°F del vapor se calcula de acuerdo al punto (b) anterior, y el aire equivalente a 70°F de los demás gases se calcula como se indica en el punto (d), sumándose ambos resultados.

El siguiente paso para la evaluación del eyector, es obtener la relación de libras de vapor motriz empleadas por cada libra de DAE, para cada etapa del sistema de vacío independientemente de los requerimientos de condensados que haya entre etapas. Con las presiones de succión y descarga de cada etapa en la fig. 3.17, se obtiene la relación

de libra vapor/aire que se designa con Ra.

El consumo de vapor motriz está dado por:

$$W_{vm} = DAE * R_a * M_p \quad (5)$$

Donde M_p es un factor de corrección por el uso de vapor motriz, que tenga una presión diferente de 150 psig determinado en la fig. 3.18

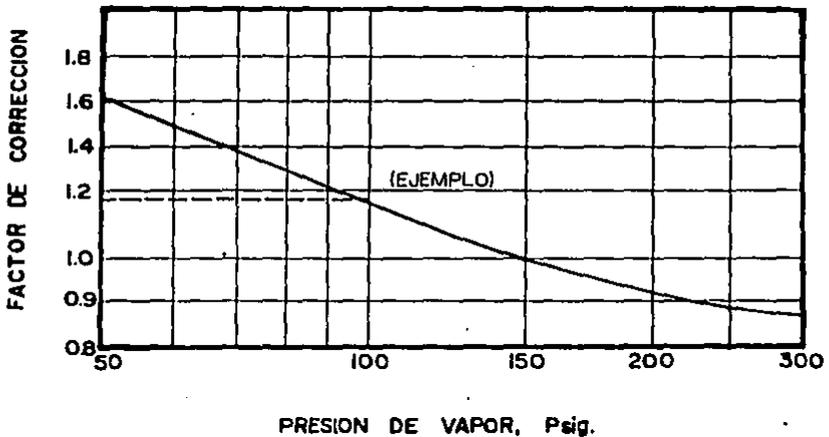


FIG. 3.18 FACTOR DE CORRECCION POR PRESION DE VAPOR MOTRIZ (BASE 150 psia)

Este cálculo deberá realizarse en cada etapa, debido al cambio de capacidad entre etapas, sin importar que existan condensadores o no. Por ejemplo, para calcular el consumo de vapor motriz a una presión de 100 psig, para comprimir 200 lb/hr de aire seco equivalente a 70 °F de 1 pulg. Hg Abs. hasta una presión de 6 pulg. Hg Abs.

De la fig. 3.17:

Presión de succión de 1 pulg. Hg Abs. (25.4 mm Hg Abs.)

Presión de descarga de 6 pulg. Hg Abs. (152.4 mm Hg Abs.)

se obtiene $R_a = 2$

De la fig. 3.18:

El factor M_p para 100 psig es de 1.18

$$W_{vm} = 200 * 2 * 1.18 = 472 \text{ lb/hr}$$

3.3.4.- INSTALACIONES DE LOS SISTEMAS DE EYECTORES.

Los sistemas de eyectores deben cumplir con ciertas características en su instalación para que puedan operar de la mejor manera, por lo general, dichas instalaciones están normadas por el HEI.

Los eyectores y su equipo relacionado deberán de estar colocados de tal manera que puedan desmontarse para su mantenimiento. La posición de los eyectores es generalmente

con la descarga vertical apuntando hacia abajo para darle la mayor facilidad para su descarga.

La fuente de vapor siempre se tomará de la parte superior del cabezal, debido a que el vapor proveniente de la parte inferior o final del cabezal, es probable que contengan condensados y suciedades.

Como el vapor pasa a través del eyector a velocidades más altas que la del sonido, si existieran gotas de humedad que arrastrase el vapor, ocasionarían que la boquilla y el difusor se dañen al erosionarse por la alta velocidad. Para evitar el vapor húmedo y condensados se requiere colocar un separador de vapor en el línea de vapor motriz, cerca del eyector, porque en el caso contrario, se volverían a formar condensados en la tubería que los conecte.

Los intercondensadores barométricos deberán estar forzosamente montados siempre en una posición vertical, para que haya un correcto flujo de los fluidos. Cuando sean instalados con una pierna barométrica, la brida de la salida del agua del intercondensador deberá por lo menos tener 35 pies arriba del nivel del agua en el pozo caliente, tomando como referencia el nivel del mar y no deberá tener una inclinación mayor de 45° con respecto a la vertical.

3.4.- SISTEMAS DE VACIO INTEGRADOS.

Los sistemas de vacío integrados son aquellos que tienen dos o más etapas, y por lo menos una de ella es una bomba

de mecánica de vacío que es apoyada por otras etapas, ya sea un eyector u otra bomba y dependiendo de las condiciones de operación pueden tener un intercondensador para evitar que la etapa subsecuente maneje una mezcla muy grande de gases y vapores.

Para su estudio se dividen en dos grupos: sistemas de vacío a base de bombas y sistemas de vacío a base de bombas con eyectores.

3.4.1.- SISTEMAS INTEGRADOS DE BOMBAS DE VACÍO.

Los sistemas de bombas de vacío que tienen dos o más equipos mecánicos en serie, se han hecho muy populares en los últimos años. Dichos sistemas pueden combinar una bomba de lóbulos rotatorios respaldando a una bomba de anillo líquido, de pistón rotatorio o una de paletas rotatorias. (Ver fig. 3.19).

Los costos de energía para los sistemas integrados por bombas de vacío, son por lo general más bajos que el de un sistema de eyectores. Los sistemas de bombas tienen la ventaja de tener un rango muy amplio de operación, ya sea para obtener grados de vacío y/o capacidades de volúmenes de gases a manejar más grandes que un sistema de un solo elemento por el mismo costo de energía.

A continuación, se describirán los sistemas de vacío a base de bombas más utilizados en la industria:

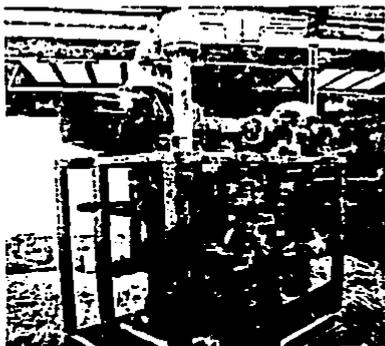
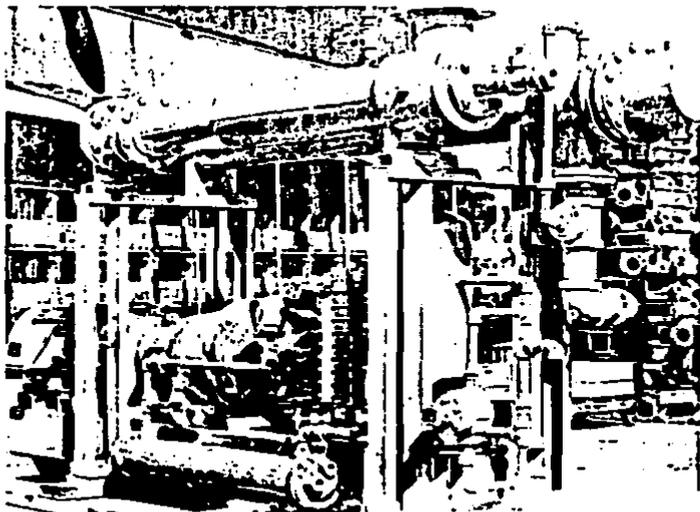


FIG. 3.19.
BOMBA DE VACIO DE CUATRO ETAPAS.
1° Y 2° ETAPAS: SOPLADORES ROTA-
TORIOS.
3° ETAPA: EYECTOR DE GAS.
4° ETAPA: BOMBA DE ANILLO LIQUIDO.

FIG. 3.20.
SISTEMA DE TRES ETAPAS CON UN EYECTOR
Y UNA BOMBA DE ANILLO LIQUIDO DE DOS
ETAPAS.



a) Bomba de Lóbulos Rotatorios/Pistón Rotatorio.

La gran ventaja de este sistema integrado es que se obtiene un incremento muy grande en la capacidad de estos elementos si se manejan por separado.

La bomba de lóbulos rotatorios es comunmente empleada para elevar la capacidad de las bombas de pistón rotatorio, de aquí que se use como una convención el referirse a estas bombas como bombas recuperadoras o elevadoras de presión (booster). La capacidad promedio de una bomba de este tipo de etapa sencilla es de aproximadamente de 800 CFM, mientras que esta cantidad sería la capacidad máxima para una bomba de pistón rotatorio. Sin embargo, las capacidades de un sistema de dos etapas puede variar desde 150 CFM hasta 14,500 CFM. La velocidad de bombeo de la bomba de lóbulos rotatorios es por lo general 10 veces mayor que la del pistón rotatorio. El sistema de lóbulos rotatorios/pistón rotatorio es de los sistemas más eficientes que se encuentran en el mercado, ésta es una ventaja que permite a este sistema competir con los sistemas de eyectores de vapor. Sus bajos costos de operación se compensan con sus altos costos de la compra, instalación y mantenimiento.

b) Sistemas de Bomba de Lóbulos Rotatorios/Paletas Rotatorias.

Las bombas de lóbulos son usados tanto para levantar la capacidad como para expandir el rango de operación de la bomba de paletas rotatorias. Este sistema integrado puede alcanzar hasta capacidades de 8,800 CFM y son ideales para la recuperación de solventes provenientes del proceso que operen dentro de un rango de 0.04 hasta 0.8 pulg hg de vacío. Estos sistemas operan a altas temperaturas, evitando que los solventes se condensen durante la compresión y es común utilizar un condensador en el lado atmosférico con el fin de recuperar el solvente.

c) Bomba de Lóbulos Rotatorios / Bomba de Anillo Líquido.

Este tipo de sistemas son robustos y confiables en su operación, con la producción de vacío necesariamente húmedo, este sistema es frecuentemente la única alternativa compatible para sustituir a sistemas de vacío a base de eyectores o sistemas integrados de eyector/bomba de anillo líquido.

La bomba de anillo líquido es una máquina isotérmica, además que encuentra su máxima eficiencia en aplicaciones de vacío húmedo, ésto es porque la bomba actúa como un condensador mientras que opera sobre una relación de compresión relativamente alta. Al usar una bomba de lóbulos rotatorios en combinación con una bomba de anillo líquido se puede extender el rango de operación hasta 8,800 CFM.

3.4.2.- SISTEMAS DE VACIO A BASE DE BOMBAS CON EYECTORES.

La combinación de eyectores con bombas de anillo líquido han sido utilizadas ampliamente en la industria petroquímica desde hace bastante tiempo, pero en cambio, los sistemas integrados de fábrica han sido recientemente incorporados por diversos fabricantes en sus líneas comerciales. (Ver fig. 3.20)

El sistema de eyector/bomba de anillo líquido es muy versátil y confiable. Este sistema es ideal para la aplicación de procesos de vacío húmedo y puede ser diseñado para que su capacidad sea mayor a la de una sola bomba de vacío, esto es posible porque el eyector descarga los gases directamente a la succión de la bomba mecánica a una presión entre 4 y 5 pulg. Hg Abs. Esta combinación puede tolerar hasta cierto punto partículas sólidas, gotas de condensados y el líquido compresor a una temperatura más elevada que la de una bomba sola, sin perjudicar significativamente la operación.

En el caso de que el eyector tenga aire como fluido motriz, el peso de dicho aire puede llegar a ser 4 o 5 veces más que el peso del gas succionado del sistema de vacío, por lo tanto, la bomba manejará de 5 a 6 veces más mezcla que la que realmente maneja. Cuando las presiones absolutas son mayores, la mezcla es varias veces más densa que el gas evacuado del sistema, consecuentemente, la capacidad

bomba de anillo líquido combinada con un eyector, se compara favorablemente con una bomba de anillo líquido de dos etapas del mismo desplazamiento.

3.5.- INFILTRACIONES DE AIRE AL SISTEMA

Pocos sistemas son completamente herméticos, aunque muchos pueden tener cantidades de infiltraciones de aire extremadamente bajas. Los efectos del aire que se infiltre al sistema se pueden traducir en una pérdida de capacidad y nivel de vacío, por lo que un sistema entre más hermético sea, será más eficiente.

Las infiltraciones de aire ocurren generalmente en las conexiones de tubería como bridas, válvulas, sello de equipos mecánicos, etc. que deberán ser revisadas cada vez que sea posible para corregir dichas infiltraciones.

Desafortunadamente, no existe un método confiable en el diseño para precisar la cantidad de aire que pueda infiltrarse, ya que de un sistema a otro las condiciones de operación cambian. Por ejemplo: Un empaque mal puesto o un error en la fabricación de algún recipiente o una soldadura mal aplicada, pueden ocasionar diferentes flujos de infiltraciones.

La relación de cantidad de infiltraciones de aire con el volumen y presión del sistema es más aceptada porque

es fácil de utilizarlo. Esta aproximación está basada en dos observaciones:

- 1.- Entre más grande sea el sistema habrá más cantidad infiltraciones de aire.
- 2.- Entre más presión de vacío se esté generando dentro del sistema, habrá más cantidad de infiltraciones.

Para asegurar un buen funcionamiento del sistema de vacío es necesario aplicar un factor de sobrediseño o de seguridad. La capacidad de las bombas decrece conforme avanza el desgaste de las mismas, por lo tanto, deberá de tener un factor de sobrediseño para evitar que la presión de vacío y la capacidad volumétrica a la que trabajan se vean afectadas.

El valor del factor de sobrediseño y la forma de aplicarlo es crucial. Este factor deberá aplicarse únicamente a la capacidad volumétrica.

Un factor del 1.5 a 2.0 es recomendable para absorber las infiltraciones. El factor de 2.0 se recomienda para los eyectores multietapas con relaciones de compresión arriba de 6:1, el factor de 1.5, es adecuado para las bombas mecánicas y eyectores de simple etapa, estos últimos con una relación de compresión menor de 4:1. El factor de sobrediseño más grande es comunmente porque los eyectores multietapas no responden bien a la sobrecarga de los incondensables, además de que una pequeña infiltración puede tener un efecto pronunciado en la presión de succión.

Para la determinación de las infiltraciones de aire en un sistema existente; se puede estimar el volumen total del mismo y operarlo hasta asegurar una presión absoluta menor que 15 pulg. Hg Abs. Posteriormente aislar el sistema, medir el tiempo que se requiere para que se alcance una presión en el sistema de 2 pulg. Hg Abs. (Es importante que la presión inicial no sea superior de las 15 pulg. Hg. Abs.). La siguiente fórmula nos dará la cantidad de aire infiltrado:

$$W_I = 0.15 * V * \Delta P / t \quad (4)$$

Donde el factor 0.15 tiene las unidades:
hr*min/lb*ft³*pulg Hg para que la ecuación sea dimensionalmente correcta.

3.6 CRITERIOS DE SELECCION PARA SISTEMAS DE VACIO.

El primer paso en la evaluación de alternativas de sistemas de vacío es eliminar aquellas que no puedan cumplir con los requerimientos del proceso, esto principalmente involucra: 1) Capacidad y Presión de Succión Requerida y 2) Confiabilidad y Mantenimiento.

Después de la eliminación de esos sistemas que no puedan cumplir con los requerimientos del proceso, se determinará cual es el sistema más económico con los factores de 3) compra y gastos de instalación y 4) costos de operación. La selección final estará restringida por cuestiones ambientales.

3.6.1.- PRESION/CAPACIDAD

Los parámetros más importantes que afectan la selección del sistema de vacío, es la presión de succión que deberá de ser alcanzada o mantenida y la capacidad que deberá manejarse.

Las capacidades disponibles y rangos de operación para sistemas de vacío que son mayormente empleados en la industria son descritos en la tabla 3.1. En esta tabla, las presiones mínimas de succión muestran los valores prácticos inferiores, mas no los límites últimos de las unidades. La información presentada en esta tabla puede ser usada para eliminar los sistemas que no cumplan con los requisitos de succión y obtener a groso modo, un estimado de el número de bombas y/o eyectores del sistema.

Los eyectores pueden ser diseñados para manejar grandes volúmenes de gases. Por ejemplo, si un dispositivo de vacío es especificado para manejar 1000 lb/hr de carga de aire equivalente a 0.04 pulg. Hg Abs. El fabricante no tendrá mayor problema en diseñar un eyector con tales características, sin embargo, esta especificación representa una capacidad volumétrica real de 169,000 ACFM a 0.04 pulg. Hg Abs. Al manejar esta capacidad volumétrica, tendrían que trabajar seis de las bombas de vacío más grandes en paralelo.

Las bombas de anillo líquido pueden manejar cantidades de flujo de hasta 10,000 ACFM en una etapa sencilla. Las bombas de paletas rotatorias y de pistón rotatorio están

TABLA 3.1.
CAPACIDADES DISPONIBLES Y RANGOS DE OPERACION
PARA SISTEMAS DE VACIO.

	Presión de Succión mínima recomendada	Rango de Capacidades acfm
Eyectores de Vapor		
-Una etapa	3"Hg	10-1 000 000
-Dos etapas	0.5"Hg	
-Tres etapas	0.04"Hg	
-Cuatro etapas	8x10 ⁻³ "Hg	
-Cinco etapas	8x10 ⁻⁴ "Hg	
-Seis etapas	2x10 ⁻⁴ "Hg	
Bombas de anillo líquido		
Selladas con agua a 60°F		
-Una etapa	3"Hg	3-10 000
-Dos etapas	1.5"Hg	
-Selladas con aceite	0.4"Hg	
-Eyectores de aire como primera etapa	0.4"Hg	
Bombas de pistón rotatorio		
-Una etapa	0.8"Hg	3-800
-Dos etapas	5x10 ⁻⁵ "Hg	
Bombas de paletas rotatorias		
-Operadas como compresor seco	2"Hg	20-6 000 50-800
-Sellada con aceite	0.04"Hg	
-Sellada con aceite paletas c/resortes		
-Una etapa	0.8"Hg	3-50
-Dos etapas	5x10 ⁻⁵ "Hg	
Íbulo rotatorio		
-Una etapa	12"Hg	30-30 000
-Dos etapas	2.5"Hg	
Sistemas Integrados de Vacío		
-Eyector-bomba de anillo líquido	0.6"Hg	100-100 000
-Íbulo rotatorio-bomba anillo líquido	0.04"Hg	100-10 000
-Íbulo rotatorio-bomba de pistón rotatorio	4x10 ⁻⁸ "Hg	100-30 000
-Íbulo rotatorio-bomba de paletas rotatorias.	6x10 ⁻³ "Hg	100-30 000

limitadas a 800 y 6000 ACFM, respectivamente. Las bombas l6bulos rotatorios extienden este rango si se encuentran integradas a las bombas anteriores hasta aproximadamente 30,000 ACFM.

Las limitaciones existentes por capacidad en el manejo frecuentemente eliminan a los sistemas mec6nicos en rangos de aplicaci6n desde 0.004 hasta 0.04 pulg. Hg Abs.

3.6.2.- CONFIABILIDAD/MANTENIMIENTO.

Las cuestiones m6s importantes para la evaluaci6n de mantenimiento y confiabilidad son:

- Cu6les ser6n las consecuencias de una p6rdida de vacio completa e inesperada?

En aplicaciones cr6ticas, la p6rdida de vacio representa la degradaci6n del producto, la iniciaci6n de una reacci6n que pueda producir sustancias t6xicas, o crear un grado potencial de explosi6n. En tales aplicaciones, las diferencias marginales en la confiabilidad del sistema ser6 el principal elemento para la selecci6n de la fuente de vacio.

- Los problemas de mantenimiento afectar6n gravemente al tiempo de producci6n?

En operaciones de tipo intermitente o "Batch", las reparaciones se pueden efectuar durante un paro programado sin p6rdidas de producci6n, sin embargo, para operaciones continuas, donde el tiempo es cr6tico, la selecci6n se orientar6 por sistemas de f6cil mantenimiento.

Las condiciones cruciales de la evaluación de confiabilidad son las siguientes:

- a) La forma que responde un sistema de vacío a las variaciones del proceso.
- b) La habilidad del sistema para soportar el abuso.
- c) El grado de entrenamiento que necesita el personal de mantenimiento.
- d) El efecto de un ambiente corrosivo en la operación.

La tabla 3.2 puede ser usada para cerrar más la evaluación para aquellos sistemas que puedan cumplir mejor con los requerimientos de proceso y para determinar las necesidades de filtros, controladores de temperatura, recipientes separadores de sólidos, para proteger al sistema y minimizar los paros de producción. (Un asterisco denota la fuente ideal para el factor en consideración).

3.6.3 COMPRA E INSTALACION.

Los precios de compra de cada alternativa deberán de ser comparados (del más bajo al más alto) dentro de los rangos que estos dispositivos son comunmente medidos, de acuerdo con la tabla 3.3. Los eyectores de una sola etapa y los bombas lobulos rotatorios están dentro de los menos costosos. Esta tabla es solo una aproximación a groso modo pero nos da una respuesta útil a la frecuente pregunta de los sistemas de vacío: Costará la bomba mecánica más que

3.2.
COMPARACION DE CONFIABILIDAD / MANTENIMIENTO.

Condiciones que afectan confiabilidad / mantenimiento.	Eyectores de vapor	Bombas de anillo líquido.	Bombas de pistón rotatorio.	Bombas de paletas rotatorias.	Bomba laba. rotatorias.
Tolerancia para sólidos arrastrados.	•	•	Se recomienda el uso de filtros o separadores en la línea de succión. La succión de sólidos provocarían descompostura.	Idem anterior.	Mala. pulverizada succion no dañaron al soplador a bajas rpm. Se recomiendan filtros en aplicaciones con arena abrasivos.
Tolerancia para gotas arrastradas.	•	•	Se requiere instalar tanque knock-out en la succión. Las gotas causan daño mecánico.	Idem anterior.	Idem anterior.
Respuesta a las infiltraciones de aire.	Se requiere sobrediseño para aplicaciones críticas. Sobrecarga puede resultar en una operación inestable con regresos de vapor al proceso.	La bomba responde bien a las infiltraciones de aire pero menos que las bombas de pistón, paletas o sopladora rotatorias.	•	•	Un factor igual de 2.0 se recomienda para sistemas mecánicos usado en aplicaciones críticas.
Respuesta al exceso de la presión de descarga.	La instalación de un condensador entre el proceso y los eyectores en aplicaciones críticas para detener cualquier flujo de vapor.	•	•	Circuito que asegure que la válvula de descarga está abierta en el arranque se recomienda. una presión excesiva de descarga ocasionaría rotura de paletas.	Un limit switch de temperatura conectado a la descarga es normal para prevenir sobrecalentamientos. El interruptor apaga o disminuye las rpm del soplador.
Operación con el bombeo de condensables.	Los eyectores pueden trabajar con IDH de condens. La condensación en el iterconco mejora la eficiencia.	•	•	La condensación de vapores de proceso en la bomba reduce la capacidad en bombas selladas con aceite. Operaciones a altas temp. son usadas para prevenir la condensación.	La condensación no existe porque la op. es a altas temp. y bajas relaciones de compresión.
Operación en ambientes corrosivos.	•	Las bombas de anillo líquido son disponibles en acero inox. y bronce así como en cubiertas de resinas fenólicas.	No existen estas bombas en líneas comerciales de acero inoxidable.	No existen en acero inox. La op. a altas temps. permite utilizar sustancias no corrosivas en su fase de vapor.	No existen en acero inoxidable. Pueden manejar sustancias no corrosivos en su fase de vapor.

TABLA 3.3.
TABLA COMPARATIVA DE COSTOS DE COMPRA.

Equipo en acero, al carbón o hierro fundido.

- 1.-Eyector una etapa ccd*
- 2.-Eyector una etapa ca**
- 3.-Bomba 150. rotatorio de una etapa.
- 4.-Bomba de anillo líquido de una etapa.
- 5.-Eyector de dos etapas ccd.
- 6.-Bomba 150. rotatorio de dos etapas.
- 7.-Bomba de anillo líquido dos etapas.
- 8.-Eyector de dos etapas ca.
- 9.-Bomba de paletas rotatorias.
- 10.-Bombas de pistón-rotatorio.
- 11.-Eyectores de dos, tres, cuatro etapas.
- 12.-Bomba paletas rotatorias dos etapas.
- 13.-Sistemas eyector-bomba de anillo líquido.
- 14.-Sistema paletas rotatorias, motor 150. rotatorio.
- 15.-Sistema de bombas rotatorio, pistón rotatorio.

Acero Inoxidable.

- Eyector una etapa ccd.
Eyector una etapa ca.
Bomba de anillo líquido.
- Eyector de dos etapas ccd.
Eyector de dos etapas ca.
Bomba de anillo líquido.
- Dos, tres, cuatro etapas de eyectores.
Sistema de anillo líquido Eyectores de vapor.

Menos Caro.

Presión de Succión

Atm.-6"Hg abs.

6"-.8"Hg.

0,8"Hg-4x10⁻³"Hg.

Más Caro.

* Condensador de Contacto Directo.

** Condensador de Contacto Indirecto.

un eyector de vapor de operación similar?

La operación común de multiplicar el precio de compra por un factor con el fin de obtener un primer estimado del costo total de instalación no es recomendado para los sistemas de vacío. Considerando, por ejemplo, que el costo de instalación para una bomba de acero inoxidable con respecto a una bomba de vacío de acero al carbón es prácticamente el mismo; sin embargo, la bomba de acero inoxidable tendría un costo de compra de 3 a 5 veces más que la unidad de acero al carbón.

Con las siguientes ecuaciones, combinadas con los factores dados en la tabla 3.4, se obtienen estimados preliminares para el costo de instalación total, considerando los resultados en dólares americanos y a la situación económica de México en el primer trimestre de 1987.

T A B L A 3.4

DISPOSITIVO	FACTOR
Eyectores	
Construcción de:	
Acero al Carbón/Hierro Colado	1.0
Acero Inoxidable	1.1
Hastelloy	1.5
Condensadores de Contacto Directo	1.0
Condensadores de Contacto Indirecto	1.2
Bombas de Anillo Líquido	
Recuperación Parcial del Agua	1.0
Recuperación Total del Agua	1.1
Acero Inoxidable	1.6

Nota:

Todas las otras bombas en este reporte están consideradas de acero al carbón o hierro colado, de aquí que todos sus factores sean iguales a 1.0.

-Costo de Instalación de Eyectores de Vapor.

$$CI = 1,500 (NS + (2*NC)) * (SCON/1,000)^{0.35} \quad (7)$$

-Costo de Instalación de Bombas de Anillo Líquido.

$$CI = 2,800 * (HP/10)^{0.50} \quad (8)$$

-Costo de Instalación para Bomba de Pistón Rotatorio o Bomba de Paletas Rotatorias de dos etapas:

$$CI = 3,200 (HP/10)^{0.45} \quad (9)$$

-Costos de Instalación para Bomba de Lóbulos Rotatorios.

$$CI = 2,200 (HP/10)^{0.40} \quad (10)$$

Cabe hacer notar que la ecuación 7 a la 10 están basadas en los siguientes supuestos:

- 1.- No se requieren hacer modificaciones importantes.
- 2.- La estructura del edificio no será significativamente modificada.
- 3.- No se requerirán soportes especiales para la plataforma.
- 4.- Una exactitud del 30% es aceptable para un estimado preliminar.
- 5.- Las constantes 1,500, 2,800, 3,200 y 2,200 están referidas a los costos del primer trimestre de 1987

En muchos casos, la desición de cual fuente de vacío es más económica para una aplicación dada puede ser basada en este primer estimado, sin embargo, estas ecuaciones son limitadas y nunca podrán ser sustitutos de cálculos detallados, cotizaciones, experiencias y juicios en un estimado del costo total del proyecto.

3.6.4.- COSTOS DE OPERACION.

El eyector de vapor ha dominado tradicionalmente en las aplicaciones de proceso debido a su simplicidad, su bajo costo de adquisición y su alta confiabilidad. Sin embargo, los eyectores no son unas bombas de vacío energéticamente eficientes y sus costos de operación son casi siempre superiores a los de cualquier bomba mecánica. Al utilizar ya sea una bomba mecánica o un sistema integrado de vacío correctamente especificados, se pueden obtener ahorros significativos.

Los costos de energía para los eyectores de vapor motriz son proporcionales al costo de producción de vapor de agua, dividido por su eficiencia térmica. Los costos de energía para las bombas mecánicas conducidas por electricidad son proporcionales al costo de energía eléctrica por Kilowatt, dividido entre la eficiencia térmica.

La relación del costo de energía eléctrica para las bombas mecánicas (r), a los costos de energía para los eyectores de vapor podría ser expresada como:

$$r = 2.93 E_j * e / E_m * s \quad (11)$$

Los valores de E_j y E_m pueden ser obtenidos de la fig. 3.21.

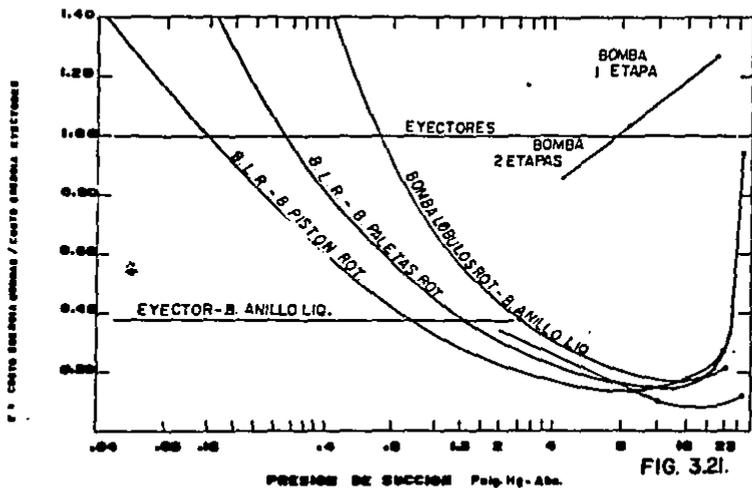


FIG. 3.21.

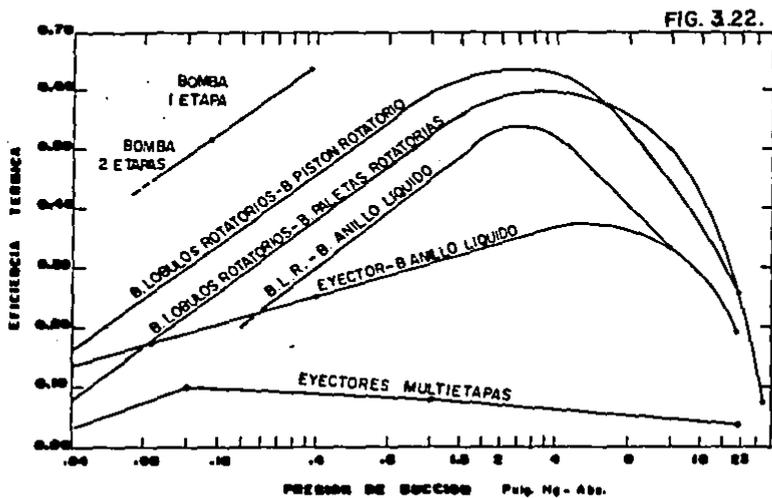


FIG. 3.22.

Al graficar los valores desarrollados en la fig. 3.22, de la ecuación 11, son razonablemente indicativos para fuentes de vacío alternativas y se atienden a las siguientes consideraciones:

1.- Dentro del rango limitado de aplicaciones, de 13 hasta 30 pulg Hg, las bombas de lobulos rotatorios de etapa sencilla tienen significativamente costos más bajos que otras máquinas.

2.- Las bombas de anillo líquido, de pistón rotatorio y de paletas rotatorias ofrecen ventajas de bajos costos de energía para la aplicación de rangos desde 2 hasta 30 pulg Hg.

3.- Las bombas de pistón rotatorio y de paletas rotatorias tienen costos de energía significativamente más bajos que las bombas de vacío de anillo líquido a presiones más bajas de 2 pulg Hg.

4.- Los eyectores de vapor pueden competir con las bombas de anillo líquido con relación de tener un costo de energía menor para presiones inferiores a 2 pulg Hg y pueden competir con bombas de pistón rotatorio y de paletas rotatorias cuando las presiones de operación sean menores que 0.4 pulg de Hg.

3.6.5.- FACTORES AMBIENTALES.

El costo de recuperación de solventes, junto con las limitaciones por la contaminación ambiental, tenderán a

seleccionar un sistema a base de bombas de anillo líquido o de paletas rotatorias.

Solventes como etileno-glycol, tolueno, acetona, xylenos, poliestirenos, monómeros y alcoholes, rutinariamente desalojados de un sistema de vacío, son aún utilizables y pueden ser recuperados si se utilizan las bombas antes mencionadas.

Cuando los gases de proceso y/o vapores desalojados de la fuente de vacío contaminen el medio ambiente, se deberán de colocar filtros, tanques lavadores de gases o medidas más estrictas para controlar las emisiones.

Con la excepción de los sellos de aceite los problemas de la contaminación del aire son idénticos sin importar el sistema de bombas seleccionado. Si la recuperación del solvente no es significativa, los problemas por la contaminación del medio ambiente no afectarán en la evaluación de las alternativas.

Las bombas de sello de aceite pueden de manera muy significativa contribuir a la contaminación ambiental por el desalojo del aceite lubricante mezclado con el solvente en forma de aerosol. Sin embargo, los fabricantes de ellas han resuelto este problema por medio de baffles o filtros.

Por otro lado, si se requiere hacer un tratamiento al agua después de ser utilizada para enfriamiento, por razones económicas, los sistemas a base de eyectores serán prohibitivos debido a que utilizan normalmente condensadores

de contacto directo. Los condensadores de superficie eliminan la contaminación del agua y reducen el flujo al sistema de tratamiento de aguas en un 98%, (el flujo restante es debido a los condensados de vapor.)

Cuando se usen bombas de anillo líquido, el costo de tratamiento de aguas estará determinado por el reciclaje del agua de la descarga hasta la succión de la bomba para reducir el nivel de efluentes a un nivel aceptable.

Como el agua de enfriamiento usada en las bombas de pistón rotatorio, bombas de paletas rotatorias y bombas de lóbulos rotatorios no están en contacto con los gases del proceso, no requieren de tratamiento de aguas.

Las bombas de vacío no son excesivamente ruidosas según los estándares de compresores, y en el caso de una excepción, el ruido puede ser reducido a niveles aceptables. La descarga a la atmósfera de las bombas de lóbulos rotatorios pueden ser ruidosas (85 a 100 dbA). Por lo que se podría requerir instalarlos con mofles, cubiertas acústicas o bien localizar la bomba en un lugar aislado.

4.7.- NOMENCLATURA

ACFM: Pies cúbico por minuto de aire.

CI: Costo de instalación del sistema de vacío en dolares americanos.

CFM: Pies cúbico por minuto.

cp: Calor Especifico de los vapores no condensables a presión constante Btu/lb-°F

DAE: Aire seco equivalente a 70°F en lb/hr.

Ej: Eficiencia térmica del eyector.

Em: Eficiencia Térmica de la bomba mecánica.

F.S.: Factor de seguridad de la pierna barométrica.

GPM: Cantidad de agua para condensación para condensadores de contacto directo en galones/min.

H: Longitud Vertical de la pierna barométrica en pies.

HP: Potencia del motor eléctrico en caballos de potencia.

Mp: Factor de corrección por el uso de vapor motriz.

NC: Número de condensadores en sistema de eyectores.

NS: Número de etapas en sistema de eyectores.

P.A: Peso del aire por hora, lb/hr.

P.M.P.: Peso molecular promedio.

P_{atm} : Presión atmosférica del lugar en psia.

P_t : Presión total de la mezcla, pulg Hg Abs.

P_v : Presión parcial de la mezcla.

Q: Cantidad de transferencia de calor, Btu/hr.

Q_c : Capacidad de transferencia de calor del condensador Btu/hr.

- Ra: Relación de libra vapor-libra aire.
- SCON: Consumo de vapor de agua en lb/hr.
- ΔT : Diferencia de temperaturas de la salida y entrada del condensador de contacto directo, en °F.
- V: Volumen del sistema en ft^3
- W_I : Cantidad de aire infiltrado del sistema existente. lb/hr.
- W_a : Flujo total de los no condensables. lb/hr.
- W_{vm} : Consumo de vapor motriz en lb/hr.
- W_6 : Flujo de vapor condensable a la entrada del condensador en lb/hr.
- W_7 : Flujo de vapor saturado a la salida de los vapores incondensables en lb/hr.
- e: Costo de energía eléctrica pesos/kwh.
- hf_8 : Entalpia específica del agua de salida Btu/lb.
- hg_6 : Entalpia específica del vapor condensable a la entrada del condensador Btu/lb.
- hg_7 : Entalpia específica del vapor a la salida de los no condensables Btu/lb.
- P_f : Perdidas por fricción en psi.
- psi: libras por pulgada cuadrada.
- psig: libras por pulgada cuadrada manométricas.
- r: Relación de costo de energía eléctrica al costo de energía de los eyectores de vapor.
- s: Costo del vapor, pesos/1000 lb.

t : tiempo en horas
 t_6 : temperatura de la mezcla a la entrada de los vapores. °F
 t_7 : Temperatura de la mezcla a la entrada de los incondensables
 ρ : densidad del líquido lb/ft³.
 ΔP : Incremento de presión pulg. Hg.

CAPITULO IV

SELECCION DEL SISTEMA DE VACIO DE
LA PLANTA DE EXTRUSION DE
PLASTICOS

C A P I T U L O IV

SELECCION DEL SISTEMA DE LA PLANTA DE EXTRUSION DE PLASTICOS

4.1 DESCRIPCION DE LA PLANTA EXTRUSORA DE PLASTICO.

La planta extrusora de plástico se encuentra localizada en Tultitlan, Estado de México, a una altura de 2400 metros sobre el nivel del mar, por lo tanto su presión barométrica es de 23 pulg Hg Abs.

Las máquinas extrusoras se encuentran dentro de un edificio, cuyo arreglo se muestra en la fig. 4.1. En la planta baja se localizan dichas máquinas con sus respectivas tinas enfriadoras y máquinas cortadoras (peletizadoras), mientras que en el segundo piso se encuentran los mezcladores y espacios disponibles, tanto para el equipo del sistema de vacío como para futuras ampliaciones, como se puede observar en la fig. 4.2. Existe la posibilidad de utilizar una pierna barométrica, si el equipo seleccionado se instalará en la azotea, ya que se tendría una altura de 13 metros, equivalente a 42.64 pies.

La disponibilidad y costos de los servicios para operar el sistema de vacío que se seleccione se encuentran en la tabla 4.1.

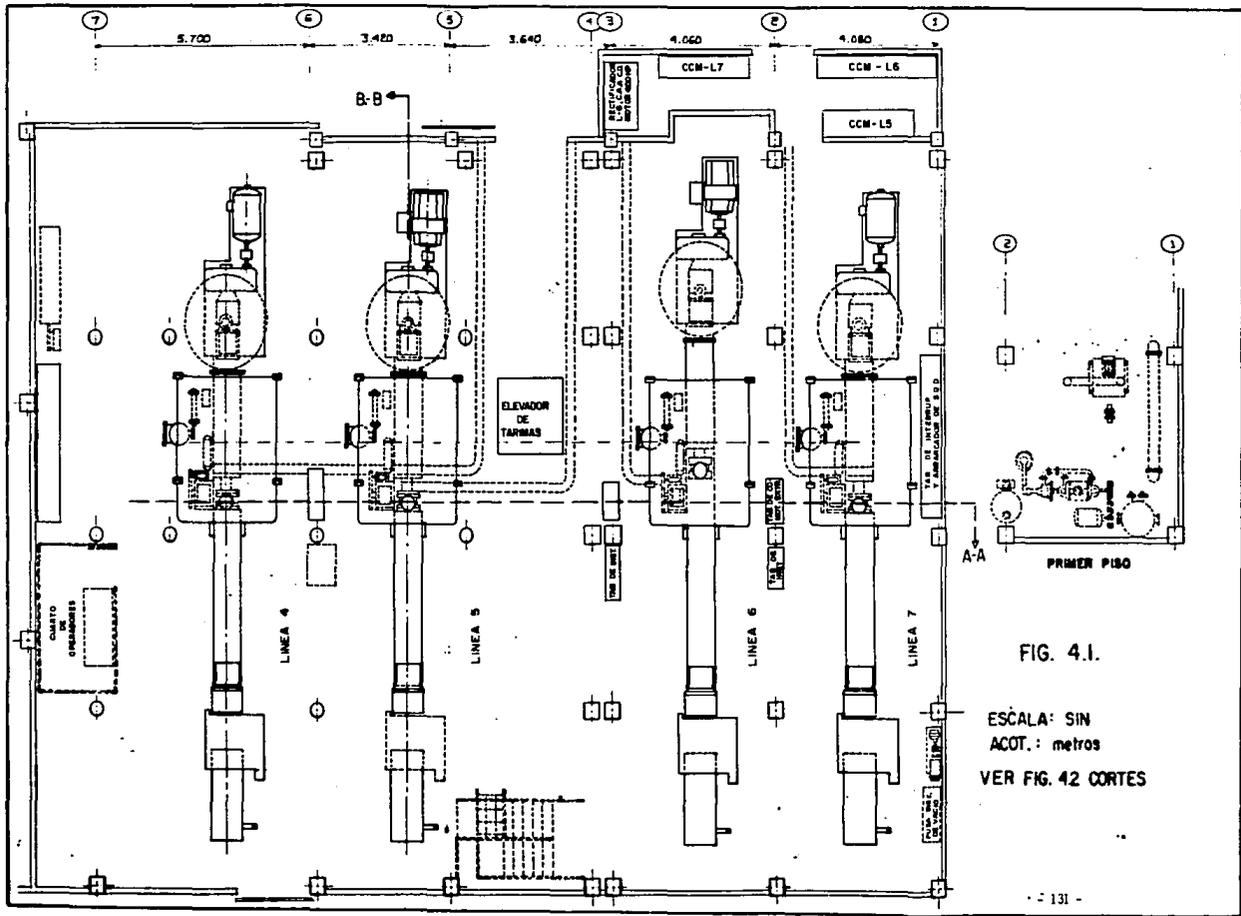
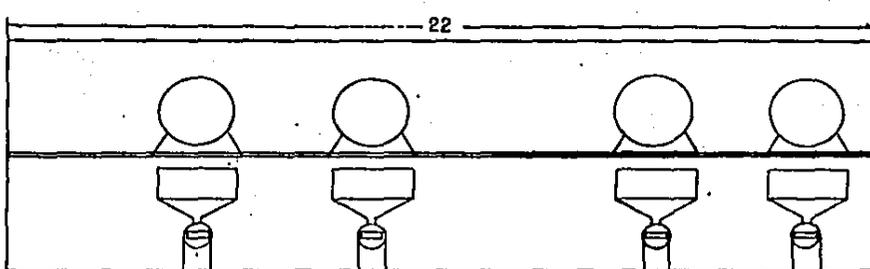
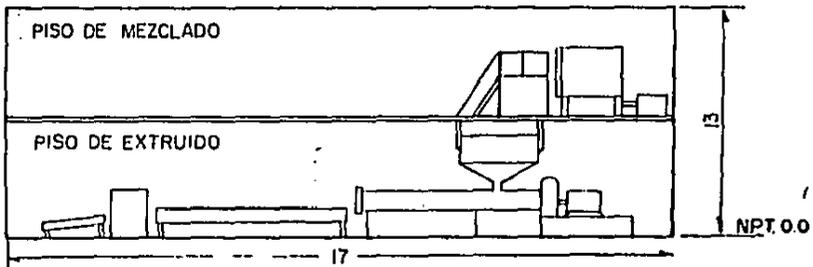


FIG. 4.1.

ESCALA: SIN
ACOT.: metros
VER FIG. 4.2 CORTES



ELEVACION A-A



ELEVACION B-B

VER FIG. 4.I.

FIG. 4.2 ELEVACIONES DEL EDIFICIO.

-12-

T A B L A 4.1

<u>SERVICIO</u>	<u>COSTOS*</u>	<u>CAPACIDAD DISPONIBLE</u>
Vapor de Agua (1)	\$ 1.10/lb	1750 lb/hr
Agua de Pozo	\$ 0.7327/Galón	35 GPM
Agua de Recirculación(2)	\$ 0.1832/Galón	40 GPM
Agua de Enfriamiento	\$ 0.8629/Galón	30 GPM
Electricidad	\$ 10.97/Kw/hr	700 Kw/hr

Notas:

- * Los costos se dan en pesos mexicanos al 2 de feb. 1987
- (1) El vapor se entrega a 120 psig y saturado.
- (2) El agua de recirculación es usada para servicios sin peligro crítico de incrustaciones, ya que contiene en promedio 190 ppm de sílice.
- (3) El voltaje disponible en de 127, 220 y 440 volts.

4.2.- DESCRIPCION DEL PROCESO DE EXTRUSION DE PLASTICO.

El proceso de extrusion de plastico, se realiza en cuatro maquinas extrusoras tipo monohusillo de 6 pulgadas de diametro de cañón y con una relación de máquina/diámetro de husillo de 23:1. Cada una de estas máquinas es accionada por un motor de 300 HP de corriente alterna. La capacidad de extrusión de cada máquina es de 915 lb/hr y el proceso es de tipo continuo durante todo el año, a excepción de 2 días, que es cuando se realiza el mantenimiento general de toda la planta. El tipo de plástico a extruir es acrilobutadieno-estireno (ABS), por lo que se extruirá a una temperatura de 300 °F en tres etapas, la primera de ellas es de compresión y homogenización de los materiales, en la segunda etapa se deben ventear con una presión de vacío de 2 pulg Hg Abs. el aire y todos los vapores de monómeros y de agua que se hayan generado en la primera etapa. En la tercera y última etapa, existe una alta compresión del material de manera de que pueda salir por el cañón de la extrusora en forma de tiras cilíndricas, que posteriormente

serán enfriadas en una tina de acero inoxidable llenas de agua y luego cortadas en forma de pellet en las máquinas cortadoras. (Ver fig. 4.3).

El venteo de los gases en la segunda etapa obedece a que el plástico extruido tendrá impurezas y porosidades si los vapores no son extraídos antes de llegar a la tercera etapa.

Estos gases a ventear tienen la composición y cantidad de flujo total de las cuatro máquinas extrusoras a 300 °F, como se muestra en la tabla 4.2.

T A B L A 4.2

COMPONENTE	FORMULA	PESO MOLAR lb/mol	FLUJO lb/hr
Monómeros:			
Estireno	$C_6H_5CH:CH_2$	104.14	28.85
Acrlonitrilo	$CH_2:CH:CN$	53.06	23.92
Aire	- - -	28.96	25.00
Vapor de Agua	H_2O	18.06	22.50
	Flujo Total		100.27

4.3 CONVERSION DE LOS GASES A VENLEAR A LA BASE DAE

Esta conversión está basada a los procedimientos que se vieron en el inciso 3.3.3, del capítulo anterior.

El peso molecular promedio de la mezcla (PMP) es:

Estireno	28.85 lb/hr / 104.14 lb/mol	= 0.2770 mol/hr
Acrlonitrilo	23.92 lb/hr / 53.06 lb/mol	= 0.4508 mol/hr
Aire	25.00 lb/hr / 28.96 lb/mol	= 0.8632 mol/hr
Vapor de Agua	22.50 lb/hr / 18.02 lb/mol	= 1.2486 mol/hr
	<u>100.27 lb/hr</u>	<u>2.8396 mol/hr</u>
	$PMP = \frac{100.27 \text{ lb/hr}}{2.8396 \text{ mol/hr}}$	= 35.31 lb/mol

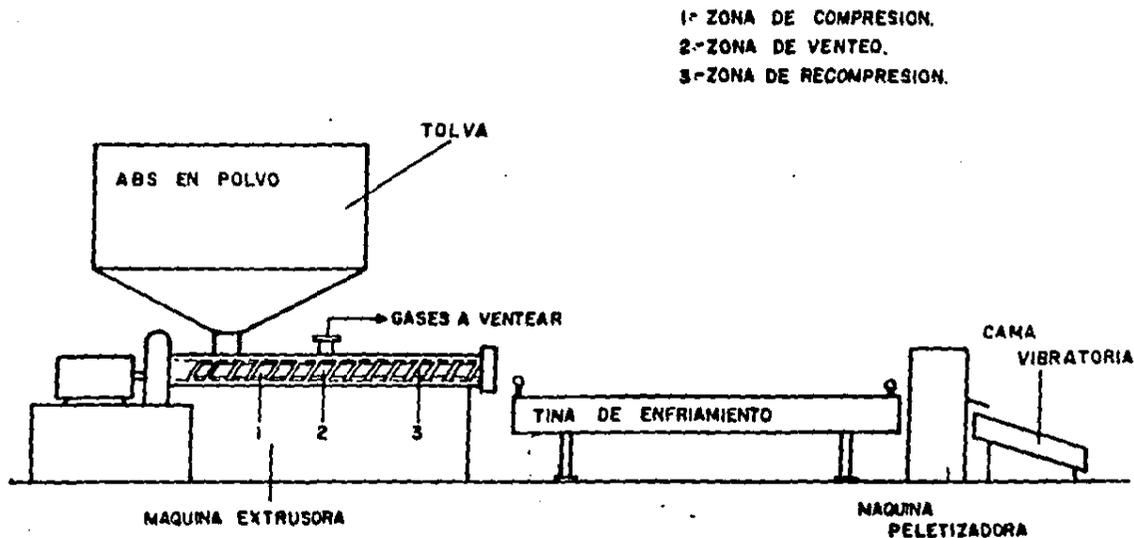


FIG. 4.3. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE EXTRUSION.

a) Cálculo del DAE para el aire a 300°F:

De acuerdo a la fig.4.4 "Relación de Temperaturas", para una temperatura de 300°F y con la curva de aire se tiene un factor de 0.945 por lo que el DAE es igual al siguiente resultado:

$$\text{DAE} = \frac{25 \text{ lb/hr aire}}{0.945 \frac{\text{lb/hr aire}}{\text{lb/hr aire } 70^\circ\text{F}}} = 26.45 \text{ lb/hr}$$

$$\text{DAE}_a = 26.45 \text{ lb/hr}$$

b) Cálculo del DAE para el vapor de agua a 300°F:

El factor de vapor equivalente a 70°F (V.E.) se obtiene con la fig. 4.4, usando la curva de vapor y 300°F, se obtiene un factor de 0.922:

$$\text{V.E.} = \frac{22.50 \text{ lb/hr vapor}}{0.922 \frac{\text{lb/hr vapor}}{\text{lb/hr vapor } 70^\circ\text{F}}} = 24.40 \text{ lb/hr}$$

$$\text{V.E.} = 24.40 \text{ lb/hr}$$

De la fig. 4.5, y con peso molecular de 18.02 se tiene un factor de 0.81 y entonces:

$$\text{DAE}_{va} = \frac{24.40 \text{ lb/hr vapor } 70^\circ\text{F}}{0.81 \frac{\text{lb/hr vapor } 70^\circ\text{F}}{\text{lb/hr aire } 70^\circ\text{F}}} = 30.12 \text{ lb/hr}$$

$$\text{DAE}_{va} = 30.12 \text{ lb/hr}$$

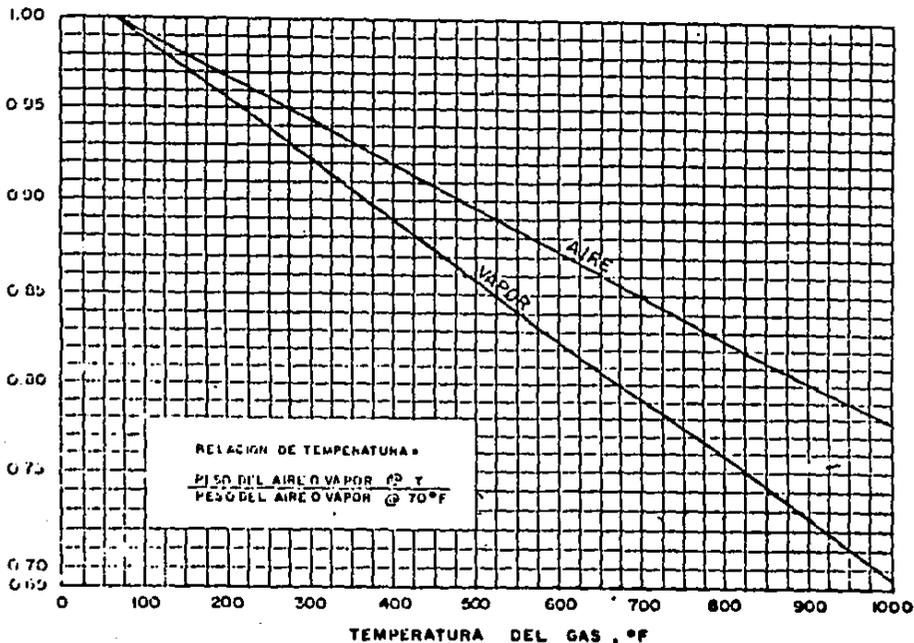
c) Cálculo del DAE de monómeros a 300°F:

El peso molecular promedio (PMP) de esta mezcla será:

Monómeros:

Estireno:	28.85 lb/hr / 104.14 lb/mol	=	0.2770 mol/hr
Acrilonitrilo:	23.92 lb/hr / 53.06 lb/mol	=	0.4508 mol/hr
	52.77 lb/hr		0.7278 mol/hr

$$\text{El PMP de esta mezcla} = 52.77 / .7278 = 72.51 \text{ lb/mol}$$



RELACION DE TEMPERATURAS, 70°F = 1.0

FIGURA 4.4 RELACION DE TEMPERATURAS

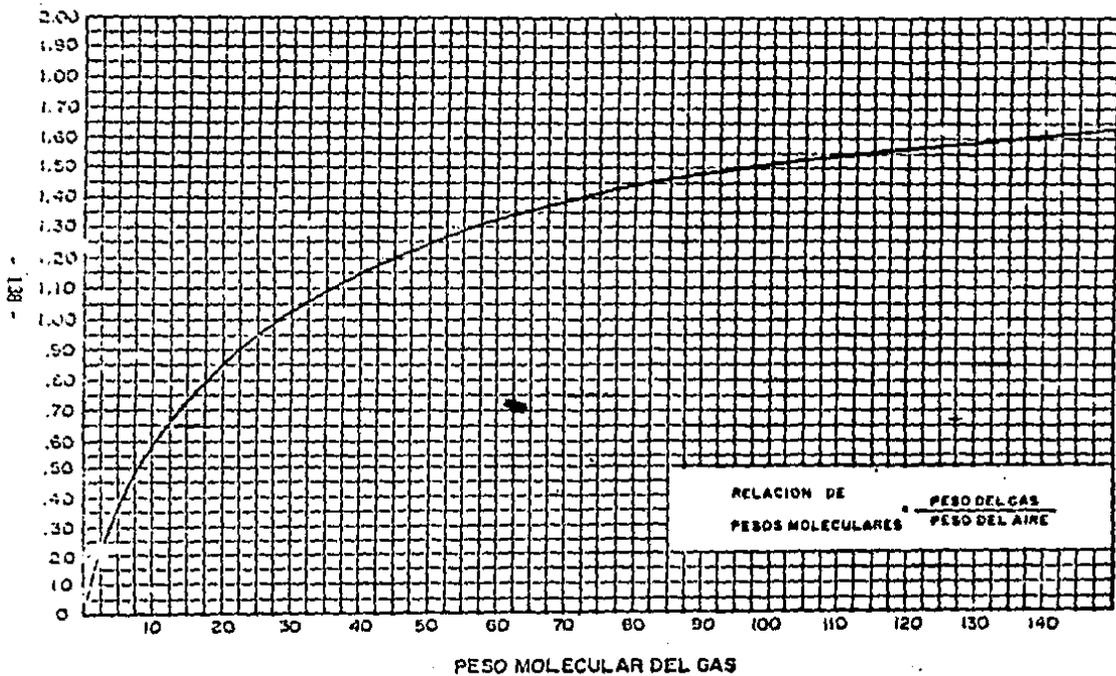


FIGURA 4.5 RELACION DE PESOS MOLECULARES

De la fig. 4.5 y un PMP de 72.51, se tiene un factor de 1.4, por lo que el aire equivalente (A.E.) a 300 °F será igual a:

$$\text{A.E. a } 300^{\circ}\text{F} = \frac{52.77 \text{ lb/hr vapores}}{1.4 \frac{\text{lb/hr vapores}}{\text{lb/hr aire } 300^{\circ}\text{F}}} = 37.69$$

$$\text{A.E. a } 300^{\circ}\text{F} = 37.69 \text{ lb/hr.}$$

De la fig. 4.4 y aire a 300 °F; se tiene un factor de 0.945 por lo que el DAE_{mon} será igual a:

$$\text{DAE}_{\text{mon}} = \frac{37.69 \text{ lb/hr aire } 300^{\circ}\text{F}}{0.945 \frac{\text{lb/hr aire } 300^{\circ}\text{F}}{\text{lb/hr aire } 70^{\circ}\text{F}}} = 39.88 \text{ lb/hr}$$

$$\text{DAE}_{\text{mon}} = 39.88 \text{ lb/hr}$$

Por lo que el DAE_{total} es igual a:

$$\text{DAE}_{\text{total}} = \text{DAE}_a + \text{DAE}_{va} + \text{DAE}_{\text{mon}} = 26.45 + 30.12 + 39.88 = 96.45$$

$$\text{DAE}_{\text{total}} = 96.45 \text{ lb/hr de aire a } 70^{\circ}\text{F.}$$

4.4 INFILTRACIONES DE AIRE AL SISTEMA.

De acuerdo al inciso 3.5, los factores de sobrediseño que se tomarán son los siguientes:

- Bomba Mecánica: 1.5
- Eyectores Multietapas: 2.0

El flujo total de la mezcla e infiltraciones por las cuatro máquinas que deberá manejar cada sistema de vacío será:

- Bomba Mecánica: $96.45 * 1.5 = 144.67 \text{ lb/hr}$
- Eyectores Multietapas: $96.45 * 2.0 = 192.9 \text{ lb/hr}$

El factor para calcular el equivalente del flujo volumétrico en pies cúbicos por minuto (CFM) a una presión absoluta de 2 pulg Hg Abs de acuerdo a las tablas de relaciones de aire seco contra presión absoluta del ASME (Ref. 4), es igual a 3.26 CFM/lb/hr, por lo que el flujo volumétrico será igual a:

-Bomba Mecánica: $144.67 \text{ lb/hr} * 3.26 \text{ CFM/lb/hr} = 471.62 \text{ CFM}$

-Eyectores Mpas.: $192.90 \text{ lb/hr} * 3.26 \text{ CFM/lb/hr} = 628.85 \text{ CFM}$

4.5.- PROCEDIMIENTO DE SELECCION DE LOS SISTEMAS DE VACIO.

El procedimiento de selección de los sistemas de vacío, estará de acuerdo a los criterios tratados en el inciso 3.6 "Criterios de Selección", los cuales son:

- Presión-Capacidad.
- Confiabilidad-Mantenimiento.
- Factores Ambientales.
- Costos de Operación y Mantenimiento.

Una vez evaluados estos criterios, se seleccionará a los equipos más viables, tanto técnica como económicamente, para después aplicar un estudio de costos a valor presente con el fin de elegir el sistema con el menor costo.

4.6.- EVALUACION DE CRITERIOS.

4.6.1.- PRESION-CAPACIDAD.

El primer paso para la evaluación de alternativas es eliminar a los sistemas de vacío que no puedan cumplir con los requerimientos de una presión de succión de 2 pulg. Hg Abs. así como un flujo de DAE de 471.62 CFM para las bombas mecánicas de vacío y 628.85 CFM para el sistema de eyectores, con los criterios de la tabla 3.1. Por otro lado también se eliminarán aquellos sistemas que resulten excesivamente sobrados.

Como se puede observar en la tabla 4.3, sólo 10 sistemas de los 22 posibles sistemas cumplen satisfactoriamente con los requerimientos antes mencionados.

T A B L A 4.3

- 1.- Sistema de Eyectores de 2 Etapas.
- 2.- Bomba de Vacío de Anillo Líquido de dos etapas sellada con agua.
- 3.- Bomba de Vacío de Anillo Líquido de dos etapas sellada con aceite.
- 4.- Bomba de Anillo Líquido y eyector de aire como primera etapa.
- 5.- Bomba de Pistón Rotatorio.
- 6.- Bomba de Paletas Rotatorias selladas con aceite.
- 7.- Sistema Integrado Bomba de Anillo Líquido y Eyector.
- 8.- Sistema Integrado de Bomba de Lóbulos Rotatorios y Bomba de Anillo Líquido.
- 9.- Sistema Integrado de Bomba de Lóbulos Rotatorios y Bomba de Pistón Rotatorio.
- 10.- Sistema Integrado de Bomba de Lóbulos Rotatorios y Bomba de Paletas Rotatorias.

4.6.2.- CONFIABILIDAD-MANTENIMIENTO.

Como se había dicho anteriormente, la consecuencia de una pérdida total e inesperada de la presión de vacío sería la

contaminación del plástico extruido en las cuatro máquinas. Esta situación es crítica, ya que se estarían dejando de producir la totalidad de la producción, es decir, sea 3,746 libras por cada hora que el sistema de vacío esté fuera de servicio.

Existe la política de hacer un paro general de toda la planta cada año con una duración de 3 días, donde se podría hacer el mantenimiento preventivo al sistema de vacío. Todo el mantenimiento correctivo que se le realice al sistema fuera de este intervalo, significará el parar la producción de las cuatro máquinas extrusoras.

Un aspecto que es de suma importancia para la selección del sistema de vacío, es que su mantenimiento debe de ser lo más sencillo posible, debido al corto tiempo que se dispone para realizar el mantenimiento preventivo.

Los 10 sistemas que se seleccionaron en el punto anterior se evalúan en el aspecto Confiabilidad-Mantenimiento en la tabla 4.4, para ello se han establecido 7 conceptos, valorandolos de acuerdo a su importancia, el primero de los cuales valdrá 7 puntos, hasta el último que tendrá un valor de 1 punto; estos 7 conceptos serán calificados en una escala de 1 a 5, según la habilidad que tenga cada sistema. La sumatoria de los 7 productos nos darán el resultado para cada alternativa, comparándolas contra el resultado más alto que se pueda obtener, o sea, 140 puntos.

TABLE 4.4

Consideración (concepto).	Valor.			Ejector de vapor.		Bomba con ejector de aire.		Bombas de unillo li- quido.		Bomba pis- tón rotato- rio.		Bombas de paletas ro- tatorias.		Bomba de paletas rotatorias.		
	vu	cm	el	c	v	c	v	c	v	c	v	c	v	c	v	
Facilidad en manteni- miento. Grado de en- trenamiento.	7	x	5	35	5	35	3	21	3	21	1	7	2	14	3	21
Tolerancia para sólidos arrastrados en el flujo de ga- ses succionados.	6	x	5	30	5	30	5	30	5	30	3	18	3	18	3	18
Tolerancia para gotas que se conden- sen.	5	x	5	25	5	25	5	25	5	25	3	15	3	15	3	15
Respuesta para infiltraciones de aire.	4	x	5	20	3	12	3	12	4	16	5	20	5	20	2	8
Respuesta al exceso de la presión de descarga.	3	x	5	15	2	6	4	12	5	15	5	15	4	12	3	6
Capacidad en el bom- bazo de con- densados.	2	x	5	10	5	10	5	10	5	10	4	8	3	6	4	8
Operaciones en ambientes corrosivos	1	x	5	5	5	10	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3
TOTAL	140		128		113		121		86		88		82			
Valor ideal	100%		91.43%		80.71%		86.43%		61.45%		62.85%		58.6%			
vu=valor unitario cm=calif. Máx. el=equipo ideal v=valor																

*Solo para sistemas integrales.

Cabe hacer notar que los sistemas integrados de vacío, se evaluarán con sus elementos separados, de tal manera que su calificación final será el promedio de éstos resultados.

4.6.3.- COMPRA-INSTALACION.

4.6.3.1.-COMPRA

De acuerdo con los criterios establecidos en el capítulo anterior, el orden del equipo más barato al más caro queda establecido en la tabla 4.5.

TABLA 4.5.

COMPARACION DEL COSTO DE COMPRA DE LOS EQUIPOS DE VACIO

- 1.- Sistema de Eyectores de dos etapas y Condensador Barométrico.
- 2.- Bomba de Anillo Líquido dos etapa sellada con agua
- 3.- Bomba de Anillo Líquido dos etapas sellada con aceite.
- 4.- Bomba de Anillo Líquido con eyector accionado por aire atmosférico.
- 5.- Bomba de Vacío de Paletas Rotatorias.
- 6.- Bomba de Vacío de Pistón Rotatorio.
- 7.- Sistema Integrado Bomba de Anillo Líquido y Eyector.
- 8.- Sistema Integrado Bomba de Paletas Rotatorias y Bomba de Lóbulos Rotatorios.
- 9.- Sistema Integrado Bomba de Pistón Rotatorio y Bomba de Lóbulos Rotatorios.

Con las tablas 4.4 y 4.5, es posible seleccionar a los tres sistemas que tengan una mejor relación de confiabilidad y mantenimiento a un menor costo. Dichos sistemas son:

- 1.- Sistema de Eyectores de dos etapas, condensador barométrico/superficie.
- 2.- Sistema de Bomba de Vacío de Anillo Líquido de dos etapas.

PRESIÓN MÍNIMA DE VAPOR: 120 PSIG.
CARGA MÁXIMA DE AIRE: 40 T/HR

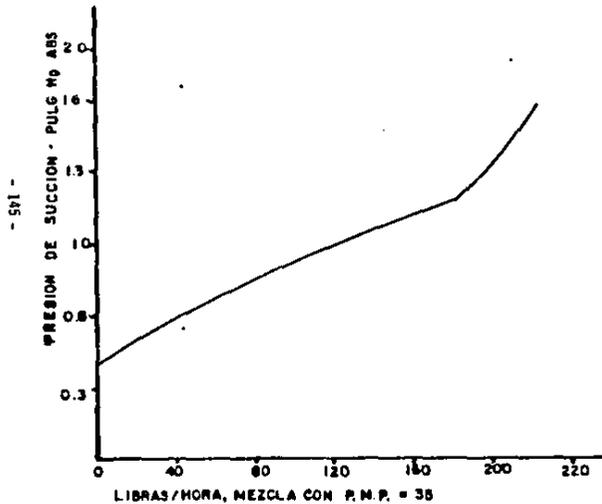


FIG. 4.6A CAPACIDAD DE LOS EYECTORES

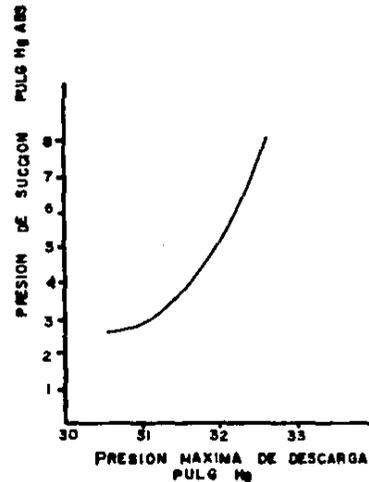
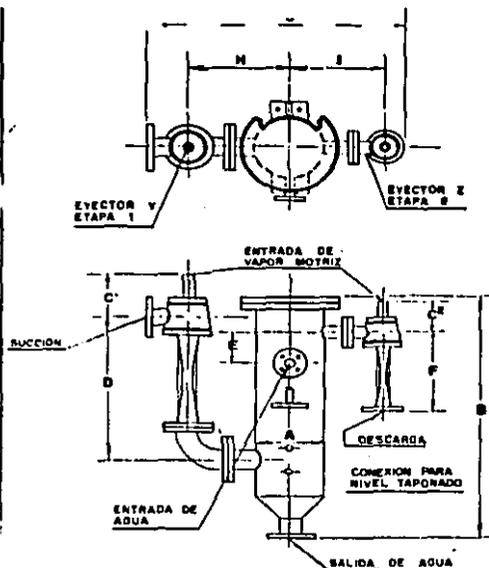


FIG. 4.6B PRESION DESCARGA



MODELO	V-221-A	V-222-B	V-221-B	V-222-C
SUCCION	mm. 81	81	79	79
	puig. 2"	2"	2"	4"
DESC.	mm. 38	81	59	79
	puig. 1 1/8"	2"	1 1/2"	2"
A	mm. 196	210	210	220
	puig. 6 1/2"	6 1/4"	6 1/4"	10 1/4"
B	mm. 970	1100	1240	1300
	puig. 36 3/8"	42 5/16"	48 13/16"	51 5/8"
C	mm. 143	143	143	160
	puig. 6 5/8"	6 5/8"	6 5/8"	6 5/16"
C'	mm. 133	143	133	160
	puig. 6 1/4"	6 5/8"	6 1/4"	6 5/16"
D	mm. 488	617	668	720
	puig. 18 5/8"	20 5/8"	21 3/8"	22 3/8"
E	mm. 120	127	127	178
	puig. 4 3/4"	5"	5"	6 7/8"
F	mm. 290	378	290	364
	puig. 11 7/16"	14 13/16"	11 7/16"	21 13/16"
G	mm. 730	822	822	822
	puig. 28 3/8"	32 3/4"	32 3/4"	37 1/2"
H	mm. 276	327	327	371
	puig. 10 7/8"	12 7/8"	12 7/8"	14 5/8"
I	mm. 270	308	288	348
	puig. 10 5/8"	12 1/4"	11 5/8"	13 5/8"
PESO Lbs I	118	178	180	248

CONSTRUIDO EN SUAVECIMA Y PULCADO
 SUAVIZADO A CADA 200 HORAS DE TRABAJO

SISTEMAS DE VACIO DE DOS ETAPAS CON
 INTERCONDENSADOR BAROMETRICO

FIG. 4.7

3.- Sistema Integrado con Bomba de Anillo Líquido-Eyector con aire atmosférico como fluido motriz.

El siguiente paso es solicitar cotizaciones a los fabricantes de los tres sistemas de vacío seleccionados en el inciso anterior, tanto por su compra, traslado y en caso de que el equipo se tuviera que importar, los impuestos que se pagarían.

a) SISTEMA DE EYECTORES.

De acuerdo con la figura 3.10, el sistema más adecuado es el de dos etapas con intercondensador, ya sea barométrico o de superficie.

Tomando en consideración que el edificio cuenta con la altura necesaria para operar con un intercondensador barométrico, se pidió la cotización para un sistema de eyectores de dos etapas con intercondensador de este tipo. Las características del sistema se encuentran descritas en la siguiente cotización y las curvas de operación están en las figs. 4.6 A y 4.6 B y en la fig. 4.7 el diagrama del equipo.

-COTIZACION DE SISTEMA DE EYECTORES:

Construcción:

Modelo: JD-101

Tipo de Unidad: Multietapas No. de Etapas: 2

Tipo de Intercondensador: Barométrico

Localización despues de: la Etapa

Condiciones de Operación:

Presión Succión: 2 pulg Hg Abs.

Presión de Descarga: 23 pulg Hg Abs.

Carga Total al Eyector: 193 lb/hr P.M.P: 35.31 lb/mol

Fluido a Evacuar: Vapores de Extrusión a 300°F

Fluido Motriz: 1000 lb/hr vapor de agua.

Costos:

1 unidad Multietapas Modela JD-101..... \$7,100,000

Transportación Monterrey-Lecheria..... \$ 900,000

TOTAL:\$8,000,000

Condiciones:

Validez: 30 días.

forma de Pago: En Moneda Nacional (M.N.), 50% de adelanto
y 50% contra entrega.

Tiempo de Entrega: 8 a 9 semanas.

b) BOMBA DE ANILLO LIQUIDO DE DOS ETAPAS.

Con las condiciones de operación calculadas anteriormente (Presión de succión 2 pulg. Hg Abs. y una capacidad de 471.62 CFM), la cotización más atractiva presentada por los fabricantes fue la siguiente:

-Características Técnicas:

Modelo: AT-704

Capacidad ACFM: 478 en la succión.

Velocidad RPM: 885

Presión de Vacío Abs.: 2 pulg.

Agua de Sello GPM: 15 GPM a 15 psig y 77°F

Potencia al Freno Máx.: 23 bhp

Motor Requerido: 25 hp/1750 RPM

Transmisión Requerida: (cople).

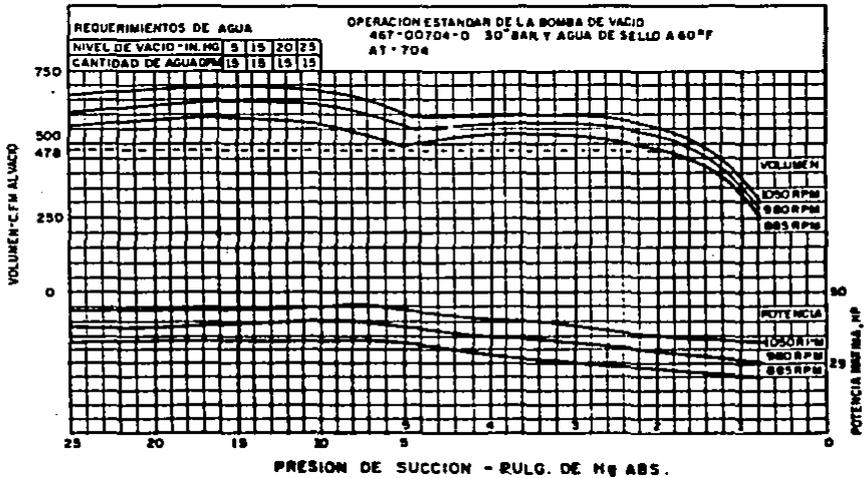
-Curvas de Operación:

En las fig. 4.8 se muestra la curva de operación de la bomba y en la fig. 4.9 esta el arreglo de la bomba y sus accesorios.

-Costos:

- 1 Bomba de Vacío modelo AT-704 de doble etapa en construcción de hierro colado. No incluye motor.
Precio USCY.....\$14,759.00
Peso..... 1,045 lb
 - 1 Separador de descarga con tubo de nivel en acero recubierto con resina epóxica:
Precio USCY.....\$ 2,250.00
Peso..... 250 lb
 - 1 Juego de accesorios: Tuerca Unión con placa de orificio calibrada, filtro "y" y conexiones de purga para sello.
Precio USCY.....\$ 357.00
Peso..... 30 lb
- El precio total del paquete será:.....USCY\$ 17,366.00
El peso total del paquete será:..... 1,325 lb

FIG. 4.8.



-Condiciones:

-Validez: 30 días

-Forma de Pago: Los precios anteriores se entienden en dólares americanos.

Carta de crédito irrevocable.

F.O.B.: Nowalk, CT. USA. Empaque de superficie incluido y flete a cobrar por su agente aduanal.

Embarque: 16-18 semanas.

-Costos Adicionales:

-Motor Eléctrico de 25 HP/1750 RPM.....	\$3,780,250 M.N.
-Equipo de Recirculación de Agua.....	\$3,129,000 M.N.
-Costo de Transportación.....	<u>\$3,567,240 M.N.</u>
	TOTAL: \$ 10,476,490 M.N.

El costo total en M.N. de la bomba AT-704 y su equipo periférico es el siguiente, tomando en consideración que 1 dólar = 1000.00 pesos con fecha del 2 de febrero de 1987:

Bomba de Vacío AT-704.....	\$ 17,366,000 M.N.
Costos Adicionales.....	<u>\$ 10,476,490 M.N.</u>
	TOTAL \$ 27,842,490 M.N.

c) SISTEMA INTEGRADO POR BOMBA DE ANILLO LIQUIDO-EYECTOR.

El mismo fabricante de la bomba de anillo líquido, presentó la mejor cotización del sistema integrado con el eyector para las condiciones requeridas como sigue:

-Características Técnicas.

Modelo: CL-1003

Capacidad: 500 CFM

Presión de Succión Abs: 1 Pulg Hg

Consumo de Agua GPM: 30 GPM a 15 psig y 77°F

Potencia al Freno: 35 bhp

Motor Requerido : 50 HP/1750 RPM

Transmisión: Por Bandas.

Presión de Succión del Eyector: 2 pulg. Hg. Abs.

-Curvas de Operación.

En la fig. 4.10 se establece la curva de operación de la bomba de vacío.

-Costos.

- 1 Bomba de Vacío modelo CL-1003 de simple etapa integrada a un eyector accionado con aire atmosférico modelo 1650, construcción estándar de hierro colado:
Precio USCY..... \$ 22,839.00
Peso..... 1695 lb

- 1 Juego de Accesorios: tuerca unión con placa de orificio calibrada con válvula de ajuste, filtro "Y", vacuómetro y separador-silenciador de descarga.
Precio USCY..... \$ 1,316.00
Peso..... 310 lb

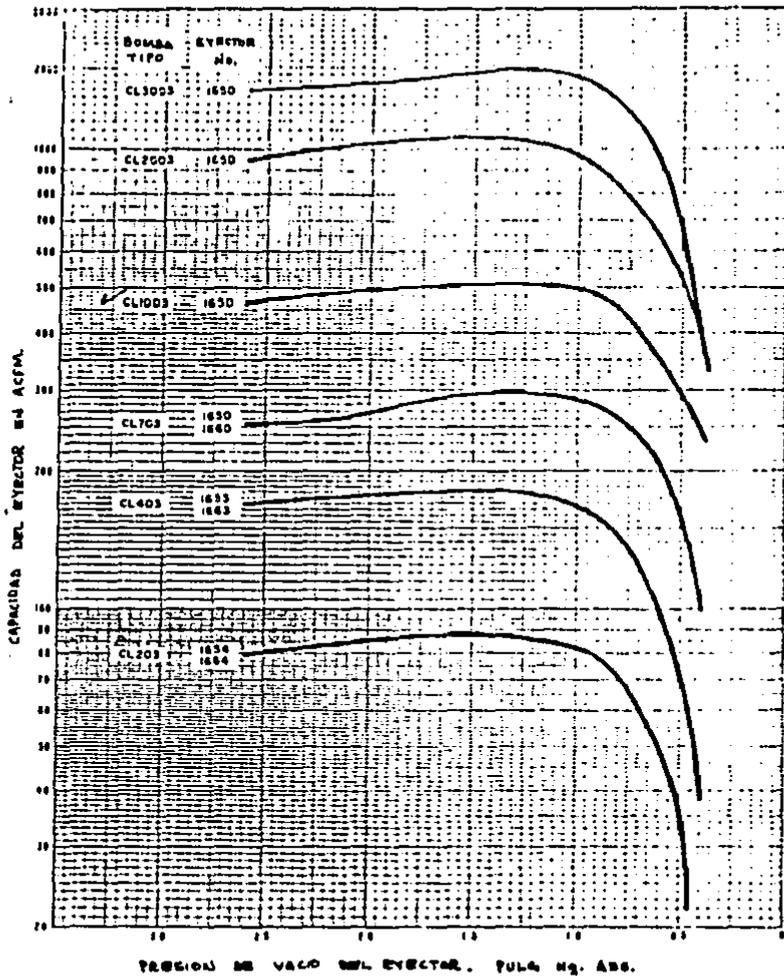


FIG. 4.10 CURVA DE OPERACION BOMBA CL-1003

El precio y peso del paquete serán:

Precio USCY..... \$ 24,155.00

Peso..... 2,005 lb

-Condiciones:

Idem a la cotización de la bomba AT-704.

-Costos Adicionales:

-Motor Eléctrico 50 HP/1750 RPM \$ 5,650,000 M.N.

-Equipo de Recirculación del Agua.....\$ 3,129,000 M.N.

-Costos de Traslado.....\$ 4,688,820 M.N.

TOTAL:\$ 13,467,820 M.N.

El costo total en M.N. de la bomba de vacío modelo CL-1003 tomando en consideración que la paridad del dólar frente al peso es de 1000 a 1, al 2 de febrero de 1987:

-Bomba de Vacío CL-1003.....\$ 24,155,000

-Costos Adicionales.....\$ 13,467,820

TOTAL \$ 37,622,820

4.6.3.2. COSTOS DE INSTALACION.

Los costos estimados de instalación se calcularán de acuerdo a las fórmulas establecidas en el capítulo III para cada equipo cotizado, teniendo una variación permisible del 30%. El tipo de cambio a considerar es un dólar igual a 1000 M.N. Estos costos incluyen la instalación del equipo principal con sus respectivos auxiliares.

a) Eyectores.

$$CI = 1500 (NS + 2(NC)) * (SCON/1000)^{0.35}$$

$$CI = 1500 (2 + 2(1)) * (500/1000)^{0.35} = \$4,707.5 \text{ Dls.}$$

$$CI = 4,707.5 * 1,000 = 4,707,500 \text{ M.N.}$$

b) Bomba de Anillo Líquido de dos etapas.

$$CI = 2,800 * (HP/10)^{0.5}$$

$$CI = 2,800 * (25/10)^{0.5} = \$4,427.19 \text{ Dólares.}$$

$$CI = 4,427.19 * 1,000 = 4,427,200 \text{ M.N.}$$

c) Bomba de Anillo Líquido integrada con Ejector.

$$CI = 2,800 * (HP/10)^{0.5}$$

$$CI = 2,800 * (50/10)^{0.5} = \$ 6,261 \text{ Dólares}$$

$$CI = 6,261 * 1,000 = 6,261,000 \text{ M.N.}$$

4.6.4. COSTOS DE OPERACION Y MANTENIMIENTO.

4.6.4.1. COSTOS DE OPERACION.

La evaluación de los costos de operación se harán en forma anualizada, con un tiempo de operación continua por 8712 horas y con los costos de servicios establecidos en el punto 4.1, según lo siguiente:

-Eyectores:				
Concepto	Consumo	C.U.	Tiempo	C.A.
Vapor	1000 lb/hr	1.10 /lb	8712	\$ 9,583,200
Agua Recirculación	1680 GPH	.1832/gal	8712	\$ 2,681,344
TOTAL:				\$ 12,264,544

-Bomba de Anillo Líquido de dos etapas.				
Concepto	Consumo	C.U.	Tiempo	C.A.
Electricidad	18.625 Kw/hr	10.97/Kw/hr	8712	\$1,780,003
	.745 Kw/hr	10.97/Kw/hr	8712	\$ 71,200
Agua de Pozo	180 GPH	.7327/Gal	8712	\$1,148,991
Agua Enfriamiento	360 GPH	.8629/Gal	8712	\$2,706,331
TOTAL:				\$ 5,706,525

-Bomba de Anillo Líquido integrada con Eyector.					
Concepto	Consumo	C.U.	Tiempo	C.A.	
Electricidad	37.25 Kw/hr	10.97/Kw/hr	8712	\$3,560,006	
	.745 Kw/hr	10.97Kw/hr	8712	\$ 71,200	
Agua de pozo	360 GPH	.7327/Gal	8712	\$2,297,982	
Agua de Enfriamiento	720 GPH	.8629/Gal	8712	\$5,412,661	
TOTAL:				\$11,341,849	

4.6.4.2 COSTOS DE MANTENIMIENTO.

Por política de la empresa propietaria, el costo anual del mantenimiento no deberá ser mayor que el 4.5% del costo total del activo fijo instalado, por lo que el costo máximo que podrá tomar cada equipo será en M.N.:

Sistema	Costo Activo Fijo	Factor	Costo Anual
-Eyectores	\$12,707,500	0.045	\$ 571,837
-Bomba de dos etapas	\$32,269,690	0.045	\$1,452,136
-Bomba con Eyector	\$43,883,820	0.045	\$1,974,772

4.6.5. FACTORES AMBIENTALES.

Ninguno de los tres equipos que se analizan tienen problemas por contaminación ambiental, ya que las concentraciones que se manejan con inferiores a las establecidas por el código de salud.

4.7. RESUMEN DE COSTOS Y CARACTERISTICAS TECNICAS DE EQUIPOS COTIZADOS.

En la tabla 4.6 se encuentra el resumen de costos y características técnicas de los equipos que se cotizaron anteriormente. Como se puede observar, de los tres sistemas, el que tiene mayores costos anualizados (fijos y variables) es la bomba modelo CL-2003, por lo que se procede a eliminarla.

CONCEPTO	SISTEMA DE EYECTORES	BOMBA DE VACIO AT-704	BOMBA DE VACIO CL-1003
MODELO	4-CP1-2	AT-704	CL-1003
PRESION DE SUCCIO OPERACION	2" Hg ABS.	2" Hg ABS.	1" Hg ABS
CAPACIDAD DAE	1800 CFM	478 CFM	500 CFM
PRESION DE DESCARGA	0.5 PSIG	0.5 PSIG	0.5 PSIG
TIEMPO DE VIDA	40 AÑOS	20 AÑOS	20 AÑOS
COSTO DE COMPRA	7,100,000	17,366,000	24,155,000
COSTO DEL MOTOR ELECTRICO	NO APLICA	3,780,000	5,650,000
COSTO EQUIPO RECIRCULACION	NO APLICA	3,129,000	3,129,000
COSTO TRANSPORTACION E IMPORTACION	900,000	3,567,240	4,688,820
COSTO INSTALACION ESTIMADA	4,707,500	4,427,200	6,261,000
TOTAL DE COSTOS FIJOS	12,707,500	32,269,690	43,883,820
DEPRECIACION ANUALIZADA	317,607.5	1,613,484	2,194,191
COSTOS DE OPERACION			
COSTO VAPOR/COSTO ANUAL	9,583,200	NO APLICA	NO APLICA
COSTO DE AGUA (TODAS) /C.A.	2,681,344	3,855,322	7,710,643
COSTO DE ELECTRICIDAD	NO APLICA	1,851,203	3,631,206
TOTAL DE COSTOS DE OPERACION	12,264,544	5,706,525	11,341,849
COSTO DE MANTENIMIENTO	571,037	1,452,136	1,974,772
TOTAL DE COSTOS VAR. ANUAL	12,836,381	7,158,661	13,316,621
HP MOTOR ELECTRICO	NO APLICA	25	50
TRANSMISION	NO APLICA	LIANDAS	BANDAS
TIEMPO DE ENTREGA	4-6 SEMANAS	18-20 SEMANAS	18-20 SEMANAS
MONEDA DE PAGO	M.N.		
COSTOS TOTALES ANUALIZADOS	13,154,068	8,772,145	15,510,812

TABLA 4.6. ANALISIS PRELIMINAR DE EQUIPO DE VACIO.

para analizar detalladamente el sistema de eyectores y la bomba modelo AT-704, en función de los conceptos que se mencionan a continuación.

4.8.- COSTO REAL DE INSTALACION.

Los costos reales de instalación se hicieron con base a los dibujos isométricos con sus listas de materiales que se presentan en los puntos 4.8.1 y 4.8.2. Posteriormente se presenta un resumen de estos costos y un diagrama de flujo por cada opción en la figs. 4.11 y 4.12.

4.8.1. SISTEMA DE EYECTORES.

La instalación de los eyectores consta de 5 líneas de tuberías como se ve en los dibujos isométricos, listas de materiales y la fig. 4.11, y los costos por las líneas y sus accesorios, así como la maniobra para subir los eyectores al techo y colocarlos en una plataforma se encuentra en la tabla 4.7.

T A B L A 4.7.

CONCEPTO	COSTO EN M.N.
Tubería de Suministro de Agua	
Materiales	\$ 395,164
Mano de Obra	\$ 85,806
Tubería de Suministrador de Vapor	
Materiales	\$1,712,284
Mano de Obra	\$ 236,016
Tubería de Descarga	
Materiales	\$ 217,470
Mano de Obra	\$ 107,280
Tubería de Succión	
Materiales	\$1,267,468
Mano de Obra	\$ 214,560
Maniobra y Plataformas	\$ 393,089
TOTAL	<u>4,629,137</u>

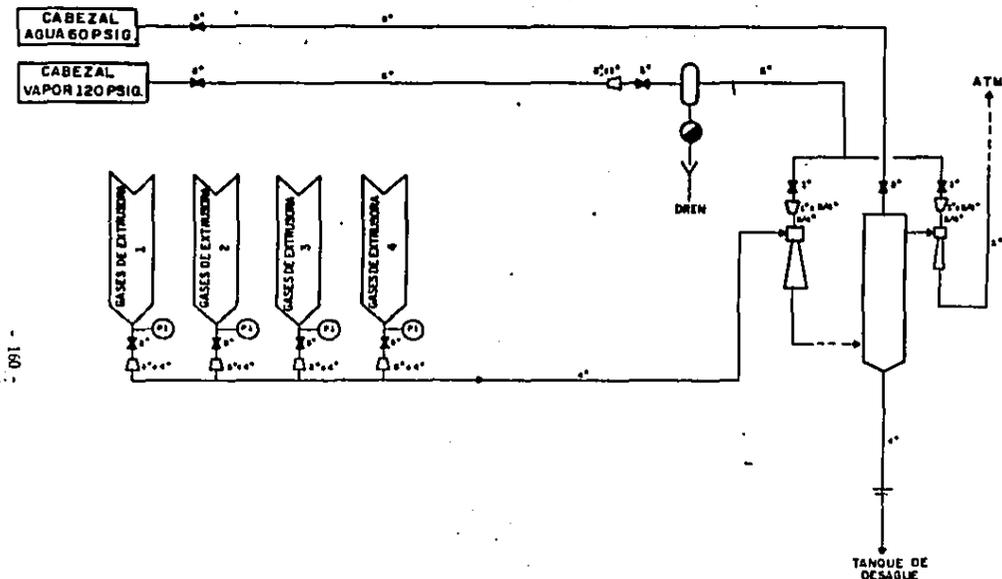
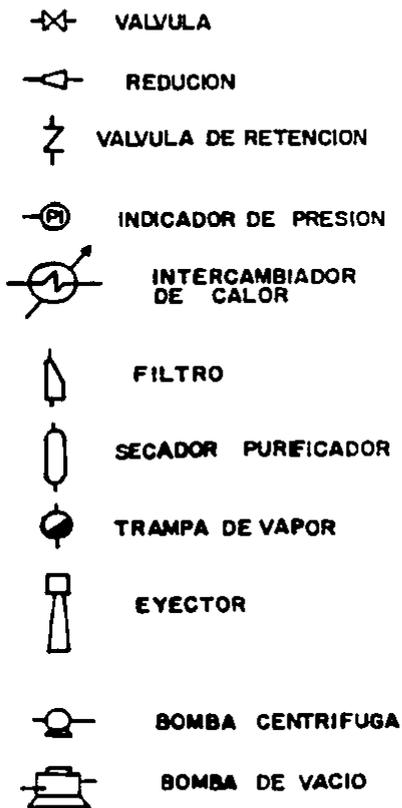


DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL VENTEO DE EXTRUSORAS
POR SISTEMA DE EYECTORES

FIG. 4.11



ESTACION DE BOTONES

FIG. 4.13 SIMBOLOGIA DE LAS FIGS. 4.11 Y 4.12

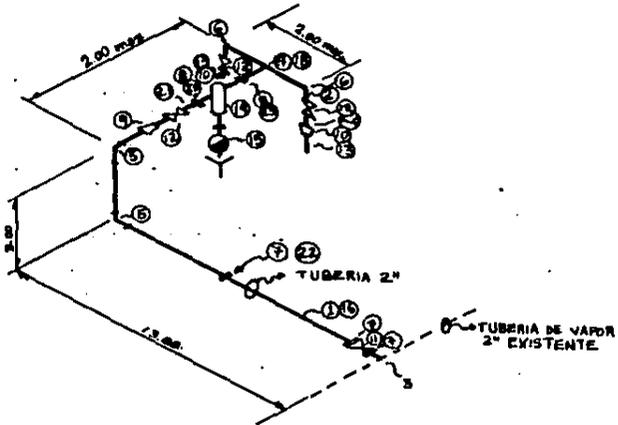
ESTIMACION DE COSTOS INSTALACION DE EYECTORES

1.- TUBERIA DE VAPOR EYECTORES

MATERIALES

PARTI	CONCEPTO	CANTI	UNID	PRECIO	SUBTOTAL
				UNIT	
1	TUBERIA DOS PULG DIAM CON				
	COSTURA ACERO ASTM A-106				
	C-40 EXREMOS BISELADOS	18	MTS	\$2,531	\$45,558
2	IDEM ANTERIOR PERO DE 1PULGI	6	MTS	\$1,200	\$ 7,200
3	TEE 2 PULGADAS SOLDADA				
	A TOPE ACERO AL CARBON				
	ASTM A-234 G-WPB C-40	1	PZA	\$17,000	\$17,000
4	IDEM ANTERIOR PERO DE 1PULGI	1	PZA	\$15,974	\$15,974
5	CODO 90 2 PULGADAS				
	SOLDABLES A TOPE ACERO				
	AL CARBON ASTM A-234				
	G-WPB R.L	2	PZAS	\$4,400	\$ 8,800
6	IDEM ANTERIOR PERO DE 1PULGI	2	PZAS	\$2,500	\$ 5,000
7	BRIDAS2 PULG. DIAMETRO				
	ACERO FORJADO ASTM-A-105				
	DESGLIZABLE CARA REALZADA	4	PZAS	\$5,560	\$22,240
8	REDUCCION 2x1 PULG. CON-				
	CENTRICA SOLDABLE A TOPE				
	ACERO ASTM A-234 G-WPB	1	PZA	\$2,995	\$ 2,995
9	IDEM PERO DE 1x3/4 PULG.	2	PZAS	\$2,700	\$ 5,400
10	VALVULA COMPUERTA 2 PULG.				
	EXT.BRIDADOS 300 PSI	1	PZA	\$61,000	\$61,000
11	VALV. GLOBO 1 PULG. EXT.				
	ROSCADOS 300 PSI				
	CUERPO BRONCE	3	PZAS	\$50,400	\$151,200
12	SECADOR PURIFICADOR PARA				
	VAPOR DE AGUA 300 PSIG				
	EXT. BRIDADOS 1 PULG DIAM	1	PZA	\$498,000	\$498,000
13	TRAMPA DE VAPOR 1 PULG.				
	DIAM EXT. BRIDADOS	1	PZA	\$327,000	\$327,000

- 153 -



 **INDUSTRIAS RESISTOL S.A.**

PROYECTO EYECTORES
TUBERIA DE VAPOR DEL SISTEMA EYECCIONES

ACOTI METROS	PARTE: 016	PROYECTO: 016	CROQUIS No
ESCALA: 0/1	ACTO: 016	FECHA:	1

PARTI	CONCEPTO	CANTI	UNID	PRECIO	ISUBTOTAL
				UNIT	
14	SOLDADURA AGA E6010 AWS 1/8 PULG.	10	KGS	\$ 1,032	\$ 10,320
15	AISLAMIENTO DE TUBERIA DE 2 PULG. CON MEDIAS CANAS DE SILICATO DE CALCIO	16	MTS	\$ 12,795	\$ 204,720
16	IDEM ANTERIOR PERO DE 1PULG	3	MTS	\$ 9,766	\$ 29,298
17	CONEXIONES DE AISLAMIENTO PARA TUBERIA 2 PULG.	3	PZAS	\$ 58,212	\$ 174,636
18	IDEM ANTERIOR PERO DE 1PULG	5	PZAS	\$ 6,348	\$ 31,740
19	TUERCA UNION 1 PULG. DIAM. 300 PSI HIERRO MALEABLE ASIENTO INTEGRAL ACERO	4	PZAS	\$ 6,700	\$ 26,800
20	TORNILLOS CABEZA HEXAGONAL 5.8x3 PULG CUERDA UNC	100	PZAS	\$ 245	\$ 24,500
21	TUERCA HEXAGONAL 5/8 PULG.	100	PZAS	\$ 123	\$ 12,300
22	BRIDAS DE 1 PULG. IDEM PART.7	2	PZAS	\$ 4,130	\$ 8,260
23	EMPAQUES EN ESPIRAL SS-304 300 PSI ESPESOR 1/8 PULG 2 PULG DE DIAM.	2	PZAS	\$ 3,985	\$ 7,970
24	IDEM PERO DE 1 PULG.	2	PZAS	\$ 3,100	\$ 6,200
25	NIPLES DE 3/4x3 PULG ROS- CADOS ACERO ASTM A-53	2	PZAS	\$ 4,086	\$ 8,172

TOTAL MATERIALES: \$1,712,284

MANO DE OBRA:

PARTI	CONCEPTO	UNI	CANT	COSTO	ISUBTOTAL
				UNIT	
1	3 MECANICOS "A"	99	HRS	\$ 1,435	\$ 142,065
2	3 AYUDANTES	99	HRS	\$ 949	\$ 93,951

TOTAL MANO DE OBRA: \$236,016

TOTAL TUBERIA VAPOR: \$1,948,300

2.- TUBERIA DE DESCARGA DEL SISTEMA DE EYECTORES

MATERIALES:

PARTI	UNI	CANT	COSTO UNIT.	SUBTOTAL
1	TUBERIA DE 4 PULG DIAM. EXTREMOS BISELADOS ACERO ASTM A-53 CED. 40	18	MTS \$ 8,000	\$ 144,000
2	CODOS 45 de 4 PULG DIAM SOLDABLE A TOPE ACERO ASTM A-234	2	PZAS \$ 12,300	\$ 24,600
3	BRIDA DESLIZABLE 4 PULG DIAM. PARA 150 PSI CARA PLANA ACERO A-105 FORJADO	3	PZAS \$ 12,770	\$ 38,310
4	EMPAQUE TIPO ANILLO CARA REALZADA 150 PSI ASBESTO COMPRINIDO 1/8 x 4 PULG	2	PZAS \$ 2,700	\$ 5,400
5	SOLDADURA AGA E-6010 AWS DE 1/8 PULG.	5	KGS \$ 1,032	\$ 5,160

TOTAL MATERIALES: \$217,470

MANO DE OBRA

PARTI	CAN	UNID	PRECIO UNIT.	SUBTOTAL
1	3 MECANICOS "A"	45	HRS \$ 1,435	\$ 64,575
2	3 AYUDANTES	45	HRS \$ 949	\$ 42,705

TOTAL MANO DE OBRA: \$107,280

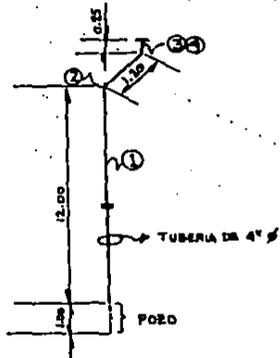
TOTAL TUBERIA DE VAPOR: \$324,750

3.- TUBERIA DE SUCCION DEL SISTEMA DE EYECTORES.

MATERIALES:

PARTI	CANTI	UNID	PRECIO	SUBTOTAL
1	TUBERIA 4 PULG. EXT. BISE- LADOS ACERO ASTM A-53 CED. 40	43	MTS \$ 8,000	\$ 344,000
2	IDEN PERO DE 3 PULG	12	MTS \$ 5,475	\$ 65,700
3	CODOS 90 DE 4 PULG. DIAM SODABLE A TOPE ACERO ASTM A-234 GR. WPR CED. 40	6	PZAS \$ 11,640	\$ 69,840

- 991 -



INDUSTRIAS RESISTOL S.A.

PROYECTO INYECTORES

TUBERIA DE BOMBEO DEL SISTEMA DE INYECTORES

ACOT: METROS
ESCALA: SIN.

DIAM. 4 1/2
REDES: 4 1/2

DIAM. 4 1/2
FECHA:

CARCOUS No
2

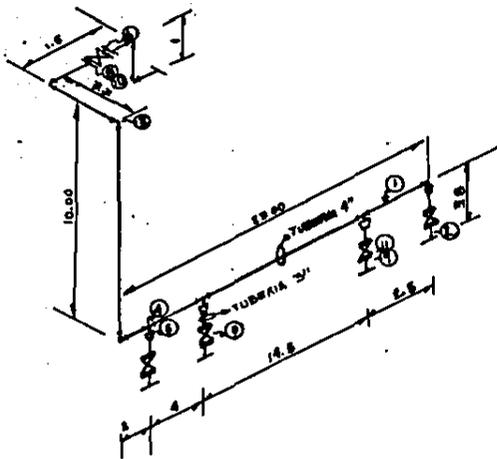
PARTI	CONCEPTO	CANTI	UNID	PRECIO	SUBTOTAL
I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	UNIT.	I
4	TEES DE 4 PULG SOLDABLE A TOPE CED. 40 ACERO ASTM A-234 GR WPB	3	PZAS	\$36,200	\$108,600
5	REDUCCION CAMPANA ACERO ASTM A-35 de 4x3 PULG SOL-DABLE A TOPE GR WPB	4	PZAS	\$22,372	\$89,488
6	VALVULA COMPUERTA 4 PULG DIAM EXT. BRIDADOS 125 PSI CUERPO HIERRO FUNDIDO	1	PZAS	\$108,350	\$108,350
7	IDEM ANTERIOR PERO DE 3PULGI	4	PZAS	\$81,150	\$324,600
8	BRIDA DESLIZABLE 4 PULG. DIAM 150 PSI CARA PLANA ACERO FORJADO ASTM A-105	1	PZAS	\$12,770	\$12,770
9	IDEM ANTERIOR PERO DE 3PULGI	12	PZAS	\$8,130	\$97,560
10	EMPAQUE TIPO ANILLO CARA REALZADA ASBESTO COMPRIMIDO 150 psi 1/8 x 4 PULG.	3	PZAS	\$2,700	\$8,100
11	IDEM ANTERIOR PERO 3 PULG	12	PZAS	\$1,915	\$22,980
12	SOLDADURA AGA AWS E6010 DE 1/8 PULG	15	KGS	\$1,032	\$15,480

TOTAL MATERIALES: \$1,267,468

MANO DE OBRA		CANTI	UNID	PRECIO	SUBTOTAL
PARTI	CONCEPTO	I	I	I	I
I	I	I	I	UNIT.	I
1	3 MECANICOS "A"	90	HRS	\$1,435	\$129,150
2	3 AYUDANTES	90	HRS	\$949	\$85,410

TOTAL MANO DE OBRA: \$214,560

TOTAL TUBERIA SUCCION: \$1,482,028



- 891 -



INDUSTRIAS RESISTOL S.A.

PROYECTO EYECTORES

TUBERIA DE SACCION DEL SISTEMA DE EYECTORES

UNIDAD	MED.	DESCR.	CANTIDAD	VALOR
ESCALA: SIN	MED.	VAL.	VAL.	3

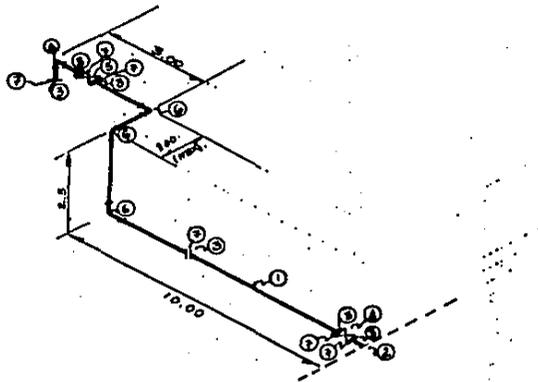
4.- TUBERIA DE AGUA DEL SISTEMA DE EYECTORES:

MATERIALES:					
PARTI	CONCEPTO	CANTI	UNID	PRECIO	SUBTOTAL
				UNIT.	
1	TUBERIA DE 3 PULG ACERO AL CARBON C-40 CON COSTURA ASTM A-106	18	MTS	\$ 5,475	\$98,550
2	TEE RECTA DE 3 PULG CUELLO SOLDABLE A TOPE C-40 ACERO ASTM A-35	1	PZA	\$26,300	\$26,300
3	BRIDAS DE 3 PULG ACERO FORJADO ASTM A-105 DESLI-ZABLE CARA REALZADA 150 PSI	7	PZAS	\$ 8,150	\$57,050
4	VALVULA COMPUERTA 3PULG EXTREMOS BRIDADOS 125PSI CARA PLANA CUERPO HIERRO FUNDIDO	1	PZA	\$81,150	\$81,150
5	VALVULA GLOBO 3 PULG EXTREMOS BRIDADOS CARA PLANA 125 PSI CUERPO HIERRO FUNDIDO	1	PZA	\$87,840	\$87,840
6	CODO DE 90 3PULG DIAM C-40 SOLDADO A TOPE ACERO ASTM A-274	4	PZAS	\$ 5,616	\$22,464
7	EMPAQUE TIPO ANILLO CARA REALZADA 150 PSI ASBESTO COMPRIMIDO TUBERIA DE 3PULG	6	PZAS	\$ 1,915	\$11,490
8	SOLDADURA AGA-AWS-E-600 DE 1/8 PULG	10	KGS	\$ 1,032	\$10,320

TOTAL MATERIALES:					\$395,164
MANO DE OBRA					
PARTI	CONCEPTO	CANTI	UNID	PRECIO	SUBTOTAL
				UNIT.	
1	2 MECANICOS "A"	54	HRS	\$957	\$51,678
2	2 AYUDANTES	54	HRS	\$632	\$34,128

TOTAL MANO DE OBRA:					\$85,806
TOTAL TUBERIA SUCCION:					\$480,970

- 120 -



INDUSTRIAS RESISTOL S.A.

PROYECTO EYECTORES

TUBERIA DE AGUA DEL SISTEMA DE EYECTORES

PROY. AV6	DISEÑO AV6	CROQUIS No
REVIS. AV6	FECHA.	4

5.- COTIZACION CONTRATISTA PLATAFORMAS Y MONTAJE PARA EYECTORES:

PARTI	CONCEPTO	CANTI	UNID	PRECIO	SUBTOTAL
				UNIT.	
1	CONSTRUCCION DE PLATAFORMAS	1			
	PARA LOS EYECTORES Y INTER-				
	CONDENSADOR	1		\$293,089	\$293,089
2	MONTAJE DE EYECTORES EN	1			
	PLATAFORMAS	1		\$100,000	\$100,000
COSTO TOTAL CONTRATISTA:					\$393,089
COSTO TOTAL INSTALACION SISTEMA DE EYECTORES:					\$4,629,137

4.8.2- BOMBA DE ANILLO LIQUIDO.

La instalación de la bomba de vacío modelo de AT-704 está comprendida por 4 líneas de tubería, 2 circuitos eléctricos y una cotización por maniobra, cimentación y plataformas, como se puede observar en la fig. 4.12. Por otro lado, en la tabla 5.7 se encuentran concentrados los costos por dichos conceptos.

T A B L A 4.8

CONCEPTO	COSTO EN M.N.
1.-Tubería de Succión	
Material	\$ 1,784,280
Mano de Obra	\$ 171,648
2.-Tubería de Recirculación de Agua	
Material	\$ 514,614
Mano de Obra	\$ 171,648
3.-Rubería de Agua de Sello	
Material	\$ 281,578
Mano de Obra	\$ 93,078
4.-Tubería de descarga a la atmósfera	
Material	\$ 51,627
Mano de Obra	\$ 42,930
5.-Instalación eléctrica Bomba de Vacío	
Material	\$ 734,836
Mano de Obra	\$ 46,260
6.-Instalación eléctrica Bomba Centrífuga	
Material	\$ 461,385
Mano de Obra	\$ 27,756
7.-Maniobra,Cimentación y Montajes	\$ 732,120
TOTAL:	\$ 5,113,760

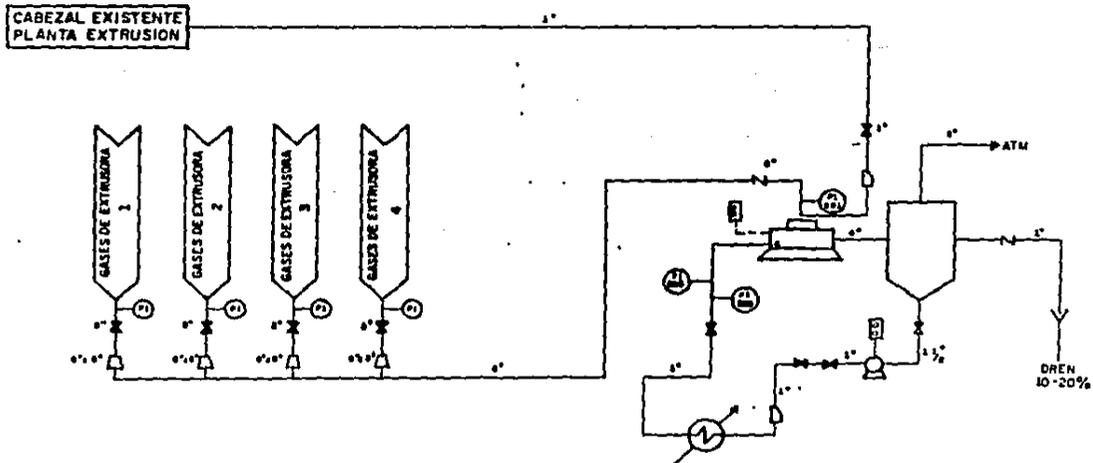


DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL VENTEO DE EXTRUSORAS
POR BOMBA DE VACIO AT -704

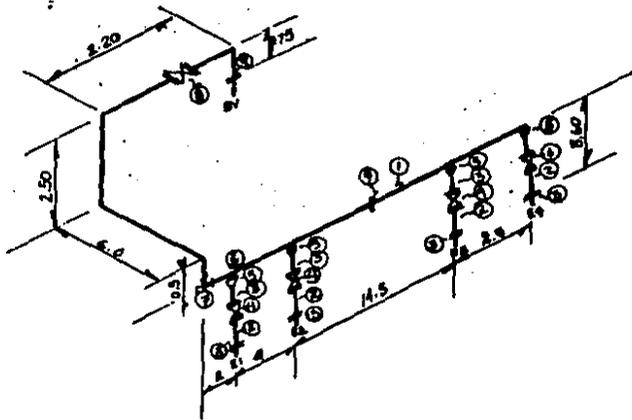
FIG. 4.12

ESTIMACION DE COSTOS INSTALACION DE BOMBA DE VACIO

1.- TUBERIA DE RECIRCULACION DE AGUA

MATERIALES:

PARTI	CONCEPTO	CANTI	UNID	IPRECIO UNIT.	SUBTOTAL
1	TUBERIA DE 4PULG DIAM c-40 CON COSTURA ACERO ASTM A-106	6	MTS	\$ 8,000	\$48,000
2	BRIDAS DE 4PULG DIAM DESLI- ZABLE 150 PSI CARA PLANA A- CERO FORJADO ASTM A-105	2	PZAS	\$12,770	\$25,540
3	TUBERIA DE 1 1/2PULG C-40 CON COSTURA ASTM A-106	6	MTS	\$ 1,880	\$11,280
4	VALVULA COMPUERTA DE 1 1/2 PULG EXTREMOS BRIDADOS 150 PSI CUERPO BRONCE	1	PZA	\$48,700	\$48,700
5	BRIADAS DE 1 1/2 PULG DIAM DESIZABLES 150 PSI ACERO ASTM A-105 FORJADO	2	PZAS	\$ 6,180	\$12,360
6	EMPAQUES TIPO ANILLO CARA REALZADA 150 PSI ASBESTO 1 1/2 PULG DIAM	2	PZAS	\$ 1,900	\$ 3,800
7	BRIADAS DE 1PULG DIAM CARA PLANA 150 PSI ACERO ASTM A-105 FORJADO	13	PZAS	\$ 5,100	\$66,300
8	IDEM PARTIDA 6 PERO DE 1PULG	13	PZAS	\$ 1,915	\$24,895
9	CODOS DE 1 PULG DIAM SOLDA- BLE A TOPE C-40 90 ACERO ASTM A-234	9	PZAS	\$ 4,400	\$39,600
10	VALVULA DE RETENCION RESORTE 150 PSI BRIDADA CARA PLANA I CUERPO PLATO HIERRO FUNDIDO	2	PZAS	\$38,595	\$77,190
11	VALVULA COMPUERTA DE 1 PULGI EXTREMOS ROSCADOS 150 PSI CARA PLANA CUERPO BRONCE	2	PZAS	\$45,722	\$91,444
12	FILTRO TIPO"Y" 1 PULG DIAM EXTREMOS ROSCADOS 200 PSI CUERPO BRONCE	1	PZA	\$45,705	\$45,705
13	TUBERIA 1 PULG ACERO ASTM A-53 CON COSTURA C-40	12	MTS	\$ 1,200	\$14,400



 INDUSTRIAS RESISTOL S.A.			
PROYECTO BOMBA DE VACIO			
TUBERIA DE SUCCION			
ACOT: m	UNID: m	PROYECTO: AVE	CROQUIS No
ESCALA: SIN	REVIS: AVE	FECHA: AVE	2

PARTI	CONCEPTO	CANTI	UNID	PRECIO	SUBTOTAL
				UNIT.	
14	IDEM PARTIDA 6 PERO DE 4PULG	2	PZAS	\$ 2,700	\$ 5,400

TOTAL MATERIALES: \$514,614

MANO DE OBRA

PARTI	CONCEPTO	CANTI	UNID	PRECIO	SUBTOTAL
				UNIT.	
1	3 MECANICOS "A"	72	HRS	\$ 1,435	\$ 103,320
2	3 AYUDANTES	72	HRS	\$ 949	\$ 68,328

TOTAL MANO DE OBRA: \$171,648

TOTAL TUBERIA RECIRCULACION: \$686,262

2.- TUBERIA DE SUCCION SISTEMA BOMBA DE VACIO

MATERIAL:

PARTI	CONCEPTO	CANTI	UNID	PRECIO	SUBTOTAL
				UNIT.	
1	TUBERIA DE 6PULG PESO ESTANDAR EXTREMOS BISELADOS ACERO ASTM A-53	36	MTS	\$ 10,360	\$ 372,960
2	IDEM PARTIDA 1 PERO DE 3PULG	16	MTS	\$ 5,475	\$ 87,600
3	BRIDA DESLIZABLE 3PULG DIAMETRO 150 PSI CARA PLANA ACERO FORJADO ASTM A-105	12	PZAS	\$ 8,130	\$ 97,560
4	VALVULA COMPUERTA 3 PULG EXTREMOS BRIDADOS 125 PSI CUERPO HIERRO FUNDIDO	4	PZAS	\$ 81,150	\$ 324,600
5	REDUCCION CAMPANA ACERO ASTM A-105 6x3 PULG SOLDABLE A TOPE C-40	4	PZAS	\$ 28,763	\$ 115,052
6	TEE DE 6PULG SOLDABLE A TOPE ACERO ASTM A-234 C-40	3	PZAS	\$ 52,852	\$ 158,556
7	CODO 90 DE 6PULG DIAMETRO 150 PSI ACERO ASTM A-234 ESTANDAR	6	PZAS	\$ 16,994	\$ 101,964
8	VALVULA DE RETENCION DE REFLUJO 150 PSI BRIDADA CARA PLANA 6 PULG HIERRO FUNDIDO	1	PZA	\$ 268,540	\$ 268,540

PARTI	CONCEPTO	CANTI	UNID	PRECIO	SUBTOTAL
I	I	I	I	UNIT.	I
9	BRIDA DESLIZABLE 6PULG DIAM				
	150 PSI CARA PLANA ACERO				
	FORJADO ASTM A-105	5	PZAS	\$ 18,644	\$ 93,220
10	EMPAQUE TIPO ANILLO CARA RE-				
	ALZADA 150 PSI ASBESTO COM-				
	PRIMIDO PARA 6 PULG	4	PZAS	\$ 3,942	\$ 15,768
11	IDEM PARTIDA 10 PERO 3				
	PULG.	12	PZAS	\$ 1,915	\$ 22,980
12	SOLDADURA AGA-AWS-E-6010				
	DE 1/8 PULG	15	KGS	\$ 1,032	\$ 15,480
13	VACUOMETRO DE 760mm Hg CON				
	BOURDON DE BRONCE CARATULA				
	4 PULG Y 1/2 PULG NPT	5	PZAS	\$ 22,000	\$ 110,000

TOTAL MATERIALES: \$1,784,280

MANO DE OBRA

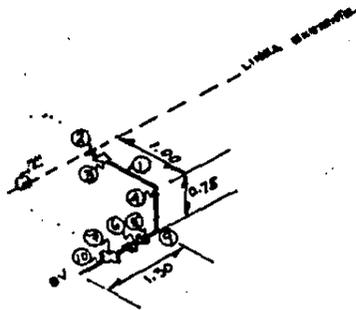
PARTI	CONCEPTO	CANTI	UNID	PRECIO	SUBTOTAL
I	I	I	I	UNIT.	I
1	3 MECANICOS "A"	72	HRS	\$ 1,435	\$ 103,320
2	3 AYUDANTES	72	HRS	\$ 949	\$ 68,328

TOTAL MANO DE OBRA: \$171,648

TOTAL TUBERIA SUCCION: \$1,955,928

3.- TUBERIA PARA LA RECIRCULACION DE SELLO BOMBA DE VACIO

PARTI	CONCEPTO	CANTI	UNID	PRECIO	SUBTOTAL
I	I	I	I	UNIT.	I
1	TUBERIA DE 1PULG DIAM ACERO				
	ASTM A-53 PESO ESTANDAR EX-				
	TREMOS BISELADOS	6	MTS	\$ 1,200	\$ 7,200
2	TEE 2 PULG DIAM SOLDABLE A				
	TOPE ACERO ASTM A-234 C-40	1	PZA	\$ 17,000	\$ 17,000
3	REDUCCION 2x1 PULG CONCEN-				
	TRICA ACERO A-234 C-40	1	PZA	\$ 15,700	\$ 15,700
4	CODOS 90° 1 PULG DIAM SOLDA-				
	BLE A TOPE C-40 ACERO ASTM				
	A-234	2	PZAS	\$ 4,400	\$ 8,800



INDUSTRIAS RESISTOL S.A.

PROYECTO BOMBAS DE VACIO

TUBERIA DE AGUA DE SELLO

ACOT: METROS
ESCALA: 3/16"

PLAN: AVG	TRAZO: AVG	CHOUK No
METROS: AVG	TRAZO: AVG	3

PARTI	CONCEPTO	CANTI	UNID	PRECIO	SUBTOTAL
				UNIT.	
5	BRIDA 1PULG DIAM ACERO FOR-				
	JADO ASTM A-105 DESLIZABLE				
	CARA REALZADA 150 PSI	3	PZAS	\$ 5,100	\$ 15,300
6	VALVULA GLOBO 1 PULG DIAM				
	EXTREMOS ROSCADOS 150 PSI				
	CUERPO BRONCE	1	PZA	\$ 56,300	\$ 56,300
7	FILTRO TIPO"Y" DE 1 PULG				
	EXTREMOS ROSCADOS 200 PSI				
	CUERPO BRONCE	1	PZA	\$ 45,705	\$ 45,705
8	EMPAQUES TIPO ANILLO CARA				
	REALZADA 150 PSI ASBESTO				
	COMPRINIDO DE 1 PULG DIAM	3	PZAS	\$ 1,915	\$ 5,745
9	ROTAMETRO DE 0-10 GPM MODELO				
	A-1025	1	PZA	\$105,700	\$105,700
10	SOLDADURA ACA-AWS-E6010 1/8"				
	PULG	4	KGS	\$ 1,032	\$ 4,128

TOTAL MATERIALES: \$281,578

MANO DE OBRA

PARTI	CONCEPTO	CANTI	UNID	PRECIO	SUBTOTAL
				UNIT.	
1	3 MECANICOS "A"	27	HRS	\$1,435	\$38,745
2	3 AYUDANTES	27	HRS	\$ 949	\$25,623
3	1 INSTRUMENTISTA	18	HRS	\$1,595	\$28,710

TOTAL MANO DE OBRA: \$93,078

TOTAL TUBERIA AGUA DE SELLO: \$374,656

4.- TUBERIA DESCARGA A LA ATMOSFERA BOMBA DE VACIO
MATERIALES:

PARTI	CONCEPTO	CANTI	UNID	PRECIO	SUBTOTAL
				UNIT.	
1	TUBERIA DE 3 PULG DIAM C-40I				
	CON COSTURA ASTM A-106	6	MTS	\$5,475	\$32,850
2	BRIDA DE 3 PULG DIAM ACERO				
	FORJADO ASTM A-103 150 PSI				
	CARA REALZADA	1	PZA	\$8,150	\$ 8,150
3	EMPAQUE TIPO ANILLO CARA RE-				
	ALZADA 150 PSI ASBESTO COM-I				
	PRINIDO PARA 3 PULG	1	PZA	\$1,915	\$ 8,150
4	CODO 90° 3PULG DIAM C-40				
	SOLDABLE A TOPE ACERO ASTM				
	A-234	1	PZA	\$5,616	\$ 5,616
5	SOLDADURA AGA-AWS-E-6010 DEI				
	1/8 PULG	3	KGS	\$1,032	\$ 3,096
TOTAL MATERIALES:					\$51,627

MANO DE OBRA

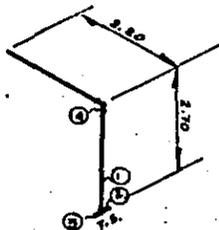
PARTI	CONCEPTO	CANTI	UNID	PRECIO	SUBTOTAL
				UNIT.	
1	2 MECANICOS "A"	27	HRS	\$957	\$25,839
2	2 AYUDANTES	27	HRS	\$633	\$17,091
TOTAL MANO DE OBRA:					\$42,930

TOTAL TUBERIA DESCARGA A LA ATMOSFERA: \$94,557

5.- INSTALACION ELECTRICA BOMBA DE VACIO

PARTI	CONCEPTO	CANTI	UNID	PRECIO	SUBTOTAL
				UNIT.	
1	ARRANCADOR MAGNETICO A TEN-				
	SION COMPLETA CLASE 8536 3				
	POLOS TAMAÑO 3 440 V	1	PZA	\$312,571	\$312,571
2	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO				
	TIPO FHL 70 AMP 440 V 3 PO-				
	LOS CAT. FHL-3670	1	PZA	\$167,061	\$167,061
3	ELEMENTOS TERMICOS ALEACIONI				
	FUSIBLE TIPO C-51	3	PZAS	\$ 3,260	\$ 9,780

T. S. - TANQUE SEPARADOR.



- 182 -



INDUSTRIAS RESISTOL S.A.

PROYECTO BOMBA DE VACIO.
TUBERIA DESCARGA A LA ATMOSFERA

ACOT.: mts
ESCALA: SIN

DISEÑO	AVL	DIBUJO	AVL	CRUCIOS No
REVIS:	AVL	FECHA:	270587	4

PARTI	CONCEPTO	CANTI	UNID	PRECIO	SUBTOTAL
I	I	I	I	UNIT.	I
4	TUBO CONDUIT PARED GRUESA	8	PZAS	\$ 4,362	\$34,896
	1 PULG DIAM Y 3 MTS LARGO				
5	CONDULET TIPO GUAT DE 1PULG	1	PZA	\$ 3,700	\$ 3,700
	CAT GUAL-36				
6	CONDULET TIPO GUAL DE 1PULG	5	PZAS	\$ 3,030	\$15,150
	CAT GUAL-36				
7	ESTACION DE BOTONES TIPO	1	PZA	\$64,700	\$64,700
	TERMINAL 2 CIRCUITOS UNIVER-				
	SALES PARA CONDUIT DE 1PULG				
8	COPLE FLEXIBLE TIPO ECGHJ DE	1	PZA	\$23,350	\$23,350
	21 PULG LARGO Y 1 PULG DIAM				
9	CABLE CALIBRE 6 AWG	100	MTS	\$ 825	\$82,500
10	TUERCA UNION HEMBRA 1PULG	2	PZAS	\$ 6,764	\$13,528
	UNF-105				
11	ABRAZADERAS TIPO UÑA DE 1	50	PZAS	\$ 152	\$ 7,600
	PULG				

TOTAL MATERIALES: \$734,836

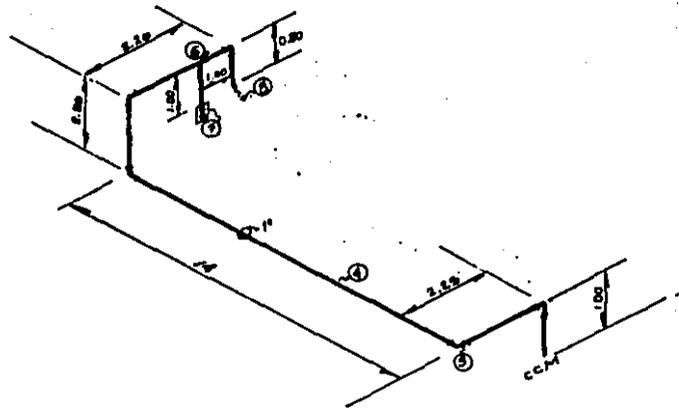
MANO DE OBRA:

PARTI	CONCEPTO	CANTI	UNID	PRECIO	SUBTOTAL
I	I	I	I	UNIT.	I
1	2 ELECTICISTAS "A"	45	HRS	\$712	\$32,040
2	2 ayudantes	45	HRS	\$316	\$14,220

TOTAL MANO DE OBRA: \$46,260

TOTAL DE INSTALACION ELECTRICA NOMHA DE VACIO: \$781,096

- 184 -



 INDUSTRIAS RESISTOL S.A.		
PROYECTO BOMBA DE VACIO		
INSTALACION ELECTRICA BOMBA DE VACIO		
0-4620: AV4	00-7-60 AV6	CROQUIS No
0734: AV6	FECH: 270567	5

ACOT. METROS
ESCALA: 5/16

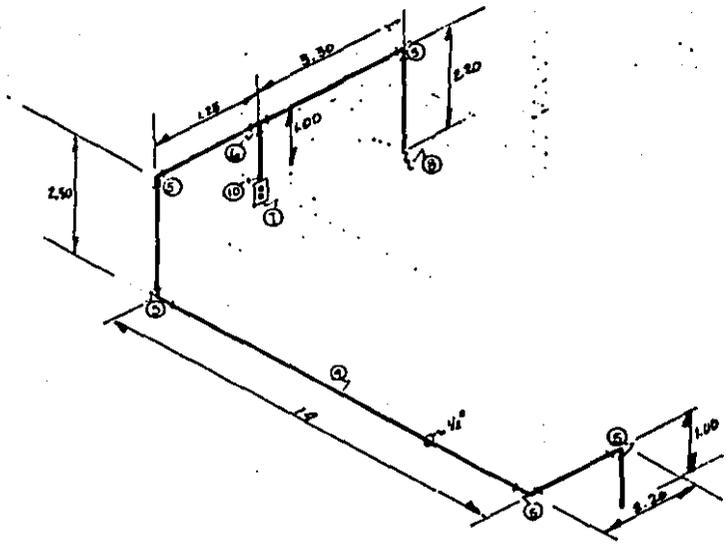
PARTI	CONCEPTO	CANTI	UNID	PRECIO	SUBTOTAL
				UNIT.	
1	ARRANCADOR MAGNETICO A TENSION COMPLETA CLASE 8536 2 I I POLOS 440 V CATALOGO BO-2	1	PZA	\$ 160,700	\$ 160,700
2	ELEMENTOS TERMICOS ALEACIONI I FUSIBLE TIPO B265	2	PZAS	\$ 7,125	\$ 14,250
3	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO I TIPO FAL 15 AMP 440 V 3 PO-I I LOS	1	PZA	\$ 97,000	\$ 97,000
4	TUBO CONDUIT PARED GRUESA DE I 1/2 PULG DIAM y 3 MTS LARGO	10	PZAS	\$ 3,560	\$ 35,600
5	CONDUTEL TIPO GUAL DE 1/2 I PULG CAT. GUAL 36	5	PZAS	\$ 2,300	\$ 11,500
6	CONDUTEL TIPO GUAT DE 1/2 I PULG. CAT. GUAT 36	1	PZA	\$ 2,685	\$ 2,685
7	ESTACION DE BOTONES TIPO I TERMINAL 2 CIRCUITOS UNIVER- I SALES DE 1/2 PULG	1	PZA	\$ 52,500	\$ 52,500
8	COPE FLEXIBLE TIPO ECGJH DE I 21 PULG LONG Y 1/2 PULG DIAM	1	PZA	\$ 17,150	\$ 17,150
9	CABLE CALIBRE 14 AWG	100	MTS	\$ 457	\$ 45,700
10	TUERCA UNION HEMBRA DE 1/2 I PULG DIAM UNF-105	2	PZAS	\$ 8,350	\$ 16,700
11	ABRAZADERAS TIPO UÑA DE 1/2 I PULG DIAM	50	PZAS	\$ 152	\$ 7,600

TOTAL MATERIALES: \$461,385

PARTI	CONCEPTO	CANTI	UNID	PRECIO	SUBTOTAL
				UNIT.	
1	2 ELECTRICISTAS "A"	27	HRS	\$ 712	\$ 19,224
2	2 AYUDANTES	27	HRS	\$ 316	\$ 8,532

TOTAL HARO DE OBRA: \$ 27,756

TOTAL DE INSTALACION ELECTRICA BOMBA DE ALIMENTACION: \$489,141



- 106 -

 INDUSTRIAS RESISTOL S.A.			
PROYECTO BOMBA DE VACIO			
INSTALACION ELECTRICA BOMBA CENTRIFUGA.			
ACOT.: METROS	DIBUJO: AVH	APROBADO: AVH	CRUCIOS No
ESCALA: SIN	REVISOR: AVH	FECHA: AVH	6

6.- COTIZACION CONTRATISTA CIMENTACION Y BASE:

PARTI	CONCEPTO	CANTI	UNID	PRECIO UNIT.	SUBTOTAL
1	CONSTRUCCION DE CIMENTACIONES PARA LA BOMBA DE VACIO Y BOMBA CENTRIFUGA	1	1	1	\$332,000
2	CONSTRUCCION DE LA BASE PARA BOMBA DE VACIO	1	1	1	\$400,120

COSTO TOTAL CONTRATISTA:					\$732,120

TOTAL DE INSTALACION BOMBA DE VACIO:					\$5,113,760

4.9. RESUMEN DE COSTOS REALES.

Una vez establecidos los costos de instalación con las tablas 4.7 y 4.8, los costos fijos y variables quedan establecidos en la tabla 4.9.

T A B L A 4.9

	Eyectores	Bombas de Vacío
a) COSTOS FIJOS REALES:		
Costos de Adquisición:	\$ 8,000,000	\$27,842,490
Costos de Instalación:	\$ 4,629,137	\$ 5,113,760
Costos Fijos Reales:	\$12,629,137	\$37,956,250
b) COSTOS ANUALIZADOS:		
Depreciación Anual:	\$ 315,728	\$ 1,647,812
Costos Mantenimiento:	\$ 568,311	\$ 1,483,031
Costos de Operación:	\$12,264,544	\$ 5,706,525
TOTAL COSTOS ANUALIZADOS:	\$13,148,583	\$ 8,837,368

4.10 ESTUDIO DEFINITIVO PARA LA SELECCION DEL EQUIPO.

El sistema que se elegirá como el más óptimo para las necesidades de la planta de extrusión, entre el sistema de eyectores y la bomba AT-704, será aquel que tenga el menor costo a valor presente, según los datos de la tabla 4.9. No se hace el estudio en base a una tasa de rendimiento ya que solamente se asegurará la calidad de la producción.

Las premisas para elaborar este estudio son:

1) El proyecto es del tipo indispensable, debido a que el plástico necesita un venteo al vacío de 2 pulg. Hg Abs. a pie de extrusora, en caso de no existir, la producción se verá seriamente afectada en su calidad.

2) Para fines de este proyecto, se considera que la inflación es igual a cero con el objeto de facilitar los cálculos, ya que la inflación real afectaría de igual manera a cada alternativa y además se considera que la inflación es muy parecida a la devaluación del peso con respecto al dólar.

3) De acuerdo a las políticas financieras de la empresa la tasa de interés será del 15% anual. Los estudios se harán en M.N.

4) El horizonte de planeación para la elección de la mejor alternativa está determinado por el tiempo de vida de las máquinas extrusoras, que es de 30 años. Esto es debido a que cada sistema de extrusoras requiere de un sistema diferente, según el nivel de vacío y la cantidad de gases a ventear.

4.10.1 COSTO A VALOR PRESENTE EYECTORES.

La gráfica de flujo de efectivo para los eyectores se presenta a continuación, considerando lo siguiente:

	Según tabla 4.9
Tiempo: 30 años.	Costo fijo: \$12,629,137
interés: 15%	Costo Variable: \$12,832,853
inflación: 0%	Depreciación Anual: \$ 315,728

-Depreciación a los 30 años: $315,728 * 30 = 9,471,840$

-Valor de recuperación: $12,629,137 - 9,471,853 = 3,157,284$

-Los factores para un interes del 15% a 30 años para anualidades son los siguientes:

$$\begin{aligned}PF(15\%, 30) &= 0.0151 \\PA(15\%, 30) &= 6.5660\end{aligned}$$

El valor presente de las anualidades de los costos variables es el siguiente:

$$\$12,832,855 \cdot 6.5660 = \$84,260,526$$

El valor presente del valor de recuperación a los 30 años es:

$$\$12,629,137 + \$84,260,526 - \$47,675 = \$96,841,988$$

El valor presente total para los eyectores es igual a:

$$VPT = \$96,841,988 \text{ M.N.}$$

4.10.2 VALOR PRESENTE PARA LA BOMBA DE VACIO AT-704

La gráfica para el flujo de efectivo para la bomba de vacío se presenta a continuación considerando lo siguiente:

tiempo: 30 años.
interes: 15% anual
inflación: 0%

Costo fijo: \$32,956,250
Costo Variable Anual: \$ 7,189,556
Costo Compra AT-704: \$27,842,490
Depreciación Anual: \$ 1,647,812

Depreciación a los 10 años (Valor de Recuperación):

$$1,647,812 * 10 = 16,478,120$$

Los factores para un interes del 15% son:

$$PF (15\%, 20) = 0.0611$$

$$PF (15\%, 30) = 0.0151$$

$$PA (15\%, 30) = 6.5650$$

El valor presente de recuperación:

$$\$16,478,120 * .0151 = \$248,819$$

El valor presente por la compra del equipo a los 20 años:

$$\$32,956,250 * .0611 = \$2,013,626.9$$

El valor presente de la anualidad es:

$$\$ 7,189,556 * 6.5660 = \$47,206,625$$

El valor presente total es:

$$VPT = \$32,956,250 - \$248,819 + \$2,013,627 + 47,206,625 =$$

$$VPT = \$81,927,683, M.N.$$

4.10.3. SELECCION FINAL DE SISTEMA DE VACIO.

Los resultados del VPT indican que el menor corresponde a la bomba de anillo liquido de dos etapas con un valor de \$81,927,683 M.N. contra el valor de los eyectores de \$96,841,988 M.N.; existiendo una diferencia aproximada del 15.4%, por lo que se considera que el sistema de vacio de la bomba de anillo liquido modelo AT-704 es el sistema más adecuado para el venteo de las máquinas extrusoras.

4.11.- NOMENCLATURA.

- C.A.: Costo anual en pesos mexicanos.
C.I.: Costo de instalación en pesos mexicanos.
C.U.: Costo unitario de los servicios en pesos mexicanos.
C.F.M.: Pies cúbicos por minuto.
D.A.E.: Aire seco equivalente a 70°F.
F.O.B.: Libre abordo.
GAL: Galón
GPH: Galón por hora.
HP: Caballos de potencia.
M.N.: Moneda nacional (pesos mexicanos)
N.C.: Número de condensadores.
N.S.: Número de etapas.
PA: Factor para hallar el valor presente dada una
 anualidad.
PF: Factor para hallar el valor presente dado un valor
 futuro.
P.M.P.: Peso molecular promedio.
R.P.M.: Revoluciones por minuto.
SCON: Consumo de vapor en lb/hr
USCY: Dólares americanos al contado.
V.E.: Vapor equivalente en lb/hr.
V.P.T.: Valor presente total en pesos mexicanos.
bhp: Potencia al freno.
ppm: Partes por millon.
psig: libras por pulgada manométrica.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

1.- La extrusión de plástico requiere de sistemas de vacío para el venteo de los gases generados en el proceso que sean confiables, de fácil mantenimiento y además que tengan capacidad de manejar pequeñas partículas de sólidos. Los equipos de vacío que reúnen estas características técnicas son: el sistema de la bomba de vacío de anillo líquido, el sistema de eyectores y los sistemas integrados con ambos equipos.

2.-El sistema que se seleccionó para la planta de extrusión de plástico fue la bomba de anillo líquido de dos etapas modelo AT-704, ya que sus costos a valor presente fueron inferiores al sistema de eyectores además que de acuerdo al procedimiento de selección, la diferencia en el puntaje técnico es pequeña. (Ver tabla 6.1)

T A B L A 6.1

COMPARACION FINAL DE ALTERNATIVAS

SISTEMA	VPT	DIFERENCIA	PUNTAJE TECNICO
Bomba AT-704	81,927,683	base	121
EYECTORES	96,841,988	15.4%	128

3.- En la actualidad, solamente los eyectores son los únicos dispositivos para la producción de vacío fabricados totalmente en México, por lo que existen pocas alternativas de

selección de equipo nacional que puedan ser estudiadas en un proyecto.

4.- El sistema integrado de la bomba de vacío de anillo líquido con eyector de aire modelo CL-1003, resultó ser más caro que las opciones de los eyectores y la bomba AT-704. Pero el sistema integrado ofrece una mayor confiabilidad, capacidad y nivel de vacío. Sin embargo, para el caso de las extrusoras, estas ventajas no pueden justificar su alto costo, ya que los vapores que se ventean, tendrán el mismo flujo sin posibilidad de que aumente desmesuradamente. Por otro lado, las posibles infiltraciones que existan en el sistema se tomaron en consideración en la selección de los equipos.

5.- El procedimiento de selección de sistemas de vacío que se dió en el capítulo IV, cubre a los dispositivos más utilizados en aplicaciones relacionadas con extrusoras de plástico, pero puede utilizarse en otras aplicaciones donde el nivel de vacío y capacidad estén dentro de dicho procedimiento.

6.- Los dos diferentes dispositivos básicos de producción de vacío son los eyectores y las bombas mecánicas de vacío. Los primeros se caracterizan por su bajo costo de adquisición y mantenimiento compensado por su alto costo de operación. Las bombas mecánicas de vacío, tienen las características contrarias, un alto costo de adquisición y mantenimiento pero con una operación relativamente barata.

7.- La conclusión anterior fué determinante para la selección de la bomba de vacío AT-704. Sin embargo este resultado puede variar en otras condiciones, por ejemplo, en el caso de que los costos de vapor y agua sean muy económicos, la decisión puede favorecer a los eyectores.

8.- Puede concluirse además que las bombas mecánicas de anillo líquido son uno de los dispositivos idóneos para la producción de vacío para la industria de extrusión de plásticos, entre otras muchas industrias. Por lo que existen muchas oportunidades en el mercado para un futuro fabricante nacional de este tipo de bombas, sobre todo en modelos pequeños.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- 1.- LUDWIG E.E., "Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants". Vol. 1, Gulf Publishing Co. Houston, (1964). Pp. 182-214
- 2.- EVANS F.L., "Equipment Design Handbook for Refineries and Chemical Plants". Gulf Publishing Co. Houston, (1971). Pp. 84-96.
- 3.- ROBLES G. Pedro, "Desarrollo de Tecnología de Diseño de Eyectores". Revista del Instituto Mexicano del Petroleo. Vol. XVIII. No. 2. Abril 1986. Pp. 65-76
- 4.- HEAT EXCHANGE INSTITUTE, "Standards for Steam Jet Ejector". Third Edition. (1980).
- 5.- HEAT EXCHANGE INSTITUTE, "General Construction Standards for Ejectors Components other than Ejector Condensers. First Edition". (1979).
- 6.- HEAT EXCHANGE INSTITUTE, "Standards for Direct Contact Barometric and Low Level Condensers". 5th Edition. (1970).
- 7.- INGERSOLL RAND COMPANY. "Compressed Air and Gas Data". Second Edition. (1971). Pp. 201-219.

- 8.- PATTON W. Paul. How to Find the Lowest-Cost Vacuum System. Chemical Engineering. (Feb. 1976). Pp. 84-88.
- 9.- RYANS J.L. "Selecting Vacuum Systems". Chemical Engineering. (Dec. 1981). Pp. 72-90.
- 10.- RYANS J.L. "Advantages of Integrated Vacuum Pumping Systems. Chemical Engineering Progress. Vol. 71 No.10. (June 1984). Pp. 59-62.
- 11.- Monroe E.S. "Energy Conservation and Vacuum Pumps". Chemical Engineering Progress. Vol. 71 No. 10. (Oct. 1975). Pp. 56-65.
- 12.- NASH Co. "Vacuum Pumps and Compressors". Bulletin No. 502-B. (1976).
- 13.-GUTHRIE Andrew. "Vacuum Technology". Mc. Graw-Hill. (1963). Pp. 12-45, 88-110.
- 14.- AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERING. "Performance Test Codes. Code on Ejectors". PTC-24. (1976).
- 15.- GILES Ronald. "Hydraulics and Fluid Mechanics". Schaum Publishing. 1956. Pp. 57-61.
- 16.- IMP. Sistemas de Vacío. Curso Regional. 1985. Pp. 1.1 a 1.12, 3.1 a 3.12.
- 17.- L.A. DE FRATE y A. E. HOERL. "Optimum Design of Ejector using Digital Computers". Chem. Eng., Symposium Series, Vol. 55, No. 21. Pp. 43-51.