



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

53

**METODOLOGIA PARA EL DISEÑO  
DE EYECTORES**

**M O N O G R A F I A**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
I N G E N I E R O Q U I M I C O  
P R E S E N T A

**Eva Elizabeth Espinoza Salas**

MEXICO, D. F.

1977



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

AB Tesis 1977  
BO M-157 **198**  
ECHA \_\_\_\_\_  
ROC \_\_\_\_\_  
I \_\_\_\_\_



**QUÍMICA**

A mi madre Sra. Eva Salas A.

A mi abuelita Sra. Fca. Arroyo D.

Reciban mi gratitud

Quienes han sido guía y apoyo

durante mi vida.

A mis hermanos: José M. Espinosa  
Jorge E. Espinosa

Con cariño

A mis maestros



De una manera muy especial  
deseo expresar mi más sincero  
agradecimiento al Ing.  
Joel Cortés G. por su valiosa  
cooperación y constante interés  
en el desarrollo de este trabajo.

Deseo patentizar mi reconocimiento  
por las facilidades otorgadas y por  
sus valiosas ideas y observaciones  
al Ing. Ignacio F. Palencia

HONORABLE JURADO

PRESIDENTE: Ing. Quím. Alberto Bremauntz Monge  
VOCAL: Ing. Quím. Alejandro Anaya Durand  
SECRETARIO: Ing. Quím. Antonio Frías Mendoza  
1ER. SUPLENTE: Ing. Quím. Claudio A. Aguilar Martínez  
2° SUPLENTE: Ing. Quím. Luis Fernando Osorno Heinze

ASESOR: Ing. Quím. Antonio Frías Mendoza *Antonio Frías Mendoza*  
SUPERVISOR TECNICO: Ing. Quím. Ignacio F. Palencia *Ignacio F. Palencia*  
SUSTENTANTE: Eva Elizabeth Espinoza Salas *Eva Elizabeth Espinoza Salas*

CIUDAD UNIVERSITARIA, MEXICO, D.F.

## I N D I C E

<u>CAPITULO I</u>	INTRODUCCION
<u>CAPITULO II</u>	GENERALIDADES DE LOS EQUIPOS
<u>CAPITULO III</u>	APLICACIONES
<u>CAPITULO IV</u>	DISEÑO Y ESTANDARES- DE CONSTRUCCION
<u>CAPITULO V</u>	COSTOS DE EQUIPO
<u>CAPITULO VI</u>	CONCLUSIONES

C A P I T U L O I

INTRODUCCION

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

Un dispositivo muy versátil en la industria química es el eyector. Este aparato es apropiado para manejar casi cualquier tipo de gas o vapor, es de fácil manejo y exige poca atención y mantenimiento. Tiene la característica de no poseer partes móviles por lo que se conserva en buen funcionamiento por mucho tiempo evitando puntos muertos en la operación de la planta, además con ello se permite el uso de muchos materiales de construcción.

En general, los eyectores se emplean en todos los casos en que sea necesario producir vacío, manejar o eliminar vapores o gases de alguna operación o algún proceso.

Por ejemplo, en la industria farmacéutica y de preparación de productos alimenticios se emplean mucho para realizar operaciones como enfriamientos por evaporación, trans

portar materiales sólidos, destilar, trasvasar líquidos, --  
mezclar, etc. Son, generalmente los más apropiados para fa  
cilitar los más altos vacíos aunque pueden suministrarse pa  
ra cualquier presión de succión, descarga y capacidad.

La metodología que se presenta en este trabajo tiene  
como objetivo considerar los factores esenciales para la --  
selección y diseño del eyector requerido.

C A P I T U L O   I I

GENERALIDADES



## GENERALIDADES

Por definición, un eyector es un dispositivo que primero convierte la energía de presión de un fluido de trabajo a energía de velocidad arrastrando el fluido a succionarse, después comprime los fluidos mezclados y convierte ahora la energía de velocidad en energía de presión.\* Todo esto se basa en la teoría de que una boquilla seguida por una garganta Venturi bien diseñadas comprimen económicamente el fluido de alta presión. Este cambio de presión a velocidad es la base del principio de los eyectores de chorro para producir vacío.

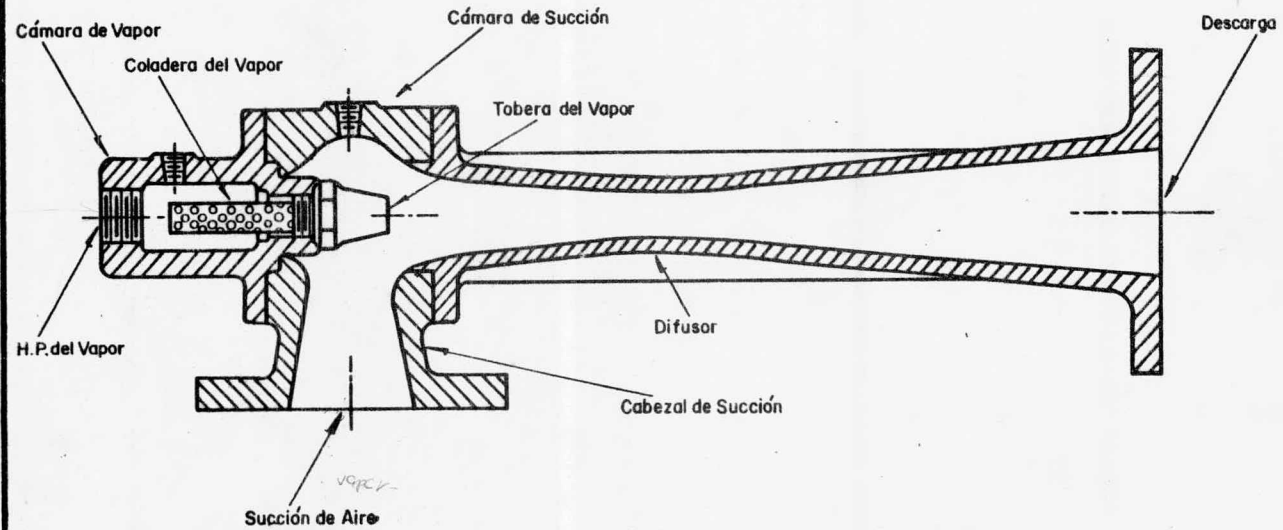
La fig. II-1 ilustra una vista seccional de los componentes de un eyector de chorro, el cual consiste de una cámara de vapor, cámara de succión la que contiene la boquilla o tobera de vapor y la succión conectada al Venturi o difusor. En la fig, II-2, el fluido de trabajo a alta

presión ( $M_a$ ), se alimenta en 1, pasa a través de la boquilla convergente - divergente en 2, donde se expande. El fluido a succionarse ( $M_b$ ) se introduce en 3 mezclándose con el fluido de trabajo en la cámara de mezclado 4. Ambas  $M_a$  y  $M_b$  se comprimen a través del difusor en 5, para evacuarse a la atmósfera o a otro eyector. El difusor sirve para convertir la energía de velocidad, descargando un volumen a una presión mayor que la presión en la cámara de vapor, por lo que efectivamente, el difusor actúa como una compresora. Entonces, el eyector es esencialmente una compresora, pero con la característica exclusiva de que el fluido de trabajo se mezcla con el fluido que va a ser comprimido.

En la misma figura se muestra el cambio térmico en un diagrama de Mollier usando vapor de alta presión como fluido de trabajo y vapor saturado como fluido succionado.

Los eyectores poseen las siguientes características\* que los sitúan con buenas ventajas para producir un vacío continuo, económico y relativamente alto:

- A. Manejan mezclas de vapor húmedas, secas o corrosivas.
- B. Desarrollan cualquier vacío necesario para operación industrial.



**FIG. 1-1** EYECTOR DE  
CHORRO DE UN SOLO PASO.  
**UNAM** FAC. C. QUIMICAS  
**EVA E. ESPINOZA S.**

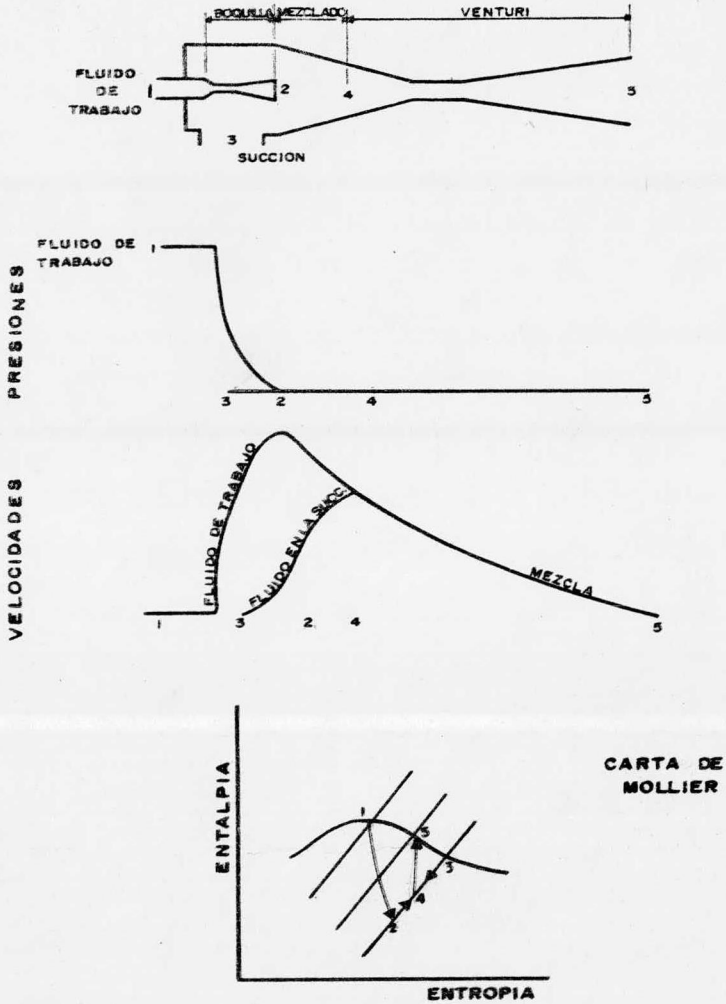


FIGURA II-2 DIVERSOS COMPORTAMIENTOS DE LOS CAMBIOS QUE SUFREN EL FLUIDO DE TRABAJO Y EL FLUIDO A SUCCIONARSE .

FIGURA II-2
UNAM FAC. C. QUIMICAS
EVA E. ESPINOZA S.

- C. Disponibles en todas las dimensiones para alcanzar grandes o pequeñas capacidades.
- D. No tienen partes móviles y requieren un mantenimiento bajo.
- E. Operación estable y simple.
- F. Sus eficiencias van desde razonables a buenas.
- G. Costos de instalación relativamente bajos.

Los tipos más comunes de eyectores son dos:

1. Eyectores operados o accionados con agua o líquido de proceso.
2. Eyectores operados con vapor.

Los primeros se utilizan para crear un vacío muy modesto o para mezclar líquidos y los últimos se utilizan para crear y sostener un vacío en un sistema.

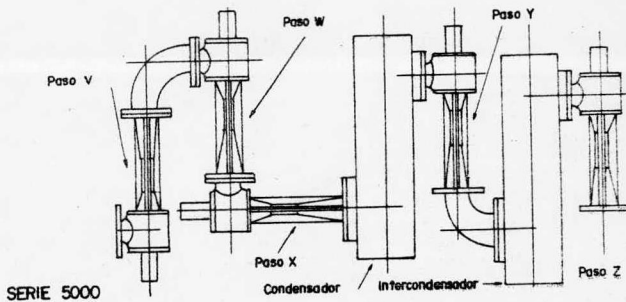
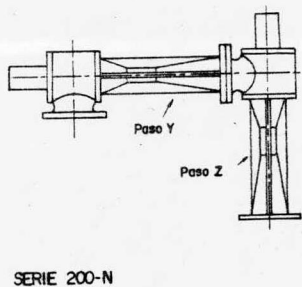
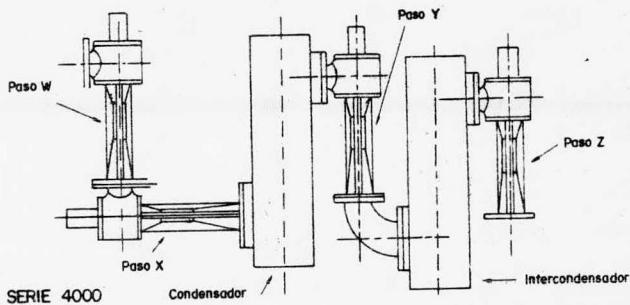
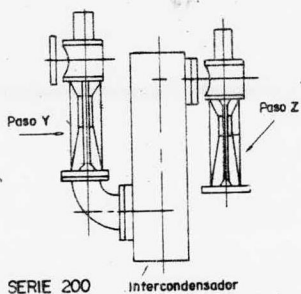
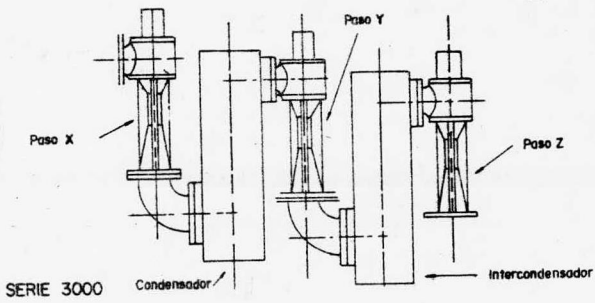
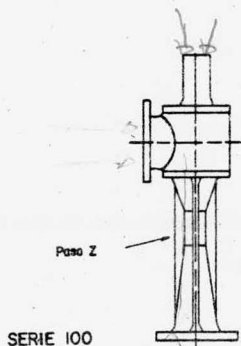
Los sistemas de vacío con eyectores pueden utilizar desde un sólo eyector (un solo paso) hasta varios eyectores (pasos múltiples). Los sistemas de vacío de pasos múltiples

hacen posible que el sistema opere a presiones absolutas menores o sea que producen mayor vacío que los sistemas de un solo paso. No se puede decir con exactitud cuando deben usarse uno o mas pasos, sobre todo si se agregan intercondensadores ya que su capacidad y/o eficiencia tienen siempre márgenes que se sobreponen. En estos casos el diseño se basa en economía de precio y funcionamiento, costo de vapor y costo de agua en los eyectores accionados por vapor.

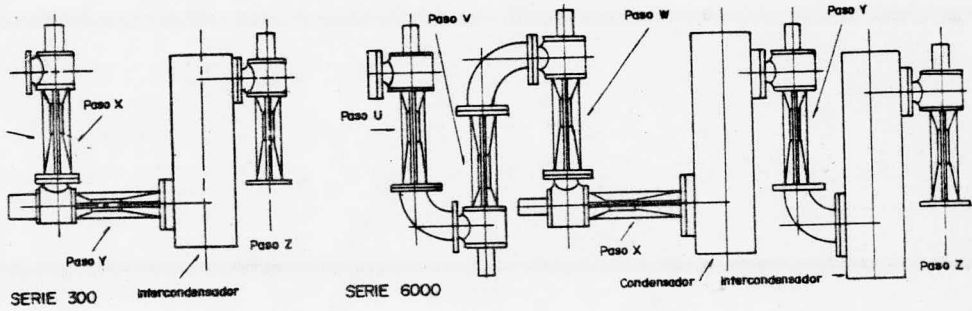
La relación de compresión en un eyector de un solo paso puede exceder 10:1, pero la capacidad por unidad de fluido comprimido resulta antieconómica. Para relaciones de compresión mayores, resulta más económico usar varios eyectores en serie. En la figura II-3 se muestran las diferentes disposiciones para los pasos múltiples, en la cual se muestra la descarga de un eyector de baja presión, alimentando la cámara de succión de un eyector de alta presión. Esto permite al proyectista, usar cada eyector con una relación de compresión cercana al valor óptimo, para obtener el aumento de presión total necesario. Se han llegado a usar hasta seis eyectores en serie. El fluido de trabajo se acumula en los gases comprimidos, aumentando la cantidad de gas que debe ser comprimida en el paso subsiguiente.

Los eyectores de chorro pueden usar cualquier fluido como fluido de trabajo, pero el vapor resulta el más económico.

2



**FIG. I-3** (hoja 1 de 2)  
**SERIES BASICAS DE COMBINA-  
 CION EYECTOR-CONDENSADOR.**  
**UNAM. FAC. C. QUIMICAS**  
**EVA E. ESPINOZA S.**



LETRA	POSICION EN SERIE	RANGO NORMAL DE PRESION DE SUCCION	RANGO NORMAL DE PRESION DE DESCARGA
Z	PASO ATMOSFERICO	3" - 12"	30" - 32"
Y	PRIMERO DE DOS PASOS	.5" - 4"	4" - 10"
X	PRIMERO DE TRES PASOS	.1" - 1"	1" - 3"
W	PRIMERO DE CUATRO PASOS	.2 mm - 4 mm.	2 mm. - 20 mm.
V	PRIMERO DE CINCO PASOS	.02 mm. - .4 mm.	.4 mm. - 3 mm.
U	PRIMERO DE SEIS PASOS	.01 mm. - .08 mm.	.08 mm. - 4 mm.

**FIG II-3** (hoja 2 de 2)  
 SERIES BASICAS DE COMBINACION EYECTOR-CONDENSADOR  
**UN.A.M.** FAC. C. QUIMICAS  
 EVA E. ESPINOZA S.



mico y es el que se usa generalmente. Tiene la ventaja adicional de ser condensable a presiones razonables por medio de agua de enfriamiento y por tanto puede ser eliminado del gas comprimido en los pasos de alta presión. Esto se lleva a cabo generalmente por medio de un condensador entre paso y paso, el cual puede ser un condensador barométrico -- (contacto directo) o un condensador de superficie (tubos y coraza).

→ La función de un condensador como parte del sistema para producir vacío utilizando eyectores para ello, es básicamente la separación del vapor condensable e incondensables que descarga el eyector, reduciendo el tamaño del mismo y la cantidad del vapor requerido. Su clasificación puede definirse como sigue:

1. Precondensador: Usados para condensar vapores de proceso. Los incondensables se separan del precondensador por medio de uno o dos eyectores. La presión absoluta de proceso debe ser suficientemente alta para permitir la condensación junto con el agua de repuesto aprovechable.
2. Condensador o booster Condensador: Se usa para condensar vapor de proceso y vapor motriz provenientes de uno o más booster - eyector, el que -

comprime este flujo de vapores a la presión absoluta necesaria para su condensación en el condensador.

3. Intercondensador: Se aplica entre varios pasos de eyectores, donde dos o más pasos se requieren para comprimir incondensables del proceso, eliminando vapor de trabajo del paso anterior.
4. Post-condensador: Se usa para condensar el vapor que descarga el último eyector a la presión atmosférica en una serie de varios pasos. Los incondensables descargan a la atmósfera.

Las ventajas y principales características de cada tipo de condensador se señalan a continuación:

A. Condensador Barométrico (Contacto Directo).

1. Bajo costo inicial.
2. Bajo costo de instalación.
3. Menor cantidad de agua requerida para una condición de vacío.

4. Pequeña diferencia térmica para permitir la operación a presiones absolutas inferiores.
5. Menor área requerida para el intercambio.
6. Generalmente requieren poco mantenimiento debido a que las incrustaciones o acumulación de sólidos tienen poco efecto en el comportamiento del condensador.
7. Se pueden fabricar con materiales resistentes a la corrosión.
8. Su descarga barométrica abierta suministra una operación segura sin válvula de seguridad.

B. Condensador de Superficie.

1. El vapor condensado puede recuperarse.
2. Si el condensado contiene vapor de proceso se puede recuperar, o el gas a una presión mayor.
3. No se tiene contaminación del agua condensada.
4. Menor probabilidad de retornar agua al proceso.

5. Menor área de instalación requerida.

#### SELECCION DEL CONDENSADOR

para la selección del condensador deben tomarse los siguientes factores:

1. Especificar si pueden utilizarse cualquiera de los dos tipos de condensador.
2. Proporcionar la carga de vapor, incluyendo naturaleza del vapor. (BTU por hora o libras por hora de vapor de agua saturado).
3. Suministrar información de la carga de incondensables. Incluyendo infiltraciones de aire y peso molecular si se tiene otro gas (libras por hora).
4. Presión de operación en pulg. de mercurio absolutas.
5. Temperatura máxima del agua condensada.
6. Limitaciones por cantidad de agua requerida o elevación en su temperatura.

7. Caída de presión permitida (psi) y máxima presión (psig) en condensadores de superficie.
8. Presión de diseño en un hidro-eyector para el agua.
9. Considerar cualquier otro factor que pueda afectar el comportamiento del condensador como cantidades de gases disueltos en el agua condensada o altos factores de incrustación para considerarse en los condensadores de superficie.

En resumen, los condensadores de superficie se emplean cuando es necesario aprovechar el vapor que se condensa o cuando éste incluye condensables distintos del vapor de agua, por ejemplo, tales como vapores de petróleo o disolventes. Mientras que, generalmente los condensadores barométricos se utilizan cuando el condensable es principalmente vapor de agua; cuando conviene que el costo inicial sea bajo y cuando se asegura la llegada del vapor de agua al condensador. Requiere una pierna barométrica de 34 pies (10.4 m) de altura en la descarga o una bomba para manejar el agua condensada ya enfriada.

Se dispone de varios tipos de eyectores en una variedad de materiales de construcción diseñados según el servi-

cio requerido. La siguiente tabla muestra las caracterfsti-  
cas de cada tipo.

## TIPO

## RANGO DE OPERACION

057  
Un solo paso

De la presión atmosférica a 3 pulg. de mercurio. Uso de vapor o agua. Des- carga cerca o igual a la presión at- mosférica llamados Hidroeyectores cuan- do manejan agua y otro líquido.

058  
Dos pasos

Produce de 4 a 5 pulg. de mercurio ab- solutas. Entre los pasos se usa con- densador de superficie o barométrico - para los vapores condensables produci- dos en el primer paso. Esto produce - el consumo de vapor del segundo paso.- Pueden ser combinaciones de vapor y -- agua.

059  
Tres pasos

Opera desde 25 mm. de mercurio absolu- tos a 2 mm. de mercurio abs. Disponi- bles con 1 ó 2 condensadores, o sin con- densador. Para usarse en el manejo de grandes cantidades de vapores condensa- bles para el primer paso (booster) que usualmente está seguido por un conden-

sador el cual está seguido por un eyec-  
tor de dos pasos para comprimir los --  
no-condensables a la presión atmosféri-  
ca. Cuando se tienen pequeñas cargas-  
de condensables o no existen, solamen-  
te se usa un intercondensador seguido-  
del segundo paso. Generalmente no se-  
recomiendan unidades de tres pasos sin  
condensador para el manejo de cantida-  
des grandes de vapor motriz.

#### Cuatro pasos

De 3 mm. de mercurio abs. a 200 micro-  
nes de mercurio abs. Usualmente tie-  
nen dos pasos en serie seguidos por un  
condensador y éste continúa con uno de  
dos pasos con o sin condensador.

#### Cinco pasos

De 500 micrones a 30 micrones de mercu-  
rio abs. Tres pasos en serie seguidos  
por un condensador, el cual continúa -  
con los siguientes dos pasos.

#### Seis pasos

40 micrones de mercurio abs. a 5 micro-  
nes de mercurio abs. Cuatro pasos en-  
serie continuados por un condensador y  
este seguido por otros dos pasos.

El término booster se refiere a un eyector diseñado para descargar a presión menor que la atmosférica. Generalmente se aplica en eyectores de varios pasos para producir alto vacío precediendo al primer condensador.

Para eyectores accionados por chorro de vapor de agua, la elección del tipo más apropiado para una aplicación determinada depende de los siguientes factores:

- I. PRESION DE VAPOR DE AGUA. La elección del eyector debe basarse en la presión mínima en la tubería de abastecimiento elegida para alimentar al aparato.
- II. TEMPERATURA DEL AGUA. Dicha elección se basa en la temperatura máxima del agua.
- III. PRESION Y TEMPERATURA EN LA SUCCION. Deben estudiarse las necesidades generales del proceso. La elección suele regirse por la presión mínima de succión-necesaria.
- IV. CAPACIDAD NECESARIA. También a este respecto deben estudiarse las necesidades globales, pero la elección suele regirse por la capacidad necesaria con la presión mínima en el proceso.



C A P I T U L O   I I I

A P L I C A C I O N E S

APLICACIONES

La unidad tipo eyector tiene diversos usos en la industria, siendo la producción de vacío el principal de ellos.

Su aplicación involucra el rango completo de cualquier proceso en la industria química como la farmacéutica, alimenticia, refinación de aceite vegetal, y en una gran variedad de productos se emplean mucho, para realizar operaciones como: Cristalización, evaporación, desodorización, desaereación, secado de sólidos, enfriamiento de líquidos y sólidos, destilación a alto vacío, congelación, filtración, etc. A continuación se menciona brevemente algunas de las aplicaciones más comunes de los eyectores.

La figura III-1 ilustra el enfriamiento de agua. El principio de este proceso es tan simple como la ebullición de un líquido. Es bien conocido que el agua hierve a menor temperatura a mayores altitudes que a nivel del mar.

Por ejemplo, si se calienta agua a 175°F a nivel del mar y se lleva a temperatura constante, hasta el extremo máximo de una cumbre, el agua hervirá instantáneamente y continuará en ebullición hasta que su presión de vapor sea igual a la presión de su alrededor. El calor requerido para su ebullición se le proporciona originalmente, y parte del calor sensible del agua se usa para reemplazar el calor latente de vaporización para la ebullición. Así es como esta pérdida de calor origina el descenso de la temperatura del agua.

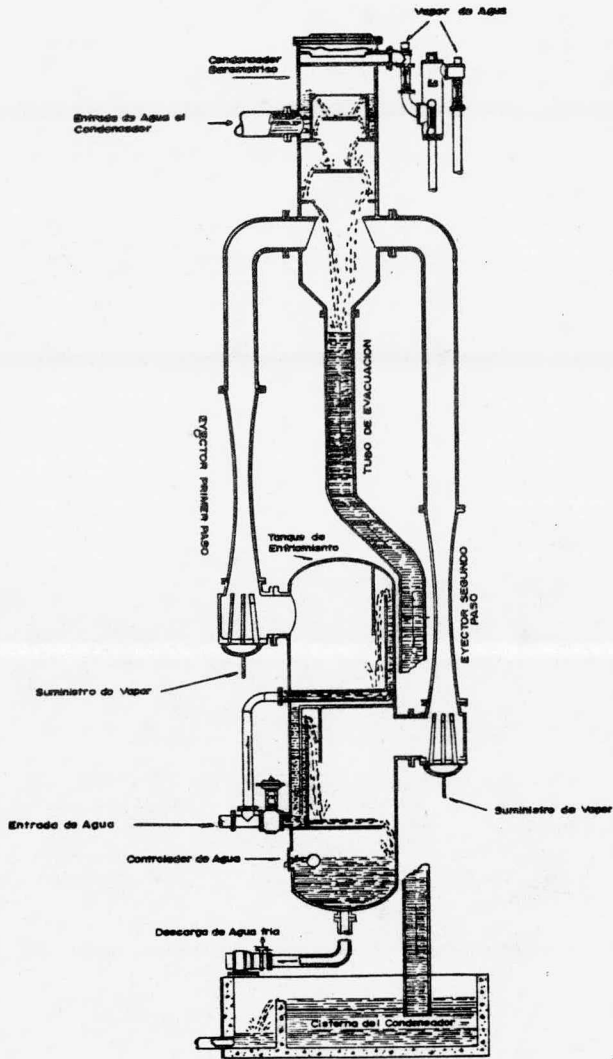
La atmósfera a una gran elevación corresponde a un vacío parcial creado artificialmente a nivel del mar, y cualquier temperatura abajo del punto de congelación se produce al disminuir la presión. De este modo es posible subenfriar desde la fase sólida a la fase vapor por medio de la evaporación directa.

La refrigeración por vacío encuentra una extensa aplicación en el enfriamiento de agua para aire acondicionado, elaboración de alimentos, y diversos usos industriales. Generalmente el agua se enfría a temperaturas en el rango de 35 a 60°F aunque en algunos procesos se enfría a muy bajas temperaturas. El dibujo muestra como se usa este principio en una unidad típica para enfriamiento del agua. El agua a enfriarse se alimenta al tanque de enfriamiento y fluye sobre un vertedero o a través de las perforaciones en

el vertedero. Cuando el agua entra en contacto con el va -  
cfo en el tanque de enfriamiento, instantáneamente hierve.-  
La energía liberada al expanderse el vapor de agua produce-  
turbulencia que levanta pequeñas gotas de agua y se disminu  
ye su temperatura. El agua enfriada se traslada a una pier  
na barométrica para después bombearse. En el equipo de ai  
re acondicionado se recircula a cambiadores de calor para -  
retornarse al tanque de enfriamiento.

Las aplicaciones específicas pueden resumirse como -  
lo ilustran las figs. III-2 (a) y (b). Y brevemente como -  
se enuncian a continuación.

- A. ABSORCION. Eyectores especiales que proporcionan al  
tas eficiencias.
- B. CRISTALIZACION. Eyectores de tres pasos.
- C. CALENTAMIENTO Y BOMBEO. Sifones a reacción.
- D. DEAREACION. Eyectores de 2, 3 y 4 pasos.
- E. DESODORIZACION. De 3 y 4 pasos.
- F. DESTILACION. De 2, 3, 4 y 5 pasos.



**FIG. III-1**  
OPERACION DE ENFRIAMIENTO DE AGUA

U.N.A.M. FAC. C. QUIMICAS

EVA E. ESPINOZA S.

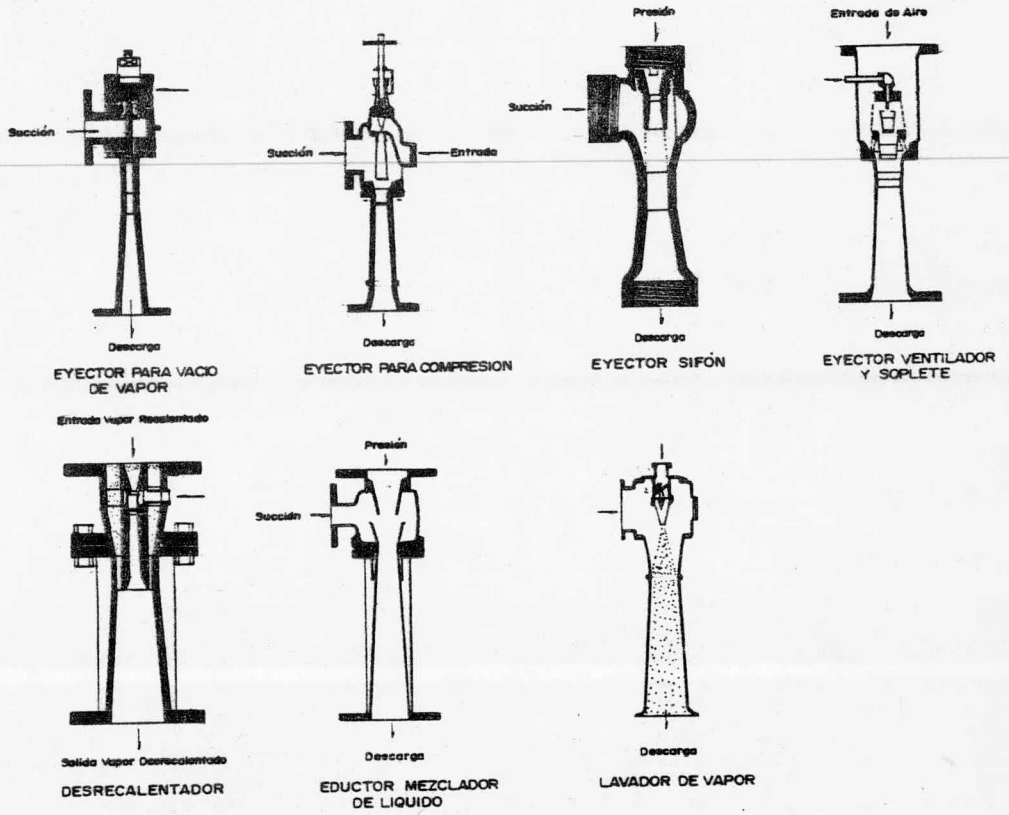
- G. ENFRIAMIENTO. De 3 pasos
- H. EVAPORACION. De 3 pasos.
- I. MANEJO DE GASES. Lavadores de humos, control de contaminación y termocompresores.
- J. FILTRACION. De 1, 2 y 3 pasos.
- K. METALURGIA AL VACIO. De 4 y 5 pasos.
- L. MEZCLADO. Eductores, Sifones y Calentadores a reacción.
- M. SECADO. De 1, 2, 3, 4 y 5 pasos que incluye los empleados en la liofilización (Sublimación de agua congelada) etc.
- N. SEPARADORES DE ARRASTRE DE DESTILACION. Por ejemplo Sepa de derivados de aceites minerales.
- O. EYECTORES. Accionados por agua, o combinación de éstos con accionados por vapor para casos especiales.

Los eyectores accionados por agua a presión se justi

fican únicamente en los casos en que no se tiene vapor o -- donde se dispone de agua a presión, ya sea sobrante o de -- otra fuente. [Requieren una presión mínima del orden de 3 - Kg/cm<sup>2</sup>.] En general su uso es económico para capacidades pe- queñas o muy pequeñas. Existen casos donde son económicos- combinándolos con eyectores de chorro de vapor; por ejem- plo cuando se dispone de vapor de muy baja presión exceden- te de centrales termoeléctricas, etc. [Una de sus aplicacio- nes más eficientes es el manejo de líquidos. El chorro de- agua a alta velocidad y el agua u otro líquido a succionar- se, descargan a una presión mayor que la presión de succión pero de hecho menor que la presión del chorro corriente -- arriba. La presión de succión puede estar en el rango de - alto vacío. Cuando la menor presión alcanza la presión del vapor del líquido la capacidad se reduce a una cantidad in- significante.]

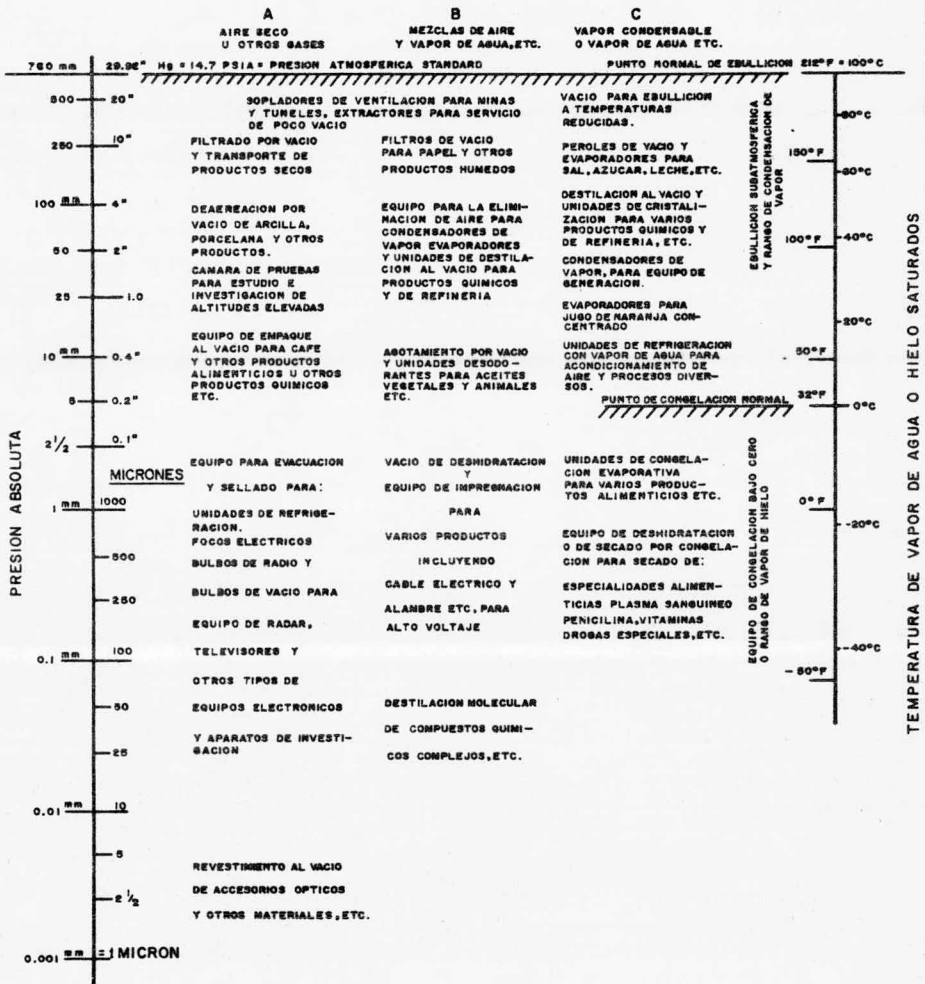
[La figura III-3 proporciona un comportamiento aproxi- mado de un hidroeyector. La energía representada como caí- da de presión del líquido motriz siempre será mayor que la- requerida para bombear directamente el fluido a succionarse con cualquier tipo de bomba mecánica.]

[En general su aplicación presenta limitación por el- volumen de chorro de agua que necesitan aunque hay casos --



**FIG. II-2-4.**  
USOS DE UNIDAD TIPO EYEC -  
TOR EN LA INDUSTRIA  
**UNAM.** FAC. C. QUIMICAS  
**EVA E. ESPINOZA S**





**FIG. III-2** RANGOS DE OPERACION DE PROCESOS QUE REQUIEREN VACIO.

**U.N.A.M. FAC. C. QUIMICAS**

**EYA E. ESPINOZA S.**

donde ofrecen buena y confiable eficiencia que cualquier -- otro tipo. Son prácticos en tamaños pequeños y de uso co - mún en laboratorios.

En los eyectores accionados por chorro de vapor es - de consideración importante el hecho que descargan a la at - mósfera y generalmente requieren presiones cercanas a 50 -- psig para realizar su función. Por otra parte, la com - binación agua - vapor como fluido motriz es de uso común en -- plantas completamente electrificadas y que solamente tienen calderas de baja presión. Se construyen en tres o más pa - sos. En tales casos sólo el último paso se opera con agua - descargando a la presión atmosférica o a una pierna baromé - trica y los otros pasos se operan con vapor. Excepto a pre - siones muy bajas, las capacidades se incrementan substancial - mente si toda o parte de la carga consiste de vapor conden - sable basada en aire seco o equivalente.

En cuanto a capacidad se refiere cuando se transfie - re a volumen la capacidad se obtienen valores impresiona - ntes. Por ejemplo, 2 lb/h de vapor de agua a 2 mm.Hg. abs. - aproximadamente son 250 pies<sup>3</sup>/min. en volumen. Esto signi - fica que el volumen de vapor manejado es menos importante - que su peso en la operación de los eyectores, lo que no su - cede con otros dispositivos productores de vacío.

En operaciones que requieran presiones entre 6 in. - abs. y la atmosférica son de uso común los eyectores por su simplicidad y variedad de materiales de construcción resistentes a la corrosión.

Comercialmente se prefieren unidades de dos o tres - pasos, aunque unidades de cuatro pasos han estado en operación por muchos años recientes se ha incrementado la producción de 5 y 6 pasos para presiones aproximadamente abajo de 1 u.

La selección del número de pasos se basa en costos - de instalación y de operación. Y en general, el rango promedio de presiones obtenidas con diferentes pasos se muestra en la tabla siguiente:

No. de PASOS	mm. PRESION ABSOLUTA
1 ✓	760 - 100 ✓
2	100 - 12
3	12 - 3
4	3 - 0.15
5	0.15 - 0.005

Estos datos no consideran los diferentes tipos y número de intercondensadores que algunas veces afectan el rango de operación de la unidad.

Así la unidad de dos pasos sin condensador su rango-económico de presiones es un poco inferior a la unidad de dos pasos con un condensador entre los pasos. Por otra parte, usándose vapor en el primer paso y agua en el 2° paso se puede disminuir la presión absoluta. Y considerándose un interenfriador entre ellos, la capacidad es aún menor asumiendo que el agua de repuesto no se calienta.

El tipo de eyector que encuentra una aplicación ex - tensa en procesos químicos es la unidad de dos pasos con in tercondensador barométrico. El comportamiento típico se muestra en la Fig. III-4. Cada curva se basa en el uso de 200 lb/hr de vapor. El vapor entre pasos varía con la temperatura del agua del condensador. Las curvas muestran capacidades para vapor saturado; la temperatura de satura -- ción es 5°F mayor que las temperaturas indicadas del agua. -- Todo esto se basa en un comportamiento promedio usándose -- condensadores barométricos.

Las unidades de tres pasos pueden tener uno o más in tercondensadores, ya sea barométrico o de superficie. Los factores decisivos para el uso de intercondensadores son el costo inicial, presión máxima de succión, temperatura del agua condensada o posible corrosión. Por razones económi - cas, generalmente se usa un intercondensador y así solo los -- componentes incondensables pasan al próximo paso reduciendo

el consumo de vapor. Este tipo de instalación incluye un "booster". El término "booster" se aplica al primer paso de un eyector de múltiples pasos donde se manejan grandes cantidades de vapor condensable que se condensan junto con el vapor de trabajo en el primer intercondensador. En los siguientes pasos se manejan entonces pequeñas cantidades de incondensables más aire liberado por el agua condensada si el condensador es barométrico. Este tipo de instalación es muy usada en la desodorización de aceite comestible. Algunos usan inclusive dobles termocompresores ("booster") en serie, así que la salida del primer termocompresor va directamente a la succión del segundo. El segundo termocompresor descarga a un condensador barométrico usando cualquier agua de enfriamiento disponible. Algunos desodorizadores con doble termocompresor operan a presiones tan bajas como lo es la correspondiente a 1 mm. de mercurio absoluto. Estas presiones tan bajas tienen dos ventajas: la cantidad de vapor directo puede reducirse aproximadamente en proporción inversa del volumen específico a diferentes presiones. La otra ventaja, en este caso es que los ácidos grasos o impurezas con presiones de vapor muy bajas pueden ser eliminadas en mucha mayor proporción.

La desventaja del uso de doble termocompresor para obtener bajas presiones es el costo de ellos y el pequeño aumento de costo de operación, debido al incremento de con-

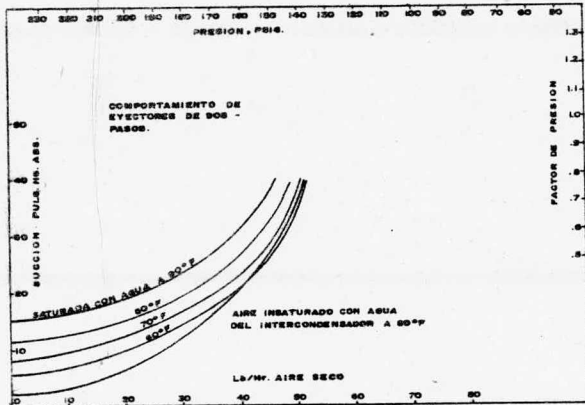


FIG. III-3 COMPORTAMIENTO DE UN EYECTOR DE DOS PASOS CON INTERCON -

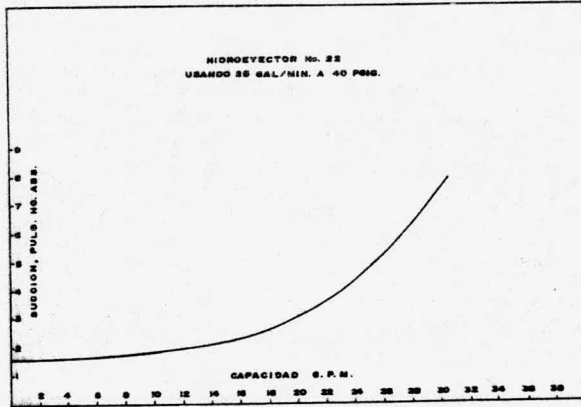


FIG. III-4 COMPORTAMIENTO TÍPICO DE UN HIDROEYECTOR USANDO 20 GAL/MIN. EN LA TOBERA A 40 PSIG.

FIGS. III-3 Y III-4  
UNAM. FAC. C. QUIMICAS  
EVA E. ESPINOZA S.

sumo de vapor y agua de condensación.

El uso de unidades de tres pasos sin intercondensadores raramente se justifica. Si el último paso es accionado por agua, la unidad es eficiente en tamaños pequeños.

Las unidades de cuatro pasos nunca tienen más que -- dos intercondensadores excepto en casos especiales, como en ocasiones se usa un condensador para el primer paso. También, se justifica el uso de tres intercondensadores cuando la temperatura del agua es de 50°F porque entonces el rango de compresión no se distribuye exactamente en los cuatro pasos. El primer paso descarga directamente al segundo paso, y el primer condensador se localiza entre el segundo y tercer paso. El tercer paso todavía puede llevar incondensables aunque esto incrementa el consumo de vapor si se compara con la unidad que lleva otro intercondensador.

Sólo en condiciones muy especiales se justifica el uso de la unidad de cuatro pasos sin intercondensadores, -- usando tres pasos en serie accionados con vapor y el último accionado con agua.

Por último, la unidad de cinco pasos se utiliza para operar a presiones más bajas que las obtenidas con la unidad de cuatro pasos. Los tres primeros pasos generalmente-

están conectados directamente sin intercondensador y después de este último (tercer paso) se hace uso del intercondensador. De hecho, un condensador equivalente o un intercondensador decrece el consumo de vapor pero aumenta el costo de compra y de operación, comparado con la unidad convencional de cinco pasos con dos intercondensadores.

El último intercondensador puede omitirse si el costo inicial es más importante que el costo de operación en unidades de cuatro o cinco pasos. En este caso, el último paso consume mayor cantidad de vapor, por lo que este paso puede accionarse con chorro de agua.



C A P I T U L O   I V

DISEÑO Y MATERIALES DE CONSTRUCCION

## DISEÑO Y MATERIALES DE CONSTRUCCION

### DEFINICION DE TERMINOS

A continuación se presentan las definiciones de los términos usados en el diseño de eyectores:

- a) Presión Absoluta: Es la presión medida desde el cero absoluto. Por ejemplo desde un vacío absoluto.
- b) Presión estática. Es la presión medida en el gas, de tal manera que por la velocidad producida, el gas no modifique la medición.
- c) Presión de Succión. Es la presión estática absoluta que se tiene en la succión del eyector, expresada en libras por pulgadas cuadradas o en --

pulgadas mm. o micrones de mercurio.

- \_ d) Presión de Descarga. Es la presión estática absoluta que prevalece a la descarga del eyector, expresada en libras por pulgada cuadrada, pulgadas de mercurio o milímetros de mercurio.
- e) Presión de Ruptura. Es aquella presión del vapor motriz o en la descarga, la cual causa inestabilidad en el eyector.
- f) Presión de Recuperación (presión de aceleración)  
Es aquella presión del vapor motriz o en la descarga en la cual el eyector recupera la condi -  
ción para una operación estable.
- g) Temperatura Absoluta. Es la temperatura sobre el cero absoluto. Es igual a 400°F.
- h) Temperatura de Succión. Es la temperatura del gas en la succión del eyector.
- i) Operación Estable. Es la operación del eyector sin violentas fluctuaciones de la presión de suc  
ción.

- j) Capacidad. Es el peso del flujo de gas que maneja el eyector, en libras por hora.
- k) Aire Seco. El aire atmosférico a temperatura ambiente normal, se considera como aire seco. Se consideran despreciables y son ignoradas muy pequeñas cantidades de vapor de agua. Por ejemplo: el peso de vapor de agua en aire atmosférico, -- con 50% de humedad relativa y 80° F. de temperatura, es menor que 0.011 lb/lb de aire.
- l) Aire. Equivalente. El aire equivalente, es una relación en peso del aire que es equivalente al peso del gas manejado por el eyector en las condiciones de succión, la unidad es lb/hora.
- m) Vapor equivalente. El vapor equivalente, es la relación en peso calculada del vapor que es equivalente al peso del gas manejado por el eyector en las condiciones de succión, la unidad es lb/hora.
- n) Peso molecular. El peso molecular es la suma de los pesos atómicos de todos los átomos en una molécula.

- o) Mol. Es una masa numéricamente igual al peso molecular.
- p) Fracción Mol. La fracción mol de un componente en una mezcla homogénea, se define como el número de moles de aquél componente dividida por la suma del número de moles de todos los componentes.
- q) Consumo Total del Vapor. Es el peso total del flujo pasando a través de la tobera de todos los pasos en las condiciones especificadas de pre - - sión y temperatura del vapor. La unidad es lb/hora.
- r) Consumo Total de Agua. Es la relación total de flujo, pasando a través de los condensadores del eyector a la temperatura especificada en la en - - trada. La unidad es galones por minuto.
- s) Flujo Crítico. Es el flujo a través de una tobera cuando la presión absoluta está abajo de la presión crítica. Por ejemplo: la presión absoluta corriente abajo debe ser menor que el 50% de la presión absoluta, corriente arriba.

- t) Flujo Subcrítico. Es el flujo a través de la tobera cuando la presión absoluta corriente abajo es superior a la presión crítica. Por ejemplo: - a través de la tobera relativamente se presenta poca caída de presión.

➤ ESPECIFICACIONES DE DISEÑO ➤

CAPACIDAD. A continuación se especifican los requerimientos para la capacidad.

- a) Que presión absoluta se requiere mantener.
- b) El peso total en libras por hora del gas a succionarse.
- c) La temperatura del gas a succionar.
- d) La composición del gas a succionarse. El peso de cada constituyente se especifica en libras -- por hora.
- e) Si el gas es diferente a vapor de agua o aire, - especificar sus propiedades físico-químicas.

## CONDICIONES DEL VAPOR

Es necesario especificar las siguientes características del vapor que se utiliza:

- a) La máxima presión y temperatura en la línea del vapor.
- b) La máxima presión y temperatura del vapor a la entrada del eyector.
- c) La mínima presión del vapor en la entrada del eyector.
- d) Presión y temperatura de diseño del vapor.
- e) Calidad del vapor. Esto es, si no está sobrecalentado a la entrada del eyector.

Para prevenir que el área de la garganta de la tobera del eyector sea la adecuada, el fabricante del eyector elige una presión de diseño del vapor menor que la presión útil del mismo a la entrada del eyector. Se recomienda que la presión de diseño del vapor, nunca sea superior al 90% de la presión mínima del vapor en la entrada del eyector.

← AGUA DE ENFRIAMIENTO. Se especifican a continuación las características del agua de enfriamiento para los con - densadores:

- a) Presiones máxima y mínima del agua a la entrada - del eyector.
- b) Temperatura máxima.
- c) Máxima y mínima cantidad útil.
- d) Origen y calidad del agua.
- e) Deberá especificarse cualquier limitación del -- agua de enfriamiento.

← PRESION DE DESCARGA. Se debe especificar la presión de descarga en libras por pulgadas cuadradas absolutas o en pulgadas de mercurio absoluta de un eyector de un solo paso o del último paso del eyector de paso múltiple. También la presión barométrica normal en pulgadas de mercurio.

#### ⇒ CLASIFICACION DEL DISEÑO DE EYECTORES

Un eyector siempre se diseña para un conjunto de con diciones establecidas. Esto es, que está referido sólo a -



un punto de diseño en el cual se tendrá la óptima eficiencia del mismo. El diseño de eyectores se clasifica en diseños críticos y diseños no críticos. El diseño crítico, significa que la velocidad del fluido en la garganta del difusor, es sónica. Y en las unidades no-críticas, la velocidad del fluido es subsónica. El diseño crítico se presenta cuando la presión de succión es menor que aproximadamente el 55% de la presión de descarga. Estos eyectores son muy-sensitivos para operar en otras condiciones diferentes a la que fue diseñada la unidad.

La siguiente tabla ilustra el comportamiento que sufre la unidad al presentarse un cambio en su operación

EFFECTO DE CAMBIOS OPERACIONALES EN EYECTORES CON  
FLUJO CRITICO.

PRESION MOTRIZ	PRESION DESCARGA	PRESION SUCCION	CAPACIDAD SUCCION
decrece	constante	decrece rápidamente	decrece rápidamente.
constante	incrementa	decrece rápidamente	decrece rápidamente
constante	constante	incrementa	incrementa grandm.
constante	constante	decrece	decrece gradualm.
incrementa	constante	constante	decr.gradualm
constante	decrece	constante	no-varfa

En diseños críticos, es posible disminuir la presión motriz sin afectar la presión de succión si la presión de descarga también decrece. La relación de un cambio entre la presión motriz y la presión de descarga, depende de las características del diseño del eyector. Una vez diseñada la unidad y construida según especificaciones definidas de presión motriz, presión de descarga y presión de succión, su capacidad de succión no puede incrementarse sin cambiar las dimensiones físicas internas de la unidad. Generalmente la capacidad de succión se disminuye gradualmente, incrementando la presión de trabajo. La boquilla o tobera del eyector es un orificio con especificaciones definidas y cualquier cambio en la presión motriz, se acompaña de un cambio proporcional en la cantidad del fluido motriz. En las unidades de diseño no-crítico, los cambios de presión de trabajo y presión de descarga, causan cambios graduales en la presión de succión y capacidad. Es imposible incrementar la capacidad de succión directamente en la misma proporción que se incrementa la presión motriz. En un eyector cuyo fluido motriz o de trabajo es vapor, la calidad del vapor de alta presión presenta un efecto en la operación de la unidad. La gran mayoría de las unidades están diseñadas para usar vapor seco y saturado a presiones altas como fluido de trabajo. Sin la calidad del vapor decrece - abajo del 98%, también decrece gradualmente la presión de succión así como la capacidad de succión. Este fenómeno se

observa particularmente en unidades diseñadas para relaciones de alta compresión;

$$\frac{\text{PRESION DE DESCARGA} \quad \delta \quad P_5}{\text{PRESION DE SUCCION} \quad P_3}$$

y unidades de pasos múltiples.

La relación de compresión efectiva, dependiendo de la presión del fluido motriz, puede ser tan alta como 10:1, en condiciones de diseño. Y aproximadamente 20:1, cuando la capacidad de succión es cero.

El vapor sobrecalentado excesivo (mayor a 50° F.) también afecta la capacidad de succión de cualquier eyector. No solamente decrece la relación del nivel de energía, sino que también incrementa el volumen específico que tiende a estrangular el difusor. Un eyector diseñado para operar con vapor motriz sobrecalentado sufre posteriores problemas.

TERMINOLOGIA DE PRESION. Para propósitos de diseño, es necesario usar presiones absolutas y, es importante eliminar confusiones, analizando comportamientos. Si la presión de vacío se expresa en pulgadas de mercurio para tomar la lectura del barómetro local (o del barómetro de referencia), es necesario establecer la presión absoluta en el sis

tema de vacío. Ej.: Conversión de pulgadas de vacío a presión absoluta.]

{ Una columna de destilación, opera a 27.5 pulgadas de mercurio, referidas a 30 pulgadas barométricas. Esta es la presión en la entrada del eyector.} Debido a la caída de -- presión a través del condensador de vapor y al recorrido en la columna de destilación, la presión en el fondo de la columna es de 23 pulgadas de vacío. (Determínese la presión absoluta a la entrada del eyector y en el fondo de la columna. En la entrada del eyector, presión absoluta =  $30 - 27.5 = 2.5$  pulgadas mercurio. Fondo de la columna: presión absoluta =  $30 - 23 = 7$  pulgadas de mercurio.)

PRESION DEL VAPOR. La presión del vapor motriz para el diseño, se debe seleccionar de acuerdo a la menor presión costeable en la tobera del eyector. La unidad no es estable al operarse con presiones inferiores a la presión de diseño del vapor. Presión del vapor recomendada para diseños = (mínima presión costeable en la tobera del eyector) - (10 Psi). Estas bases del diseño, permiten que la operación sea estable para pequeñas fluctuaciones de la presión. Si se presenta un incremento en la presión, generalmente de crece la capacidad debido al vapor extra en el difusor. El mejor eyector de vapor económico, se logra cuando el vapor en la tobera y en el difusor, se proporcionan para un fun -

cionamiento especificado; esta es la razón por la que resulta difícil almacenar eyectores denominados de construcción Std y suponer que se tiene el equivalente a la unidad diseñada. El eyector "Tipo estrangulamiento" tiene una serie de curvas sobre su funcionamiento que dependen de la presión del vapor motriz. Este tipo tiene una baja relación de compresión a través del eyector comparado con el eyector tipo fijo. Por otra parte, al incrementarse la presión del vapor sobre el valor diseñado, se incrementará el flujo del vapor a través de la tobera directamente proporcional al incremento que sufre la presión absoluta del vapor. La presión de diseño más alta de un eyector, implica el menor consumo de vapor. Esto se observa mejor en eyectores de uno y dos pasos. Cuando esta presión es superior de 350 Psig, la disminución del vapor requerido será imperceptible. Si la presión absoluta de succión decrece, las ventajas de la mayor presión del vapor se reducen. Así, en unidades muy pequeñas el tamaño físico de la tobera del vapor viene a poner un tope inferior de las presiones del vapor. La figura IV-1 (a) ilustra el efecto del exceso de la presión del vapor en unidades de uno y dos pasos. Si el eyector descarga a la atmósfera las presiones del vapor inferiores a 60 Psig. en el eyector, generalmente son antieconómicas. Si la presión en la descarga es menor como se tiene en unidades de varios pasos, la presión del vapor en la entrada también puede ser inferior.

EYECTORES DE UN SOLO PASO, Diseñados para presiones inferiores a 200 mm. hg. abs. No pueden operar eficientemente con vapores que tengan presiones inferiores a 25 psig. El primer paso o el segundo de un sistema de varios pasos, se puede diseñar para usar vapor con presiones inferiores a 1 Psig. Para asegurar operaciones estables, la presión del vapor debe ser superior al valor mínimo estimado para la región inestable. En la fig. IV-1 (b) se indica este punto y la menor presión de rompimiento, la cual se alcanza al disminuir la presión en la región estable. Siguiendo la línea 5-3-1, al reducir la presión, la operación permanece estable hasta alcanzar el punto 1. En este punto, la capacidad del eyector cae rápidamente. Siguiendo la línea 1-2, si la presión del vapor se incrementa, la operación estable sigue la línea 4-3, incrementándose la capacidad. Con incrementos adicionales, se eleva, siguiendo la línea 3-5, y ésta es la región estable. La operación en la región 3-1 es inestable. Y la reducción en la presión ocasiona que el sistema pierda vacío. La localización relativa de los puntos 3 y 1, puede controlarse hasta cierto punto por el diseño del eyector y no existen para aquellos eyectores con baja relación de compresión. La fig. IV-II, indica cambio en la región de comportamientos estables, relacionando la contrapresión con la variación de la presión del vapor. Este sistema de contrapresión representa una variación de la presión barométrica para una unidad que descarga a la atmósfe-

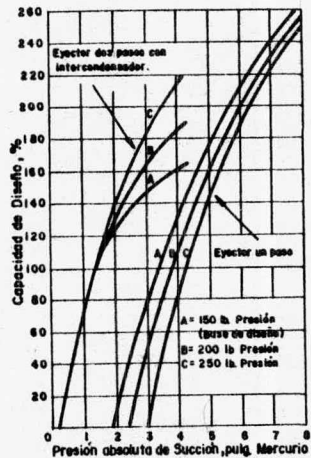


FIG. IV-1 (a): Efecto del exceso de la presión del vapor en la capacidad del eyector

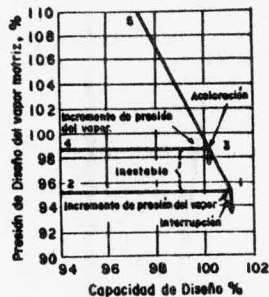


FIG. IV-1 (b) Efecto de la presión del vapor en la capacidad - para sistemas con succión y contrapresión constantes.

FIG. IV-1 (a) y (b)

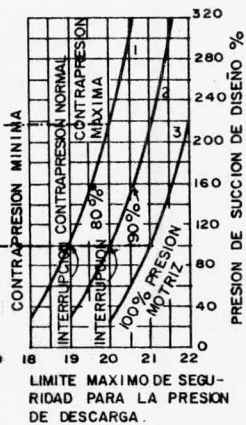
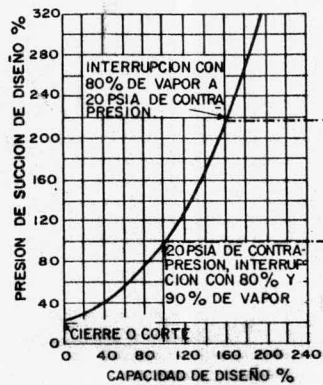
UNAM. FAC. C. QUIMICAS

EVA E. ESPINOZA S.

ra, o la variación de la presión del agua de alimentación - (u otra) operando un calentado: . Si la descarga del eyec - tor penetra a un sistema cerrado o condensador. La fig. -- IV-II indica numéricamente el comportamiento posterior aunque el principio es el mismo.

Las tres curvas de la presión motriz 100%-90%-80%, -- las proporciona el fabricante del eyector así como la cur - va del comportamiento de la presión de succión vs. porcenta - je de la capacidad de diseño del eyector. Esta curva más - tarde mostrará la presión absoluta de succión. Vs. libras - por hora o pies<sup>3</sup> por minuto del aire o el porcentaje de la - capacidad de diseño. La contrapresión se representa por -- las líneas rectas clasificadas en mínimo, normal y máximo. - Solamente una curva, muestra el incremento que sufre la ca - pacidad a partir de la menor presión del vapor. Las curvas 1, 2 y 3, representan la máxima presión de seguridad en la - descarga. Así para una presión de succión dada y operándo - se dentro de las capacidades señaladas en la curva, la pre - sión de descarga del sistema es menor que el valor máximo - de la curva. La pendiente de cada curva es una función -- del tipo del eyector, diseño físico y las condiciones rela - tivas de presión. Siempre que la contrapresión en la des - carga exceda la máxima presión de seguridad representada -- en la curva, el eyector operará en una región ines --

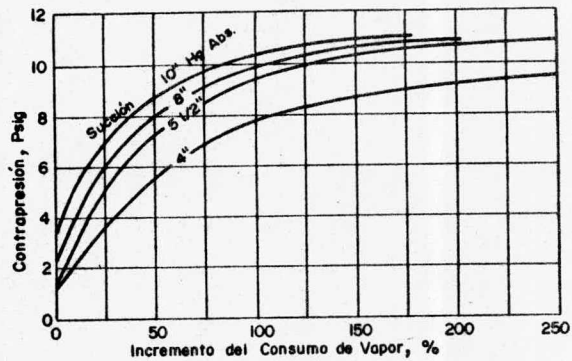




**FIG. IV-II** VARIACIONES DE LA CONTRAPRESION CON LA PRESION DEL VAPOR.

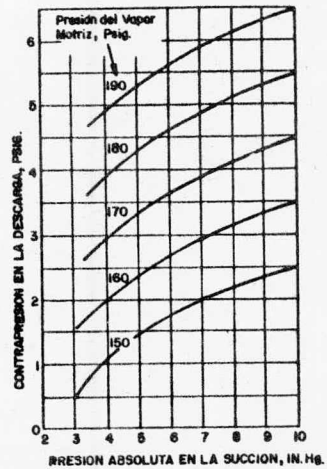
UNAM. FAC. C. QUIMICAS

EVA E. ESPINOZA S.



**FIG. IV-3A**

EFFECTO DE LA CONTRAPRESION, PARA UNIDADES DE UN SOLO PASO.



**FIG. IV-3B**

EFFECTO DE CONTRAPRESIONES MAYORES EN LA OPERACION DEL EYECTOR.

**FIGS. IV-3A y 3B**

**U.N.A.M. FAC. C. QUIMICAS**

**EVA E. ESPINOZA S.**

table de "interrupción". En la fig. IV-II, la curva de -- 100% de presión no atraviesa líneas de contrapresión (mínima, normal o máxima) por lo que el eyector será estable en este rango. Continuando con la curva de 90%, el eyector es estable, operando presión de succión y capacidad de diseño al 100% hasta alcanzar su máxima contrapresión. Es inestable en cargas inferiores a la de diseño, a menor que se reduzca la presión. Nótese que la interrupción ocurre a 20 Psia y a 100% de presión de succión de diseño. Si la presión de descarga se reduce a 19 Psia la unidad será estable hasta el cierre, (cero de capacidad). Para el 80% de la -- presión del vapor, la operación es estable hasta la máxima capacidad mientras no se excedan 18 psia de contrapresión. Este tipo de análisis es necesario para evaluar el comportamiento del eyector al variar las condiciones del sistema. - Se dice que una curva tiene 50% de sobre carga en su capacidad, cuando tiene una curva de operación que maneja en forma estable 1.5 veces el flujo de diseño.

EFICIENCIA DEL EYECTOR. Se han publicado diferentes fórmulas para expresar la eficiencia de un eyector. El concepto general de eficiencia, es una comparación de la energía de salida a la energía en la entrada, y en el diseño y selección de eyectores es un valor pequeño. Teóricamente - en los eyectores se realiza un proceso isoentrópico. Por - lo que es conveniente expresar la eficiencia global como --

una función de la eficiencia en la entrada. En la succión el fluido presente una velocidad baja, por la pérdida de la energía cinética, debida al impacto y turbulencias, de tal manera que la energía cinética en la mezcla es una fracción de la que originalmente presentó el fluido motriz. Esta fracción que se transmite a la mezcla a través del intercambio de momentum, se le denomina eficiencia de arrastre.

Esta proporción de la energía en el fluido motriz -- que se transfiere en calor y es absorbida por la mezcla, -- produce el incremento correspondiente en la entalpia.

$$\text{Eficiencia} = E_{ex}E_{nx}E_d = \frac{M_b+1}{M_a} \frac{H_5 - H_4}{H_1 - H_2}$$

donde:

$E_e$  = eficiencia de arrastre.

$E_n$  = eficiencia de la boquilla.

$E_d$  = eficiencia del difusor.

$M_b$  = fluido en la succión, lb/hr

$M_a$  = fluido motriz, lb/hr.

$H_1$  = entalpia del fluido motriz, Btu/lb.

$H_2$  = entalpia en la descarga de la boquilla, Btu/lb.

$H_4$  = entalpia de la mezcla antes de la compresión,  
Btu/lb.

$H_5$  = entalpia en la ~~des~~arga Btu/lb.

Los eyectores de chorro de vapor de pasos múltiples pueden mantener presiones absolutas en la gama de 1mm Hg - mejorándose en este caso la eficiencia comparada a una bomba mecánica de vacío.

En algunas aplicaciones, como termocompresor, la eficiencia se aprovecha al 100%.

### { PRESION DE SUCCION }

La presión de succión para el diseño se determina estableciendo la menor presión deseada para la operación requerida en el sistema y restando la caída de presión en la línea al condensador, y en la línea de venteo al eyector. - En suma, debe restarse un pequeño factor de seguridad. Como una guía en la selección del tamaño económico de la línea de vapor y diseño de la presión de succión, se debe recordar que una reducción en 10% en la presión de diseño de un eyector incrementa el vapor total en un 5 a 10%.

### TEMPERATURA DE SUCCION

La temperatura del vapor necesario para producir vacío solo se determina aproximadamente; porque por cada incremento en la temperatura de 50°F se reduce un 2% la capacidad del eyector. Sin embargo, a temperaturas menores -

de 32°F es importante observar como se forma la congelación en los eyectores.

#### PRESION DE DESCARGA

La eficiencia de un eyector es función de la contrapresión y casi todos los fabricantes diseñan para descarga atmosférica o contra una presión máxima de 0.5 a 1.0 psig, para asegurar el funcionamiento siempre se debe tomar en consideración la caída de presión en la tubería de descarga y en el último condensador. La tubería de descarga nunca deberá tener bolsa de condensación.

La fig. IV-4(a) indica el efecto de aumentar la contrapresión en un eyector de un solo paso, a diversas presiones de succión. La fig. IV-3b indica el efecto de aumentar la presión del vapor de entrada al eyector para nivelar el efecto de contrapresión. Cuando esta presión no se puede aumentar, se debe diseñar la tobera para una mayor contrapresión.

#### CAPACIDAD

La capacidad de un eyector se expresa en lb/hr totales de incondensables más los condensables a la entrada de la brida del eyector. Para unidades de varios pasos la ca

pacidad total debe separarse en condensables e incondensables. Los últimos pasos solamente se requieren para manejar los incondensables de la carga más la humedad de saturación que abandona los intercondensadores. Los incondensables que abandonan un condensador de superficie, se saturan con vapor de agua a la temperatura correspondiente a esa presión. El vapor será el correspondiente al fluido en proceso.

#### 1o. Condensador de superficie.

Para suministrar la capacidad total, la temperatura del aire de salida de un condensador de superficie bien diseñado, generalmente se tiene a  $7.5^{\circ}\text{F}$ . inferior a la temperatura del vapor saturado a la presión absoluta en el condensador.

#### 2o. Condensador Barométrico.

En este caso la temperatura del aire de salida de este tipo de condensador es de  $5^{\circ}\text{F}$ . superior a la temperatura del agua de enfriamiento a la entrada. En suma, debe hacerse una corrección al aire liberado por la inyección del agua.

## TIPOS DE CARGA

MEZCLAS DE VAPOR DE AGUA-AIRE. El Instituto de Intercambio de Calor, HEI, refiere todas las pruebas y cálculos a 70°F. Las figuras IV-4 y IV-5, se usan para manejar la evaluación en base a aire equivalente.

CALCULO DE PESO EQUIVALENTE. El aire equivalente a 70°F de las diferentes cargas, se calcula de la siguiente manera: a) Aire. Cuando la temperatura del aire es mayor de 70°F el aire equivalente a 70°F se determina usando la gráfica para la temperatura del aire a la entrada, como se muestra en la figura IV-4. Ejemplo: el aire equivalente a 70°F de 100 lbs/hr de aire a 800°F es 100/ -- 82.55% (de la fig. IV-4) 121.1 lbs/hr. b) Vapor. Cuando el gas que se maneja es vapor, el vapor equivalente a 70°F se determina usando las relaciones de datos para vapor y el aire equivalente a 70°F que se determina usando la curva relacionada al peso molecular, fig. IV-5, por ejemplo, el vapor equivalente a 70°F de 1000 lbs/hr de vapor a 450°F es 1000/87.5% (de la fig. IV-4) = 1143 Lbs/hr (vapor equivalente a 70°F).

El aire equivalente a 70°F de este vapor equivalente es:  $\frac{1143}{81\frac{1}{8}}$  (de la fig. IV-5) = 1411 lbs por hora (aire equivalente a 70°F).



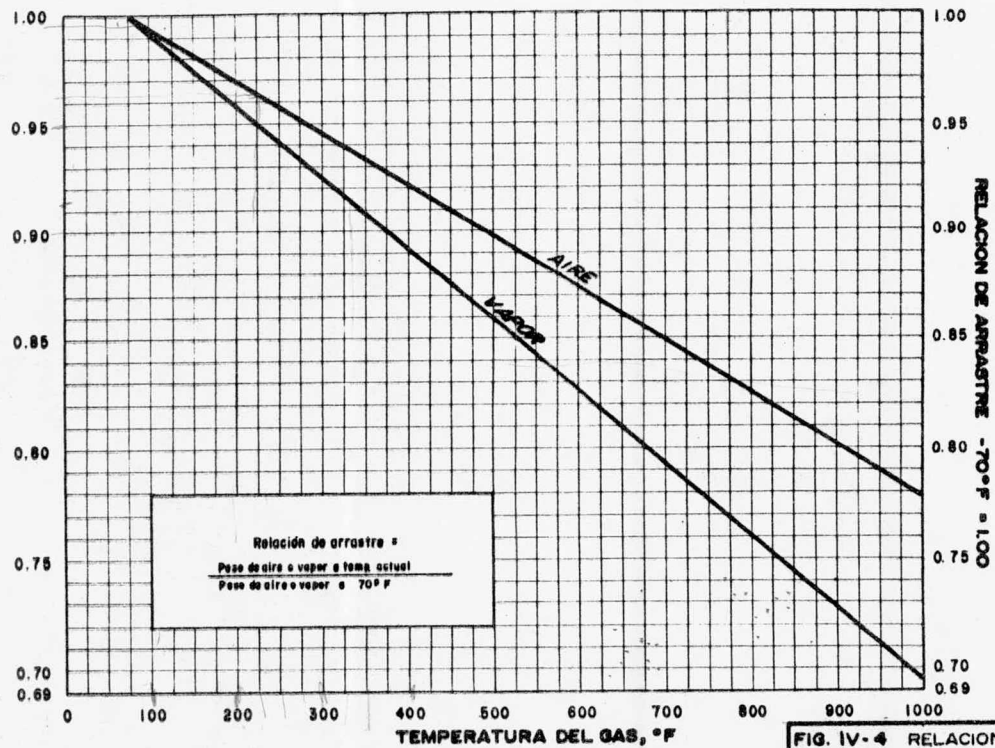
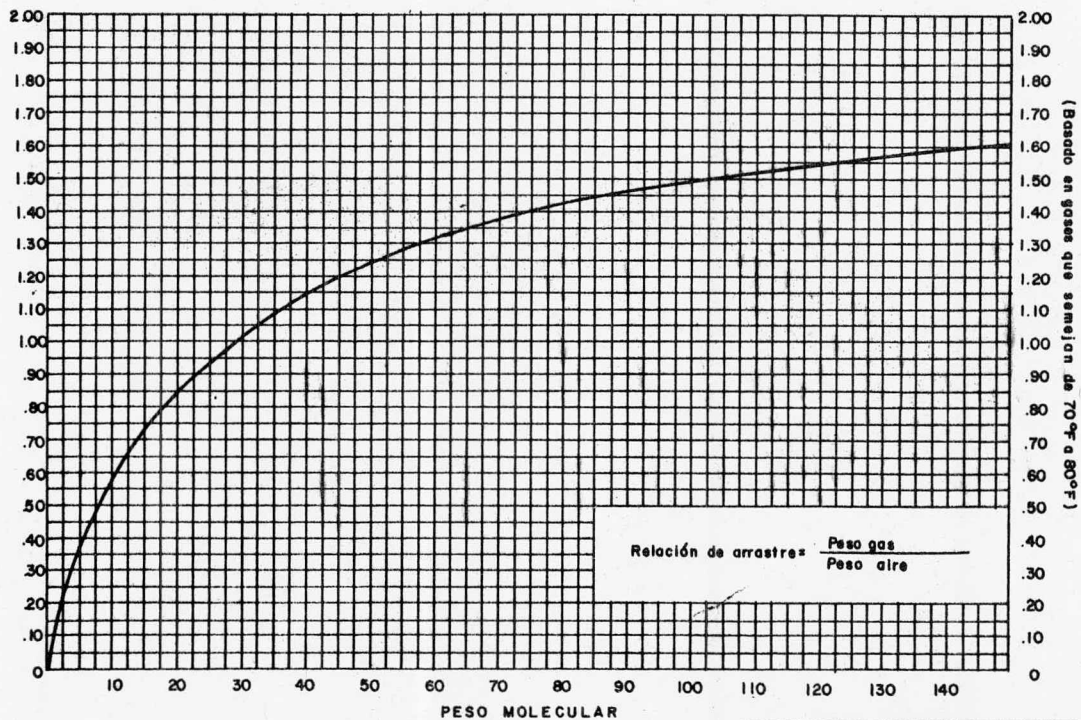


FIG. IV-4 RELACION DE ARRASTRE PARA LA TEMPERATURA

UNAM. FAC. C. QUIMICAS

EVA E. ESPINOZA S.



**FIG. IV- 8 RELACION DE ARRASTRE PARA PESOS MOLECULARES.**

**U.N.A.M. FAC. CIENCIAS QUIMICAS.  
EVA E. ESPINOZA S.**

MEZCLAS DE AIRE Y VAPOR. Cuando el gas es una mezcla de aire y vapor, el aire equivalente de cada uno, se determina separadamente y luego se suman. Por ejemplo, para 660 lbs por hora, de una mezcla consistiendo de 200 lbs por hora de aire y 460 lbs por hora de vapor a 400°F, el aire equivalente del aire componente es  $200/92.1\%$  (de la fig. IV-4) = 217 lbs por hora. El aire equivalente del vapor componente es  $460/89.2\%$  (de la fig. IV-4) = 516 lbs por hora y  $516/81\%$  (de la fig. IV-5) = 637 lbs por hora. El aire equivalente de la mezcla es,  $217 + 637 = 845$  lbs por hora.

La figura IV-6, que relaciona las curvas para mezclas aire-vapor, se puede usar para simplificar cálculos. Por ejemplo, el % de aire con la mezcla es  $200/660 = 30.3\%$  de aire. De la fig. IV-6, para 30.3% de aire y 400°F, el aire equivalente a 70°F es  $660/77.3\% = 854$  lbs. por hora.

MEZCLAS DE GASES SIN VAPOR. Cuando el gas es una mezcla de gases sin vapor, el aire equivalente a 70°F se determina: primero, calculando el peso molecular promedio de la mezcla, usando la fig. IV-5 y finalmente, usando la curva de la figura IV-4, por ejemplo: el peso molecular promedio de una mezcla de gases, se calcula como sigue:

1. Cuando el flujo de gases se especifica en libras por hora, se divide el peso del flujo de cada uno de los compo

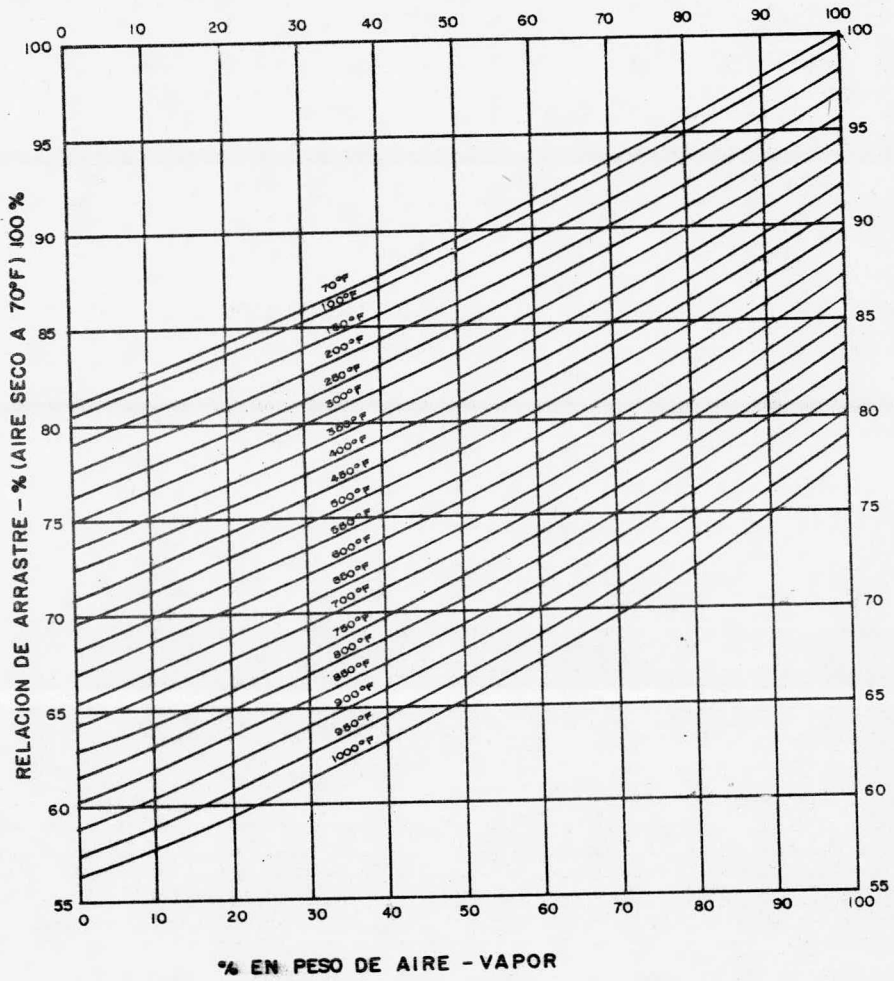


FIG. IV-6 RELACION DE -  
ARRASTRE PARA AIRE-VAPOR  
U.N.A.M. FAC. C. QUIMICAS  
EVA E. ESPINOZA S.

mentos de la mezcla por su peso molecular para determinar las libras mol por hora de cada uno. El peso molecular promedio es el peso total de la mezcla dividida por la suma de las libras mol por hora. Por ejemplo, la mezcla consiste de 6 lbs por hora de  $\text{CO}_2$ , 24 lbs por hora de  $\text{N}_2$ , 62 lbs por hora de Ar y 108 lbs por hora de He, o sea un total de 200 lbs por hora.

$$6/44 = 0.136 \text{ lb mol por hora de } \text{CO}_2$$

$$24/28 = 0.857 \text{ lb mol por hora de } \text{N}_2$$

$$62/40 = 1.550 \text{ lb por hora de Ar}$$

$$\frac{108}{200} = \frac{27.000}{29.543} \text{ lb por hora He total lb mols por hora}$$

El peso molecular promedio de gas es  $\frac{200}{29.543} = 6.77$

2. Si el análisis de las 200 lbs. por hora de la mezcla está dada en peso, se divide el porcentaje de cada componente por el peso molecular correspondiente. El peso molecular promedio, es el recíproco de la suma total. Por ejemplo: el análisis del gas en por ciento en peso es:  $\text{CO}_2 = 3\%$ ;  $\text{N}_2 = 12\%$ ; Ar = 31%; y He = 54%.

Entonces:

$$\text{CO}_2 \quad 0.03/44 = 0.000682$$

$$\text{N}_2 \quad 0.12/28 = 0.004286$$

$$\text{Ar } 0.31/40 = 0.007750$$

$$\text{He } 0.54/4 = \frac{0.135000}{0.147718}$$

El peso molecular del gas es:

$$\frac{1}{0.147718} = 6.77$$

3. Si el análisis de la mezcla está dado en volumen, se multiplica el porcentaje de cada gas por el peso molecular correspondiente. La suma total de los resultados obtenidos es el peso molecular promedio. Por ejemplo, el análisis de la mezcla gaseosa dado en % volumen es:  $\text{CO}_2 = 0.5\%$   $\text{N}_2 = 2.9\%$ ,  $\text{Ar} = 5.2\%$  y  $\text{He} = 91.4\%$ .

Los pesos moleculares de estos gases son:

$$\text{CO}_2 = 44, \text{N}_2 = 28; \text{Ar} = 40; \text{He} = 4$$

$$\text{CO}_2 \quad 0.005 \quad (44) = 0.22$$

$$\text{N}_2 \quad 0.029 \quad (28) = 0.81$$

$$\text{Ar} \quad 0.052 \quad (40) = 2.08$$

$$\text{He} \quad 0.914 \quad (4) = 3.66$$

El peso molecular promedio del gas es 6.77.

El aire equivalente de las 200 lbs por hora de la -

mezcla es  $\frac{200}{46\%}$  (de la fig. IV-5) = 435 lbs por hora

Si la temperatura de las 200 lbs por hora de la mezcla es de 400°F, el aire equivalente a 70°F es  $\frac{435}{92.1\%}$  (de la fig. IV-4) = 472 lbs por hora.

MEZCLA DE GASES INCLUYENDO VAPOR. Cuando la mezcla de gases incluye vapor, el aire equivalente a 70°F del vapor componente se calcula como se indica en el párrafo (b) y el aire equivalente a 70°F de los otros gases se calcula como se indica en el párrafo (d); y los dos equivalentes se suman.

Los eyectores pueden probarse con aire seco a temperatura ambiente normal o con vapor a cualquier temperatura conveniente, o con una mezcla de aire seco a temperatura ambiente; según opción del fabricante. El aire equivalente a 70°F de las capacidades establecidas se calcula por los métodos señalados en (a), (b) o (c).

#### PROPIEDADES FISICAS

El flujo de cada componente para el diseño de la carga debe proporcionarse separadamente en libras por hora.

La especificación incluye todas las propiedades físic

cas de cada componente diferentes al aire y vapor de agua, como también el peso molecular de los gases disueltos. No requieren mayores datos los eyectores sin condensador.

Caso contrario, con condensadores, debe suministrarse el vapor condensable, peso molecular, calor latente, presión de vapor, solubilidad en agua a dos temperaturas cerca a la temperatura del agua de enfriamiento. Si los vapores condensables son insolubles en agua y se utilizan condensadores de superficie, entonces se especifican datos de calor específico, conductividad térmica, viscosidad y gravedad específica. Si los vapores condensables se congelan a temperaturas cercanas a la menor temperatura del agua de enfriamiento esperada, entonces se proporcionan también datos del punto de congelación.

PESO TOTAL DE UNA MEZCLA SATURADA DE DOS VAPORES;  
Uno Condensable.

Frecuentemente cuando la cantidad de incondensables se conoce o se estima, es importante establecer que estos gases se encuentran en combinación con agua u otro líquido de proceso. En este caso, la cantidad de vapor condensable sobre el líquido se debe considerar en la succión del eyector.

$$W_v = \frac{W_n M_v P_v}{M_n P_n}$$



donde:  $n$ , se refiere al componente incondensable y,  $v$  al vapor condensable.

MEZCLA DE INCONDENSABLES CON VAPOR DE PROCESO. Se tienen muchos procesos que caen en este grupo.

Se manejan de manera muy similar a otros sistemas, corrigiendo por temperatura y peso molecular.

1. Calcular el peso molecular promedio de la mezcla.
2. El aire equivalente se determina de la fig. IV-5, usando el peso molecular promedio.

$$\text{AIRE EQUIVALENTE} = \frac{\text{lbs/hr de mezcla}}{\text{(sin corregir por temperatura) Relación de la fig. IV-5}}$$

3. La corrección por temperatura para el aire equivalente se encuentra usando la curva para el aire de la fig. IV-4.

CAPACIDAD ACTUAL PARA VAPOR DE PROCESO MAS INCONDENSABLE

Un sistema de destilación opera con un condensador del destilado en el domo, fig. IV-7.

El aire de salida en el sistema se estima de 7 lbs/-

hr, el peso molecular de los vapores del condensador que entran al eyector (a 80°F) es de 53. La presión de vapor de los vapores condensables es de 3 mm hg abs a 80°F.

Presión parcial del aire = 5-3 = 2 mm hg.

Vapor requerido para saturar a 80°F y 5 mm abs de presión total.

$$W_v = \frac{W_n M_v P_v}{M_n P_n} = \frac{7 (53) (3)}{(29) (2)} = 19.2 \text{ lbs/hr}$$

Peso molecular promedio de la mezcla:

$$\text{Aire: } 7 \text{ lbs/hr} = 0.241 \text{ moles/hr}$$

$$\text{Valor de proceso } \frac{19.2}{26.21 \text{ Lbs/hr}} = \frac{1.070}{1.311 \text{ moles/hr}}$$

$$\text{Peso mol. promedio de la mezcla} = 26.2/1.311 = 20$$

$$\text{Corrección del peso molecular (de la fig. IV-5)} = 0.85$$

$$\text{Aire equivalente (a 80°F)} = \frac{26.2}{0.85} = 30.8 \text{ lbs/hr}$$

Corrección por temperatura (fig. IV-4), usando curva para aire = 0.999

$$\text{Aire equivalente para mezcla a 70°F} = \frac{30.8}{0.999} = 30.9 \text{ lbs/hr}$$

Este es el valor comparativo con pruebas estándar -- del fabricante o con la curva de operación a 70°·F.

El dren para el aire se utiliza para mantener una -- condición constante. En su lugar puede usarse una válvula de control. Sin embargo, las válvulas de control en lí -- neas de vapor a bajas presiones en un eyector no son reco -- mendables.

#### MEZCLA DE INCONDENSABLES Y VAPOR DE AGUA

Esta situación también ocurre frecuentemente. Para -- determinar el aire equivalente a 70° F los incondensables -- se determinan primero, como en el caso anterior y el vapor de agua como en el segundo problema.

Presión total del sistema en la succión del eyector:

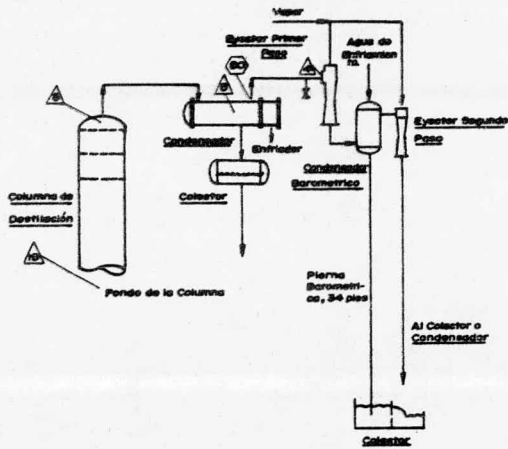
$$P = P_n + P_{v_1} + P_{v_2} + \dots$$

donde:

P = presión total absoluta, lb/pulg<sup>2</sup> abs.

P<sub>n</sub> = presión parcial del gas incondensable, psia.

P<sub>v</sub> = presión parcial de un vapor en la mezcla, psia.



△ Presión Absoluta, mm. Hg. Abs.

⬡ Temperatura, °F

**FIG. IV-7**

**DESTILACION A VACIO**

**UNAM. FAC. C. QUIMICAS**

**EVA E. ESPINOZA S.**

- INFILTRACIONES -

De aire en el sistema. Las infiltraciones de aire - ocurren en las conexiones de la tubería (bridas, válvulas, etc.). El sistema se prueba para determinar las fugas presentes, pero para nuevos diseños y situaciones diferentes - donde no se ha realizado la prueba, el HEI (Heat Exchange-Institute) recomienda los valores tabulados a continuación para eyectores con condensadores de superficie que son los valores mínimos requeridos de seguridad. Un sistema hermético siempre muestra un mejor comportamiento.

T A B L A IV-1

VAPOR MAXIMO CON DENSADO lb/hr		AIRE SECO A 70°F			
		SERVICIO S CFM	TURBINAS lbs / hr	SERVICIO SCFM	MAQUINARIA Lbs/hr
Hasta	25,000	3.0	13.5	6.0	27.0
25,001 a	50,000	4.0	18.0	8.0	36.0
50,001 a	100,000	5.0	22.5	10.0	45.0
100,001 a	250,000	7.5	33.7	15.0	67.4
250,001 a	500,000	10.0	45.0	..	..
500,000 y valores superiores		12.5	56.2	..	..

Capacidades para evacuadores rápidos,  
aire seco. cfm a 70°F, I in Hg abs

Hasta	75,000	150
75 000 a	250,000	300
250001 a	600,000	600
600001 y valores su periores		900

La Fig. IV-8 proporciona los valores máximos para procesos comercialmente herméticos los cuales no incluyen equipo de agitación. Para propósitos de diseño el eyector usualmente se compra para operar con una carga doble a estos valores. Para sistemas con agitación, las fugas del sistema se incrementarán por 5 lbs de aire/hora por agitados. Si tienen sellos, estos valores pueden reducirse a 1 ó 2. Al tenerse mayor agitación en el sistema siempre se tendrá mayor posibilidad de incrementar las fugas.

Algunos fabricantes en sus diseños optan por adicionar los factores de corrección por cada accesorio, usando los valores de la tabla IV-2.

TABLA IV-2

TIPO DE CONEXIONES	Cantidad estimada de - infiltración de aire - vg/hr
Conexiones roscadas arriba de 2"	0.1
Conexiones roscadas hasta 2"	0.05
Conexiones bridas hasta 6"	0.25
Conexiones bridas de 6" a 24" incluyendo entradas hombre	0.4
Conexiones bridas de 24" a 6"	0.5
Conexiones de bridas arriba de 6"	1.0
Válvulas empacadas hasta árbol de 1/2" de diámetro	0.25

Válvulas empacadas con árbol de más de 1/2" de diámetro	0.5
Válvulas de macho lubricadas	0.05
Válvulas de macho pequeñas para monómetros, etc.	0.1
Miras de cristal	0.5
Tubos de nivel incluyendo machos de descarga	1.0
Prensa estopas para flechas verticales de agitadores, bombas, etc. sellados con líquido por pulgadas de diámetro en la flecha	0.15
Prensa estopas común por pulgada de diámetro	0.75
Válvulas de seguridad y rompedores de vacío por pulgada de diámetro normal	0.5

Tipo de Conexiones	Cantidad estimada de infiltración de aire Kg/hr
Conexiones roscadas arriba de 2"	0.1
Conexiones roscadas hasta 2"	0.05
Conexiones de bridas hasta 6"	0.25
Conexiones de bridas de 6" a 24" incluyendo entradas de hombre	0.4
Conexiones de bridas de 24" a 6 pies	0.5
Conexiones de bridas arriba de 6 pies	1.0
Válvulas empacadas hasta árbol de 1/2" de diám.	0.25
Válvulas empacadas con árbol de más de 1/2" de diámetro	0.5
Válvulas de macho lubricadas	0.05
Válvulas de macho pequeñas para manómetros, etc.	0.1
Miras de cristal	0.5
Tubos de nivel incluyendo machos de descarga	1.0

Prensa estopas para flechas verticales de agitadores, bombas, etc. selladas con líquido por pulgada de diámetro en la flecha	0.15
Prensa etapas común por pulgada de diám.	0.75
Válvulas de seguridad y rompedores de vacío por pulgada de diámetro nominal	0.5

NOTA: Para prensa-estopas de flechas de agitadores se tiene que considerar en general y como máximo hasta 2.5 Kg/lb de aire infiltrado.

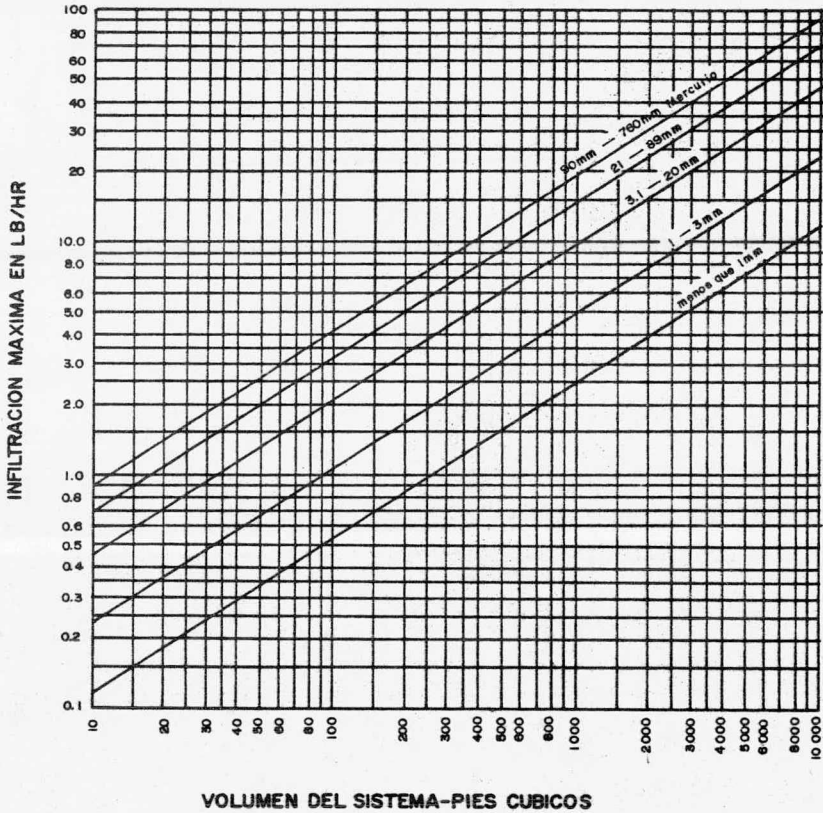
Para prensa-estopas de flechas de agitadores se tiene que considerar en general y como máximo hasta 2.5 Kg/hr de aire infiltrado.

Tomado de Croll-Reynolds Inc.

La determinación de fugas de aire implica considerable conocimiento del sistema de vacío y criterio, los métodos empíricos pueden contarse para producir valores exactos y correctos.

Para una planta hermética y eficiente, los valores máximos de infiltración se pueden reducir a 0.5 - 0.75 de los valores leídos, mientras para una planta descuidada, estos valores deberán multiplicarse por 2 ó 3. El método alternado usa la tabla de la cantidad estimada de infiltración de aire también multiplicando los valores por 2 ó 3.





**FIG. IV- 8 VALORES MAXIMOS DE INFILTRACION PARA SISTEMAS - - COMERCIALMENTE HERMETICOS.**

**U.N.A.M. FAC. C. QUIMICAS**

**EVA E. ESPINOSA S.**

## CARGA DEL EYECTOR PARA CONDENSADOR DE SUPERFICIE

Un condensador de superficie condensa el vapor de -- una turbina operando a 1.0 m hg <sup>7 mmHg</sup> abs. La carga de condensadores 85.000 lbs/hr de vapor.

¿Cuál es la capacidad del eyector?

De las tablas de vapor, la temperatura del vapor condensado a 1.0 in hg, es 79°F.

La presión de saturación corresponde a la temperatura de: 79° - 7.5°F = 71.5°F basado en el diseño práctico del eyector condensador. La presión desde las tablas de vapor = 0.78 in hg abs.

El vapor de agua al saturarse yendo al eyector es: -  
 $W_b = 0.62P_v/P_a = (0.62) (0.78) / 1-0.78 = 2.19$  lbs vapor -  
 agua/lb aire.

De la tabla IV-1, el aire seco recomendado SCFM=5.0.

El equivalente lbs/h = (5.0) (60) (0.075 lb/pie<sup>3</sup>)  
 = 22.5.

Vapor de agua total = (2.19) (22.5) = 49.4 lbs/h

Mezcla de vapor total al eyector = 49.4 + 22.5 =

71.9 lbs/hs

Se recomienda para el diseño del eyector tomar 1.25-  
 veces este valor.

Por experiencia, otra recomendación razonable se presenta en la siguiente tabla:

PRESION DE SUCCION	INFILTRACION DE AIRE
pulg. hg abs	permitidas, lbs/hr
8 a 15	30 a 40
5 a 8	25 a 30
3 a 5	20 a 25
1 a 3	10 a 20



Para sistemas con partes selladas móviles se consulta al fabricante del sello mecánico y así se construye otra tabla de infiltraciones de aire permitidas.

Generalmente en sistemas operando a presiones iguales o inferiores a 0.53 atmósferas o 15 pulg. hg abs, las infiltraciones de aire son constantes y aproximadamente independientes del proceso mismo.

#### GASES DISUELTOS EN EL AGUA

Cuando el eyector arrastra incondensables y otros vapores, al tener contacto directo estos vapores en el condensador barométrico con el agua, hay también una disolución de gas, generalmente aire, con el agua. Este aire debe adi-

cionarse a la carga conocida del eyector.

En la fig. IV-9, el HEI, presenta los datos de cantidades de aire que pueden esperarse en un enfriamiento directo con agua o en otro equipo similar.

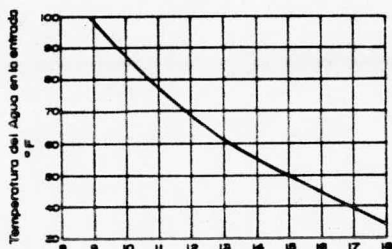
#### CAPACIDAD TOTAL EN LA SUCCION DEL EYECTOR

La capacidad total es la suma de todos los condensables e incondensables esperados (en lb/h<sup>4</sup>) en la succión del eyector.

Consiste en:

1. Infiltración de aire.
2. Gases incondensables provenientes de los inyectados en el proceso, o productos de reacción, etc.
3. Gases incondensables usualmente aire, provenientes del enfriamiento por contacto directo con agua.
4. Vapores condensables saturados de incondensables.

Se aplican factores razonables de seguridad según las cargas y la capacidad. El exceso de la capacidad en el



Aire liberado del Agua, lbs. Aire por Hora por 1000 gms. de Agua.

**FIG. IV-9** AIRE LIBERADO DEL  
AGUA EN CONDENSADORES DE  
CONTACTO DIRECTO.

**UNAM. FAC. C. QUIMICAS**

**EVA E. ESPINOZA S.**

eyector se puede controlar con la presión y algunas veces - con el flujo de vapor y presión; de no poderse controlar - con estas variables el vacío requerido, es necesario reem - plazar el eyector. Los factores comunes de 1.1 a 2.0 dependen del tipo del sistema y del conocimiento de sistemas si - milares en operaciones.

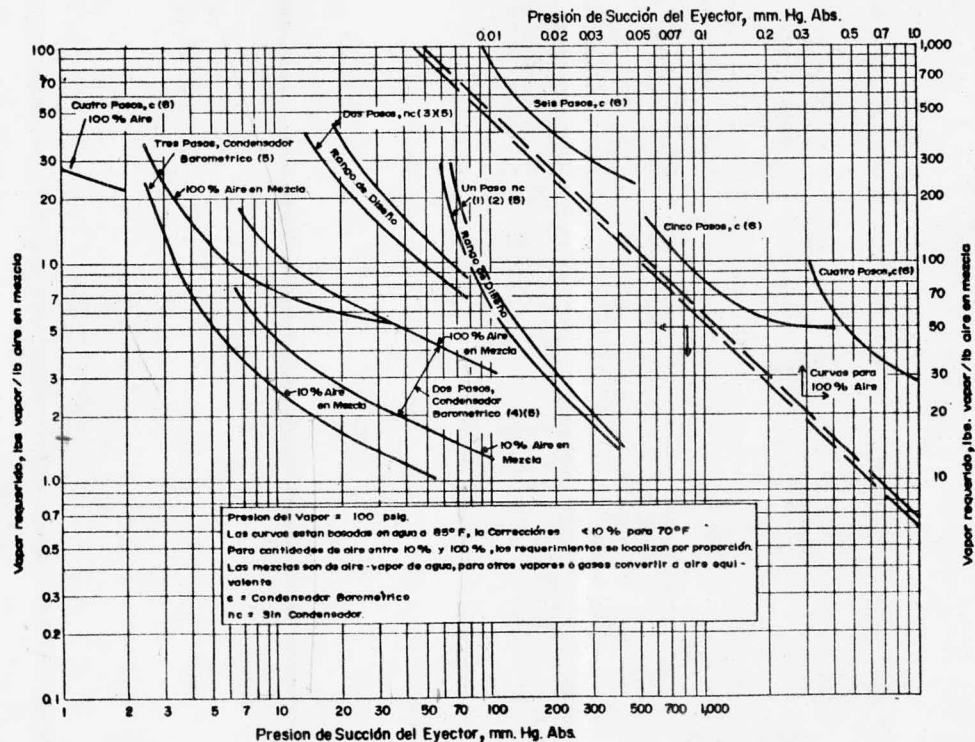
### CAPACIDADES DE SISTEMAS MULTIPLES

Cuando un sistema de eyectores consiste de 1 o más - eyectores e intercondensadores en serie, el volumen de cada paso debe evaluarse como libras/hora a las condiciones exis - tentes en su succión.

El segundo paso después de un primer paso con inter - condensador barométrico maneja todos los incondensables del sistema más el aire liberado del agua inyectada en el inter - condensador, más cualquier vapor condensable que no se con - densó en el condensador a esa presión y temperatura. Normal - mente el vapor condensable es aquí donde se separa. Si el - intercondensador es de superficie, no se tendrá aire libera - do al sistema por el agua de enfriamiento.

Requerimientos de Agua y Vapor.

Se tienen gráficas, como la fig. IV-10, donde se pre -



**FIG. IV-10**  
 ESTIMACION DEL VAPOR RE-  
 QUERIDO PARA EYECTORES.

**UN.A.M. FAC. C. QUIMICAS**

**EVA E. ESPINOZA S.**

sentan los requerimientos de vapor estimado para diversos sistemas de eyector.

En la Fig. IV-11 A y B, se presentan curvas típicas-estimadas para eyectores de un solo paso. La tabla IV-3, proporciona factores de evacuación.

TABLA IV - 3

Presión final de succión In. Hg. Abs	Factor de Evacuación G
10	1.9
8	1.0
6	1.5
5	1.0
4	1.3

Selección del tamaño: se localiza por la intersección de la presión de succión del eyector y la capacidad en la fig. IV-11 A.



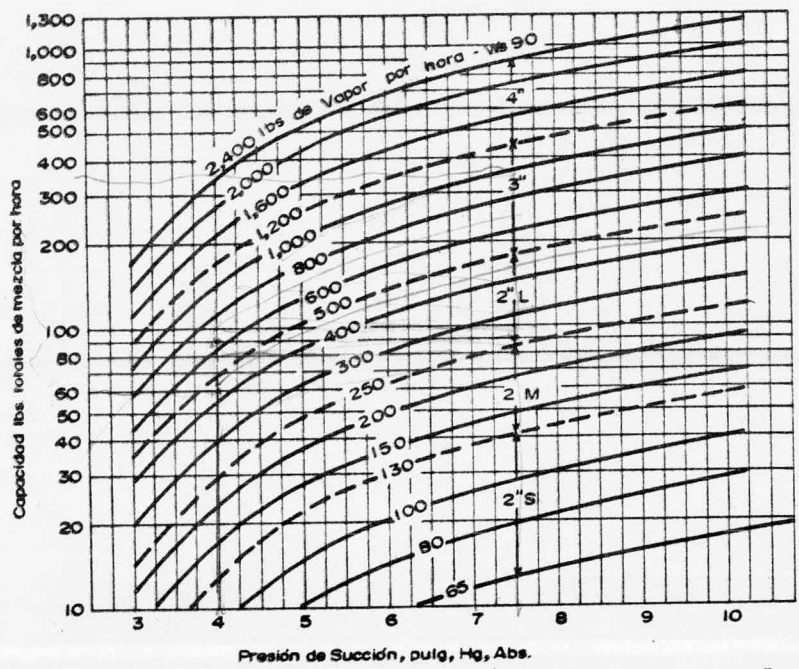
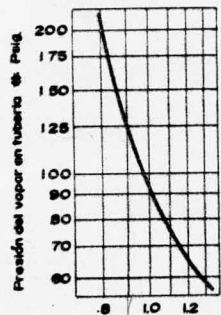


FIG. IV-11A Tamaño de un eyector operándose con vapor a 20 psig, un peso, 3"-10" Hg Abs.



F. = Factor presión del vapor

FIG. IV-11B Factor para la presión del Vapor para la fig. IV-11A

FIGS. IV-11A y 11 B
U.N.A.M. FAC. C. QUIMICAS
EVA E. ESPINOZA S.

## CONSUMO DE VAPOR

El valor leído en la fig. IV-11 B con la presión de vapor en la intersección con la curva, se substituye en la siguiente fórmula:

$$W_s = W_s 90 F.$$

Evacuación:  $W_s = E v / t$

Ejemplo: Utilidad y tiempo de evacuación.

Selección del tamaño; eyector de un solo paso.

Mezcla total a manejarse z 60 lb/hr.

Presión de succión = 4 in hg abs.

Presión del vapor = 125 psig. *16.79 psi*

De la fig. IV-11 A: 2 pulgadas L.

Consumo de vapor: 440 lb/hr a 90 psig.

A 125 psig, , F. = 0.88 (fig. IV-11 B)

$$W_s = 449 (0.88) = 397 \text{ lb/hr.}$$

Evacuación:

$$\text{Volumen del sistema} = 300 \text{ pies}^3$$

$$E = 1.3 \text{ (de la tabla)}$$

$$v = 300$$

$$W_m = 60.: 60 = 1.3 (300) / t.$$

Tiempo = 6.5 minutos para evacuar el volumen con dos pulgadas L.

Las figuras IV-12 A y B, muestran las curvas representativas para eyectores de dos pasos sin condensables.

La siguiente tabla IV - 4, presenta los factores de evacuación para eyectores de dos pasos sin condensables.

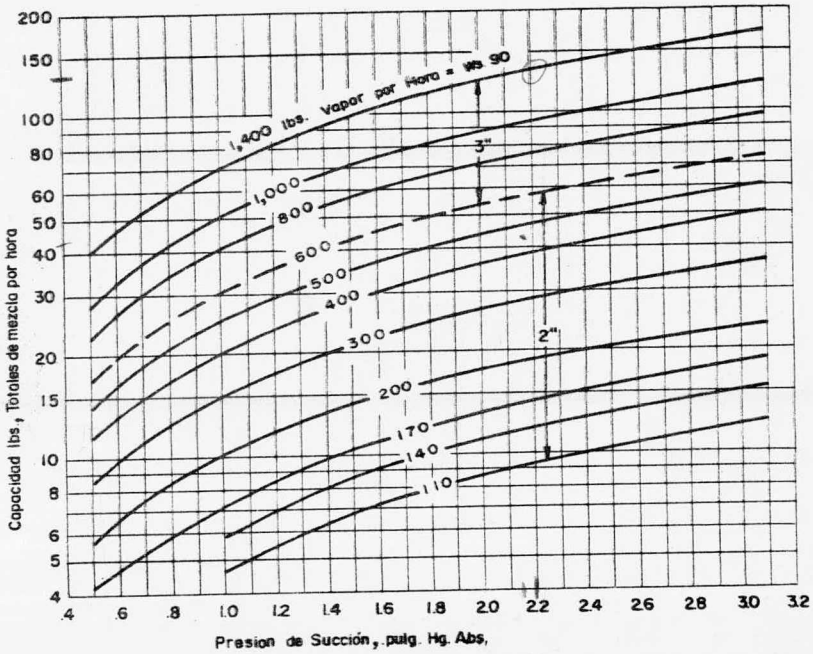
TABLA IV - 4

Presión final de succión In Hg. Abs	Factor de evacuación, G
0.5	0.48
1.0	0.67
1.5	0.81
2.0	0.92
2.5	1.00
3.0	1.10

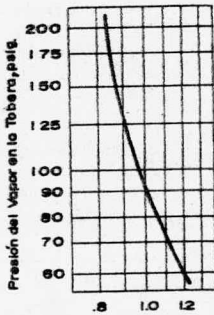
En las figuras IV-13 A, B, C, D, y E se muestran los datos representativos para eyectores de doble paso con intercondensador barométrico.

#### SELECCION DEL TAMANO

Se localiza el tamaño, en la intersección de la pre-



**FIG. IV-12A** Tamaño de un eyector operándose con vapor a 90 psig., dos pasos, nc, 0.6" - 3.0" Hg. Abs.



F = Factor Presión de Vapor

**FIG. IV-12B** Factor para la presión del Vapor para la Fig. IV-12A.

**FIG. IV-12A y 12B**

**U.N.A.M. FAC. C. QUIMICAS**

**EVA E. ESPINOZA S.**

sión de succión del eyector y la capacidad en la fig. IV-13.

consumo de vapor: usar Fig. IV-13 B

$$W_s = W_s W_m K_f$$

consumo de agua:

$$\text{GPM (aproximado)} = 0.06 W_s$$

En las figuras IV-13 A, B, C, D, y E se muestran los datos representativos para eyectores de doble paso con in - tercondensador barométrico.

#### SELECCION DEL TAMANO

Se localiza en la intersección de la presión de succión del eyector y la capacidad en la Fig. IV-13 A.

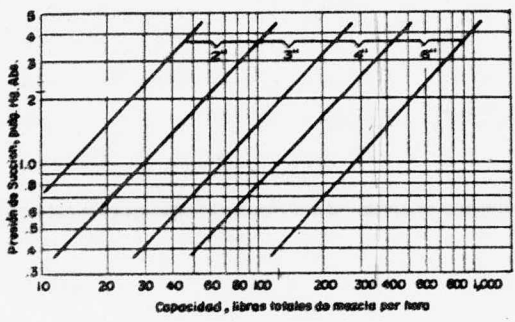
consumo de vapor: Usar la Fig. IV-13 B

$$W_s = W'_s W_m K F$$

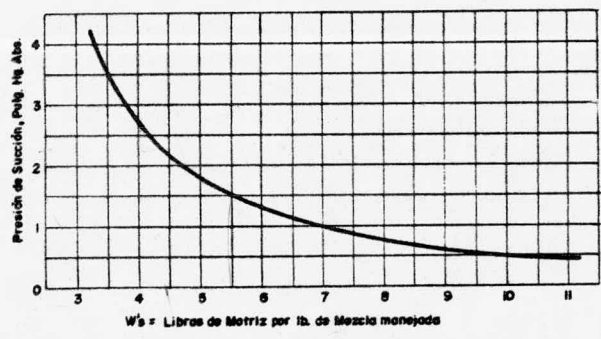
consumo de agua:

$$\text{GPM (aproximado)} = 0.06$$

$$\text{GPM (mínimo)} = 10$$



**FIG. IV-13A**  
**Tamaño del Eyecaster, un solo paso.**



**FIG. IV.13B**  
**Factor para el Consumo de Vapor.**

FIGS. IV-13A y 13B
UN.A.M. FAC. C. QUIMICAS
EVA E. ESPINOZA S.

FIG. IV-13 C

Factor para carga de incondensables.

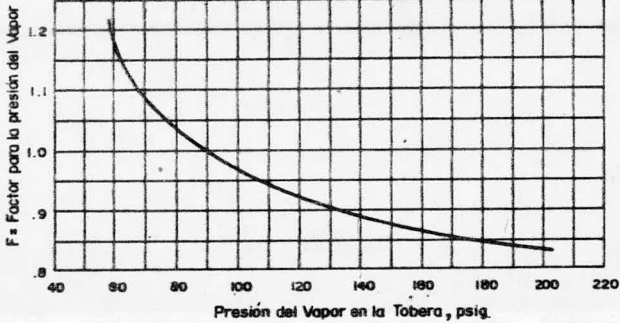
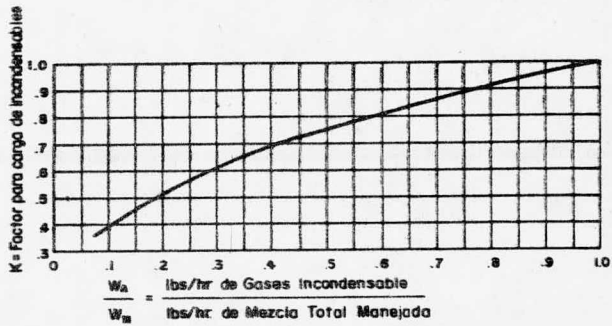


FIG. IV-13 D

Factor para la presión del Vapor

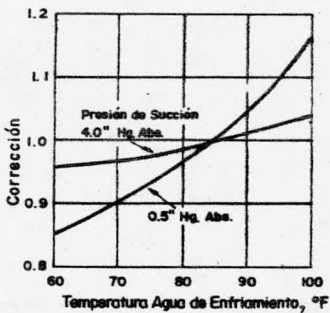


FIG. IV-13 E

Corrección para el vapor requerido en unidad de dos pasos con Condensador Barométrico.

FIGS. IV-13C, 13D y 13E.

UNAM. FAC. C. QUIMICAS

EVA E. ESPINOZA S.

Ejemplo: Selección de tamaño y usos para eyectores -  
de dos pasos con intercondensador barométrico.

Mezcla total a manejarse = 40 lb/hr

Libras de Aire en la mezcla = 14 lb/hr

Presión de succión = 1.5 pulg. Hg. Abs.

Entonces, el tamaño de las conecciones de entrada y-  
salida se determinan usando la Fig. IV-13 A.

Consumo de vapor:

$$W'_S = 5.55 \quad (\text{Fig. IV-13 B})$$

$$W_m = 40$$

$$K = 0.67 \quad (\text{Fig. IV-13 C})$$

$$\frac{W_a}{W_m} = \frac{15}{40} = 0.375$$

$$F = 0.88 \quad (\text{Fig. IV-13 D})$$

$$W_S = 5.55 (40) (0.67) (0.88) = 131 \text{ lb vapor/hr.}$$



## CONSUMO DE AGUA

$$\text{GPM} = 0.06 (131) = 7.85$$

Por lo tanto, se recomienda utilizar 10 GPM.

Por otra parte, el diseño del tamaño requerido para un solo paso se condensa en el siguiente procedimiento enumerado los pasos necesarios para llevarlos a la Fig. IV-14 de acuerdo a la presión de trabajo, y así obtener las dimensiones del eyector en la Fig. IV-15.

## I. Consumo de vapor (CR-100)

$$Q_1 = R (Q_2)$$

$Q_1$  = Consumo de vapor a la presión de diseño

$R$  = Relación de libras de vapor / libras de aire

$Q_2$  = Carga de aire para el diseño.

## II. Tamaño (CR - 101-105)

Seleccionar la curva apropiada a la presión de diseño del vapor.

### III. Características, por ejemplo CR-107

Presión de diseño en la succión, pulg.	Curva
1 - 5.5 Hg. abs	A
5.5 - 6.8	B
6.8 - 7.8	C
8.0 - 12.0	D

### IV. Carga de Diseño (CR-106)

$$Q_2 = \left(\frac{V_1}{1000}\right) \left(\frac{T_2}{T_1}\right) \quad (72)$$

$V_1$  = volumen que se maneja

$T_1$  = tiempo de diseño

$T_2$  = tiempo obtenido de la curva correspondiente a la presión de succión de diseño

$Q_2$  = carga de diseño a 6" Hg. Abs. de presión de succión

Para consumo de vapor y tamaño referirse a (I) y (II) arriba.

Los fabricantes necesitan datos completos del vapor-motriz (aire o agua) así como los vapores condensables y los incondensables

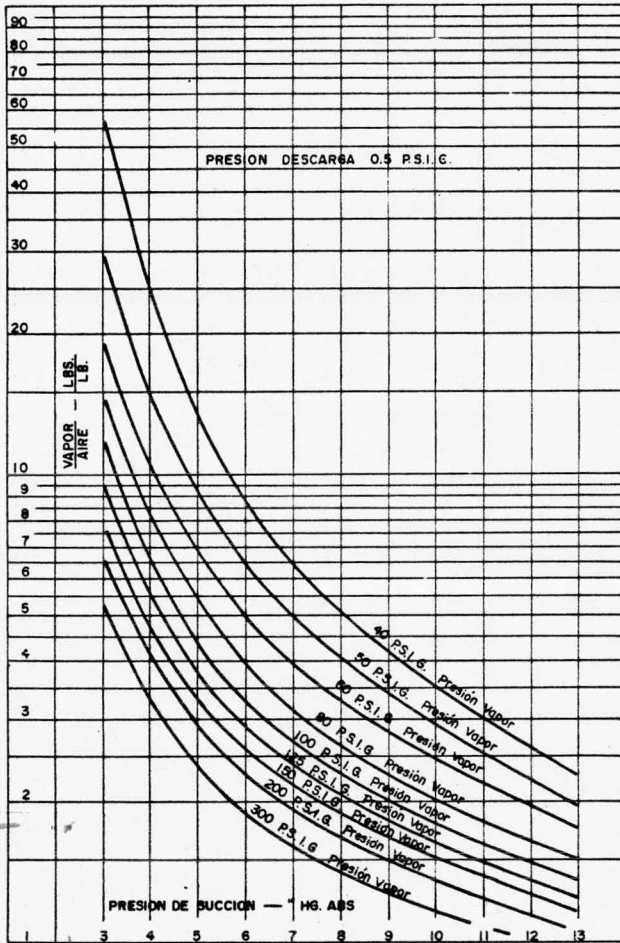


Fig. IV-14 A

UN.A.M. FAC. C. QUIMICAS

EVA E. ESPINOZA S.

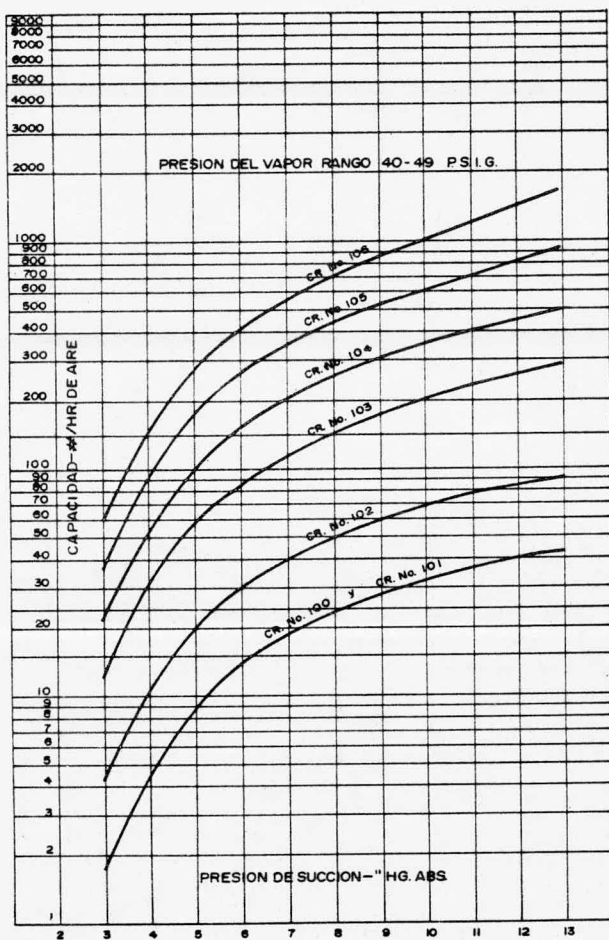


Fig. IV-14 B

U.N.A.M. FAC. C. QUIMICAS

EVA E. ESPINOZA S.

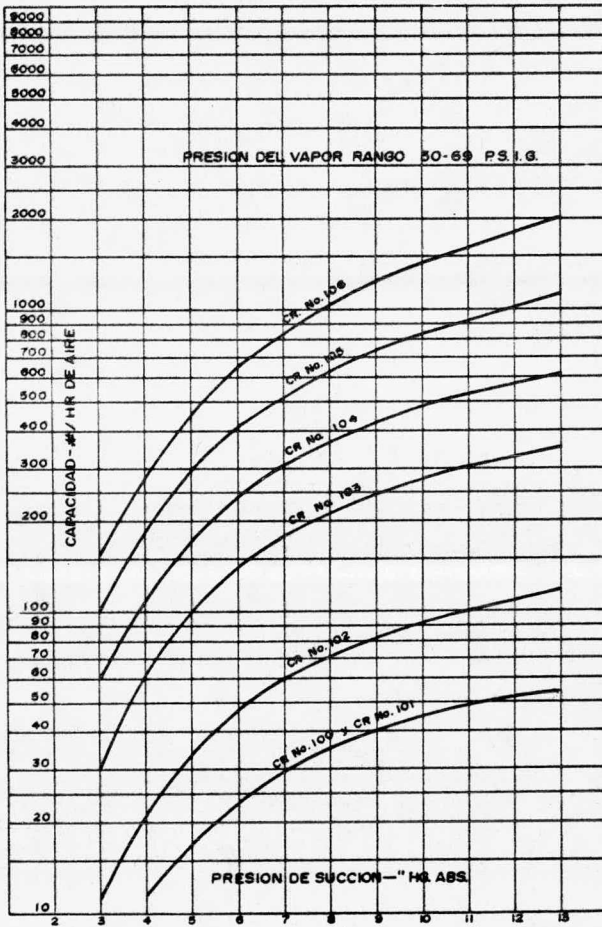


Fig. IV-14 C

U.N.A.M. FAC. C. QUIMICAS

EVA E. ESPINOZA S.

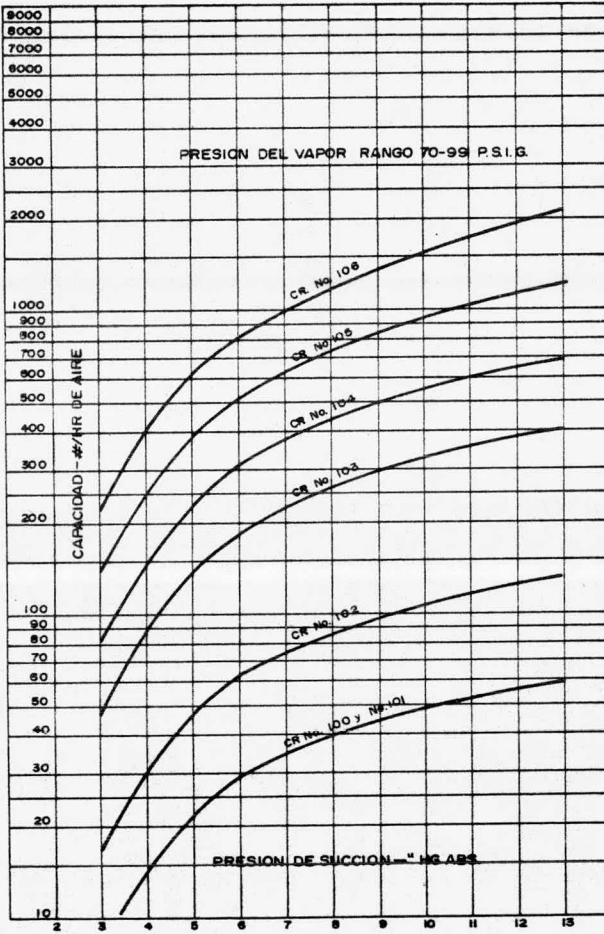


Fig. IV-14 D

U.N.A.M. FAC. C. QUIMICAS

EVA E. ESPINOZA S.

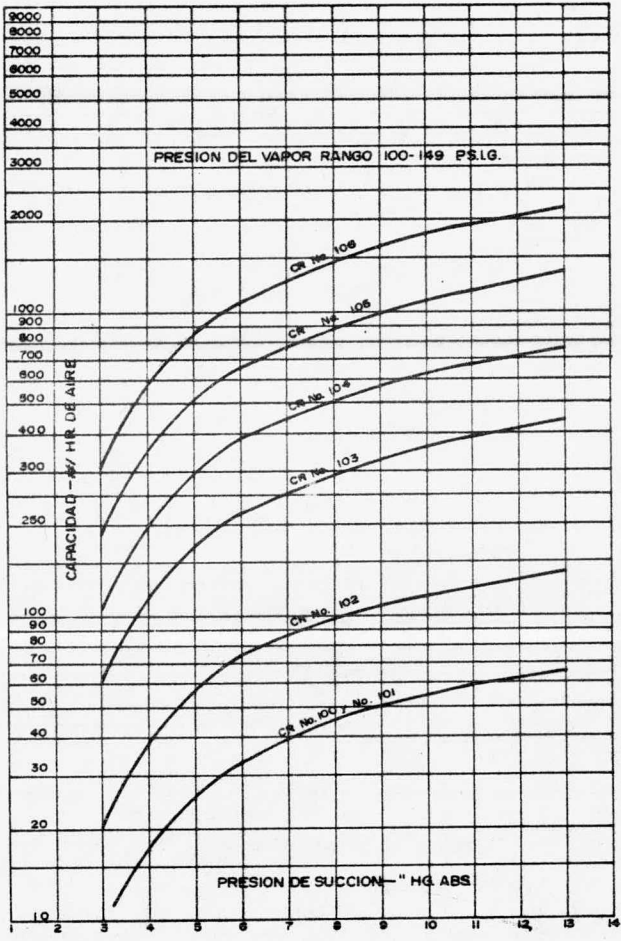


Fig. IV-14 E

UNAM. FAC. C. QUIMICAS  
EVA E. ESPINOZA S.

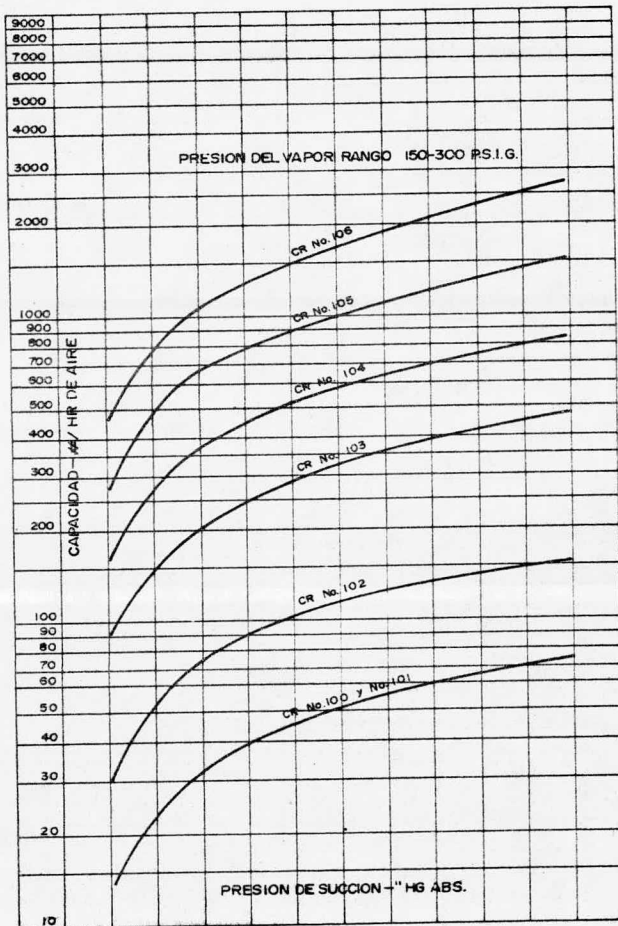


Fig. IV-14 F

UNAM. FAC. C. QUIMICAS

EVA E. ESPINOZA S.



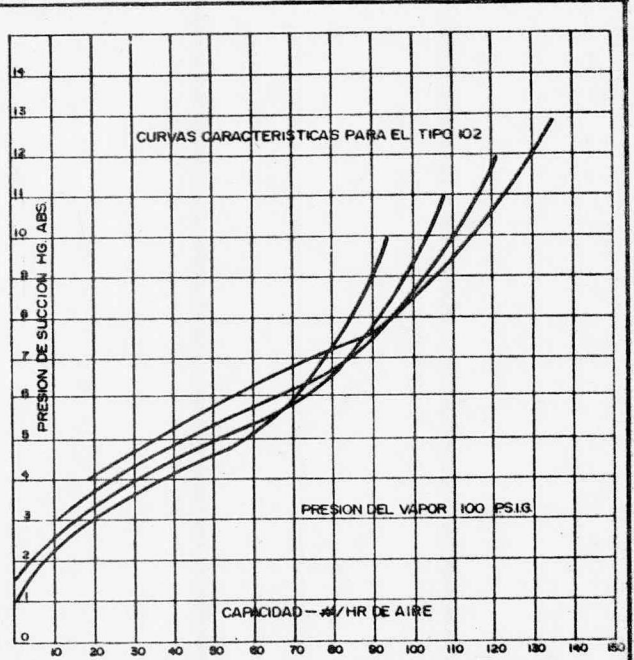
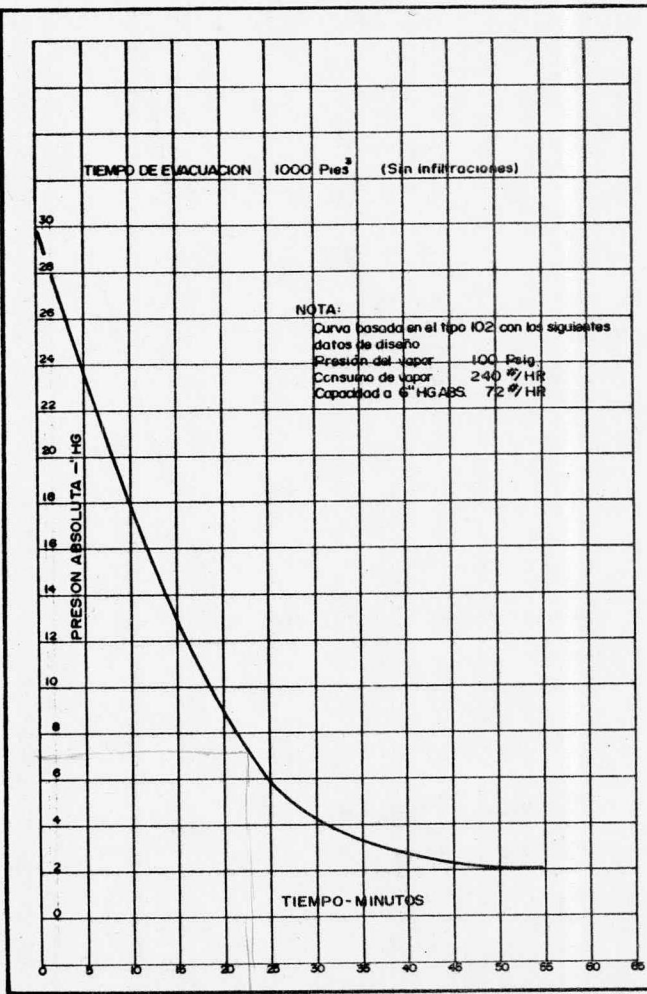
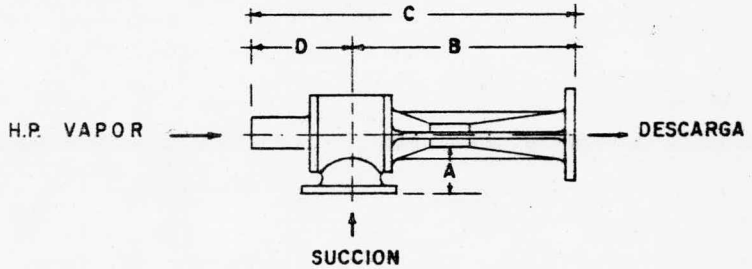


Fig. IV-14 G y H

U.N.A.M. FAC. C. QUIMICAS

EVA E. ESPINOZA S.



DIMENSIONES DEL EYECTOR DE UN SOLO PASO

TAMAÑO	CR-100	CR-101	CR-102		CR-103		CR-104	CR-105	CR-106
Succión	1 1/2"	2"	2"	3"	3"	4"	4"	6"	6"
Descarga	1 1/4"	1 1/2"	2"	2"	3"	3"	4"	5"	6"
Vapor	1/2"	3/4"	3/4"	3/4"	1"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"
A	2"	3 7/8"	3 7/8"	4 1/2"	4 1/2"	6 1/4"	6 1/4"	6 1/2"	6 1/2"
B	10 3/4"	14"	14"	14"	19 1/2"	20 3/4"	30 1/8"	37 3/8"	44 3/8"
C	13 1/4"	20 1/8"	20 1/8"	20 1/8"	25 3/8"	27 1/8"	36 3/8"	44 1/2"	51 1/2"
D	2 1/2"	6 1/8"	6 1/8"	6 1/8"	6 1/8"	6 3/8"	6 1/4"	7 1/8"	7 1/8"
Brida de la Succión	1 1/2"	6"	6"	7 1/2"	7 1/2"	9"	9"	11"	11"
Brida de la Descarga	1 1/4"	5"	6"	6"	7 1/2"	7 1/2"	9"	10"	11"
Peso	20 #	45 #	45 #	50 #	90 #	100 #	120 #	245 #	285 #

Fig. IV - 15

UN.A.M. FAC. C. QUIMICAS

EVA E. ESPINOSA S.

Otra ventaja de gran utilidad es conocer los costos para la máxima economía de operación o mínimo costo inicial al hacerse una selección para mejorar un sistema en operación.

#### PROCEDIMIENTO PARA SELECCIONAR EL EYECTOR ADECUADO

En resumen, se sugiere el procedimiento para seleccionar un sistema adecuado de vacío:

1. Determinar el vacío requerido en el punto crítico del proceso en el sistema.
2. Calcular la caída de presión desde el eyector a la brida de succión, del primer paso en el sistema.
3. Determinar las siguientes condiciones en la succión del eyector:
  - A. Libras / hr del vapor condensable
  - B. Libras / hr de gases incondensables
    1. Disuelto
    2. Inyectado o arrastrado en el proceso
    3. Formado por reacción
    4. Infiltración de aire

## 4. Preparar la hoja de especificaciones.

## ESPECIFICACIONES:

La Fig. IV-16 es de gran utilidad ya que resume especificaciones para el fabricante del eyector. También es útil para determinar su capacidad y la de los intercondensadores en un proceso específico. La mayoría de las condiciones requieren de una evaluación detallada, ya que para alto vacío se requiere una estimación minuciosa.

La Fig. IV-16 también se emplea para eyectores operados con agua y aire. En todos los casos es muy importante describir el sistema, sus necesidades, control y método de operación.

FIGURA IV-16  
ESPECIFICACIONES

---

COMPORTAMIENTO

---

Servicio \_\_\_\_\_ Tipo \_\_\_\_\_  
 No. Pasos \_\_\_\_\_ Condensador Barométrico o -  
 Superficie. Presión de Succión \_\_\_\_\_  
 Temperatura en la Succión \_\_\_\_\_ °F  
 Presión de descarga Máxima \_\_\_\_\_ mm Hg. Abs.

Vapor: Presión Mínima \_\_\_\_\_ PSIA  
 Temperatura \_\_\_\_\_ °F  
 Calidad \_\_\_\_\_ %

Agua: Fuente \_\_\_\_\_ Presión Máxima \_\_\_\_\_ PSIA  
 Temperatura Máxima \_\_\_\_\_ °F

Volumen de descarga del sistema \_\_\_\_\_ pies<sup>3</sup>  
 Infiltraciones de aire estimadas \_\_\_\_\_ lbs/hr  
 Tiempo máximo de evacuación \_\_\_\_\_ min.  
 Carga del eyector \_\_\_\_\_ lb/hr Peso Molecular \_\_\_\_\_  
 Calor específico ( $C_p$ ) \_\_\_\_\_ Btu/lb-°F  
 Calor latente \_\_\_\_\_ Btu/lb  
 Condensables \_\_\_\_\_  
 Incondensables \_\_\_\_\_

---

### DISEÑO

---

Vapor Motriz, lbs/hr \_\_\_\_\_  
 Vapor: Presión y clase en la entrada \_\_\_\_\_  
 Agua: GPM \_\_\_\_\_  
 T Agua, °F \_\_\_\_\_  
 Agua: Presión y clase en la entrada \_\_\_\_\_  
 Presión en la cámara de succión, mm Hg. Abs. \_\_\_\_\_  
 Temperatura en la cámara de succión, °F \_\_\_\_\_  
 Condensadores, (Pre-Inter-Post) \_\_\_\_\_  
 Barométricos \_\_\_\_\_

Superficie (Area del tubo de salida, pie<sup>2</sup>) \_\_\_\_\_

MATERIALES DE CONSTRUCCION

Eyector: Cámara de vapor \_\_\_\_\_ Boquilla \_\_\_\_\_

Difusor: Entrada \_\_\_\_\_ Descarga \_\_\_\_\_ Cámara de Suc  
ción \_\_\_\_\_

Entrada en la cámara de succión del 1er paso (tamaño Pr. Cl.  
Superficie) \_\_\_\_\_

Condensador Barométrico: Coraza \_\_\_\_\_ Baffles \_\_\_\_\_  
Boquillas \_\_\_\_\_

Condensador de superficie: Coraza \_\_\_\_\_ Cabezal \_\_\_\_\_  
Tubos (OD BWG L) \_\_\_\_\_  
Material \_\_\_\_\_

Recubrimiento de los tubos \_\_\_\_\_ Baffles \_\_\_\_\_

Trampa de Vapor \_\_\_\_\_ Válvulas \_\_\_\_\_

OBSERVACIONES

Proveedores de: Tubos de salida \_\_\_\_\_

Tubos de Interconexión \_\_\_\_\_

## MATERIALES Y ESTANDARES DE CONSTRUCCION

Un factor importante en los eyectores siempre lo es la selección adecuada de los materiales de construcción, ya que debe de considerarse la gran velocidad que desarrolla el vapor motriz al exponerse en la tobera, provocándose un desgaste superficial, como también las temperaturas elevadas o flúidos corrosivos que se manejan. Cuando los vapores o gases no son corrosivos, el difusor suele construirse de hierro fundido, y la tobera para el vapor de acero inoxidable. Para gases y vapores, afectándose estos materiales, puede usarse cualquier aleación como bronce y diversas aleaciones de acero inoxidable, plásticos resistentes al calor, teflón, vidrio, etc.

Una ventaja en la fabricación de gargantas de bronce lo es la estructura que resulta compacta y lisa comparada con el hierro fundido. En general, las gargantas de acero dulce, no son muy aconsejables, debido a que en períodos fuera de operación tienden a oxidarse fácilmente. Aunque las dimensiones internas de la garganta no son tan críticas como en la boquilla o tobera, poseen una muy importante, que es la tolerancia de unas milésimas de pulgada en las mismas.

La garganta, como la unidad completa, puede fabricar

se en carbón, compensándose su resistencia a la tensión con algún otro metal que posea tal característica. Por ejemplo: el hierro fundido. En este caso, las partes internas de carbón se usan como núcleo y el metal fundido como camisa externa alrededor de la unidad. Esto reduce a un mínimo cualquier espacio posible entre el carbón y el metal, surpimiéndose de esta manera la corrosión. Debido a la diferencia en el coeficiente de expansión de los dos materiales, sólo pueden fabricarse eyectores de tamaño pequeño. Usándose la fundición de plomo para tamaños grandes.

En general, los eyectores pueden fabricarse en cualquier metal que pueda maquinarse.

#### ACCESORIOS

Los eyectores industriales pueden incluir un filtro para el vapor si la garganta de la tobera para el mismo, tiene un diámetro de 3/8 pulgadas o menos y, si el vapor es húmedo, incluirá un separador de vapor.

En centrales de energía, los eyectores incluirán tubería, filtro, obturador y válvulas de cierre para el vapor.



## - DETALLES DE CONSTRUCCION -

A continuación se ennumeran los requerimientos mínimos de la calidad para los materiales, según las especificaciones de ASTM.

- a) Partes del eyector en contacto con la presión del vapor:

TEMPERATURA MAXIMA DE DISEÑO PARA VAPOR, °F	TUBERIA PARA VAPOR Y ACCE- SORIOS	CAJA DE VAPOR Y TOBERA	TOBERA DE INYEC- CION DE VAPOR
400	De acuerdo con USAS. Presión- de Tubería	Bronce B62; Ace- ro al carbón, - pieza fundida - A216-WCA, Fra- guada a 181 -	Acero inoxidable, Bar a 276, 303, - 304 o 416
650	Código B-31.1	Grado 1, bar A- 107 Acero al carbón, pieza fundida a 216-WCA fragua- do a 181 grado- 1, bar A 107	Acero inoxidable- bar a 276, 303, - 304 o 416
850	"	Acero al carbón, pieza fundida a 216-WCB, fragua- do a 105, grado 1	Acero inoxidable- bar a 276, 303, - 304 o 416
1000	"	Acero Cromo-Mo- libideno, pieza fundida a 217 - WCG, fraguado a 182 F-11	Acero inoxidable- bar a 276-304

1050	Código B-31.1	Acero Cromo-Molibdeno, pieza-fundida a 217 - WCA, fraguado a 182-F-22	Acero inoxidable bar a 276 -304
1125	"	Acero inoxidable pieza fundida a 296-CF-8M o CF-8C, fraguado a 182 F, 316F, - 347 ó F-321	Acero inoxidable bar a 276 316, 347 o - 321

b) Partes del eyector en contacto con la presión del vapor (nota 1)

Difusores                      Bronce B62 o 144-3D  
 Hierro fundido a 48 clase 30  
 Calidad de la brida: Acero, -  
 placa a 285 grado C

Cámara de Succión            Hierro fundido a 48  
 clase 30  
 Calidad de la brida: Acero, --  
 placa a 285 grado C

Válvulas en inter-  
 paso                              Hierro fundido

c) Condensadores (ver nota 1)

Coraza o cilindro              Hierro fundido a 48 clase 30  
 Calidad de la brida: Acero --  
 placa a 285 grado C

Con el agua interna  
 Baffles                          Hierro fundido a 48 clase 30  
 Calidad de la brida: Acero --  
 placa a 385 grado C o A 7

Tubería de escape              Hierro fundido a 126 Grado A  
 acero, A 120

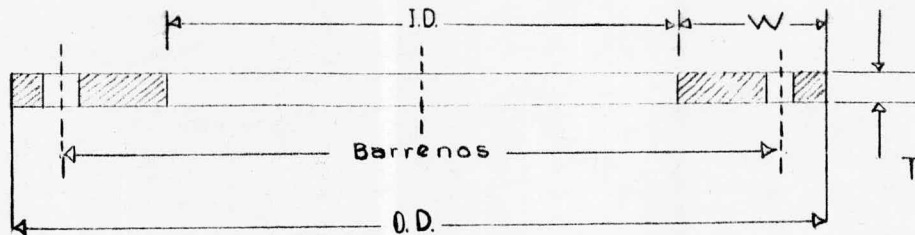
NOTA 1: Todas las conexiones pertenecientes al embridado -  
 bajo vacío serán de superficie plana.

Bomba para el agua	
Coraza	Hierro fundido
Impulsor	Bronce
-Anillos de desgrase	Bronce
Flecha	Acero, camisa de bronce

## (2) Tipo de superficie

Caja de agua y su cubierta	Hierro fundido A 48 clase 30 Calidad de la brida: Acero -- placa a 285 grado C
Coraza	Hierro fundido a 48 clase 30 Calidad de la brida: Acero -- placa a 285 Grado C Tubería de acero a 53
Chapa de los tubos	Laminado Muntz metal B 171 Acero al carbón por arriba de- 2 pulg. de espesor Calidad de la brida A 285 grado C Acero al carbón sobre 2 pulg. de espesor, calidad de la bri- da A 201 grado A ó B Acero inoxidable a 240 tipo - 304
Tubo de la placa soporte y bafles	Acero, calidad de la brida placa a 285 C o maquinado libre placa de acero
Tubos	Admiralty tipo A, B 111 Acero al carbón A 214 Acero inoxidable A 249 Tipo 304

## d) Bridas Std. para el vacío



T A B L A No. 4

Tamaño pulg.	Diámetro Externo O.D.	Diámetro Interno I.D.	W (A)	T (A)	Barrenos (B) Tamaño No-orificio	B.C.	Tamaño de la empaquetadura (C)
4				5/8			9 x 6
6				5/8			11 x 8
8				5/8	USA STD		13 1/2 x 10
10				5/8			16 x 12 1/2
12				5/8	125 lb		19 x 15
14				3/4			21 x 16 1/2
16				3/4	Acero al Carbón		23 1/2 x 19
18				3/4			25 x 20 1/2
20				3/4			27 1/2 x 22 1/2
24				3/4			32 x 27
30	36 1/4	30 1/4	3	1	28 - 3/4	34 3/8	36 1/4 x 32 1/2
36	42 1/4	36 1/4	3	1	32 - 3/4	40 3/8	42 1/4 x 38 1/2
42	48 1/4	42 1/4	3	1 1/4	40 - 3/4	46 1/4	48 1/4 x 44 1/4
48	54 1/4	48 1/4	3	1 1/4	44 - 3/4	52 1/4	54 1/4 x 50 1/4
54	60 1/4	54 1/4	3	1 1/2	44 - 7/8	58 1/4	60 1/4 x 56 1/4
60	66 1/4	60 1/4	3	1 1/2	52 - 7/8	64	66 1/4 x 61 3/4

- A. Las dimensiones W y T sobre 24 pulg. son para barras de tamaño rectangular.
  
- B. Use pernos de acero al carbón con tratamiento térmico, A 325 (SAE grado 5), para tamaños sobre 24 pulg. los pernos son de 1/8 pulg. más pequeños que el tamaño del orificio.
  
- C. Usar empaquetadura comprimida de asbesto de 1/8 pulgada de espesor.

C A P I T U L O    V

C O S T O S

## C O S T O S

### INFORMACION REQUERIDA PARA LA COTIZACION DE UN EYEC-TOR

Para evaluar y comparar las cotizaciones sobre un di seño, se requiere la siguiente información:

- a) Una descripción aproximada de la apariencia física - de la unidad, incluyendo el número y tamaño de los - pasos, el tipo de construcción (con brida o enrosca- da), y características mecánicas.
  
- b) El vapor requerido para cada paso, la presión absolu- ta en cada paso, y la caída de presión en cada con- densador, la temperatura del vapor abandonando cada- condensador, el agua de enfriamiento y el tamaño y - tipo de cada condensador (horizontal, vertical).

- c) Los precios del eyector y de piezas de repuestos; -  
y los precios separados para pruebas hidrostáticas.

El fabricante debe proporcionar los datos suficientes para el uso del eyector a toda capacidad. Los datos de mantenimiento deben incluir dimensiones críticas, materiales de construcción y número de serie de la tobera y difusor. Quizá la información de mayor uso son las curvas del comportamiento para cada paso, el agua de enfriamiento usándose en cada condensador, la temperatura del agua de enfriamiento como repuesto, y las temperaturas del agua y vapor abandonando cada condensador.

#### EVALUACION

Una evaluación completa para la cotización de un eyector debe hacerse en varios pasos. El primero, generalmente es una comparación del costo total económico de cada cotización, que se presenta; el segundo paso, es checar el diseño hecho con tolerancias permisibles.

Los procedimientos para realizar la revisión de los diseños cotizados también se utilizan para preparar una estimación del estudio económico así como la ingeniería de detalle.



## COSTO TOTAL ECONOMICO

Una evaluación del costo total económico de un eyector incluye las siguientes consideraciones:

- 1) Los valores asignados para vapor, agua de enfriamiento y electricidad si se requieren.
- 2) El costo, incluyendo piezas de repuesto (refacciones) y pruebas de operación, si son necesarias.
- 3) El costo de mantenimiento y operación.

Conviene que la cotización del equipo se realice en bases fijas equivalentes; esto es, considerando solamente el vapor, agua de enfriamiento y un precio establecido. - Generalmente este valor es de cuatro a diez veces el precio cotizado para eyectores de múltiples pasos con pequeñas cargas y superior, para cargas mayores.

El siguiente paso es una reconsideración del costo de instalación con diferente número de pasos y condensadores. Los pasos adicionales requieren aumentar la tubería manejando vapor con su estructura adecuada, como también, la tubería del agua de enfriamiento y la pierna barométrica.

ca se incrementa para el diseño requerido.

En los diferentes costos asignados a las respectivas cotizaciones se comparan también los factores cualitativos como lo es el comportamiento que proporciona el equipo, - la asistencia técnica, servicio de refacciones y los diferentes detalles económicos.

Con esta secuencia se obtiene la evaluación económica completa y el diseño que ofrece mejores ventajas, se - vuelve a checar.

#### COMPROBACION DEL DISEÑO

Ocasionalmente existe la probabilidad de cometerse - un error en la cotización. Por ejemplo, según el diseño, - pueden requerirse cantidades excesivas de vapor o de agua - de enfriamiento, lo que implica condensadores muy grandes - y por lo tanto, una cotización elevada que fácilmente se - elimina.

Por otra parte, también un diseño puede no cumplir - el comportamiento especificado. Este error ocurre algunas veces con eyectores que manejan grandes cantidades de va - por condensable en su carga. El vapor se condensa un poco

en los intercondensadores, y como resultado los pasos que están después de un condensador, son de tamaño insuficiente. Y el error no puede detectarse hasta que está en operación.

Un método para comprobar el diseño de un eyector cotizado es calcular la carga total para cada paso en un sistema múltiple, estimar los requerimientos de vapor para cada paso y entonces checar el agua de enfriamiento requerida para cada paso, y el diseño de los condensadores de superficie, si se desea.

El primer paso es convertir la carga total especificada de vapor a una base estandarizada ( $W_a$ ), libras por hora de aire seco, equivalente a 70°F. Si el diseño no requiere de condensador, el flujo del vapor ( $R_a$ ), puede obtenerse de la fig. V-1, y corregirse por la presión actual del vapor ( $M_p$ ), también obteniéndose de la fig V-1. Por lo tanto, el vapor total a manejarse es:

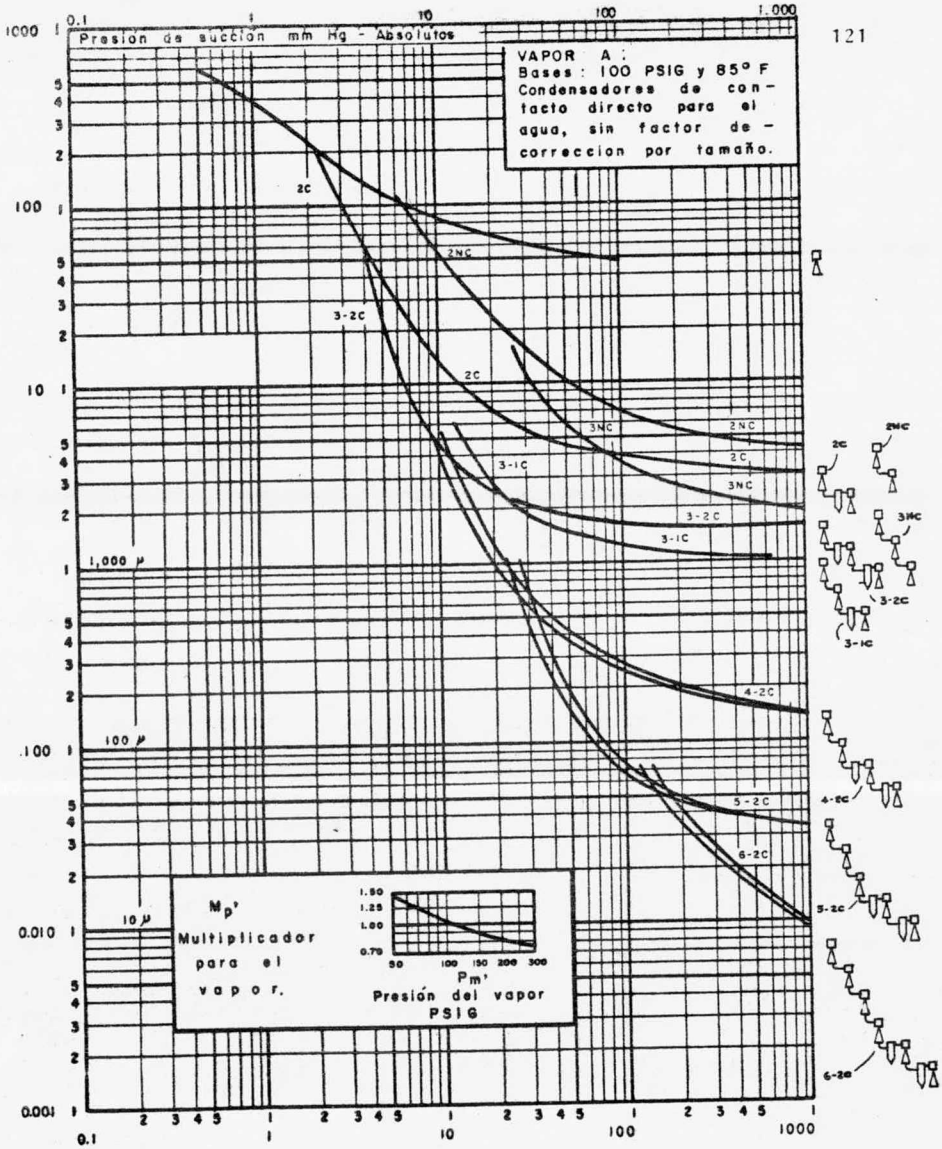
$$W_{s,m} = R_a M_p W_a \quad (1)$$

Agregándose un 10% a cada uno para una presión de descarga de un Psig.

Si el eyector tiene intercondensadores, se usa la

fi. V-2 para encontrar  $(R_a)$  conociéndose la presión en el paso intermedio, es decir, es el número de libras del vapor requerido para comprimir una libra de aire seco equivalente de la presión de succión  $(P)$ , a la presión de descarga  $(P_z)$ .

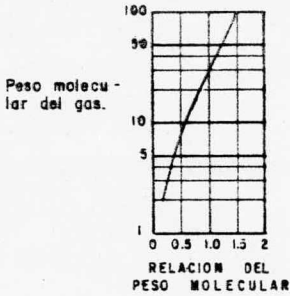
El valor de  $(M_p)$  también se obtiene de esta figura y se substituyen estos valores en la ecuación (1), para estimar los requerimientos de vapor para el primer paso. Este valor debe chequear aproximadamente con el valor requerido - en la cotización.



$R_a$ ,  $\frac{\text{lbs. de vapor motriz}}{\text{lbs. de aire}}$ , (Se agrega un 20% para tamaños comunes.)

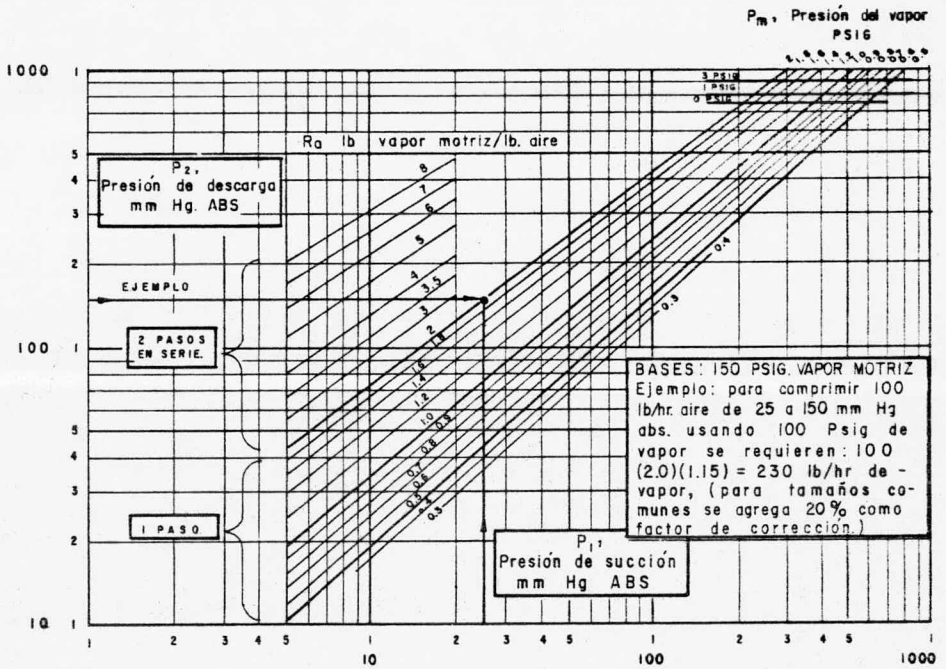
Estimación del vapor básico (Ra) para eyectores condensadores.

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
 U. N. A. M.  
 Fig. — V 1  
 EVA E. ESPINOSA S.



$M_p$ ,  
Multiplicador  
para el vapor.

Correccion para la  
presion del vapor  
matriz.

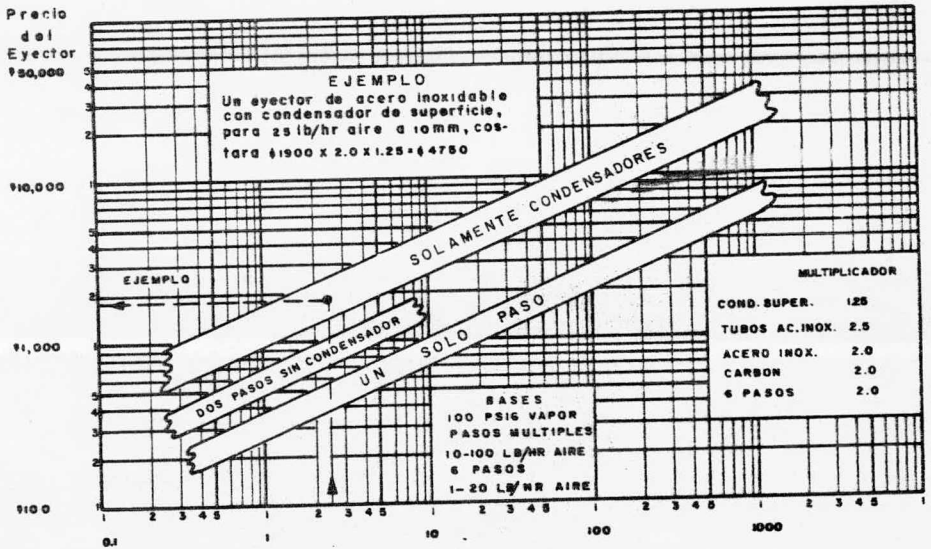


VAPOR REQUERIDO PARA COMPRIMIR AIRE -  
A CONDICIONES DE DISEÑO.

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
U. N. A. M.

Fig. — V 2

EVA E. ESPINOSA S.



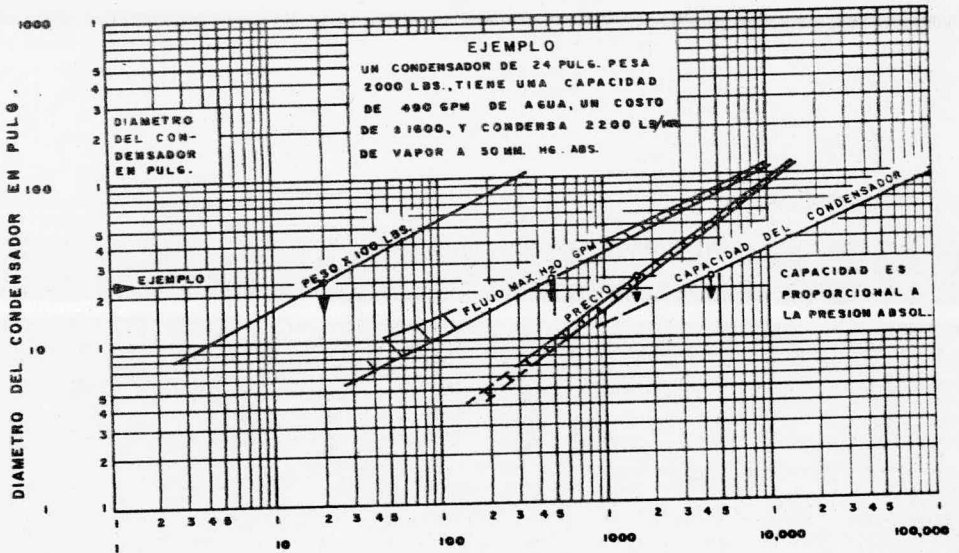
**ESTIMACION DEL COSTO DE EJECTOR-CONDENSADOR.**

Factor de tamaño.

$$\left(\frac{W_a}{P_i}\right)^{1.5} \text{ lb/hr Aire equivalente}$$

Preción de succión mm Hg ABS

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
**U.N.A.M.**  
Fig. — V 3  
**EVA E. ESPINOSA S.**



ESTIMACION DE COSTO PARA CONDENSADOR DE CONTACTO DIRECTO.

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS U.N.A.M.
Fig. — V 4
EVA E. ESPINOSA S.



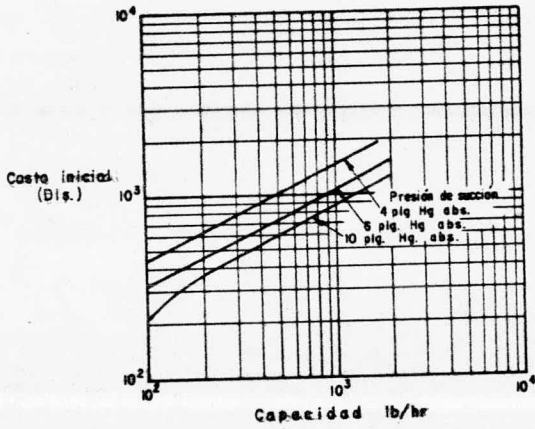
El diseño del segundo paso, se puede checar en la misma forma como el primero. Los requerimientos del vapor total para los pasos operándose en serie se puede estimar directamente de la Fig. V-2.

La evaluación del vapor en la fig. V-2 se basa en -- eyectores para tamaños comunes. Para un tamaño de mayor - dámetro o dimensión, el vapor aproximadamente puede ser un 10% menos; y un 40% adicional cuando se utiliza vapor menor de 100 lbs. por hora. Si el vapor es mucho menor que el 80% de los requerimientos estimados, es posible que se - cometi6 un error en la evaluación y por lo tanto, es recomendable una revisión del diseño con el fabricante.

Para unidades seguidas por un condensador, la carga de vapor se calcula con la temperatura del vapor a la salida del condensador obtenida de la cotización, y la composición del vapor debe checarsc cuidadosamente para determinar la eficiencia del condensador. Pequeñas cantidades de vapor condensable con bajas presiones de vapor generalmente condensan en el primer condensador, y con altas presiones arrastran grandes cantidades de vapor en la salida, especialmente si la fase líquida es inmiscible en agua.

Por último, en la Fig. V-5 se aprecia la variación del costo inicial a diferentes presiones de succión, para-

un eyector de un solo paso. Este costo está basado en la construcción de fundición de hierro.



EYECTOR UN SOLO PASO. PRECIO BASADO EN  
 FUNDICION DE FIERRO.

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
 U. N. A. M.

Fig. - V 5

EVA E. ESPINOSA S.

CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

Industrialmente, el eyector es una de las unidades productoras de vacío de uso más frecuente porque para su elección se consideran los siguientes factores:

1. La capacidad se expresa en términos de masa y no en volumen. Esto significa que al convertir la masa en volumen, se obtienen cantidades impresionantes, es decir, que el peso del vapor manejado en un eyector es más importante que su volumen. Por ejemplo, 2 lb/hr de vapor de agua a 2 mm. de presión absoluta convertida a volumen aproximadamente llegan a ser 250 pies cúbicos por minuto; por lo que al considerar este hecho fundamental, los eyectores encuentran su mayor ventaja para tener una gran aplicación. La capacidad se basa en aire seco o equivalente.

2. La expansión que sufre el fluido motriz desarrolla -  
muy altas velocidades, generalmente alrededor de -  
4000 pies/seg. Significa que la velocidad limita de  
finitivamente los dispositivos que tienen partes en  
movimiento, lo que no sucede con un eyector por no  
tener partes móviles.
3. Como fluido motriz, según las necesidades, se puede  
utilizar agua para crear un vacío muy modesto o ga -  
ses a alta presión para crear y mantener un vacío en  
un sistema.
4. Como el eyector es esencialmente una compresora con  
la característica de que el fluido de trabajo se mez  
cla con el fluido a comprimir, también puede utili -  
zarse para esa función. En general, la unidad en  
cuenta diversas aplicaciones como mezclador de lí -  
quidos, lavador de vapor, desrecalentador, ventila -  
dor y soplete siflón y productor de vacío.
5. Proporciona un amplio rango de presiones de succión  
que van desde 100 mm hasta 0.005 mm de presión abso  
luta que se obtienen con diferentes pasos.
6. La simplicidad y bajo costo de mantenimiento siempre  
los favorecen sobre todo, cuando el vapor de salida

puede tener uso para propósitos de calentamiento, -- por lo que se incrementa su eficiencia global.

7. En general, se fabrican en cualquier metal que pueda maquinarse, tomando siempre muy en cuenta los flujos a manejar.

BIBLIOGRAFIA

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

1. Heat Exchange Institute Standards for Steam Jet Ejectors. 3a. Edición.
2. Ejector and Vacuum Systems. Ludwig E. Ernest. Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants. Volumen I, 1964
3. Steam - Jet Air Ejectors. Power B.R. Febrero, Marzo y Abril 1964. Volumen 43, No. 2  
Hidrocarbon Processing - Petroleum Refiner
4. Plant Design and Economics for Chemical Engineers. - Max. S. Peters
5. How to Get the Most from Ejectors. C.G. Blatchley. Petroleum Refiner. Vol. 37, No. 12. Diciembre 1958.
6. Controlling Ejector Performance. C.G. Blatchley, Boletín 10 - 56 Schutte - Koerting Co.
7. Selection and Use of Ejectors. Jackson, D.G. Chemical Engineering Progress. Volumen 44, No. 5. Croll-Reynolds Co., Inc.



- \* 8. Selecting Ejectors for High Vacuum Linck. C.G. Chemical Engineering. Enero 13, 1958.
- \* 9. Ejectors Give Any Suction Pressure. F. Duncan Berkeley. Chemical Engineering. Abril 1957.
10. Ejectors Have a Wide Range of Use. E. Duncan Berkeley. Petroleum Refiner. Vol. 37, No. 12 Diciembre - 1958.
- \* 11. Facilitating Higher Vacuums in Industrial Processes. Jackson, D.H. Chemical Engineering. Vol. 39. No. - 10 Octubre 1932. Croll-Reynolds Co., Inc.
- \* 12. Chemical Engineers Handbook, Perry, 3a. Edición.
- \* 13. How to Find the Lowest - Cost Vacuum System. Patton W.P. - Joyce, F. Ch. Chemical Engineering. Febrero - 2, 1976.
14. Design and Application of Steam Jet Vacuum. Boletín E68A distribuido por CROLL - REYNOLDS Co., INC. 1968
15. Evactor Sizing Data, Single & Two Stage. Boletín -- ESD-68, distribuido por CROLL - REYNOLDS Co., INC. - 1968.
16. Apuntes sobre Eyectores. J/E8/1 Subdirección de Capacitación. I.M.P.
17. Dependable Jet Vacuum Equipment for the Process Industries Boletín C-160, CROLL - REYNOLDS Co., INC., - Junio 1966.
18. Gráficas y Tablas de diseño de Croll-Reynolds Co., Inc.