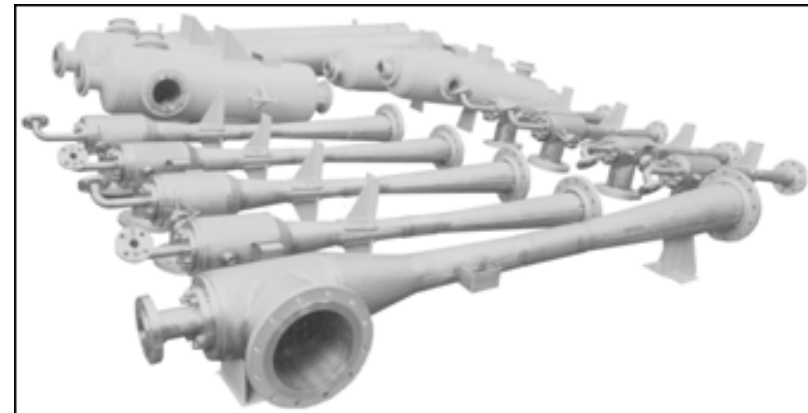
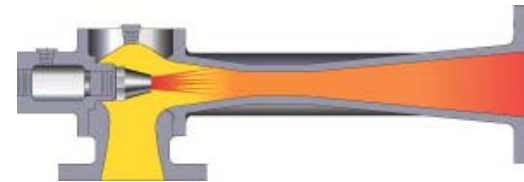
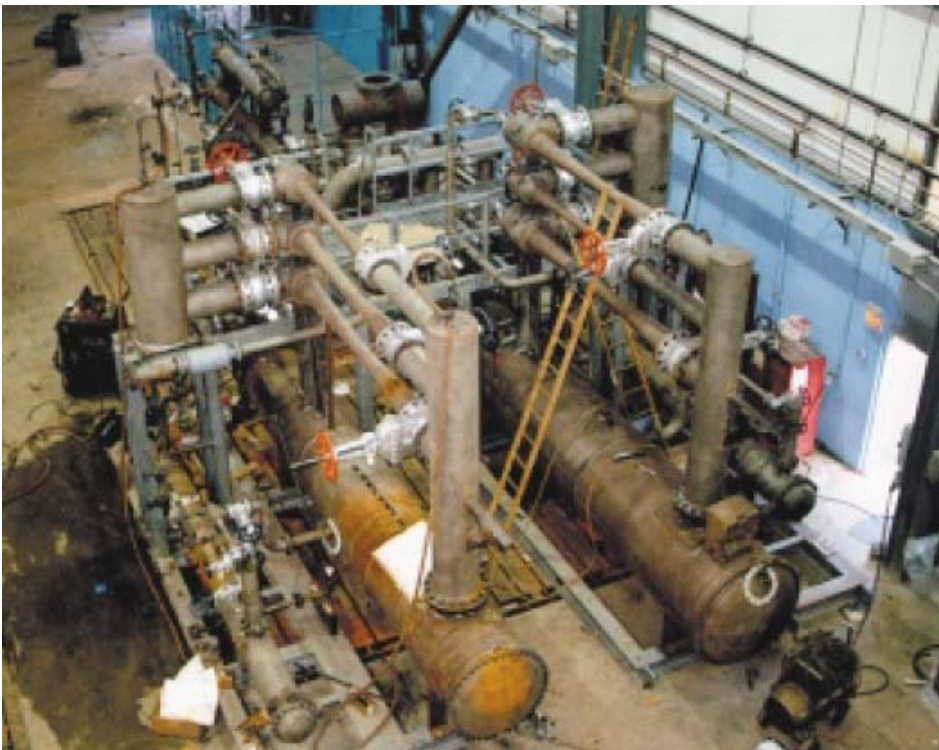


DISEÑO DE PLANTAS I

Eyectores

Qué es un eyector?

Son equipos capaces de incrementar la presión de un líquido o un gas mediante el arrastre del fluido en cuestión por un fluido motriz a alta velocidad a través de una boquilla.



DISEÑO DE PLANTAS I

Eyectores

Qué es un eyector? Cont.

Los eyectores no tienen piezas móviles, pero son menos eficientes que las bombas o compresores. Se usan cuando se dispone de grandes cantidades de vapor o gas como fluidos motrices a bajo costo. Su uso más amplio es para producir vacío.

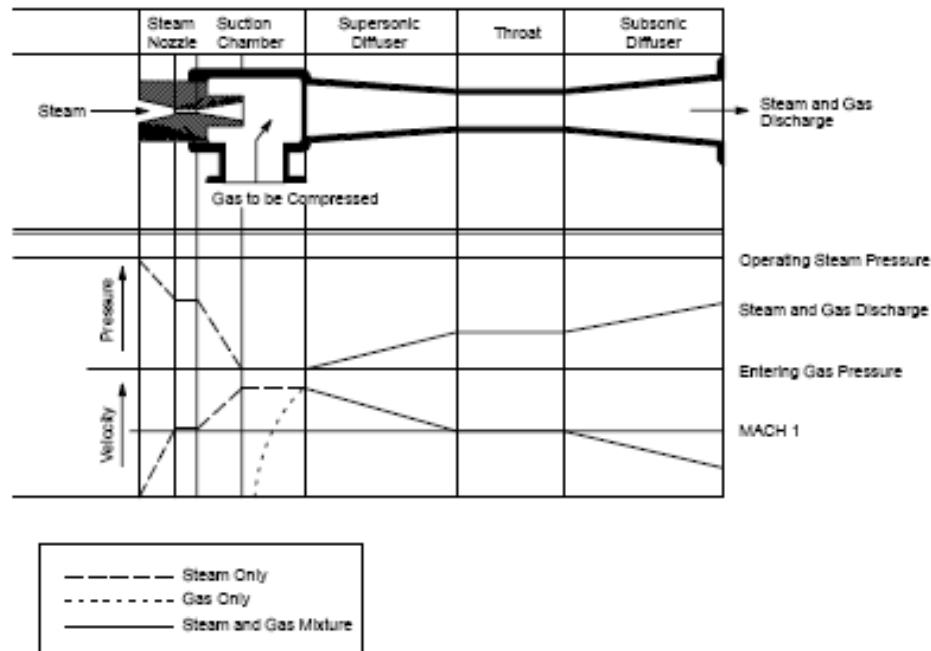


DISEÑO DE PLANTAS I

Eyectores

Principio de operación

El chorro de fluido a alta velocidad (presión estática baja) produce el arrastre de otro fluido, al entrar en contacto con él, produciendo la mezcla de los fluidos. Un eyector consta de tres partes: una boquilla, una cámara de succión y un difusor. La boquilla permite la expansión del fluido motriz a una velocidad más alta. Este chorro a alta velocidad entra en contacto con el gas a ser comprimido (P1) en la cámara de succión. La compresión del gas se produce a medida que la energía por velocidad se convierte en presión al desacelerar la mezcla a través del difusor, P2.



DISEÑO DE PLANTAS I
Eyectores

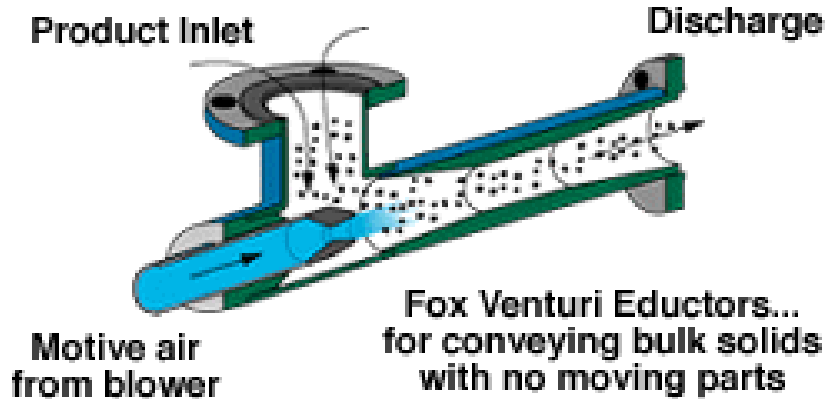
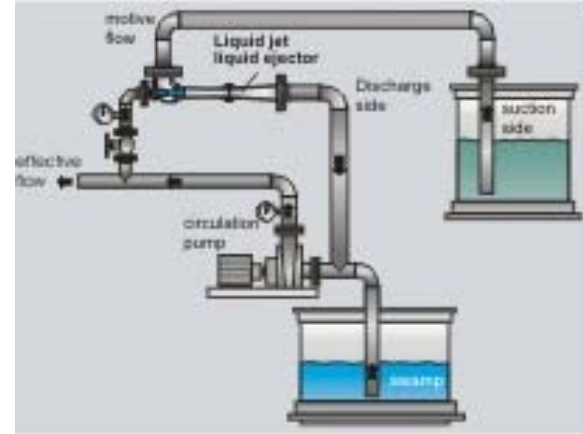
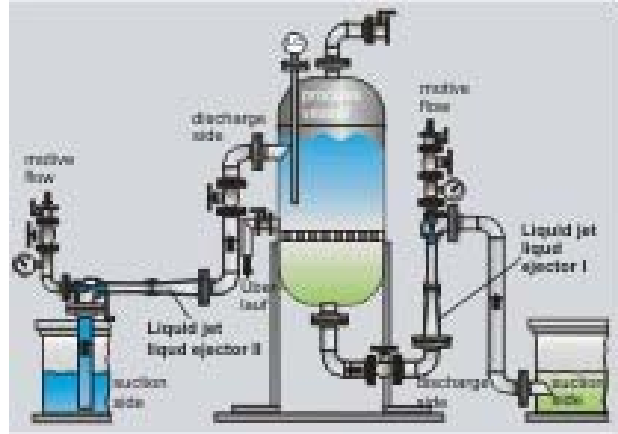
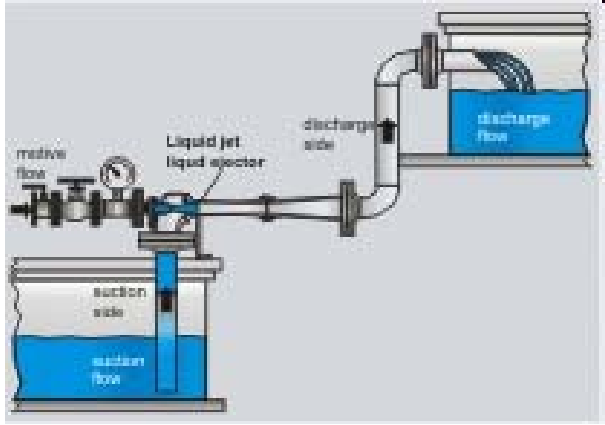
Aplicaciones

FLUIDO MOTRIZ	VAPOR (vapor de agua, aire, otro gas)	LÍQUIDO	SÓLIDOS
Vapor (Vapor de agua, Aire u otro gas)	Refrigeración, despojamiento, secado, vacío	Bombeo, calentamiento, muestreo, mezclado	Transporte
Líquido	Vacío, condensación, cebado bombas	Bombeo, mezclado	Transporte, mezclado

DISEÑO DE PLANTAS I

Eyectores

Aplicaciones





DISEÑO DE PLANTAS I

Eyectores

Fluido motriz

Vapor de agua

Es el fluido motriz más comúnmente usado. Es económico, generalmente está disponible, fácilmente recuperable con condensadores y compatible con la mayoría de los fluidos a ser comprimidos. Generalmente requiere de intercondensadores, para remover los condensados. Se requiere de vapor seco para un desempeño eficiente.

Aire

Se utiliza en eyectores portátiles, para vaciado de tanques, para bombeo, casi nunca se usa en servicio de procesos químicos.

Otros fluidos motrices

Ocasionalmente se usa gas natural y gases de refinería.

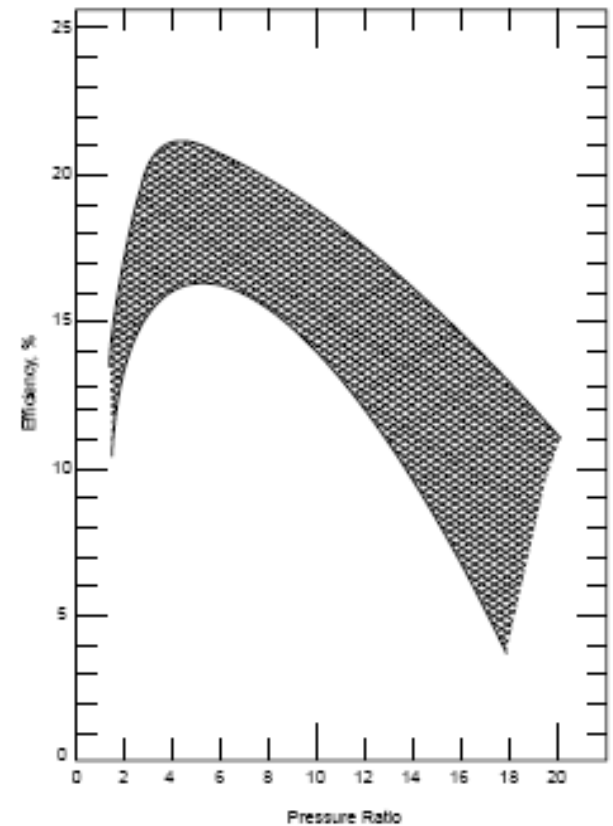
DISEÑO DE PLANTAS I

Eyectores

Características de desempeño

Existen diferencias entre eyectores que trabajan a flujo crítico o subcrítico. Los eyectores diseñados con $P_2/P_1 > 2$ trabajarán a flujo crítico (sónico) a través de la contracción del difusor. Si $P_2/P_1 < 2$ el flujo será subcrítico (subsónico), lo que permite un mejor control de la capacidad. Los eyectores a flujo crítico se usan en la mayoría de los servicios para producir vacío, para minimizar el número de etapas. P_2/P_1 debe mantenerse entre 6 y 10 para optimizar la eficiencia. Los eyectores a flujo subcrítico se aplican con presiones de entrada (P_1) mayores a 380 mm HgA, y casi siempre son de una etapa.

RANGE OF ATTAINABLE EFFICIENCIES FOR STEAM JET AIR EJECTORS



DISEÑO DE PLANTAS I
Eyectores

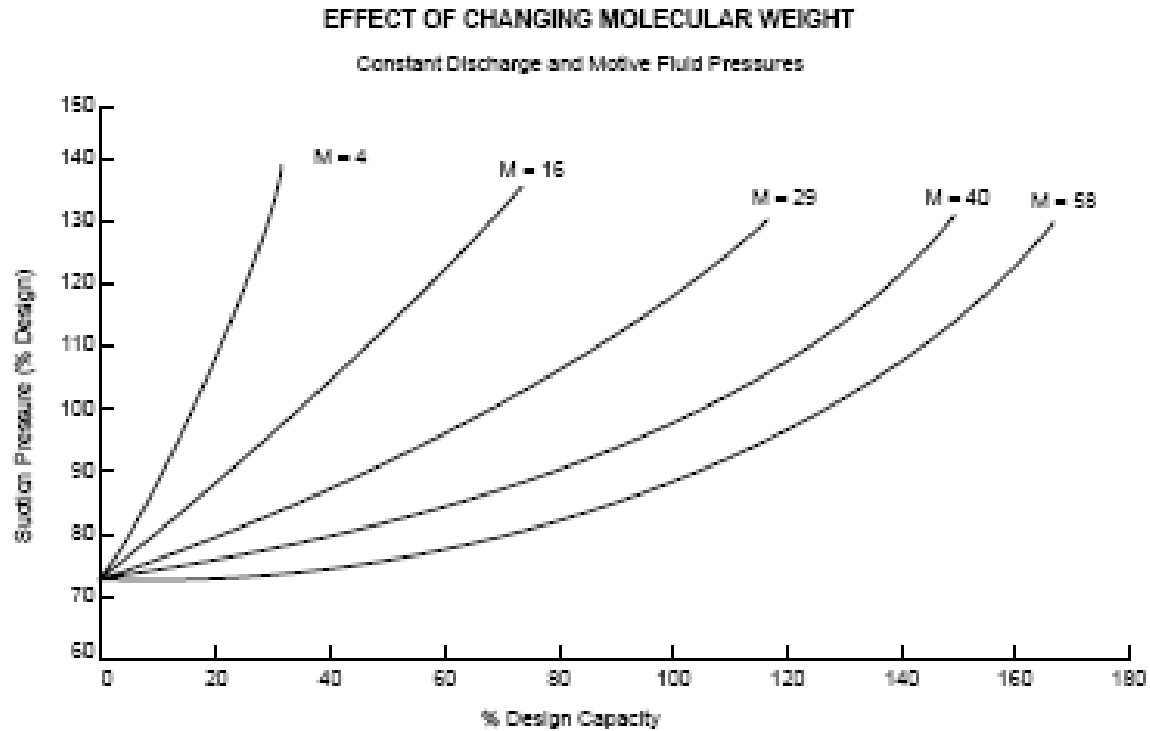
Características de desempeño

EFECTO DEL DESEMPEÑO DE LA PRESIÓN DEL EYECTOR A CAMBIOS EN VARIOS PARÁMETROS		
CAMBIO	FLUJO CRÍTICO	FLUJO SUBCRÍTICO
Aumento flujo vapor (máximo 5-10%)	Aumento presión descarga máxima	Reducción presión entrada. Aumento relación compresión
Aumento presión entrada	Reducción relación compresión; aumento capacidad	Reducción relación compresión; aumento capacidad
Aumento presión descarga	Sin cambios	La relación compresión permanece constante
Aumento capacidad	Reducción relación compresión; aumenta presión entrada	Reducción relación compresión; aumenta presión entrada

DISEÑO DE PLANTAS I

Eyectores

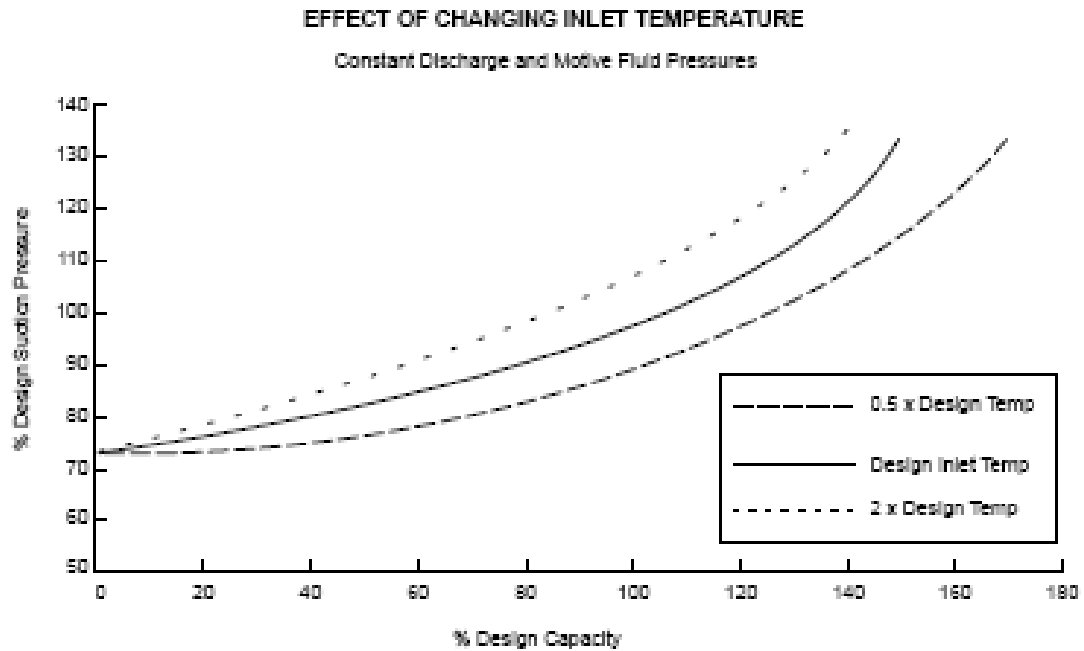
Características de desempeño



DISEÑO DE PLANTAS I

Eyectores

Características de desempeño





Características de desempeño

A medida que la presión del fluido motriz disminuye (o la presión de descarga aumenta) se alcanza un nivel que el flujo se hace inestable. Se le llama “punto de quiebre”. Al revertir el proceso se requiere de una presión un poco más alta de la original para volver al estado inicial.

La presión mínima de entrada a una etapa debe ser menor que la presión de descarga de la etapa anterior, para evitar inestabilidades en sistemas de eyectores multietapa.

Los eyectores se se diseñan para que su operación sea normal en un rango de 0 a 100% la carga de diseño, en el caso de servicios de refinerías.



DISEÑO DE PLANTAS I

Eyectores

Consideraciones de diseño

Respaldo

Los diseños de columnas de vacío incluyen tres eyectores a 50% de la capacidad de diseño. Uno de ellos de respaldo. En ocasiones se utilizan dos eyectores a 100% de la capacidad para reducir tuberías y válvulas. Los condensadores se diseñan para cubrir la carga de los tres eyectores.

Tiempo de vaciado

Para estimar el tiempo de vaciado requerido para evacuar el sistema desde la presión atmosférica hasta la presión de diseño, se debe asumir que la capacidad de manejo de aire es el doble que en condiciones de diseño.

$$T_e = 37V / W_a$$

T_e : Tiempo de vaciado, min

V : Es el volumen del sistema ocupado por el vapor, m³

W_a : Capacidad de diseño del eyector de aire, kg/hr

DISEÑO DE PLANTAS I

Eyectores

Consideraciones de diseño

Flujo másico de succión de aire

El volumen de succión de aire debería ser constante, pero debido a que existen fugas, debe realizarse un estimado de la cantidad de aire que debe succionarse ocasionada por las fugas en el sistema.

Las fugas se pueden estimar mediante la siguiente ecuación:

$$m = k \cdot V^{2/3}$$

m: Flujo másico de aire, lb/hr

V: Es el volumen del sistema, pie³

k: Coeficiente, que es función de la presión

Presión(mm Hg)	>90	20-90	3-20	1-3	<1
K	0,194	0,146	0,0825	0,0508	0,0254



DISEÑO DE PLANTAS I

Eyectores

Consideraciones de diseño

Adicionalmente, si se conocen los accesorios asociados al recipiente sometido a succión, se puede estimar el flujo de succión de aire utilizando la Tabla 7.11 (Walas), que se muestra a la derecha.

TABLE 7.11. Estimated Air Leakages Through Connections, Valves, Stuffing Boxes Etc. of Process Equipment^a

Type Fitting	Estimated Average Air Leakage (lb/hr)
Screwed connections in sizes up to 2 in.	0.1
Screwed connections in sizes above 2 in.	0.2
Flanged connections in sizes up to 6 in.	0.5
Flanged connections in sizes 6 in. to 24 in. including manholes	0.8
Flanged connections in sizes 24 in. to 6 ft	1.1
Flanged connections in sizes above 6 ft	2.0
Packed valves up to $\frac{1}{2}$ in. stem diameter	0.5
Packed valves above $\frac{1}{2}$ in. stem diameter	1.0
Lubricated plug valves	0.1
Petcocks	0.2
Sight glasses	1.0
Gage glasses including gage cocks	2.0
Liquid sealed stuffing box for shaft of agitators, pumps, etc. (per in. shaft diameter)	0.3
Ordinary stuffing box (per in. of diameter)	1.5
Safety valves and vacuum breakers (per in. of nominal size)	1.0

^a For conservative practice, these leakages may be taken as supplementary to those from Eq. (7.59). Other practices allow 5 lb/hr for each agitator stuffing box of standard design; special high vacuum mechanical seals with good maintenance can reduce this rate to 1–2 lb/hr.

DISEÑO DE PLANTAS I

Eyectores

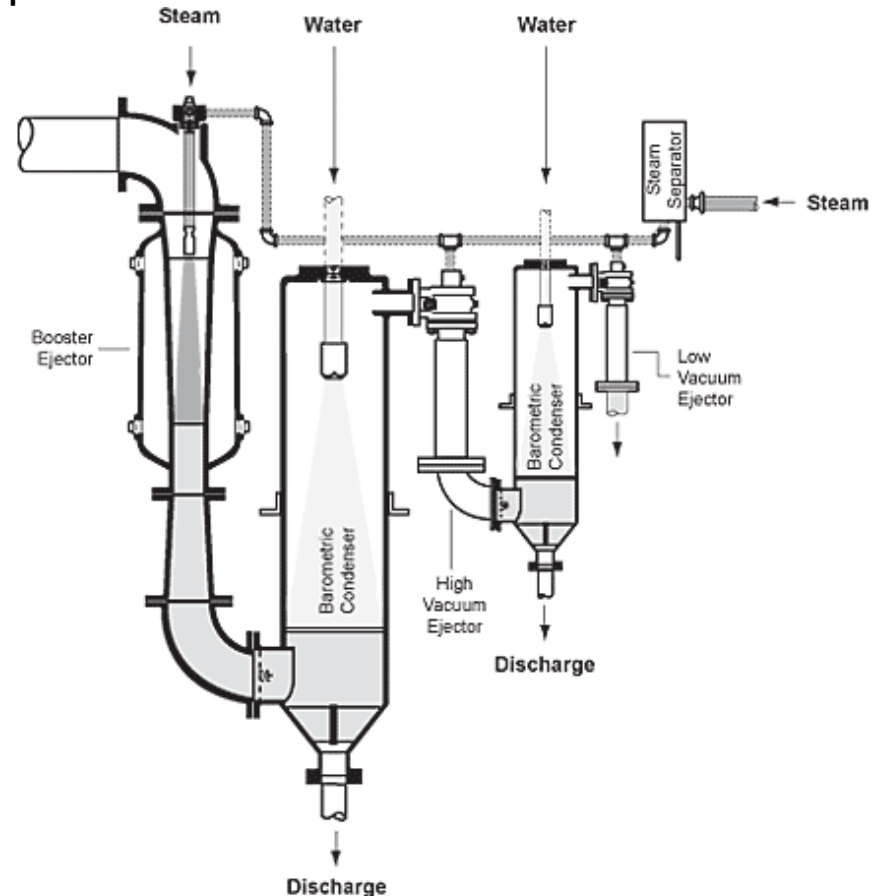
Consideraciones de diseño

Cálculo de las etapas

Las etapas se calculan para determinar los requerimientos de servicios de los eyectores y condensadores. Como aproximación inicial se tiene:

Presión de operación

Una etapa	60 – 750 mmHg
Dos etapas	10 – 100 mmHg
Tres etapas	2 – 15 mmHg
Cuatro etapas	0,025-2,5 mmHg
Cinco etapas	0,004-0,05 mmHg

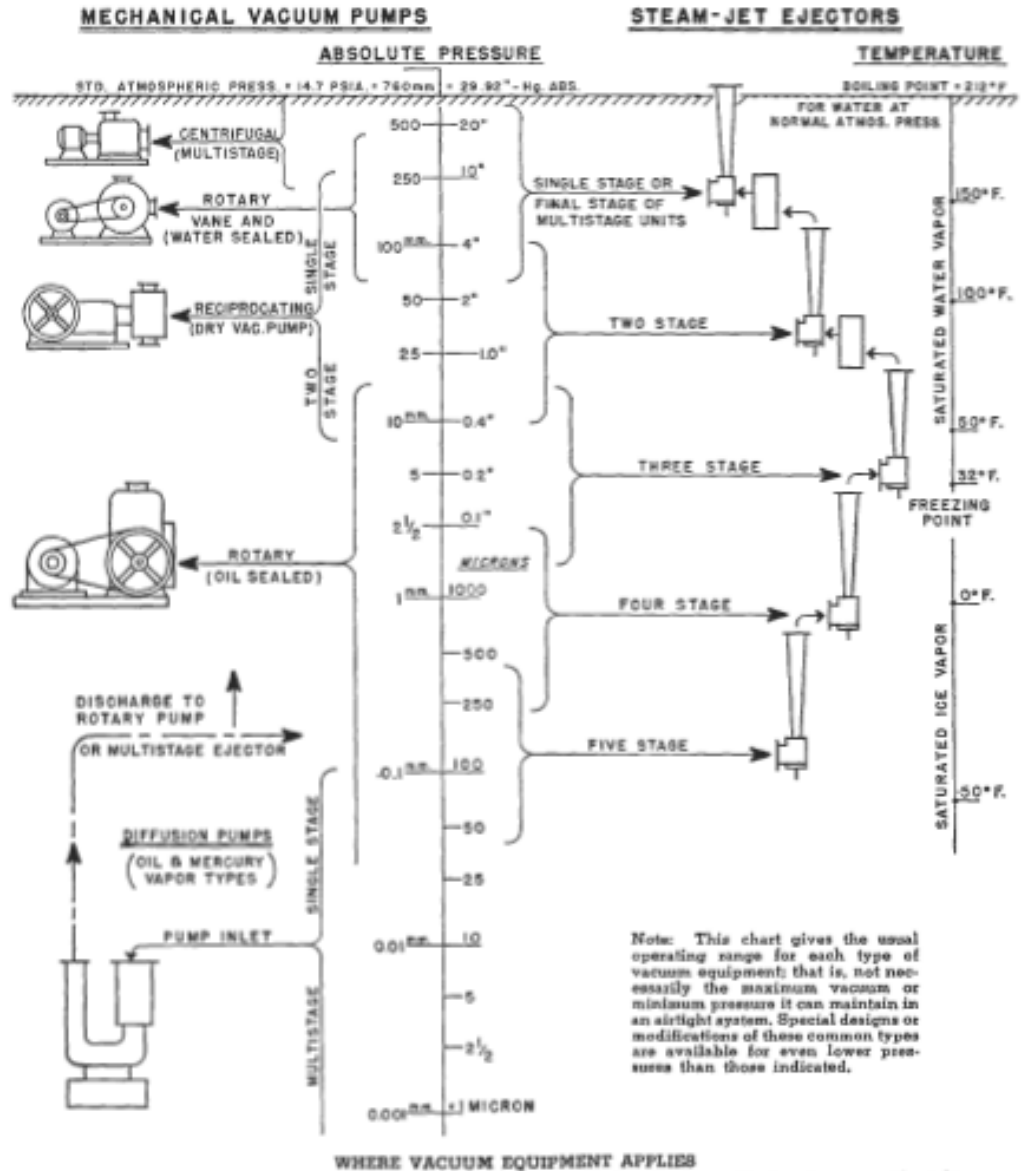


DISEÑO DE PLANTAS I

Eyectores

Consideraciones de diseño

Cálculo de las etapas

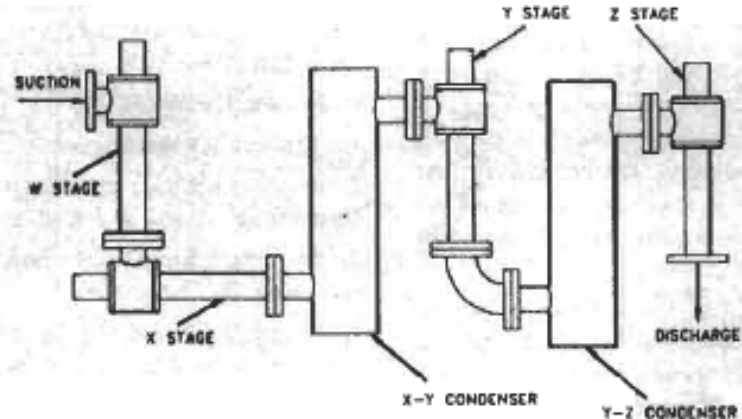
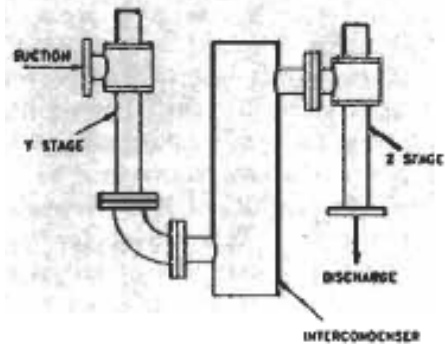
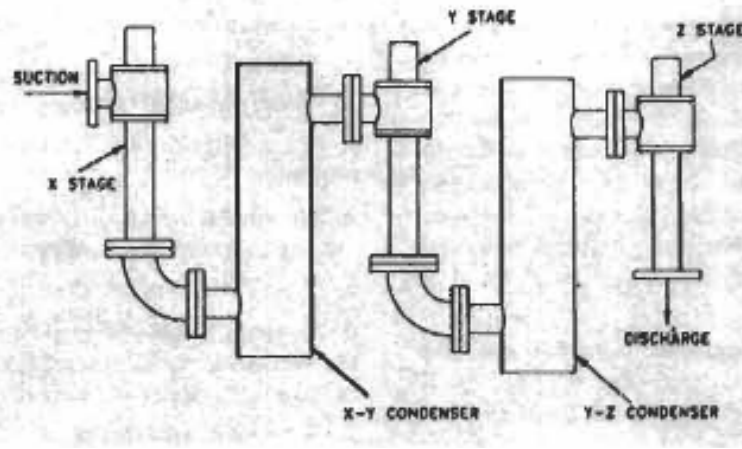
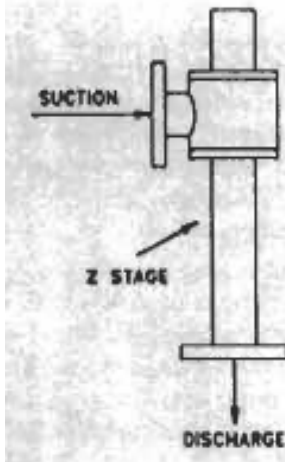


DISEÑO DE PLANTAS I

Eyectores

Consideraciones de diseño

Ejemplos de arreglos

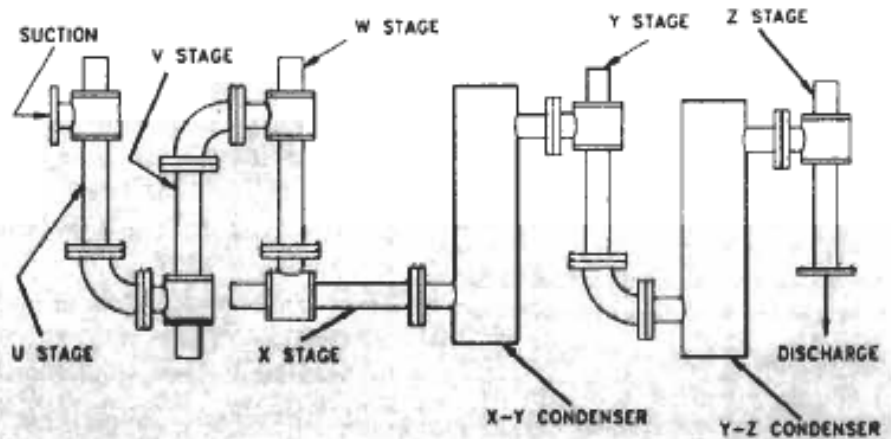
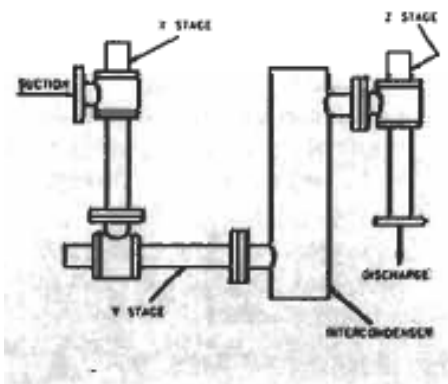
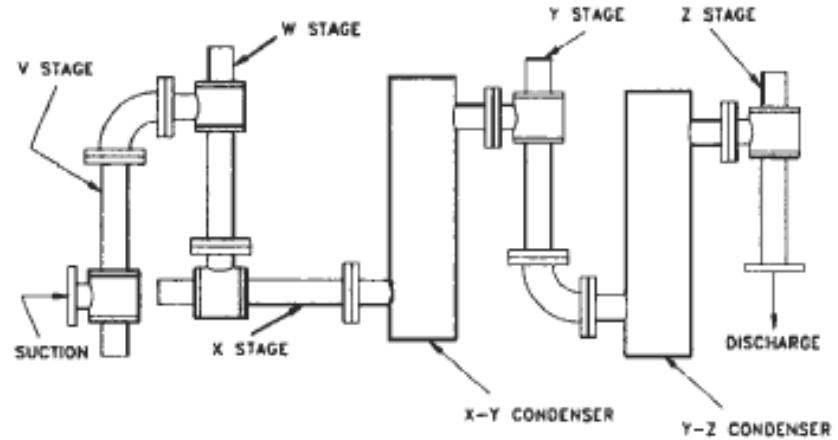
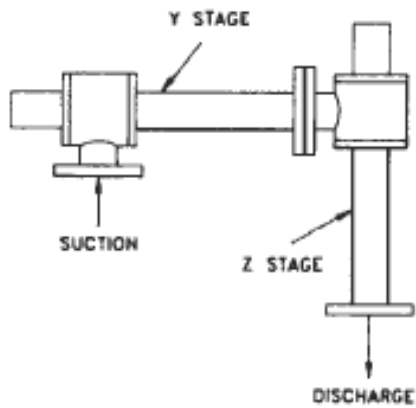


DISEÑO DE PLANTAS I

Eyectores

Consideraciones de diseño

Ejemplos de arreglos





Consideraciones de diseño

Cálculo de las etapas

A continuación se presentarán los métodos para calcular las cargas de vapor requeridas para eyectores de vapor, y los requerimientos de agua de enfriamiento para los condensadores. Se asumirá que los hidrocarburos u otros vapores son no condensables.

Datos iniciales

Fluido (vapor) motriz: Presión

Fluido a succionar: Temperatura de entrada, presión de entrada y descarga, composición y/o peso molecular del gas y su flujo

Agua de enfriamiento: Temperatura y máximo aumento de T

DISEÑO DE PLANTAS I

Eyectores

Consideraciones de diseño

Datos iniciales

Si no se tiene información de la temperatura y presión de succión use:

DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA Y PRESIÓN PARA SER USADO EN LOS CÁLCULOS DE CAPACIDAD (TABLA 3)			
EQUIPO AGUAS ARRIBA DE LA ENTRADA DEL EYECTOR	TEMPERATURA DE ENTRADA	PRESIÓN TOTAL DE ENTRADA	PRESIÓN PARCIAL DE LOS NO CONDENSABLES
Proceso	De proceso	Presión de proceso menos pérdidas tubería	Presión total menos presión parcial de condensables
Condensadores de contacto directo	3°C sobre la temperatura de entrada del agua de enfriamiento	Presión de proceso menos pérdidas	
Condensador superficial (para vapor de turbinas)	4,2°C por debajo de la temperatura del vapor saturado a la presión entrada del condensador	Presión de proceso menos pérdidas tubería	
Condensador superficial (proceso)	4°C o más sobre la temperatura de entrada del agua de enfriamiento	5 mm Hg por debajo de la presión entrada al condensador	

Consideraciones de diseño

Cálculo de un eyector

Conociendo las características del vapor motriz y el fluido a succionar, el requerimiento de carga de vapor puede calcularse mediante los 3 pasos siguientes:

1.-Separar el fluido de succión en dos componentes: 1) Vapor y 2) aire y otros no condensables. Si el aire está presente y está saturado con agua, la cantidad de vapor de agua se determina de la siguiente manera:

$$W_{wv} = \frac{P_{v,H_2O}}{P_1 - P_{v,H_2O}} \times \frac{W_a \times 18}{MW_a} \quad (\text{Ecuac. 2})$$

W_{wv} : Flujo másico de vapor de agua, kg/hr

P_{v,H_2O} : Presión de vapor del agua a la temperatura de entrada, mm Hg

P_1 : Presión total de entrada, mm Hg

W_a : Flujo másico de aire y otros no condensables, kg/hr

MW_a : Peso molecular promedio del aire y otros no condensables

DISEÑO DE PLANTAS I

Eyectores

Consideraciones de diseño

Cálculo de un eyector (cont.)

2.-Determinar el flujo de aire seco equivalente (DAE) del fluido de succión, mediante la siguiente ecuación:

$$W_{DAE} = \frac{W}{R_{mw} R_T} \quad (\text{Ecuac. 3})$$

W_{DAE} : Flujo másico de aire seco equivalente , kg/hr

W : Flujo másico del fluido de succión, kg/hr

R_{mw} : Relación del peso molecular de entrada, ver figura 7

R_T : Relación de temperatura de entrada, ver figura 8B

Cuando se calcula el DAE total, los dos componentes se consideran en forma separada. La curva del aire en la figura 8B se usa para determinar R_{mw} de los gases diferentes al aire y agua. La DAE total está dada por:

$$W_{DAE,tot} = W_{DAE,st} + W_{DAE,a} \quad (\text{Ecuac. 4})$$

$W_{DAE,tot}$: Flujo másico de aire seco equivalente total , kg/hr

$W_{DAE,st}$: Flujo másico de vapor o vapor de agua de aire seco equivalente, kg/hr

$W_{DAE,a}$: Flujo másico de aire y otros hidrocarburos no condensables de aire seco equivalente, kg/hr

DISEÑO DE PLANTAS I

Eyectores

Consideraciones de diseño

FIGURE 7
MOLECULAR WEIGHT ENTRAINMENT RATIO

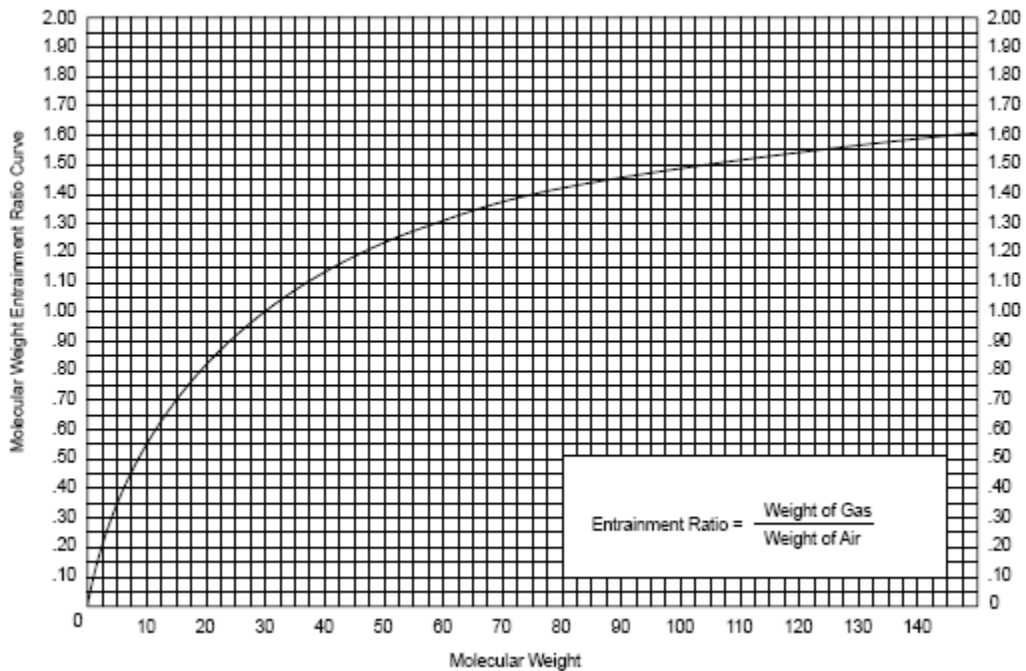
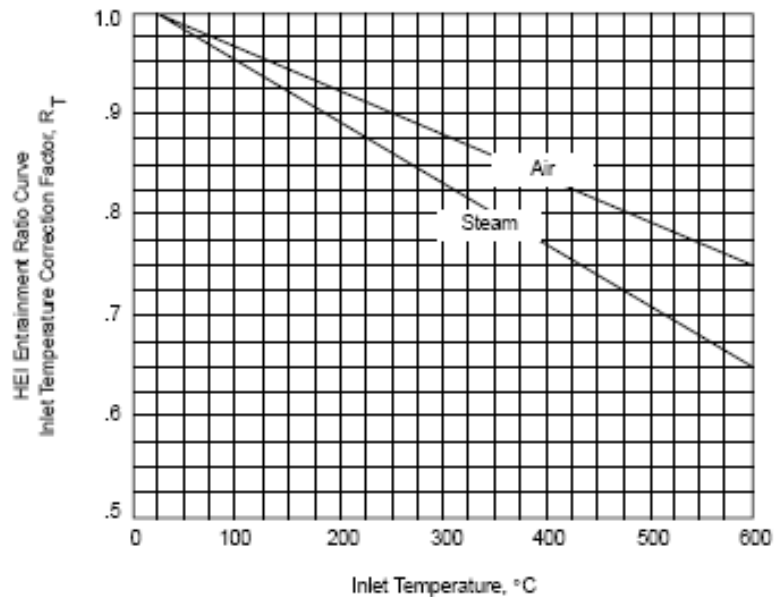


FIGURE 8B
TEMPERATURE ENTRAINMENT RATIO (METRIC UNITS)



Consideraciones de diseño

Cálculo de un eyector (cont.)

3.-Calcule la carga del fluido motriz. El flujo másico de vapor requerido se determina con la siguiente ecuación:

$$W_m = W_{DAE,tot} \times R_3 \times R_{mw} \times R_T \quad (\text{Ecuac. 5})$$

W_m : Flujo másico del vapor motriz, kg/hr

$W_{DAE,tot}$: Flujo másico de aire seco equivalente total , kg/hr

R_3 : Relación del flujo de vapor a flujo de vapor de agua saturado, ver figura 9

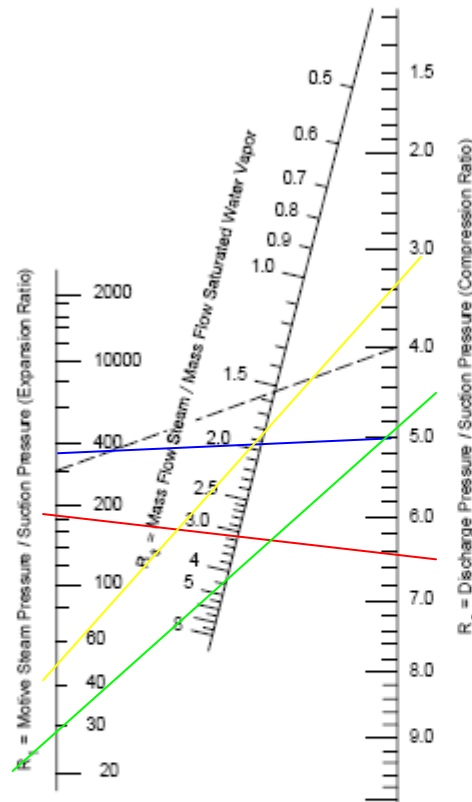
R_{mw} : Relación del peso molecular de entrada del vapor = 0,81

R_T : Relación de temperatura de entrada, ver figura 8B

Generalmente se añade un 10% al valor obtenido como factor de seguridad.

DISEÑO DE PLANTAS I

FIGURE 9
NOMOGRAPH TO DETERMINE THE RATIO OF MOTIVE STEAM TO SATURATED WATER VAPOR, R_3



Example

How much dry saturated steam at 600 kPa, gage, is required to compress 50 kg/h of 20° C air equivalent from 2.0 kPa, abs, to 8 kPa, abs.

R_1 = Expansion ratio

$$= \frac{\text{Motive steam pressure, kPa abs}}{\text{Inlet pressure, kPa, abs}}$$

$$= \frac{600 \text{ kPa, abs}}{2.0 \text{ kPa, abs}} = 300$$

R_2 = Pressure ratio

$$= \frac{\text{Discharge pressure, in. kPa abs}}{\text{Inlet pressure, kPa, abs}}$$

$$= \frac{8.0 \text{ kPa, abs}}{2.0 \text{ kPa, abs}} = 4.0$$

From steam tables, the temperature of saturated water vapor at the inlet pressure of 2.0 kPa, abs, is 18° C.

Enter the nomograph with R_1 and R_2 . By drawing a line between the two, read R_3 , the motive steam requirement to compress one pound of water vapor. This value must be corrected for molecular weight and temperature.

$$R_3 = \frac{\text{kg motive steam}}{\text{kg saturated water vapor}} = 1.55$$

From the M and temperature correction curves, in Figure 8, $F_m = 0.81$ and $F_t = 1$ for water vapor. To correct backwards to 20° C air equivalent, multiply by F_m and F_t . Therefore,

$$\text{Corrected } R_3 = 1.55 (0.81) \quad \frac{\text{kg motive steam}}{\text{kg } 20^\circ\text{C air equivalent}}$$

$$\text{Total motive steam requirement} = 1.55 (0.81) 50 \text{ kg/h}$$

$$= 63 \text{ kg/h steam}$$

Consideraciones de diseño

Cálculo de un eyector (cont.)

DISEÑO DE PLANTAS I

Eyectores

Consideraciones de diseño

Cálculo de un eyector (cont.)
Requerimiento de vapor aproximado.

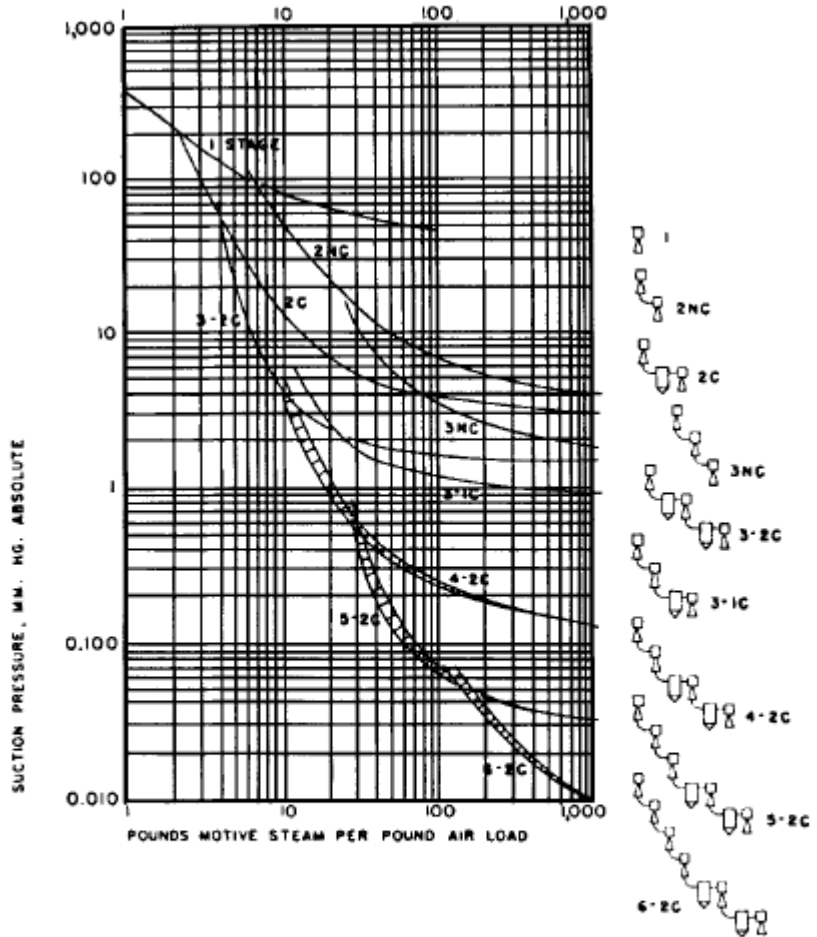


Figure 7.31. Steam requirements of ejectors at various pressure levels with appropriate numbers of stages and contact intercondensers. Steam pressure 100 psig, water temperature 85°F. Factor for 65 psig steam is 1.2 and for 200 psig steam it is 0.80 (Worthington Corp).



Consideraciones de diseño

Cálculo de un eyector de múltiples etapas

Si la relación de compresión de un eyector es mayor a 10, es más eficiente usar eyectores de múltiples etapas con condensadores intermedios. Los cálculos para cada etapa se realizan en forma similar al de una etapa. Adicionalmente se deben completar los siguientes aspectos:

Condiciones interetapas: Para conseguir las presiones interetapas, saque la raíz cuadrada de la relación de compresión total. Multiplíquela por 1,2 para obtener la relación de compresión de la primera etapa. Use la Tabla 3 para determinar la presión y temperatura de la etapa 2.

Flujo interetapa: Si no hay intercondensador, use la Tabla 3 para determinar la presión y temperatura de entrada de la etapa 2 y recalculé $W_{DAE,tot}$. Recuerde incluir la carga del vapor motriz en la ecuación. Si el intercondensador está presente use la Tabla 3 para determinar la temperatura de entrada a la etapa 2 y la ecuación 2 para determinar la carga de vapor. Utilice esta carga de vapor en la ec 4 para recalcular $W_{DAE,tot}$. Suponga que el condensador remueve todos los vapores de agua.

Consideraciones de diseño

Cálculo de un eyector de múltiples etapas

Los intercondensadores se utilizan para disminuir el consumo de vapor en las etapas siguientes.

Cálculo del condensador

Conociendo la carga del vapor motriz, los requerimientos de agua de enfriamiento se pueden calcular con la siguiente ecuación:

$$Q_{cw} = W_{st} \frac{h_{lg}}{k_c \cdot C_p (T_2 - T_1)} \quad (\text{Ecuac. 6})$$

Q_{cw} : Requerimiento de agua de enfriamiento a la temp entrada al condensador, m³/hr

W_{st} : Carga total de vapor , kg/hr

h_{lg} : Calor de vaporización del vapor, usar 2210kJ/kg

k_c : Factor conversión de flujo másico a volumétrico = 988 kg/m³

C_p : Calor específico del agua de enfriamiento, usar 4,18 kJ/kg°K

T_1 y T_2 : Temperaturas de entrada y salida del agua de enfriamiento

Si el vapor de agua es sobrecalentado, se requerirá más agua de enfriamiento.

Información requerida para especificar un eyector

- Número de unidades requeridas para la operación normal y equipos de respaldo
- Temperatura de entrada del fluido; suministro rango
- Capacidad: kg/hr de cada componente identificado por su nombre y peso molecular
- Presión de entrada
- Máxima presión de descarga y límite de temperatura. Especifique si es después de la salida del condensador.
- Máxima temperatura del agua de enfriamiento y máximo incremento
- Condiciones del vapor: presión y temperatura mínimas esperadas a la entrada del eyector. Especificar rango de sobrecalentamiento, si existe.
- Tipo y número de condensadores requeridos
- Materiales de construcción
- Requerimientos futuros o secundarios
- Requerimientos de instalación
- Accesorios

DISEÑO DE PLANTAS I

Eyectores

Ejemplo 1: Eyector de vapor de agua una etapa

Una refinería desea comprimir 131,5 kg/hr de gas a 93,3°C de 15,2 a 76 mm Hg usando vapor a 6,89 barg. Determine la carga de vapor de agua motriz requerido. El gas está compuesto de aire seco, 26,3 kg/hr; otros no condensables, 59,9 kg/hr, PM 44; vapor de agua, 45,4 kg/hr.

Solución:

Fluidos

Presión succión, $P_1=15,2$ mm Hg abs

Presión descarga, $P_2=0,10$ bara

Temperatura succión, $T_1=93,3^\circ\text{C}$

Presión vapor motriz, $P_m=7,9$ bara

Eyectores

1.-Separación de los componentes mayores

Flujo aire, W_{air} , kg/hr=26,3

PM aire =29

$W_{air}/PM_{aire}=0,9$

[1]

Flujo vapor, W_{st} , kg/hr=45,4

PM vapor=18

$W_{st}/PM_{vapor}=2,5$

[2]

Flujo No Cond. HC, W_{nch} , kg/hr=59,9

PM No Cond. HC=44

$W_{nch}/PM_{nch}=1,4$

[3]

Si el aire está saturado con agua

De Tablas de vapor, P_{v,H_2O} a $T_1=$ _____mm Hg

[4]

$W_a=W_{air}+W_{nch}=86,2$ kg/hr

[5]

$PM_a=W_a/([1]+[3])=38$

[6]

$W_{wv}=[4]/(P_1-[4]) * [5]*18/[6]=$ _____kg/hr

[7]

CARGA TOTAL DE VAPOR Y CONDENSABLES

$W_{st}+[7]=45,4$ kg/hr

[8]

DISEÑO DE PLANTAS I

Eyectores

Ejemplo 1: Eyectores de vapor de agua una etapa (cont.)

2.-Cálculo de las cargas de aire seco equivalente, DAE

Con el valor encontrado en [6] $PM_a=38$ y la [figura 7](#),

$$R_{mw,a}=1,12 \quad [9]$$

Con PM_{st} y la [figura 7](#), $R_{mw,st}=0,81$

Obtenga R_T con $T_1=93,3^\circ\text{C}$ y la [figura 8B](#) (aire)

$$R_T=0,97 \quad [10]$$

Obtenga R_T con $T_1=93,3^\circ\text{C}$ y la [figura 8B](#) (vapor)

$$R_T=0,96 \quad [11]$$

Con la ecuación 3, aire+no cond, $W_{DAE,a}=[5]/([9]*[10])$

$$W_{DAE,a}=79,3 \text{ kg/hr} \quad [12]$$

Con la ecuación 3, vapor, $W_{DAE,st}=[8]/(0,81*[11])$

$$W_{DAE,st}=58,4 \text{ kg/hr} \quad [13]$$

Carga DAE total, $W_{DAE,tot}=[12]+[13]$

$$W_{DAE,tot}=137,7 \text{ kg/hr} \quad [14]$$

3.-Cálculo de la carga de vapor motriz

Relación de expansión, $R_1=P_m(\text{bara})/P_1(\text{bara})$

$$R_1=390$$

Relación de compresión, $R_2=P_2/P_1$

$$R_2=5$$

Obtenga R_3 con R_1, R_2 y la [figura 9](#)

$$R_3=1,9$$

Con la ecuación 5, $W_m=[14]*R_3*0,81*[11]$

$$W_m=203,4 \text{ kg/hr}$$

Añada 10% por seguridad $W_m*1,1$

$$W_m*1,1=223,7 \text{ kg/hr}$$

DISEÑO DE PLANTAS I

Eyectores

Ejemplo 2: Eyectores de vapor de agua dos etapas, intercondensador

Una columna de destilación al vacío opera con un condensador de cabeceras. El tambor de destilado está a 35°C y 50 mm Hg abs. Un estudio previo indica que es económico usar un eyector que tendrá una caída de presión de 5 mm Hg, luego un condensador, que reducirá la carga de vapor significativamente, condensando a 27°C (agua enfriamiento a 24°C). Las pérdidas por tubería hasta la entrada del eyector son 5 mm Hg. Las fugas de aire al sistema se estiman en 136 kg/hr de la figura 10. La carga de otros vapores no condensables es 545 kg/hr. El sistema de eyectores operará con un condensador final para eliminar el vapor de salida. La presión final es 1,54 bara. El vapor motriz disponible es saturado a 9,5 bara. Gas: Aire-136 kg/hr; No condensables, PM 30 - 545 kg/hr. Calcule el flujo de vapor motriz

Solución:

Fluidos

Presión succión, $P_1 = 50 - 10 = 40$ mm Hg abs

Temperatura succión, $T_1 = 27^\circ\text{C}$

Presión descarga, $P_2 = 1,54$ bara

Presión vapor motriz, $P_m = 9,5$ bara

DISEÑO DE PLANTAS I

Eyectores

Ejemplo 2: Ejector de vapor de agua dos etapas, intercondensador (cont.)

Eyectores

1.-Separación de los componentes mayores

Flujo aire, W_{air} , kg/hr=136 PM aire =29 $W_{air}/PM_{aire}=4,7$ [1]

Flujo vapor, W_{st} , kg/hr= PM vapor=18 $W_{st}/PM_{vapor}=$ [2]

Flujo No Cond. HC, W_{nch} , kg/hr=545 PM No Cond. HC=30 $W_{nch}/PM_{nch}=18,2$ [3]

Si el aire está saturado con agua

De Tablas de vapor, P_{v,H_2O} a $T_1=26,2$ mm Hg [4]

$W_a=W_{air}+W_{nch}=681$ kg/hr [5]

$PM_a=W_a/([1]+[3])=29,7$ [6]

$W_{wv}=[4]/(P_1-[4]) * [5]*18/[6]=783,6$ kg/hr [7]

CARGA TOTAL DE VAPOR Y CONDENSABLES

$W_{st}+[7]=783,6$ kg/hr [8]

DISEÑO DE PLANTAS I

Eyectores

Ejemplo 2: Eyectador de vapor de agua dos etapas, intercondensador (cont.)

2.-Cálculo de las cargas de aire seco equivalente, DAE

Con el valor encontrado en [6] $PM_a=29,7$ y la [figura 7](#),

$$R_{mw,a}=1,0 \quad [9]$$

Con PM_{st} y la [figura 7](#), $R_{mw,st}=0,81$

Obtenga R_T con $T_1=27^\circ\text{C}$ y la [figura 8B](#) (aire)

$$R_T=0,88 \quad [10]$$

Obtenga R_T con $T_1=27^\circ\text{C}$ y la [figura 8B](#) (vapor)

$$R_T=0,83 \quad [11]$$

Con la ecuación 3, aire+no cond, $W_{DAE,a}=[5]/([9]*[10])$

$$W_{DAE,a}=774 \text{ kg/hr} \quad [12]$$

Con la ecuación 3, vapor, $W_{DAE,st}=[8]/(0,81*[11])$

$$W_{DAE,st}=1166 \text{ kg/hr} \quad [13]$$

Carga DAE total, $W_{DAE,tot}=[12]+[13]$

$$W_{DAE,tot}=1940 \text{ kg/hr} \quad [14]$$

3.-Cálculo de la carga de vapor motriz de la primera etapa

Relación de expansión, $R_1=P_m(\text{bara})/P_1(\text{bara})$

$$R_1=180,5$$

Relación de compresión, $R_2=P_2(\text{bara})/P_1(\text{bara})$

$$R_2=(29)^{0,5*1,2}=6,46$$

Obtenga R_3 con R_1, R_2 y la [figura 9](#)

$$R_3=3,1$$

Con la ecuación 5, $W_m=[14]*R_3*0,81*[11]$

$$W_m=4043 \text{ kg/hr}$$

Añada 10% por seguridad $W_m*1,1$

$$W_m*1,1=4447 \text{ kg/hr}$$

DISEÑO DE PLANTAS I

Eyectores

Ejemplo 2: Eyectores de vapor de agua dos etapas, intercondensador (cont.)

Requerimiento de agua de enfriamiento

Aumento de temperatura agua enfriamiento, $T_2 - T_1 =$	17°C
Calor específico del agua, $C_p =$	4,18 kJ/kg°K
Calor de vaporización, $h_{lg} =$	2210 kJ/kg
Carga de vapor, $W_{st} = [13] + 1,1 * 1,1 * W_m =$	6058 kg/hr
$Q_{cw} = [W_{st} * h_{lg}] / [988 * C_p * (T_2 - T_1)] =$	191 m ³ /hr

Flujo de entrada a la segunda etapa

Incremento/disminución temperatura entrada, Tabla 3 +/-	+4°C	[15]
$T_{21} = T_{cw} +/- [15] = 24 + 4 =$	28°C	[16]
Obtenga R_T con T_{21} y la figura 8B	$R_T = 0,99$	[17]
Obtenga P_{v,H_2O} con T_{21} y la tablas de vapor	28,4 mm Hg	[18]
$P_{21} = R_2 * P_1 - 5 \text{ mm Hg} = 6,46 * 40 - 5 =$	253,4 mm Hg	
Con la ecuación 2, $W_{vw} = \{ [18] / (P_{21} - [18]) \} * [5] * 18 / [6]$	$W_{vw} = 52,1 \text{ kg/hr}$	[19]

Recalcule los pasos [12] a [14] usando T_{21} en lugar de T_1 y [19] en lugar de [8]

Con la ecuación 3, aire+no cond, $W_{DAE,a} = [5] / ([9] * [17])$	$W_{DAE,a} = 688 \text{ kg/hr}$	[20]
Con la ecuación 3, vapor, $W_{DAE,st} = [19] / (0,81 * [17])$	$W_{DAE,st} = 65 \text{ kg/hr}$	[21]
Carga DAE total etapa 2, $W_{DAE,tot} = [20] + [21]$	$W_{DAE,tot} = 753 \text{ kg/hr}$	[22]

DISEÑO DE PLANTAS I

Eyectores

Ejemplo 2: Eyector de vapor de agua dos etapas, intercondensador (cont.)

Cálculo de la carga de vapor motriz de la segunda etapa

Relación de expansión, $R_1 = P_m(\text{bara})/P_{21}(\text{bara}) = 9,5/0,334$

$R_1 = 28,4$

Relación de compresión, $R_2 = P_2(\text{bara})/P_{21}(\text{bara}) = 1,54/0,334$

$R_2 = 4,6$

Obtenga R_3 con R_1, R_2 y la [figura 9](#)

$R_3 = 4,9$

Con la ecuación 5, $W_m = [22] * R_3^{0,81} * [17] = 753 * 4,9^{0,81} * 0,99$

$W_m = 2959 \text{ kg/hr}$

Añada 10% por seguridad $W_m * 1,1$

$W_m * 1,1 = 3255 \text{ kg/hr}$

Carga total de vapor: etapa 1 + etapa 2 = 4447 + 3255 = 7702 kg/hr

Requerimiento de agua de enfriamiento: 191 m³/hr



DISEÑO DE PLANTAS I

Eyectores

Ejemplo 3:

Se requiere una presión de vacío de 0,3 bara o 225 mm Hg en una columna de destilación. Se recomienda utilizar eyectores. La temperatura de la columna de destilación es 35°C y se piensa succionar solo aire. El fluido motriz será vapor de agua a 13,8 barg y 196,7 °C. La presión final de la mezcla aire-vapor de salida es la atmosférica. Suponga que se utilizará un condensador a la salida.

Gas de succión: Aire, T=35°C, Flujo=?

FLUIDOS

P ₁	225 mm Hg= 0,3 bara	P ₂	1 bara
T ₁	35°C	P _m	13,8 barg = 14,8 bara

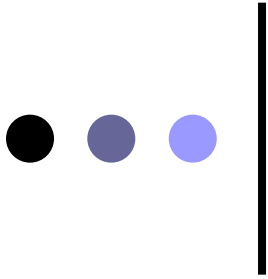
Número de etapas: Con la presión de operación de la columna =225 mmHg y la información suministrada en [láminas](#) anteriores, tenemos que se requiere 1 etapa.

Flujo másico del gas de succión (aire): Suponiendo una columna de 1m de diametro y 20m de altura, $V=(\pi D^2/4)h= 5\pi=67,45 \text{ m}^3= 554 \text{ pie}^3$

$$m= k.V^{2/3} = 0,194(554)^{(2/3)}= 13,1 \text{ lb/hr} =5,9 \text{ kg/hr a } 35^\circ\text{C}$$

DISEÑO DE PLANTAS I

Eyectores



Ejemplo 3:

Eyectores

1.- Separación de los componentes mayores

Flujo aire, W_{air} , kg/hr = 5,9

PM aire = 29

$W_{air}/PM_{aire} = 0,2$ [1]

Flujo vapor, W_{st} , kg/hr =

PM vapor = 18

$W_{st}/PM_{vapor} =$ [2]

Flujo No Cond. HC, W_{nch} , kg/hr =

PM No Cond. HC = 44

$W_{nch}/PM_{nch} =$ [3]

Si el aire está saturado con agua

De Tablas de vapor, P_{v,H_2O} a $T_1 =$ ____ mm Hg [4]

$W_a = W_{air} + W_{nch} = 5,9$ kg/hr [5]

$PM_a = W_a / ([1] + [3]) = 29,5$ [6]

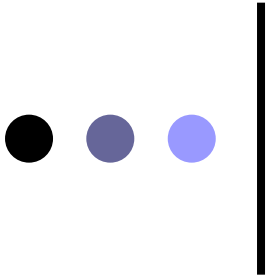
$W_{wv} = [4] / (P_1 - [4]) * [5] * 18 / [6] =$ ____ kg/hr [7]

CARGA TOTAL DE VAPOR Y CONDENSABLES

$W_{st} + [7] =$ ____ kg/hr [8]

DISEÑO DE PLANTAS I

Eyectores



Ejemplo 3:

2.-Cálculo de las cargas de aire seco equivalente, DAE

Con el valor encontrado en [6] $PM_a=29,5$ y la [figura 7](#),

Con PM_{st} y la [figura 7](#), $R_{mw,st}=0,81$

Obtenga R_T con $T_1=35^\circ C$ y la [figura 8B](#) (aire)

Obtenga R_T con $T_1=35^\circ C$ y la [figura 8B](#) (vapor)

Con la ecuación 3, aire+no cond, $W_{DAE,a}=[5]/([9]*[10])$

Con la ecuación 3, vapor, $W_{DAE,st}=[8]/(0,81*[11])$

Carga DAE total, $W_{DAE,tot}=[12]+[13]$

$$R_{mw,a}=0,99 \quad [9]$$

$$R_T=0,99 \quad [10]$$

$$R_T=0,98 \quad [11]$$

$$W_{DAE,a}=6,0 \text{ kg/hr} \quad [12]$$

$$W_{DAE,st}= \text{___} \text{ kg/hr} \quad [13]$$

$$W_{DAE,tot}=6,0 \text{ kg/hr} \quad [14]$$

3.-Cálculo de la carga de vapor motriz

Relación de expansión, $R_1=P_m(\text{bara})/P_1(\text{bara})=14,8/0,3$

$$R_1=49,3$$

Relación de compresión, $R_2=P_2/P_1=1/0,3$

$$R_2=3,3$$

Obtenga R_3 con R_1, R_2 y la [figura 9](#)

$$R_3=1,8$$

Con la ecuación 5, $W_m=[14]*R_3*0,81*[11]=6,0*1,8*0,81*0,98$

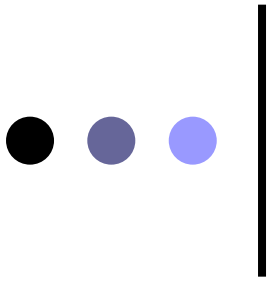
$$W_m=8,6 \text{ kg/hr}$$

Añada 10% por seguridad $W_m*1,1$

$$W_m*1,1=9,4 \text{ kg/hr}$$

DISEÑO DE PLANTAS I

Eyectores



Ejemplo 3:

Requerimiento de agua de enfriamiento

Aumento de temperatura agua enfriamiento, $T_2-T_1=$	17°C
Calor específico del agua, $C_p=$	4,18 kJ/kg°K
Calor de vaporización, $h_{lg}=$	2210 kJ/kg
Carga de vapor, $W_{st}= [13] + 1,1*1,1*W_m= 0+1,1*8,6=$	9,4 kg/hr
$Q_{cw}= [W_{st} * h_{lg}]/[988*C_p*(T_2-T_1)]=[9,4*2210]/(988*4,18*17)=$	0,29 m ³ /hr

DISEÑO DE PLANTAS I

Eyectores

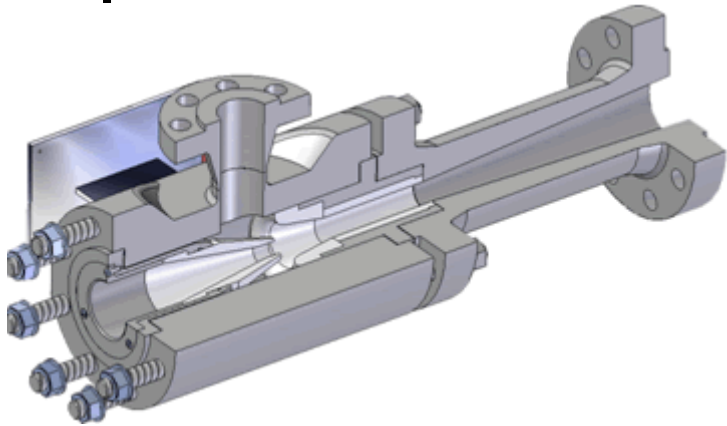
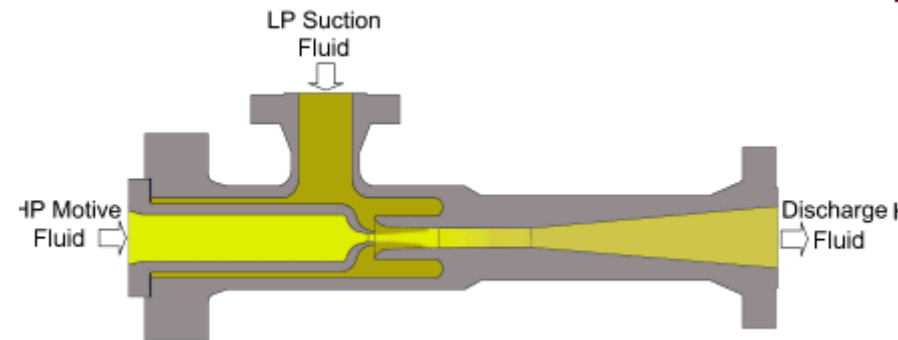


Fig. 33. These two steam jet ejectors serve as part of the pressure recovery system at the U.S. Army's high energy laser system test facility in White Sands, New Mexico. They are each 97 feet long with 96 inch diameter end-suction connections, and are among the largest ever manufactured anywhere. Each ejector handles a large quantity of low molecular weight gas at 120 Torr using the equivalent of 1.044 million pounds of steam per hour at 150 psig during the 14-second cycle.





DISEÑO DE PLANTAS I

Eyectores

BIBLIOGRAFÍA

- Exxon-Mobil. 1996. Design Practices. Compressors, Ejectors, Exxon Research and Engineering Company.
- Ludwig, E. 1999. Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants, Volume 1. Gulf Publishing Co.
- Walas, S. 1990. Chemical Process Equipment - Selection and Design, Butterworth-Heinemann