

300618

14
2ej.



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE QUIMICA

Incorporada a la U.N.A.M.

"DISEÑO DE UNA PRACTICA SOBRE BOMBAS CENTRIFUGAS
OPERADAS EN SERIE Y EN PARALELO PARA EL LABORATORIO
DE INGENIERIA QUIMICA DE LA UNIVERSIDAD LA SALLE"

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Título de

INGENIERO QUIMICO

p r e s e n t a

GUSTAVO ADOLFO MARQUEZ GONZALEZ

Director de Tesis: M.C. ANTONIO VALIENTE BARDERAS

México, D. F. a 4 de Junio de 1991



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 está 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.

PROLOGO

Este trabajo resulta de la necesidad de tener un estudio más específico sobre la operación de dos o más bombas centrífugas en serie o paralelo.

Para esta finalidad se ha diseñado un equipo en el Laboratorio de Ingeniería Química de esta Universidad, con el cual es posible obtener las curvas de operación en distintos arreglos que incluyen la operación de una u otra bomba en forma normal y la de ambas en serie o paralelo. Estas curvas son de gran utilidad en la explicación de las necesidades de carga y capacidad que cada arreglo proporciona, así como de las relaciones entre ellas.

De igual manera se diseñó una práctica experimental para laboratorio, donde se indican todos los lineamientos indispensables para su realización.

Un estudio de la operación en serie o paralelo requiere de bases teóricas, por ello en el Capítulo I se incluyen generalidades sobre bombas, donde se definen y clasifican.

De esta clasificación se da especial atención a las bombas centrífugas y se hace un análisis detallado de estos en el Capítulo 2,

para después pasar a su operación en serie o paralelo en el Capítulo 3.

El Capítulo 4 contiene una descripción completa del equipo que incluye su isométrico de tubería y dibujos de vista frontal y lateral.

El Capítulo 5 se dedica en su totalidad al reporte de resultados experimentales, donde se desglosa el cálculo de la carga total en base a presiones de succión y descarga obtenidas en laboratorio para una capacidad dada, controlada y registrada en el equipo. De igual forma se anexan las tabulaciones que contienen dichos resultados y el gráfico de curva de operación correspondiente a cada arreglo.

La parte fundamental de este trabajo lo comprende el diseño de la práctica tratado en el Capítulo 6 donde, se desglosan los objetivos, la introducción (extracto de los tres primeros capítulos de la tesis), la descripción del equipo, la técnica de la práctica, las recomendaciones y los trabajos posteriores a su realización anexando un cuestionario.

La parte final incluida en el Capítulo 7 resume las conclusiones obtenidas de dicho estudio.

Por su dirección y valiosa asesoría tanto en la construcción del equipo instalado en el Laboratorio de Ingeniería Química como de este trabajo escrito, expreso mi más sincero agradecimiento al -
M.C. Antonio Valiente Barderas.

Por todas las facilidades que se me brindaron para la construcción, montaje y prueba del equipo instalado en esta escuela se debe cré-

dito a las autoridades y personal del Laboratorio de Ingeniería -
Química de la Universidad La Salle A.C.

Por sus amables sugerencias y apoyo en la elaboración escrita de -
esta tesis agradezco al Ing. Cuahtémoc Acosta Díaz y a todos mis
compañeros y amigos que laboran en el Departamento de Inspección y
Expedición de Equipo y Materiales del Instituto Mexicano del Pe-
tróleo.

También hago extensiva mi gratitud a todas aquellas personas que
de alguna u otra manera colaboraron para la realización de este -
trabajo.

Por último quiero hacer un agradecimiento a toda mi familia y espe-
cialmente a mis padres por su valiosa y cariñosa ayuda hoy y siem-
pre.

Gustavo A. Márquez B.

INDICE GENERAL

	PAG.
CAPITULO 1 GENERALIDADES SOBRE BOMBAS	
1.1 DEFINICION	1
1.2 CLASIFICACION Y TIPOS	1
1.2.1 TIPOS DE BOMBAS CENTRIFUGAS	1
1.2.2 TIPOS DE BOMBAS ROTATORIAS	4
1.2.3 TIPOS DE BOMBAS RECIPROCANTES	7
CAPITULO 2 BOMBAS CENTRIFUGAS	
2.1 INTRODUCCION	10
2.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS BOMBAS CENTRIFUGAS	10
2.3 TIPOS DE BOMBAS CENTRIFUGAS.....	12
2.4 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UNA BOMBA CENTRIFUGA	21
2.5 CARACTERISTICAS DE UNA BOMBA CENTRIFUGA	25
2.5.1 CAPACIDAD	27
2.5.2 CARGA	29
2.5.3 POTENCIA	37
2.5.4 EFICIENCIA O RENDIMIENTO	38
2.6 CURVAS CARACTERISTICAS DE UNA BOMBA CENTRIFUGA	39

2.7	CURVAS DEL SISTEMA DE BOMBEO	42
2.8	INTERRELACION DE LAS VARIABLES DE DISEÑO	47
2.9	PARAMETROS DE SELECCION DE UNA BOMBA CENTRIFUGA.....	50
2.9.1	TIPO DE BOMBA Y NUMERO DE IMPULSORES	50
2.9.2	CARGA / CAPACIDAD DE DISEÑO	50
2.9.3	CURVAS DE COMPORTAMIENTO	50
2.9.4	RENDIMIENTO Y POTENCIA DE ACCIONAMIENTO	51
2.9.5	CARGA META POSITIVA DE SUCCION REQUERIDA	51
2.9.6	CAPACIDAD MINIMA DE OPERACION	52
2.9.7	CARGA AL CIERRE DEL IMPULSOR SELECCIONADO	53
2.9.8	MAXIMA POTENCIA DEL IMPULSOR SELECCIONADO Y LA POTENCIA DEL ACCIONADOR	53
2.9.9	TIPO DE CARCAZA Y MONTAJE	53
2.9.10	TIPO DE IMPULSOR	54
2.9.11	DIAMETRO DE IMPULSOR MAXIMO/OPERACION/MINIMO	55
2.9.12	TIPO DE VOLUTA	55
2.9.13	BOQUILLAS DE SUCCION Y DESCARGA	55
2.9.14	COJINETES: RADIAL/AXIAL	56
2.9.15	TIPOS DE ACOPLAMIENTO	56
2.9.16	TIPOS DE SELLADO/CLAVE DE IDENTIFICACION DE SELLOS	56
2.9.17	PLAN API DE LAVADO Y ENFRIAMIENTO A SELLOS MECANICOS ..	57

2.9.18	SISTEMA DE LUBRICACION	57
2.9.19	MATERIALES	58
2.9.20	PRUEBAS NECESARIAS	58
2.9.21	COSTO ANUAL DE OPERACION	59
2.9.22	COSTO TOTAL	60

CAPITULO 3 OPERACION DE BOMBAS CENTRIFUGAS EN SERIE Y EN PARALELO

3.1	INTRODUCCION	61
3.2	OPERACION DE BOMBAS CENTRIFUGAS EN PARALELO	62
3.3	OPERACION DE BOMBAS CENTRIFUGAS EN SERIE	67

CAPITULO 4 DISEÑO DEL EQUIPO REQUERIDO PARA LA PRACTICA

4.1	INTRODUCCION	71
4.2	DESCRIPCION	72

CAPITULO 5 RESULTADOS EXPERIMENTALES

5.1	CALCULO DE LA CARGA H_m EN m CON LA VALVULA ϕ TOTALMENTE ABIERTA Y PARA EL PRIMER ARREGLO: OPERACION NORMAL BOMBA A.	80
5.2	BASES PARA EL CALCULO Y OBTENCION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS H_m-Q EN CUATRO ARREGLOS PROPUESTOS:	83
	♦ OPERACION NORMAL BOMBA A	
	♦ OPERACION NORMAL BOMBA B	
	♦ OPERACION EN PARALELO BOMBA A + BOMBA B	
	♦ OPERACION EN SERIE BOMBA A + BOMBA B:	
5.3	TABULACION DE RESULTADOS EXPERIMENTALES Y OBTENCION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS H_m-Q DE LAS BOMBAS	84

CAPITULO 6 DISEÑO DE LA PRACTICA**OPERACION DE BOMBAS
CENTRIFUGAS EN SERIE Y EN PARALELO**

6.1	OBJETIVOS	94
6.2	INTRODUCCION	94
6.2.1	DEFINICION, CLASIFICACION Y TIPOS	94
6.2.2	ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UNA BOMBA CENTRIFUGA	95
6.2.3	CARACTERISTICAS DE UNA BOMBA CENTRIFUGA	95
6.2.4	CARACTERISTICAS DEL SISTEMA HIDRAULICO	97
6.2.5	CURVAS CARACTERISTICAS DE UNA BOMBA CENTRIFUGA	101
6.2.6	CURVAS DEL SISTEMA DE BOMBEO	103
6.2.7	INTERRELACION DE LAS VARIABLES DE DISEÑO	103
6.2.8	OPERACION DE BOMBAS CENTRIFUGAS EN SERIE Y EN PARALELO	105
6.3	DESCRIPCION DEL EQUIPO A UTILIZAR EN LA PRACTICA	108
6.4	TECNICA DE LA PRACTICA	110
6.5	RECOMENDACIONES	112
6.6	TRABAJO POSTERIOR A LA REALIZACION DE LA PRACTICA	114
6.7	BIBLIOGRAFIA	114
	CUESTIONARIO	116

CAPITULO 7 CONCLUSIONES

7.1	CONCLUSIONES	117
------------	---------------------------	------------

GLOSARIO DE TERMINOS

Cu =	Vector tangencial de desplazamiento en el impulsor.
Cr =	Vector radial de desplazamiento en el impulsor.
Ca =	Vector axial de desplazamiento en el impulsor.
Q =	Capacidad.
C =	Coefficiente del instrumento (Venturi).
d ₁ =	Diámetro de entrada en pulgadas.
d ₂ =	Diámetro de la garganta en pulgadas.
D =	Diámetro del impulsor.
g =	Constante de aceleración de la gravedad.
H =	Carga diferencial en pulgadas = h ₁ - h ₂ (Venturi).
Hv =	Carga de velocidad.
v =	Velocidad.
Hm =	Carga total.
Ht =	Carga teórica.
Hr-INT =	Pérdidas totales en la bomba.
C _{1u} y C _{2u} =	Proyecciones de las velocidades tangenciales en los puntos de entrada y salida del impulsor.
u =	Velocidad tangencial o periférica.
P _e =	Presión en la entrada de la bomba.
P _s =	Presión en la salida de la bomba.
Z _e =	Posición a la entrada de la bomba.
Z _s =	Posición a la salida de la bomba.
V _e =	Velocidad a la entrada de la bomba.
V _s =	Velocidad a la salida de la bomba.
ρ =	Densidad del líquido bombeado.
M _s =	Lectura en el manómetro de salida.
M _e =	Lectura en el manómetro de entrada.
P ₁ =	Presión en la sección 1.
P ₂ =	Presión en la sección 2.
Z ₁ =	Posición en la sección 1.
Z ₂ =	Posición en la sección 2.
V ₁ =	Velocidad en la sección 1.
V ₂ =	Velocidad en la sección 2.
Hr-EXT =	Pérdida total exterior a la bomba.
Hra =	Pérdida en la tubería de aspiración.
Hri =	Pérdida en la tubería de impulsión.
Vd =	Velocidad en el desagüe a el depósito.
N =	Potencia.
Nh =	Potencia hidráulica.
Ne =	Potencia eléctrica.
Na =	Potencia al freno.
V =	Volts.
I =	Amperios.
f =	Factor de potencia.
n =	Eficiencia.
Hs =	Carga estática.
rpm =	Revoluciones por minuto.
M =	Momentos.
Hc =	Carga diferencial total a las condiciones de cierre.
Hold =	Carga diferencial total a las condiciones de diseño u operación.

GENERALIDADES SOBRE BOMBAS

1.1 DEFINICION

Una bomba es una turbomáquina generadora para líquidos. La bomba absorbe energía mecánica y restituye al líquido que la atraviesa, energía hidráulica (1).

Las bombas se emplean para transportar una gran diversidad de líquidos que pueden ser desde agua, ácidos, aceites, leche, hasta incluso líquidos espesos con sólidos en suspensión, como pastas de papel, melazas, fangos, etc.

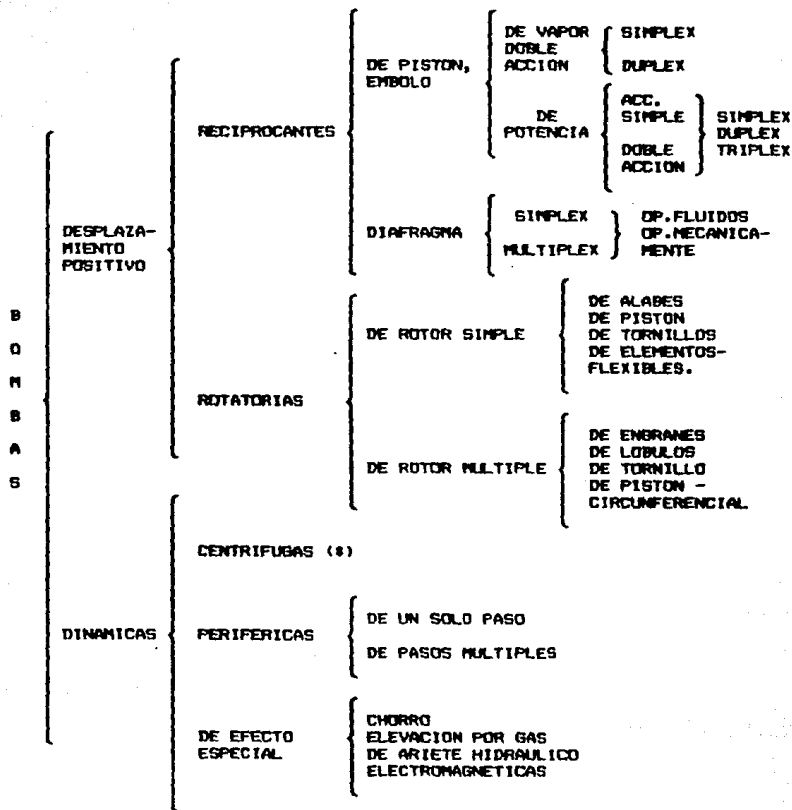
1.2 CLASIFICACION Y TIPOS

Dentro de la clasificación general de las bombas se identifican tres tipos principales: centrífugas, incluidas en las bombas dinámicas, rotatorias y reciprocantes; estas dos últimas de desplazamiento positivo (ver cuadro sinóptico 1.1).

1.2.1 TIPOS DE BOMBAS CENTRIFUGAS.

Las bombas centrífugas, son ampliamente usadas en la industria debido a su facilidad de aplicación, versatilidad y bajo costo. En nuestros días han alcanzado una gigantesca gama de aplicaciones, entre las cuales destacan:

CLASIFICACION DE BOMBAS



CUADRO SINOPTICO 1.1 CLASIFICACION DE LAS BOMBAS.

(*) CLASIFICACION DE BOMBAS CENTRIFUGAS

B
O
M
B
A
S

C
E
N
T
R
I
F
U
G
A
S

(A) SEGUN LA DIRECCION DEL FLUJO

FLUJO AXIAL
FLUJO RADIAL
FLUJO MIXTO

(B) SEGUN LA POSICION DEL EJE

DE EJE HORIZONTAL
DE EJE VERTICAL
DE EJE INCLINADO

(C) SEGUN LA PRESION ENGENDRADA

BOMBA CENTRIFUGA DE
BAJA PRESION
BOMBA CENTRIFUGA DE
MEDIA PRESION
BOMBA CENTRIFUGA DE
ALTA PRESION

(D) SEGUN EL NUMERO DE FLUJOS O DE
SUCCIONES

DE SIMPLE ASPIRACION
O DE UN FLUJO
DE DOBLE ASPIRACION
O DE DOS FLUJOS

(E) SEGUN EL NUMERO DE RODETES

DE UN PABO O UN
ESCALONAMIENTO
DE VARIOS PAGOS O
VARIOS ESCALONAMIENTOS

CUADRO SINOPTICO 1.2 CLASIFICACION DE BOMBAS CENTRIFUGAS.

- a) Elemento principal en el transporte de fluidos.
 - b) Mantenimiento de la presión interna de los sistemas hidráulicos.
- Los principales tipos de bombas centrífugas se encuentran en el cuadro sinóptico 1.2. El estudio de las bombas centrífugas se hará en el Capítulo 2.

1.2.2 TIPOS DE BOMBAS ROTATORIAS.

Las bombas rotatorias, que en su mayoría son unidades de desplazamiento positivo, consisten en una caja fija que contiene engranes, aspas, pistones, levas, segmentos, tornillos, etc.

Una bomba rotatoria "atrapa y empuja" el líquido contra la caja fija como lo hace el pistón de una bomba reciprocante, sólo que ésta descarga un flujo continuo.

a) Bomba de leva y pistón. Esta consiste en un excéntrico con un brazo ranurado en la parte superior. La rotación de la flecha hace que el excéntrico atrape el líquido contra la caja. Al seguir la rotación, el líquido se fuerza de la caja a través de la ranura a la salida de la bomba.

b) Bomba de engranes externos. Esta bomba opera de tal manera que conforme los dientes de los engranes se separan en el lado de succión de la bomba, el fluido llena los espacios vacíos lo que conduce a una trayectoria circular hacia afuera y es exprimido al engranar nuevamente los dientes.

c) Bomba de engranes internos. Esta bomba tiene un rotor con dientes cortados internamente, los cuales encajan en un engrane loco, cor-

tado externamente.

En estas bombas se puede usar una partición en forma de luna creciente con el fin de evitar que el líquido vuelva a pasar al lado de succión.

d) Bombas lobulares. Estas bombas resultan ser muy parecidas a las de engranes en cuanto a operación, solo que tiene dos o más rotores cortados con tres, cuatro o más lóbulos en cada rotor. Se pueden tener combinaciones de bombas de engrane y lóbulo.

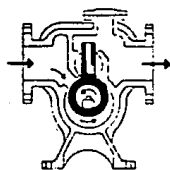
e) Bombas de tornillo. Estas bombas tienen de uno a tres tornillos roscados convenientemente que giran en una caja fija. Por ejemplo la bomba de un solo tornillo tiene un rotor en forma de espiral, el cual gira en un estator de hélice interna o cubierta. El rotor es de metal y la hélice es generalmente de hule duro o blando.

f) Bombas de aspas. Esta bomba tiene una serie de aspas articuladas que se balancean conforme gira el rotor, las cuales atrapan al líquido y lo fuerzan hacia el tubo de descarga de la bomba.

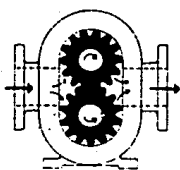
g) Otros diseños. Entre otros diseños se pueden mencionar las bombas de bloque de vaivén, la bomba de junta universal y las bombas de tubo flexible.

Aplicaciones.

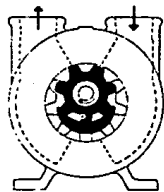
Debido a que la mayor parte de las bombas rotatorias son autocebantes, pueden trabajar con gas o aire de ser necesario. Las aplicaciones usuales incluyen el paso de líquido de todas las viscosidades, procesos químicos, alimento, descarga de barcos, lubricación a pre-



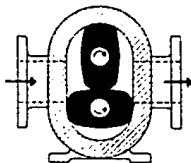
(A) BOMBA DE LEVA Y PISTON



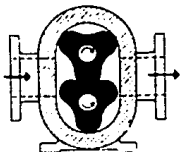
(B) BOMBA DE ENGRANES EXTERNOS



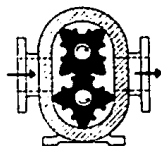
(C) BOMBA DE ENGRANES INTERNOS



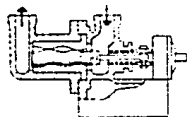
(D) BOMBA DE DOS LOBULOS



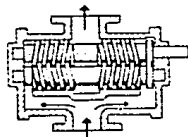
(E) BOMBA DE TRES LOBULOS



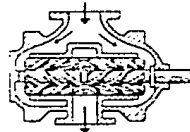
(F) BOMBA DE CUATRO LOBULOS



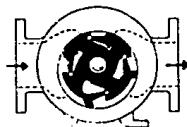
(G) BOMBA DE UN TORNILLO



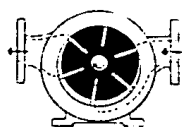
(H) BOMBA DE DOS TORNILLOS



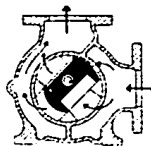
(I) BOMBA DE TRES TORNILLOS



(J) BOMBA DE FALETAS OSCILANTES



(K) BOMBA DE FALETAS DESLIZANTES



(L) BOMBA DE BLOQUE DE VAIVEN

FIG 1.1 ALGUNOS TIPOS DE BOMBAS ROTATORIAS
(SOME TYPES / BOMBAS SU SELECCION Y APLICACION)

sión, sistema de enfriamiento, servicio de quemadores de aceite, manejos de grasa, gases licuados y otros servicios.

1.2.3 TIPOS DE BOMBAS RECIPROCANTES.

Se puede definir a las bombas reciprocantes como unidades de desplazamiento positivo, las cuales descargan una cantidad definida de líquido durante el movimiento del pistón a través de la distancia de carrera.

Existen básicamente tres tipos de bombas reciprocantes: las de vapor, las bombas de potencia y las bombas de diafragma.

a) **Bombas de vapor.** En este tipo de bombas una varilla común de pistón conecta un pistón de vapor y uno de líquido o émbolo. Se construyen simplex, con un pistón de vapor y un pistón de líquido respectivamente, y duplex, con dos pistones de vapor y dos de líquido. Algunas de las aplicaciones usuales de las bombas de vapor horizontales simplex y duplex, incluyen alimentación de calderas en presiones de bajas a medianas, manejo de lodos, bombeo de aceite y agua, etc.

Al igual que todas las bombas reciprocantes este tipo de bombas tienen un flujo de descarga pulsante.

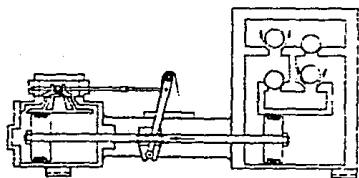
b) **Bombas de potencia.** Estas bombas cuentan con un cigüeñal movido por una fuente externa, que generalmente es un motor eléctrico, o bien una banda o cadena. Se acostumbra el uso de engranes entre el motor y el cigüeñal para disminuir la velocidad de salida del motor. Este tipo de bombas se encuentran particularmente bien adaptadas para servicios de alta presión y tienen usos en la alimentación de

calderas, bombeo de líneas de tubería, proceso de petróleo y otros usos similares. Las bombas de potencia del tipo manivela volante - anteriormente movidas por vapor, son en el presente, más comúnmente accionadas por motor eléctrico o de combustión interna. Las bombas de potencia del tipo émbolo de alta presión horizontales o verticales generalmente son usadas para prensas hidráulicas, procesos de petróleo y otros.

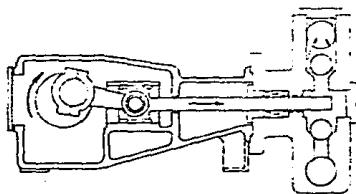
c) Bombas del tipo potencia de baja capacidad. También conocidas - como bombas de capacidad variable, volumen controlado y de "proporción". Su uso principal es el control del flujo de pequeñas cantidades de líquido que alimentan calderas, equipos de proceso y unidades similares. Es por esto que pueden llegar a ser una pieza importante en muchas operaciones.

d) Bombas del tipo de diafragma. La bomba combinada de diafragma y pistón se usan solo para capacidades pequeñas, mientras que las de diafragma son usadas para grandes capacidades de líquidos que incluso pueden tener contenidos sólidos. Se pueden usar para manejar pulpas gruesas, drenajes, lodos, soluciones ácidas y alcalinas e incluso mezclas de agua con sólidos.

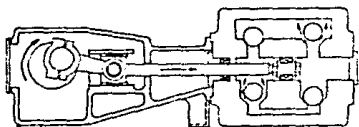
Existe otra gran variedad de bombas reciprocantes, diseñadas especialmente para un servicio, como por ejemplo en sistemas hidráulicos industriales de lubricación, de manejo de químicos y similares.



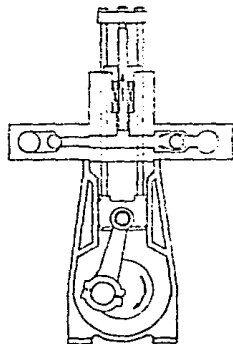
(A) BOMBA DE VAPOR HORIZONTAL DE DOBLE ACCION



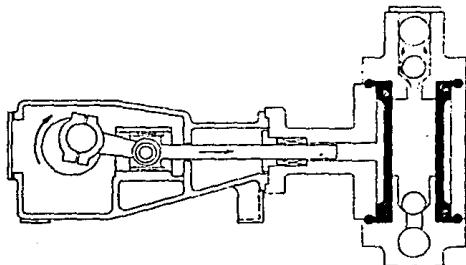
(B) BOMBA DE POTENCIA HORIZONTAL DE EMBOLO DE SIMPLE ACCION



(C) BOMBA DE POTENCIA HORIZONTAL DE PISTON DE DOBLE ACCION



(D) BOMBA DE POTENCIA VERTICAL DE EMBOLO DE SIMPLE ACCION



(E) BOMBA HORIZONTAL DE DIAFRAGMA CILINDRICO DE SIMPLE ACCION

FIG 1.2 ALGUNOS TIPOS DE BOMBAS RECIPROCANTE
(U. S. A. HYDRAULIC INSTITUTE)

BOMBAS CENTRIFUGAS

2.1 INTRODUCCION

Como ya es sabido las bombas centrifugas son máquinas accionadas, - las cuales al operar transforman la energía mecánica proporcionada por su accionador en energía hidráulica.

Debido a su versatilidad, facilidad de operación y bajo costo las bombas centrifugas alcanzan en nuestros días una gran variedad de aplicaciones.

En este Capítulo se describirán sus principales características - constructivas y operacionales, incluyendo el análisis de algunos de los aspectos más importantes en su selección.

2.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS BOMBAS CENTRIFUGAS

A continuación se mencionan las principales ventajas y desventajas de las bombas centrifugas:

a. Ventajas:

- a.1 Flujo continuo, no pulsante.
- a.2 Operación silenciosa.
- a.3 Bajo costo, espacio requerido reducido.
- a.4 Facilidad para el control del flujo.
- a.5 Construcción simple, prácticamente una sola parte móvil. Faci-

lidad para mantenimiento.

- a.6 Claros entre el impulsor y la carcaza no muy cerrados por lo que pueden trabajar manejando líquidos conteniendo sólidos, suciedad, etc.
- a.7 Pueden construirse en una muy alta gama de materiales. (Para usarse manejando líquidos corrosivos).
- a.8 Pueden acoplarse directamente a motores de alta velocidad.
- a.9 Bajo mantenimiento y con buena intercambiabilidad de partes.

b. Desventajas:

- b.1 Limitaciones en la viscosidad del líquido manejado (máximo - aprox. 2000 cp).
- b.2 Limitaciones en la presión (excepto en las horizontales de doble carcaza para extra-alta presión, cercana a 350 Kg/cm² diseñadas para alimentación de calderas).
- b.3 Escasa disponibilidad de bombas en el mercado cuando se requiere manejar bajos gastos dando altas cargas, excepto en las centrifugas especiales de alta velocidad que pueden dar aprox. - 1770 metros (5800 pies) manejando gastos menores a 23 m³/hr - (100 GPM) y girando hasta a 23400 RPM pero debido a que son - realmente escasos los proveedores de estas bombas muy especiales, es difícil obtener la más adecuada.
- b.3 Requieren de cebado excepto en las bombas autocebantes, en que el cebado deberá hacerse únicamente al principio de la operación en el caso de que por alguna circunstancia la carcaza hubiese quedado vacía.

2.3 TIPOS DE BOMBAS CENTRIFUGAS.

a) De acuerdo a la posición del eje se clasifican en:

a.1) Bomba horizontal.

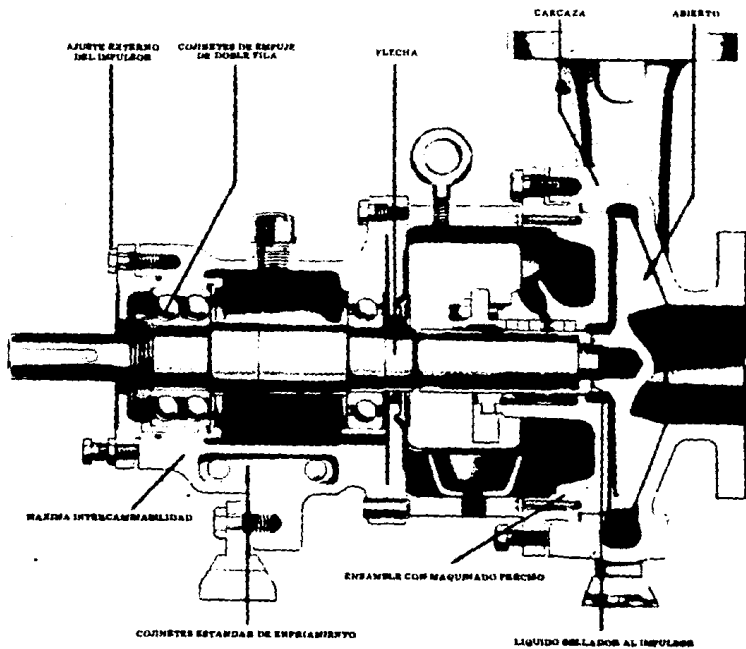


FIG. 2.3 BOMBA TIPO HORIZONTAL: MODELO SIN ESCALA DE PERCISO DE DIMENSIONES ESTÁNDAR (CONJUNTO PUMP MARCAE GEPH).

a.2) Bomba vertical.

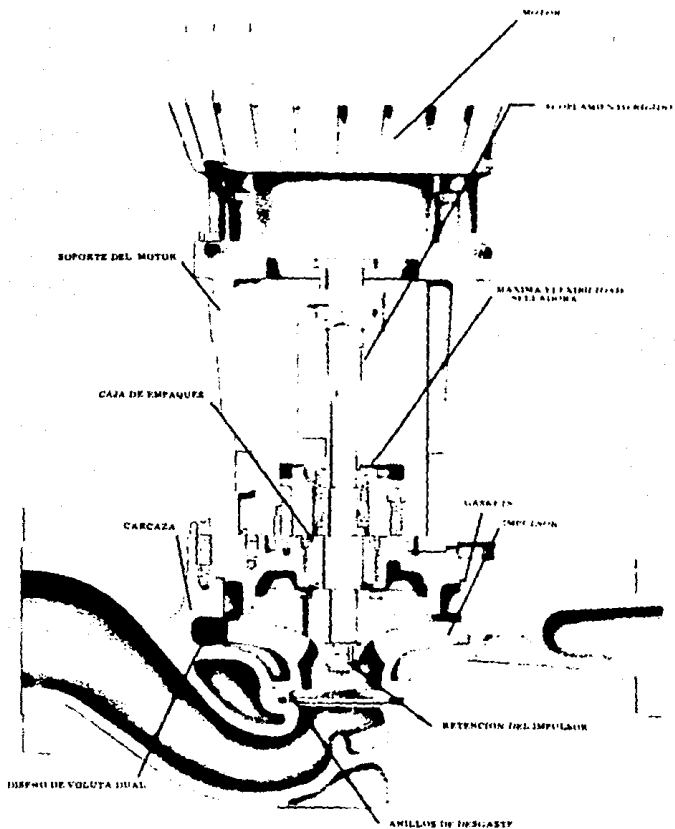
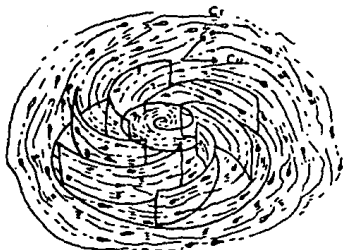


FIG. 2.2 BOMBA TIPO VERTICAL; MODELO 300D BOMBA DE PROCESO API-610 IN-1.1NF. (MODEL 300D PUMP MANUAL UMP).

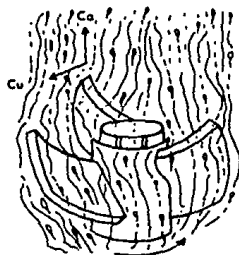
b) En función del flujo en el interior del impulsor, se pueden dividir en:

b.1) Bomba de flujo radial.

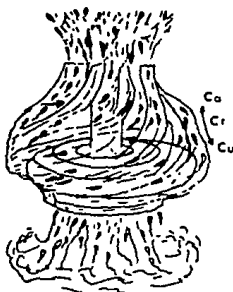
El movimiento se lleva a cabo en un plano paralelo que es perpendicular al eje de giro del impulsor de la bomba, teniendo dos componentes del vector desplazamiento: uno tangencial C_u y otro radial C_r .



(A) IMPULSOR SEMIABIERTO DE SIMPLE SUCCION CON FLUJO RADIAL



(B) IMPULSOR CON FLUJO TOTALMENTE AXIAL



(C) IMPULSOR CON FLUJO MIXTO

FIG 2.3 TIPOS DE IMPULSORES SEGUN LA DIRECCION DEL FLUJO
(M. C. GUILLERMO RODRIGUEZ PEREZ / IMP)

b.2) Bomba de flujo axial.

La dirección del flujo en el impulsor, se lleva a cabo en capas paralelas cilíndricas, soviéndose en forma axial y alrededor del eje, de forma que se tienen dos componentes. Uno tangencial C_u y otro - axial C_a .

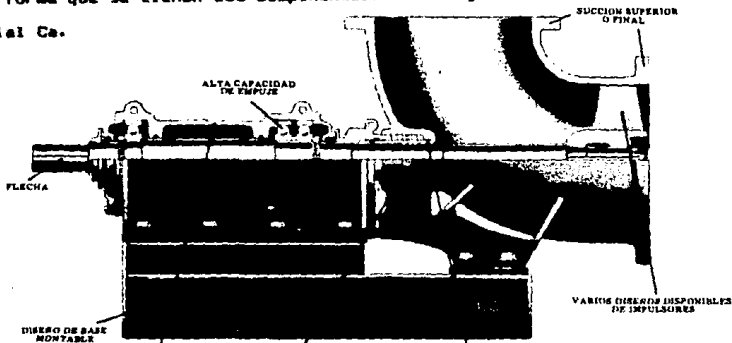


FIG. 1.4 MODELO A7 BOMBA DE FLUJO AXIAL
(GOULDS PUMP MANUAL OPNSD).

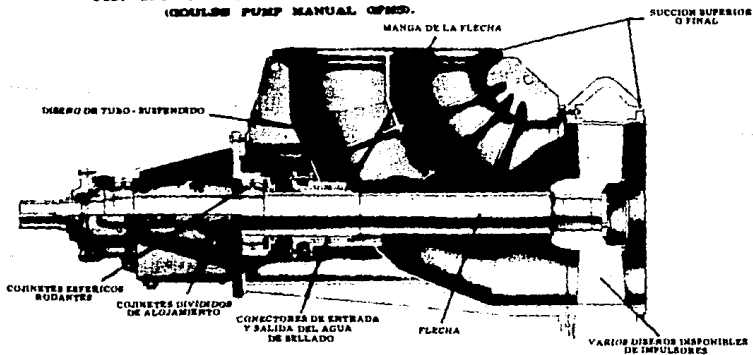


FIG. 2.5 MODELO A7 BOMBA DE FLUJO AXIAL
(GOULDS PUMP MANUAL OPNSD).

b.33 Bomba de flujo mixto.

El movimiento del fluido dentro del impulsor se encuentra animado de tres componentes. Tangencial C_u , Radial C_r y axial C_a .

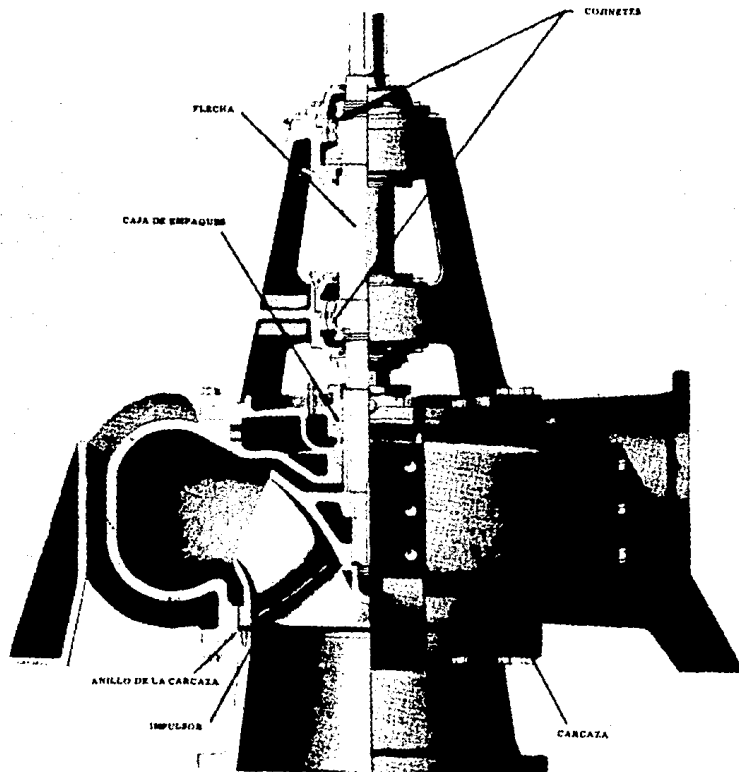


FIG. 2.6 MODELO Nº BOMBA DE FLUJO MIXTO MOULDS PUMP MANUAL OYRD.

c) Según el número de succiones del impulsor se dividen en:
 c.1) Bomba de doble aspiración o de dos flujos.

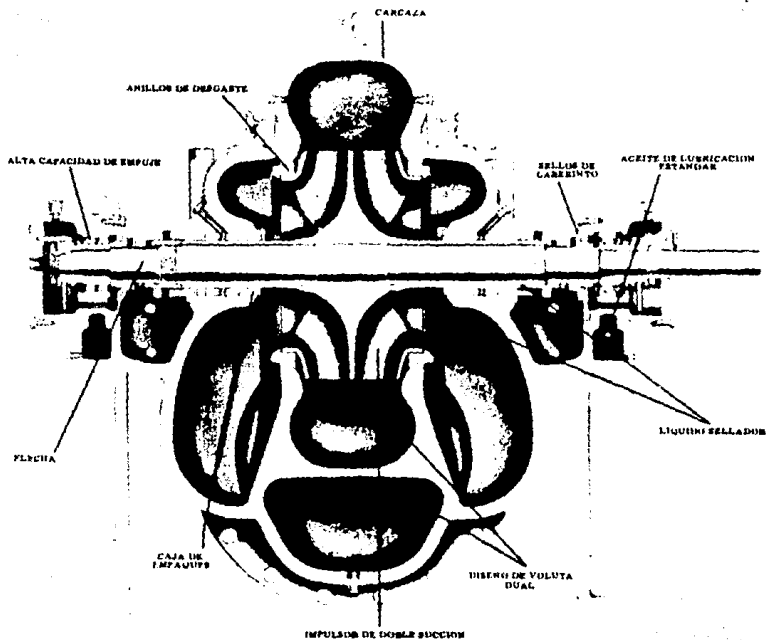


FIG. 1.7 MODELO S413-DV BOMBA DE DOBLE ASPIRACION
 (GROULDS PUMP MANUAL OPER.)

c.2) Bomba de simple aspiración ó de un flujo.

d) De acuerdo al número de pasos o impulsos se dividen en:

d.1) Bomba simple o de un paso.

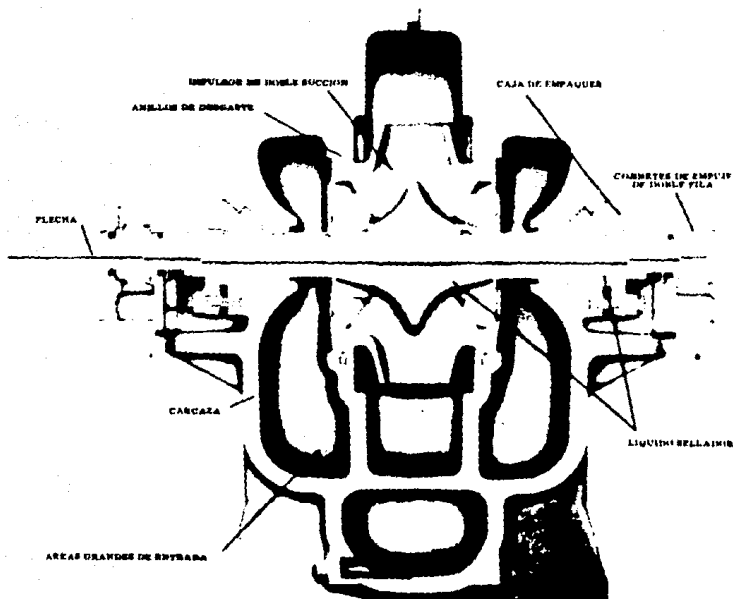


FIG. 2.8 MODELO BASO BOMBA DE UN SOLO PASO, DE INYECCION SUCCION (DOUBLE PUMP MANUAL OPER).

d.2) Bomba multipasos o de varios pasos.

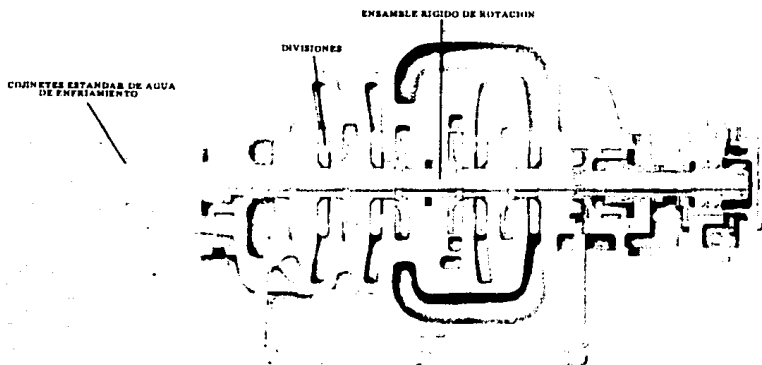


FIG. 2.9 MODELO 8800 BOMBA MULTI PASOS DE CARCAZA DIVIDIDA HORIZONTALMENTE (GOULDS PUMP MANUAL OPMS).

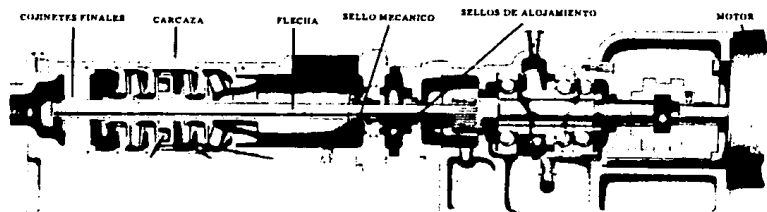


FIG. 2.10 MODELO 3095 SERIE EP BOMBA MULTI-PASOS (GOULDS PUMP MANUAL OPMS).

Según el tipo de carcasa se clasifican en:

e.1) Bomba de carcasa dividida axialmente.

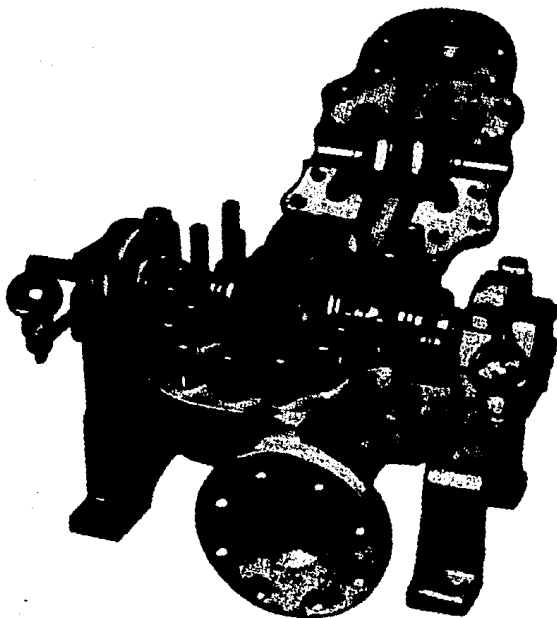


FIG. 2.11 MODELO 594 BOMBA DE DOS FASOS DE CARCASA DIVIDIDA ROTACIONALMENTE (GULF PUMP MANUAL 6999).

e.2) Bomba de carcasa dividida radialmente.

e.3) Bomba con corte mixto o del tipo barril.

Por lo que respecta a la construcción el Instituto Hidráulico de los Estados Unidos de América da las siguientes designaciones: (a) Con aditamentos de bronce, (b) toda de bronce, (c) bronce de composición específica, (d) toda de hierro, (e) con aditamentos de acero inoxidable, (f) toda de acero inoxidable.

2.4 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UNA BOMBA CENTRIFUGA

En su forma más sencilla los elementos constitutivos de una bomba centrífuga son los siguientes:

a) Rodete o impulsor. El rodete consiste en un cierto número de álabes o paletas, abiertos o encerrados en una corona, montados sobre un eje que sobresale de la carcasa. El rodete es la pieza que imparte la energía cinética y energía de presión. Dependiendo del trabajo que se tenga que realizar, el eje puede colocarse horizontal o verticalmente.

En la mayoría de los casos se usan los rodetes encerrados en una corona, debido a que son más eficientes. Dependiendo de si el líquido entra por un costado únicamente, el rodete es de simple aspiración, o bien por los dos costados de doble aspiración.

El rodete puede ser clasificado en cuatro tipos principales:

a.1) Rodete cerrado de simple aspiración. En este tipo las caras anterior y posterior forman una caja, y es entre estas dos que se fijan los álabes.

a.2) Rodete cerrado de doble aspiración.

a.3) Rodete semiabierta de simple aspiración. En este tipo no se cuenta con la cara anterior, los álabes van fijos solo en la cara posterior.

a.4) Rodete abierto de doble aspiración sin cara anterior ni posterior. En este tipo los álabes van fijos en el núcleo o cubo del rodete. Los rodetes abiertos o semiabiertos se emplean para líquidos viscosos o con materiales sólidos, y para servicio general en un gran número de bombas pequeñas.

b) Carcaza. La función principal de la carcaza es dar dirección al flujo del rodete. Por un pasaje en espiral y transformar la energía dinámica en energía de presión.

Las carcazas son de tres tipos generales, pero en todos los casos consisten en una cámara provista de una entrada y una salida para el líquido que se bombea y dentro de la cual gira el rodete.

El primer tipo de carcaza y la más sencilla es la circular que consiste en una cámara anular alrededor del rodete, la cual no cuenta con ningún perfil especial que evite pérdidas provocadas por remolinos y choques del líquido cuando abandona el rodete a altas velocidades, estas carcazas son poco usuales.

El segundo tipo de carcaza, la de voluta tiene forma de espiral y va aumentando su área transversal conforme se acerca a la salida. La voluta convierte la energía de velocidad transmitida por el rodete al líquido en energía de presión, con pocas pérdidas.

El tercer tipo de carcaza o envoltura es aquella usada en las bombas del tipo de difusor o bomba turbina. En esta se interponen álabes o aletas directrices o difusores entre el rodete y la cámara, en una bomba de este tipo, si es que está bien diseñada las pérdidas se reducen al mínimo. A menudo también se usa en las bombas de alta presión y múltiples saltos o etapas.

c) Flecha. Transmite la potencia del motor al rodete o impulsor al mismo tiempo que indica el movimiento del fluido.

d) Anillos de desgaste. La finalidad de estos anillos es el aislar la zona de baja presión (succión) de la de alta presión (descarga) evitando con esto el flujo recirculatorio causante del bajo rendimiento en la bomba.

e) Chumacera. El propósito principal de esta pieza es el proporcionar soporte a la flecha de la bomba a medida que ésta gira.

f) Cubreflecha. Es un buje o tramo de tubería que se inserta sobre la flecha, protegiendo a ésta contra el desgaste y corrosión que pudiese sufrir.

g) Estopero. El estopero es un elemento que puede ser metálico o no, enrollado en forma de espiral cuyo objeto es proteger a la bomba - contra el escurrimiento o entrada de aire justo donde la flecha atraviesa a la cubierta de la bomba.

h) Sello mecánico. Este elemento tiene el mismo propósito que el estopero, pero es diferente en su construcción.

Las partes anteriormente explicadas, constutuyen los elementos básicos de una bomba centrífuga, sin embargo, las bombas centrífugas cuentan con un gran número de componentes, dependiendo del tipo, - tamaño y aplicación, para ello en la fig. 2.12 se enlistan los nombres recomendados para un tipo de bomba en especial.

Partida	Nombre de la parte
1.	Deflector de líquidos
2.	Manguito de flecha
3.	Rondana de unión de la glándula
4.	Glándula seccionada de la caja
5.	Adaptador al motor
6.	Tornillo de la glándula
7.	Anillo linterna
8.	Epaques de la caja de epaques
9.	Anillo de desgaste descarga
10.	Impulsor
11.	Cuña del impulsor
12.	Voluta
13.	Rondana del impulsor
14.	Junta de la brida succión
15.	Anillo de desgaste succión
16.	Brida de succión
17.	Tuerca del impulsor
18.	Tornillos y tuercas hexagonales

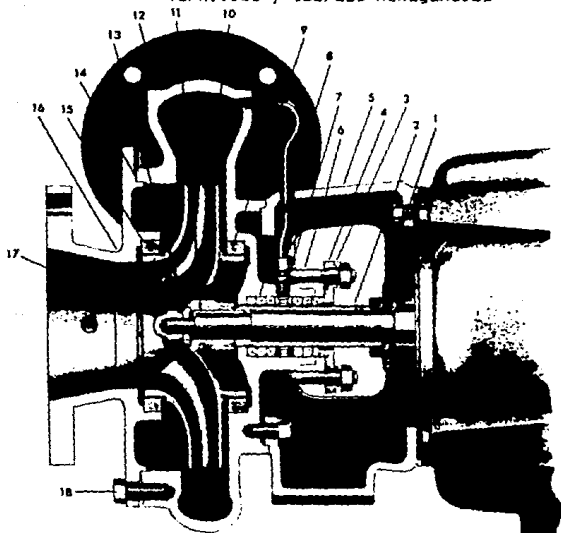


FIG. 2.12 MODELO 300 BOMBA CENTRIFUGA DE IMPULSOR CERRADO UN SOLO PASO ACOPLAMIENTO DIRECTO-SUCCION LATERAL (GOULDS PUMP MANUAL SPIN).

2.5 CARACTERISTICAS DE UNA BOMBA CENTRIFUGA

Para determinar la bomba que pudiera prestar un servicio, será necesario atender las siguientes características generales:

a) Características del fluido por manejar.

Entre estas características se pueden citar el pH, la viscosidad y presión de vaporización a la temperatura a que se verifica el bombeo, la gravedad específica o densidad relativa, la cantidad de oxígeno disuelto y cualquier otra sustancia.

b) Características del sistema hidráulico.

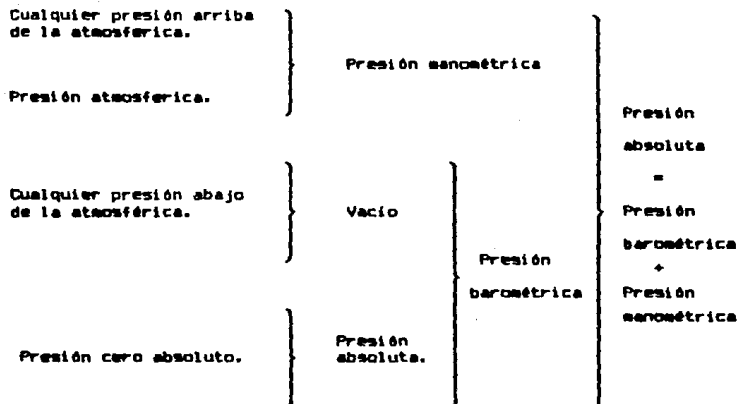
De las cuales se puede mencionar la carga total que la bomba debe desarrollar en el sistema, la capacidad que la bomba debe manejar, cuya cantidad es determinada por las necesidades de fluido para el proceso; la carga neta positiva de succión disponible, (C.N.P.S.D.), la potencia, rendimiento o eficiencia, etc.

c) Características constructivas de la bomba.

Dentro de estas características se puede citar que la bomba sea horizontal o vertical, de un paso o multipasos; de doble o simple aspiración, con impulsor abierto o cerrado; de flujo radial, axial o mixto; con simple o doble voluta, con o sin corona directriz; con o sin cono difusor, con bridas laterales o en posición superior y tipo de caras.

Antes de que se desglose en los puntos siguientes cada una de las características del sistema hidráulico de una bomba es recomendable definir los tipos de presión y su relación en los problemas de bombeo, por lo anterior, a continuación se muestra una tabla, donde pueden ser identificados .

TIPOS DE PRESION



CUADRO SINOPTICO 2.1 TIPOS DE PRESION.

Se han designado tres tipos de presión: la absoluta, que es la presión arriba del cero absoluto; la barométrica, que es la presión atmosférica de una localidad determinada; y la de carga que es la presión arriba de la presión atmosférica de la localidad en que se mide.

La presión absoluta puede encontrarse arriba o abajo de la presión atmosférica, un vacío deberá considerarse como una presión de carga negativa.

2.5.1 CAPACIDAD

La capacidad o gasto de una bomba se expresa como una medida del volumen de líquido manejado por unidad de tiempo. Ejemplo de esto son los litros por minuto ó barriles por hora.

La capacidad de una bomba se puede determinar por:

Medidores por peso	}	Medidores Cinéticos	Ejemplo Venturi
Medidores por volumen		Geométricos	Válvulas
Medidores específicos		Cinético-Geométrico	Vertederos
		Por velocidad	Molinetes
		Especiales	

Los medidores cinéticos (venturi, tobera, orificio), son los medidores más usados, si lo que se quiere es hacer pruebas de laboratorio en bombas centrífugas.

El venturi consiste en una reducción cónica en la tubería con un ensachamiento posterior, una diferencia de velocidades y presiones provocada por una variación de áreas proporciona el gasto según la Ec. 2.1:

$$Q \text{ (GPM)} = 5.67 C d_2^3$$

$$\sqrt{\frac{H}{1 - R^4}}$$

... (Ec. 2.1)

C = Coeficiente del instrumento.

R = d_2/d_1

Medición por medio de boquillas.

Este método consiste en intercalar en la tubería una boquilla abocinada que aumenta la velocidad al reducir el área hidráulica. Es menos exacto que el venturi, pero mucho más barato. El gasto se calcula de igual manera que en un venturi, solo cambiando los coeficientes.

Medición por medio de placa de orificio.

Este método consiste en intercalar una placa de orificio entre dos bridas de una tubería. Es un método sumamente sencillo aunque inexacto.

Métodos por peso y volumen.

Este es el método más elemental que consiste en tomar el tiempo que una bomba tarda en llenar cierto volumen. Este método se puede usar para la prueba de bombas pequeñas o en instalaciones donde se carece de medidores específicos.

Método de campo.

Este método consiste en la medición por medio de escuadras, que determinan lo que baja el chorro del líquido de su nivel superior de salida.

Quizas se tenga que la capacidad y la carga tengan igual importancia en función de la aplicación de un equipo de bombeo, ya que el objetivo principal de una bomba es el de entregar la cantidad correcta de líquido contra la carga existente en el sistema.

2.5.2 CARGA

Primeramente para mayor comprensión, empezaremos por definir los distintos tipos de carga:

Carga estática.

Es la altura, expresada en metros de líquido, de la columna de fluido que actúa sobre la succión (entrada) ó descarga (salida) de una bomba.

Elevación estática de succión y carga estática de succión.

Se denomina elevación estática de succión a la distancia entre el nivel del líquido a bombear y el eje central de la bomba, solo en el caso de que la bomba se encuentre arriba del nivel libre de bombeo. Si es que la bomba se encuentra abajo del nivel libre de bombeo, la distancia entre el nivel del líquido y el eje central de la bomba se denomina carga estática de succión.

Carga estática de descarga.

Es la distancia vertical entre el eje central de la bomba y el punto de entrega libre del líquido.

Carga estática total.

Es la distancia vertical entre los niveles de succión y descarga.

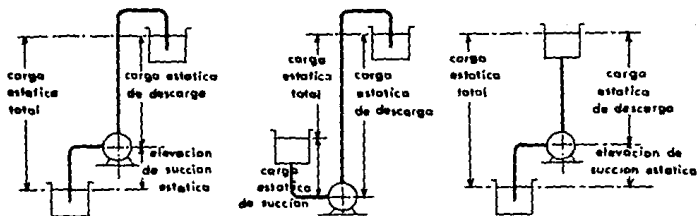


FIG. 2.18 CASOS DE CARGAS ESTÁTICAS.

Carga de fricción.

Es la columna, en metros del líquido que se maneja, equivalente y necesaria para vencer la resistencia de las tuberías de succión, descarga y de sus accesorios.

Carga de velocidad.

La carga de velocidad es la distancia de caída necesaria para que un líquido adquiere una velocidad dada. Esta se determina por la siguiente ecuación:

$$H_v = \frac{v^2}{2g} \quad \dots \text{Ec. 2.2}$$

en donde:

H_v = Carga de velocidad en metros de líquido manejado.

v = Velocidad del líquido en m/seg.

g = Aceleración de la gravedad en m/seg²

Elevación de succión.

Es la suma de la elevación estática de succión de la carga de fricción de succión total y de las pérdidas de admisión.

Carga de succión.

Es la carga estática de succión menos la carga de fricción total y las pérdidas de admisión, más cualquier presión que se encuentre en la línea de succión. Es una presión negativa (hay vacío), y se suma algebraicamente a la carga estática de succión del sistema.

Carga de descarga.

Es la suma de la carga de descarga estática, de la carga de fricción de descarga y de la carga de velocidad de descarga.

Carga total.

Es la suma de las cargas de elevación de succión y descarga.

Trabajo de bombeo.

Para el estudio de la bomba y para fines de su instalación es importante considerar las secciones indicadas en la Fig. 2.14:

Sección 1: Nivel superior del agua en el pozo de aspiración.

Sección 2: Nivel superior del agua en el depósito de impulsión.

Sección e: Entrada a la bomba.

Sección s: Salida de la bomba.

Una instalación consta de tramos de tubería y accesorios (codos, - contracciones, etc.) En los tramos rectos hay pérdidas primarias y en los accesorios pérdidas secundarias. El conjunto de estas pérdidas constituye las pérdidas exteriores a la bomba H_{r-int} . Además - de estas, se originan otras pérdidas de superficie y de forma en el interior de la bomba H_{r-int} .

Definición de carga total.

Carga total, H_m es la altura útil que da la bomba, es decir la carga teórica, H_t menos las pérdidas en el interior de la bomba, H_{r-int} .

$$H_m = H_t - H_{r-int} \quad \dots \text{Ecu. 2.3}$$

Donde la carga teórica H_t , es definida por la ecuación de Euler.

$$H_t = \frac{u_2 c_{2u} - u_1 c_{1u}}{g} \quad \dots \text{Ecu. 2.4}$$

Primera expresión de la carga total.

Aplicando la ecuación del Bernoulli entre la entrada y salida de la bomba, obtenemos:

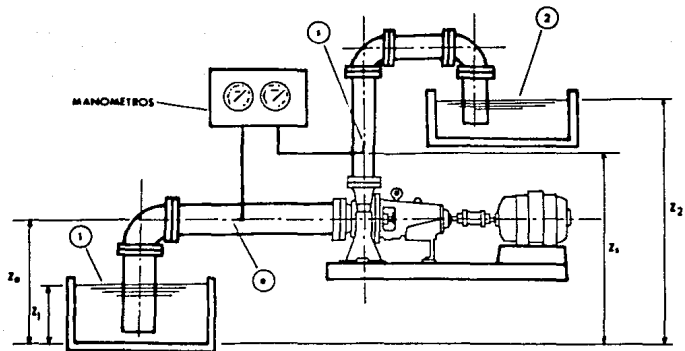


FIG. 2.14 Secciones de estudio en una bomba centrífuga

$$\frac{P_e}{\rho} + Z_e + \frac{V_e^2}{2g} + H_m = \frac{P_s}{\rho} + Z_s + \frac{V_s^2}{2g} \quad \dots \text{(Ec. 2.5)}$$

Si despejamos H_m , tendremos:

$$H_m = \left[\frac{P_s}{\rho} + Z_s + \frac{V_s^2}{2g} \right] - \left[\frac{P_e}{\rho} + Z_e + \frac{V_e^2}{2g} \right] \quad \dots \text{(Ec. 2.6)}$$

Carga total.

Es la diferencia de energías entre la salida y la entrada de la bomba. Esta diferencia es la energía específica útil comunicada por la bomba al fluido.

Reacomodando términos obtenemos la primera expresión de la carga total.

$$H_m = \frac{P_s - P_e}{\rho} + Z_s - Z_e + \frac{V_s^2 - V_e^2}{2g} \quad \dots \text{(Ec. 2.7)}$$

La carga total es igual al incremento de presión que experimenta el fluido en la bomba más el incremento de carga geodésica más el incremento de carga dinámica.

Tomando en cuenta que el término $Z_s - Z_e$ suele ser muy pequeño o igual a cero, y que lo mismo ocurre con el término:

$$\frac{V_s^2 - V_e^2}{2g} \quad \dots \text{(Ec. 2.8)}$$

en el caso de que el diámetro de la tubería de aspiración se haga de mayor tamaño que el de impulsión, obtenemos:

$$H_m = \frac{P_s - P_e}{\rho} = M_s + M_e \quad \dots \text{ (Ec. 2.9)}$$

donde:

M_s = Lectura del manómetro a la salida.

M_e = Lectura del manómetro a la entrada

El signo "+" en la expresión anterior indica la suma de los valores absolutos de las lecturas, ya que el valor de la lectura de entrada suele ser negativo (vacuómetro). Si es que fuera el caso de que la bomba no estuviera instalada en aspiración sino en carga, es decir su eje colocado a cota inferior al nivel del depósito de aspiración. El manómetro marcaría una presión positiva y se tendría que cambiar el signo "+" por el de "-".

La primera expresión de H_m es útil para calcular H_m , leyendo M_s y M_e , y midiendo el caudal mientras la bomba esta en funcionamiento.

Segunda expresión de la carga total.

Aplicando la ecuación del Bernoulli entre el nivel superior del agua en el pozo de aspiración y el nivel superior del agua en el depósito de impulsión, obtenemos:

$$\frac{P_1}{\rho} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} - H_{r-ext} + H_m = \frac{P_2}{\rho} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

... Ec. (2.10)

H_{r-ext} = Pérdidas exteriores a la bomba.

En el caso de que el depósito de aspiración o impulsión esten a la presión atmosférica tenemos que $P_1 = P_2 = 0$.

Si es que las áreas del pozo de aspiración y el depósito de impulsión son lo suficientemente grandes como para despreciar

$$\frac{V_1^2}{2g} \text{ y } \frac{V_2^2}{2g} = 0 \quad \dots \text{ (Ec. 2. 12)}$$

obtendremos:

$$H_m = \frac{P_2 - P_1}{\rho} + Z_2 - Z_1 + H_{r-ext} \quad \dots \text{ (Ec. 2. 13)}$$

Por otra parte:

$$H_{r-ext} = H_{ra} + H_{ri} + \frac{V_d^2}{2g} \quad \dots \text{ (Ec. 2. 14)}$$

donde:

H_{r-ext} = Pérdida total exterior de la bomba.

H_{ra} = Pérdida de la aspiración.

H_{ri} = Pérdida de la tubería de impulsión.

V_d^2 = Pérdida secundaria en el desagüe a el depósito.

$2g$

Sustituyendo H_{r-ext} en la expresión obtenida para H_m , se obtiene finalmente la segunda expresión de la carga total.

$$H_m = \frac{P_2 - P_1}{\rho} + Z_2 - Z_1 + H_{ra} + H_{ri} + \frac{V_d^2}{2g} \quad \dots \text{ (Ec. 2. 14)}$$

Para poder aplicar esta expresión es necesario conocer el caudal, así como las características de la instalación.

En esta expresión no se hacen necesarias las lecturas del vacuómetro y del manómetro, ya que no sólo se estudia a la bomba sino a toda la instalación.

En la mayoría de los casos el pozo de aspiración y el depósito de impulsión están a presión atmosférica, es entonces que:

$$\frac{P_2 - P_1}{\rho} = 0 \quad \dots \text{ (Ec. 2. 15)}$$

C.N.P.S. CARGA NETA POSITIVA DE SUCCION.

Es la presión por encima de la presión de vapor de un líquido medido en el punto de succión.

Se expresa en metros de líquido manejado, los cuales son equivalentes a la presión en Kg/cm^2 requeridos para forzar el líquido a la bomba.

C.N.P.S. Disponible.

Varía directamente con la carga de succión o elevación, la carga de fricción, y la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo.

C.N.P.S. Requerido.

Esta depende solo del diseño de la bomba, y se obtiene del fabricante para cada bomba en particular, según su tipo, modelo, capacidad y velocidad.

Presión de vapor.

Si un líquido se encuentra a una temperatura arriba de su punto de

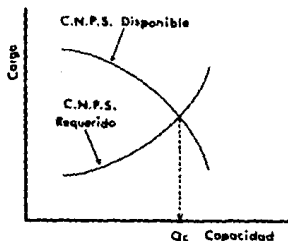


FIG. 2.15 COMPORTAMIENTO DE LA C.N.P.S. REQUERIDA Y DISPONIBLE. CON RESPECTO A LA CAPACIDAD.

congelación, sufre evaporación en su superficie libre. En el seno del líquido se origina una presión de vapor, y que está en función directa con la temperatura del líquido.

Presión de bombeo.

Al poner a funcionar una bomba se tiende a formar un vacío en el seno del líquido, este succionar se conoce como presión de bombeo.

2.5-3 POTENCIA

Potencia hidráulica.

Es el incremento de potencia que experimenta el fluido en la bomba, es decir el trabajo neto necesario para poder pasar de unas condiciones dadas a otras en un tiempo determinado.

$$\text{Potencia hidráulica} = N_h = \frac{Q H_m \rho}{75} \text{ C.V.} \quad \dots \text{ (Ec. 2.16)}$$

Q = Capacidad expresada en $m^3/\text{seg.}$

H_m = Carga total expresada en $m.$

ρ = Densidad del líquido expresada en $kg/m^3.$

Potencia eléctrica.

Es la energía eléctrica por unidad de tiempo suministrada por el sistema motor-bomba.

$$\text{Potencia eléctrica} = N_e = V I f \sqrt{3} \quad \dots \text{ (Ec. 2.17)}$$

V = Voltios

I = Amperios

f = Factor de potencia

Potencia al freno o de accionamiento.

En el sistema motor-bomba la potencia al freno no es la potencia -

absorbida por toda la red, sino unicamente la suministrada al eje, es decir aquella que es requerida para variar las pérdidas y suministrar al fluido la energía deseada.

En la bomba se cumplen las mismas normas en lo referente a la eficiencia, es decir se recibe menos trabajo del que se suministra, debido a pérdidas ocurridas en la misma:

- Pérdidas hidráulicas.

Pérdidas por rozamiento de superficie y de forma.

- Pérdidas volumétricas.

Pérdidas provocadas por caudal y por cortocircuito.

- Pérdidas mecánicas.

Pérdidas en los cojinetes, por rozamiento de disco y en el prensaestopas.

La expresión mediante la cual se calcula la potencia al freno es la siguiente:

$$\text{Potencia al freno} = N_a = \frac{Q H_m \rho}{75 n} \quad \text{C.V.} \quad \dots \text{ (Ec. 2.18)}$$

Q = Capacidad expresada en m³/seg.

H_m = Carga total expresada en m.

ρ = Densidad del líquido expresada en kg/m³.

n = Rendimiento de la bomba.

2.5.4 EFICIENCIA O RENDIMIENTO

La eficiencia o rendimiento es la relación entre la potencia absorbida por el fluido (potencia hidráulica) y la potencia suministrada al eje de la bomba (potencia al freno).

$$n = \frac{\text{Potencia hidráulica}}{\text{Potencia al freno}} \quad \dots \text{ (Ec. 2.19)}$$

La expresión anterior define el rendimiento total. El rendimiento total toma en cuenta todas las pérdidas de la bomba definidas por los rendimientos hidráulico, volumétrico y mecánico.

2.6 CURVAS CARACTERISTICAS DE UNA BOMBA CENTRIFUGA

A diferencia de otras bombas, las bombas centrífugas pueden descargar cualquier capacidad, que puede ser desde cero hasta un máximo que dependerá del tamaño de la máquina, diseño, condiciones y límites de succión.

La carga total por desarrollar de una bomba centrífuga, la potencia necesaria para lograrlo y el rendimiento, varían respecto de la capacidad manejada. Las interrelaciones existentes entre la capacidad y las características restantes pueden ser graficadas, obteniéndose las curvas características (ver grafica 2.1).

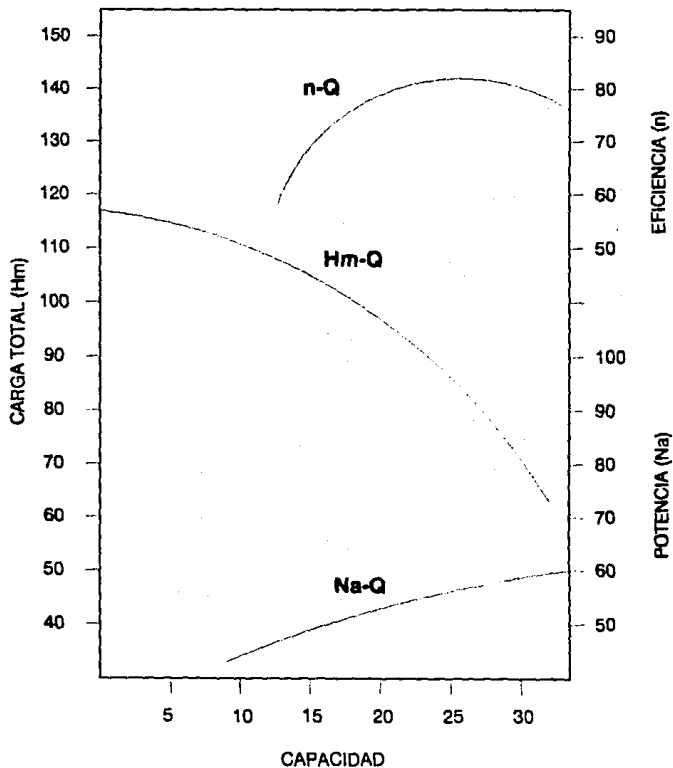
Para la selección de bombas centrífugas, normalmente se cuenta con las tres curvas anteriormente citadas y una cuarta que es la carga neta positiva de succión requerida.

En otros casos, se pueden trazar por ejemplo: capacidad-velocidad específica, capacidad-reacción radial y velocidad-par motor para algunos estudios especializados.

CARGA-CAPACIDAD

Cualquier bomba centrífuga tiene, para determinada velocidad y determinado diámetro de impulsor al manipular el líquido de viscosidad despreciable, una curva característica que indica la relación entre la carga desarrollada por la bomba y el caudal a través de la misma. Cabe mencionar que, conforme la capacidad aumenta, se reduce la carga total que la bomba es capaz de desarrollar.

GRAFICO DE CURVAS CARACTERISTICAS DE LAS BOMBAS CENTRIFUGAS



GRAFICA 2.1

(MANUAL DE PRACTICAS DEL ING. ANTONIO VALENTE BARDERAS)

POTENCIA ABSORBIDA-CAPACIDAD

Para que la bomba centrífuga suministre la capacidad que precisamos, vemos que hemos de suministrarle cierta potencia. Por tanto, podemos trazar una curva que presente la relación entre la capacidad y la potencia absorbida. En las bombas centrífugas, la potencia generalmente aumenta con un incremento de capacidad.

RENDIMIENTO-CAPACIDAD

Las dos características que hasta ahora eran proyectadas pueden ser determinadas mediante prueba. Para el caso del rendimiento, este no puede ser medido directamente, debe ser calculado por la Ec. 2.19. De esta manera el rendimiento puede ser determinado, a distintas capacidades, y con esto ser trazada su curva.

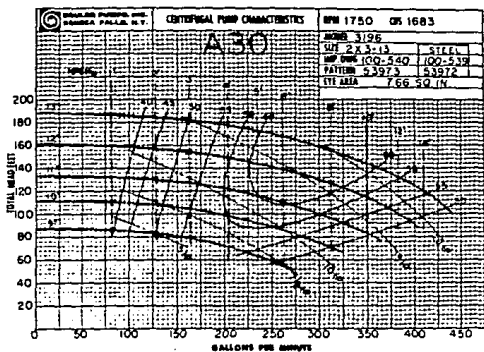


FIG. 2.10 CURVAS CARACTERISTICAS DE UNA BOMBA CENTRIFUGA (GOULDS PUMP MANUAL OFPMS).

C. N. P. S. -CAPACIDAD

Existe otra característica de las bombas centrífugas, que es muy importante y que siempre se facilita en el funcionamiento de una bomba. Se trata de una curva que señala la relación entre la capacidad que la bomba suministrará y el C.N.P.S. requerido para un funcionamiento correcto de la bomba a la capacidad citada.

2.7 CURVAS DEL SISTEMA DE BOMBEO

Las gráficas de las condiciones en un sistema de bombeo, ya sea que este exista o solo sea propuesto, llegan a ser una herramienta de gran importancia en el análisis del sistema.

Curva de fricción de un sistema.

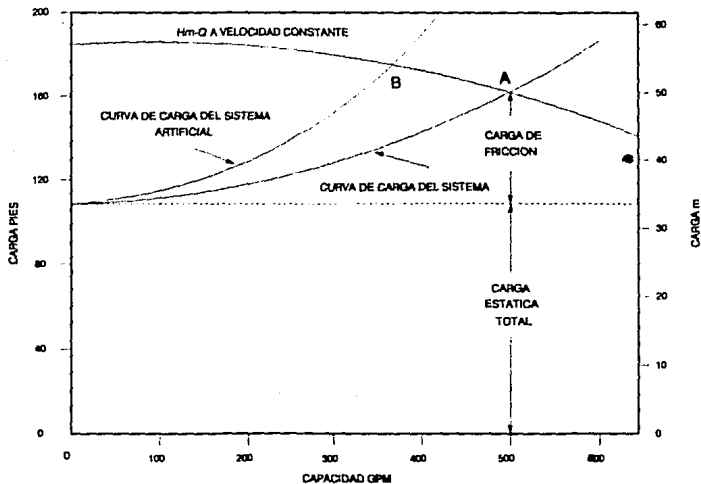
Se puede determinar la curva de fricción del sistema como una gráfica carga total contra capacidad, donde H_m es expresado en m y Q en lps.

Esta curva siempre pasa por el origen debido a que cuando no hay carga desarrollada por la bomba, es obvio que no exista flujo en el sistema de tuberías. Las pérdidas de carga por fricción son una función del tamaño del tubo, longitud, número y tipo de accesorios, velocidad del flujo del líquido y su naturaleza.

En un sistema ya establecido, las pérdidas que se tienen en la carga por fricción, varían casi igual al cuadrado de la velocidad del líquido en el sistema.

El análisis de esta curva ayuda a conocer el punto en el cual trabaja una bomba, y poder determinar en un momento dado si sus problemas de funcionamiento se deben a defectos mecánicos o de instalación.

CURVA DE CARGA DEL SISTEMA SUPERPUESTA SOBRE LA CURVA Hm-Q DE LA BOMBA



GRAFICA 2.2 (BOMBAS SU SELECCION Y APLICACION: HICKS TYLER)

Curva de carga del sistema.

Esta curva se puede obtener combinando la curva de fricción del sistema con la curva estática y con cualquier diferencia de presión en el sistema.

Si se superpone la curva característica H_m-Q sobre la curva de carga del sistema, se obtiene el punto en el cual una bomba específica opera en el sistema para el cual se ha trazado la curva (ver gráfica 2.2).

El punto A en la gráfica 2.2 muestra el funcionamiento de una bomba con una condición H_m-Q , que actúa sobre una curva de carga específica. Si se sometiera al sistema, a un cambio por fricción, como puede ser el cierre parcial de una válvula provocaría un cambio en la inclinación de la curva de fricción del sistema, de manera tal que la bomba adquiriría otras características de trabajo, las cuales son denotadas por el punto B.

En el caso del cierre parcial de una válvula en el sistema, se aumenta la carga disminuyendo la capacidad, de la misma forma se puede obrar de manera inversa aumentando la capacidad y disminuyendo la carga.

A continuación se mencionan los casos de curvas de cargas de sistemas típicos.

Operación de una bomba con elevación nula.

Como en este caso la elevación es igual a cero, la curva de carga del sistema empieza en $H_m = 0$, $Q = 0$, haciendo que toda la columna sea fricción.

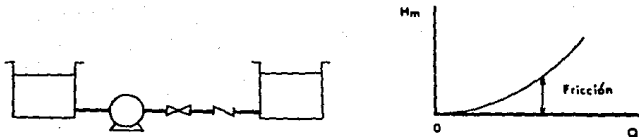


FIG. 2.17 CURVA DE CARGA DEL SISTEMA CUANDO LA ELEVACION VALE CERO.

Operación de una bomba que tiene principalmente una carga estática y poca fricción.

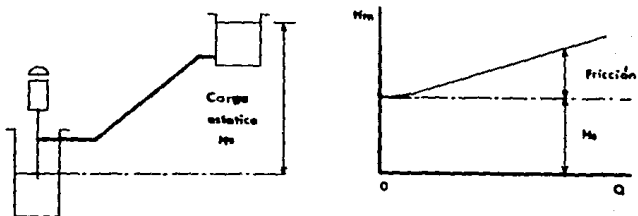


FIG. 2.18 OPERACION DE BOMBA PRINCIPALMENTE CON CARGA ESTÁTICA Y POCAS FRICCIÓN.

En este caso la curva de carga del sistema empieza en el punto de carga estática total.

Operación de una bomba que tiene cargas estática y de fricción apreciables.

Este sistema es el más común.

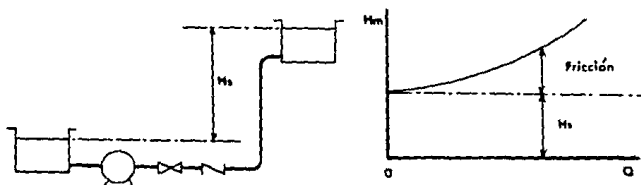


FIG. 2.19 OPERACION DE UNA BOMBA CON CARGAS ESTÁTICA Y DE FRICCIÓN Apreciables.

Operación de una bomba con carga de gravedad.

En este sistema la bomba es de utilidad solo para vencer la fricción de la tubería, aumentando el valor de la capacidad que se logra con la gravedad.

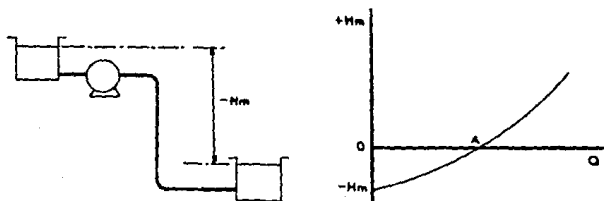


FIG. 2.20 OPERACION DE UNA BOMBA CON CARGA DE GRAVEDAD.

Desgaste de la bomba.

El desgaste de una bomba llega a provocar pérdidas de capacidad y eficiencia. Debido a que estas pérdidas están en función de la curva de carga del sistema es importante el analizar si la curva de carga es aplanada o inclinada, ya que si está, es aplanada provoca mayores pérdidas que si es inclinada.

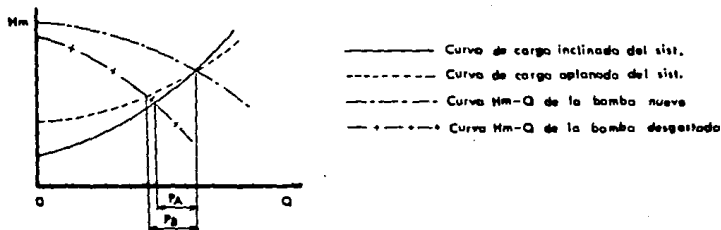


FIG. 2.24 CURVA DE CARGA DE UNA BOMBA QUE SE HA DESGASTADO.

2.8 INTERRELACION DE LAS VARIABLES DE DISEÑO

La aplicación de la teoría de la similitud a las bombas tiene por objeto describir su funcionamiento cuando se le han cambiado algunas características tales como el número de revoluciones, por la comparación con el funcionamiento experimental de otra bomba o modelo de geometría similar e incluso para la misma bomba.

La aplicación de la similitud implica el cambio en dos sentidos principales:

- Variar el número de r.p.m. en la bomba, lo que modifica a su vez la velocidad tangencial y todas las demás velocidades. Esta

variación permite obtener las siguientes interrelaciones:

a) Los gastos son proporcionales al número de r.p.m.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{rpm_1}{rpm_2} \quad \dots \text{(Ec. 2. 20)}$$

b) Las cargas son proporcionales al cuadrado de las velocidades.

$$\frac{H_{m1}}{H_{m2}} = \left[\frac{rpm_1}{rpm_2} \right]^2 \quad \dots \text{(Ec. 2. 21)}$$

c) Las potencias absorbidas son proporcionales al cubo del número de las r.p.m.

$$\frac{N_1}{N_2} = \left[\frac{rpm_1}{rpm_2} \right]^3 \quad \dots \text{(Ec. 2. 22)}$$

-Cambiando el diámetro del impulsor, se obtienen las siguientes interrelaciones:

a) Los gastos son proporcionales a los diámetros:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1}{D_2} \quad \dots \text{(Ec. 2. 23)}$$

b) Las cargas son proporcionales al cuadrado de los diámetros.

$$\frac{H_{m1}}{H_{m2}} = \left[\frac{D_1}{D_2} \right]^2 \quad \dots \text{(Ec. 2. 24)}$$

c) Las potencias absorbidas son proporcionales al cubo de los diámetros.

$$\frac{N_1}{N_2} = \left[\frac{D_1}{D_2} \right]^3 \quad \dots \text{Ec. 2. 20}$$

2.9 PARAMETROS DE SELECCION DE UNA BOMBA CENTRIFUGA.

Uno de los problemas a los que se enfrenta comunmente un ingeniero, es el relacionado a la selección de una bomba.

Los puntos a analizar y comparar están regidos por una serie de factores, los cuales son denominados parámetros de selección.

A continuación serán explicados en forma sintética cada uno de los factores que deben tomarse en consideración en dicha selección.

2.9.1 TIPO DE BOMBA Y NUMERO DE IMPULSORES

Para definir de un modo muy general el tipo de bomba, se hace necesario la realización de estudios de preselección con objeto de verificar si este tipo de bomba puede satisfacer las necesidades de bombeo y del análisis de diversos factores, de entre los cuales la capacidad y carga son fundamentales.

El número de pasos estará en función de la carga total requerida por el sistema y el diseño específico de cada fabricante.

2.9.2 CARGA / CAPACIDAD DE DISEÑO

Son los valores especificados por el comprador en su hoja de datos, y determinados por el fabricante dentro de la curva de comportamiento de la bomba debidamente garantizados por él.

La importancia de estos parámetros radica en ser valores desprendidos del análisis y diseño de la instalación pretendida.

2.9.3 CURVAS DE COMPORTAMIENTO

La curva característica H_m-Q de la bomba debe mostrar un comportamiento estable, elevándose constantemente la carga a medida que la capacidad se reduce hasta la condición de cierre.

Las bombas de uno y dos pasos, cuyo valor de carga al cierre sea del 10 al 20 % mayor que la carga a las condiciones de diseño especificadas por el comprador en la hoja de datos, son preferidas pudiendo ser reducido para bombas de tres y más pasos.

Este rango para la carga al cierre se recomienda con el fin de evitar daños a la bomba y al sistema para el caso en que una condición de cierre se presente, ya sea debido a una emergencia ó a una mala operación.

2.9.4 RENDIMIENTO Y POTENCIA DE ACCIONAMIENTO

El valor del rendimiento (η) para el punto de coordenadas carga-capacidad de operación y diseño, debe ser, si no el máximo, muy cercano a éste. La razón fundamental se debe a que el rendimiento y la potencia de accionamiento (N_a) son inversamente proporcionales. A mayor rendimiento de la bomba la potencia de accionamiento resulta ser menor, evitándose con esto el sobredimensionamiento de los accionadores en cuanto a potencia, así como costo de operación elevados debido al mal aprovechamiento de la energía.

2.9.5 CARGA NETA POSITIVA DE SUCCION REQUERIDA

La carga neta positiva de succión requerida debe ser inferior en una cantidad mínima de 61 cm de columna del líquido manejado al de la disponible y, si el líquido manejado presenta una viscosidad diferente a la viscosidad del agua a 15 °C, deberá practicarse una corrección de las características hidráulicas de capacidad, carga, potencia de accionamiento, C.N.P.S.R. en el rango de viscosidades y temperaturas especificadas por el Instituto Hidráulico de los Estados Unidos de America.

2.0.6 CAPACIDAD MINIMA DE OPERACION

En la operación de las bombas centrífugas existen dos capacidades mínimas por encima de las cuales es factible obtener una operación exenta de problemas, tanto de cavitación como de comportamiento. A estas capacidades se les ha denominado "Capacidad mínima para protección térmica y protección mecánica".

Capacidad mínima para protección térmica.

En todas las bombas centrífugas, el bajo rendimiento al operar a capacidades reducidas se manifiesta como un calentamiento, el cual -- causa que el fluido manejado eleve su temperatura cuando este circula a través de ella. Esta elevación de temperatura es mayor a medida que el rendimiento disminuye cuando la bomba es operada a bajas capacidades.

Para proteger la bomba de daños causados por la evaporación del fluido debido a la elevación de temperatura, la capacidad manejada por la bomba debe ser tal que permita mantener al fluido a una temperatura inferior a la de saturación a las condiciones de bombeo en los puntos críticos de la bomba.

Capacidad mínima por protección mecánica.

Esta capacidad es recomendada para evitar la operación de las bombas a capacidades notablemente diferentes de las de diseño. Debido a razones mecánicas pueden ser algunas de las siguientes, dependiendo del diseño específico de cada bomba y aplicación.

- a) Carga radial (particularmente cierta en bombas de gran tamaño con simple voluta).

- b) Separación del flujo debido a:
 - b.1) Vibración excesiva.
 - b.2) Ruido por cavitación.
- c) Daños en las partes del rotor similares a las de cavitación.

2.9.7 CARGA AL CIERRE DEL IMPULSOR SELECCIONADO

El valor en carga a las condiciones de cierre se determina por medio de la siguiente expresión:

$$\% \text{ Carga} = \frac{H_c - H_o/d}{H_o/d} \times 100 \quad \dots \text{Ec. 2.20}$$

en donde:

- H_c = carga diferencial total a las condiciones de cierre.
- H_o/d = carga diferencial total a las condiciones de diseño u operación.

2.9.8 MÁXIMA POTENCIA DEL IMPULSOR SELECCIONADO Y LA POTENCIA DEL ACCIONADOR

El tipo de accionador deberá tener capacidad para entregar la potencia total requerida por la bomba a las condiciones máximas de carga, capacidad, diámetro del impulsor seleccionado y velocidad de operación, incluyéndose las pérdidas de potencia debido a la transmisión (por engranes, cadenas, bandas, etc.) y/o acoplamientos (rígidos y flexibles).

2.9.9 TIPO DE CARCAZA Y MONTAJE

Las bombas de proceso con carcazas partidas radialmente son requeridas si cualesquiera de las siguientes condiciones de operación son especificadas:

- a) Temperatura de bombeo superior a los 478 °K (401 °F).

- b) Bombeo de líquidos tóxicos e inflamables con densidad relativa de por lo menos 0.7 especificado a la temperatura de bombeo.
- c) Bombeo de líquidos tóxicos e inflamables a presiones de descarga por encima de los 6.89 MPa.

Las bombas de proceso con carcazas partidas axialmente son aceptadas sólo con la aprobación específica del comprador y si las condiciones de operación son las siguientes:

- a) Temperaturas de bombeo inferiores a 478 °K (401 °F). El límite inferior debe ser determinado cuando un choque térmico sea probable.
- b) Líquidos tóxicos e inflamables cuya densidad relativa sea inferior a 0.7 especificada a la temperatura de bombeo.

Los espesores de las carcazas deben ser los adecuados para soportar la máxima presión de descarga, más las tolerancias en carga e incrementos en velocidad a la temperatura de bombeo, así como también, la presión hidrostática de prueba a la temperatura ambiente y deberá ser provisionada con 3.175 mm de sobre-espesor para tolerar la corrosión.

2.9.10 TIPO DE IMPULSOR

El tipo de impulsor de las bombas centrífugas puede ser determinado en función de cualquiera de las siguientes características:

- a) La cantidad de elementos ajenos al fluido, así como su tamaño y tipo.
- b) Los requerimientos de carga-capacidad que el impulsor debe desarrollar, sin incurrir en problemas de cavitación, debido a los límites de velocidad específica y condiciones de succión.

2.9.11 DIAMETRO DE IMPULSOR MAXIMO/OPERACION/MINIMO

El diámetro del impulsor de la bomba seleccionada, será aquel que operando a la velocidad nominal de la bomba cumpla con las condiciones de carga-capacidad especificadas en la hoja de datos.

2.9.12 TIPO DE VOLUTA

Los tipos de volutas de las cubiertas de las bombas centrífugas - son:

- a) Simple voluta.
- b) Doble voluta.

El desarrollo de las volutas se debió a los problemas que se presentaron tanto de fabricación y maquinado como de operación de las bombas centrífugas con caja espiral o corona directriz.

En los diseños de bombas de simple voluta actúan sobre el impulsor presiones uniformes o casi uniformes cuando la bomba opera a la capacidad de diseño. A capacidades diferentes, las presiones sobre el impulsor dejan de ser uniformes y existe una reacción resultante. Un intento por neutralizar las fuerzas de reacción sobre el impulsor lo constituye el diseño de cubierta de doble voluta.

2.9.13 BOQUILLAS DE SUCCION Y DESCARGA

Las boquillas de succión y descarga de las bombas centrífugas de proceso deberán cumplir con requerimientos especificados de:

- a) Diámetros.
- b) Tipos de Bridas.
- c) Clases ANSI de brida.
- d) Presión hidrostática de prueba.

2.9.14 COJINETES: RADIAL/AXIAL

Los cojinetes pueden dividirse en dos tipos principales: hidrodinámicos y antifriccionantes.

Los cojinetes hidrodinámicos son aquellos cuyo principio de operación está basado en la sustentación hidrodinámica que provoca la inyección del aceite dentro de la chumacera y hace que la flecha sea soportada por una finísima capa de aceite, evitando así el contacto de la flecha con el cojinete.

De los cojinetes hidrodinámicos radiales se tiene, como ejemplo de éstos, a los de mangas y zapatas basculantes o autoalineables y para los axiales solo se tiene a los de zapatas basculares de múltiples segmentos.

De los tipos de cojinetes antifricción, los radiales más usados son los de bolas y los de rodillos. Para los axiales se tienen a los de contacto angular en sus dos tipos: de bolas y rodillos.

2.9.15 TIPOS DE ACOPLAMIENTO

Existen en forma general dos tipos de acoplamiento de uso universal en las bombas centrífugas, éstos son:

- a) Rígido.
- b) Flexible.

Un acoplamiento que no permite movimientos relativos axiales o radiales entre la bomba y el accionador, lo podemos denominar rígido. Por otro lado, al que tolera o permite pequeños movimientos entre las flechas en cuestión se denomina flexible.

2.9.16 TIPOS DE SELLADO/CLAVE DE IDENTIFICACION DE SELLOS

La función de un dispositivo de sellado consiste en proteger a la

bomba contra el escurrimiento o entrada de aire en el punto donde la flecha atraviesa a la carcasa de la bomba.

Para realizar esta función, en la actualidad se cuenta con tres dispositivos fundamentales de sellado, los cuales son:

- a) Estoperos.
- b) Sellos mecánicos.
- c) Sellos de laberinto con inyección de líquido obturador.

2.9.17 PLAN API DE LAVADO Y ENFRIAMIENTO A SELLOS MECANICOS

El sistema de lavado y enfriamiento al sello, constituye un parámetro importante en la selección de las bombas centrífugas. Esta importancia radica en lo sencillo que puede resultar la destrucción del sello mecánico, si éste no está provisto de un plan adecuado. Existen diversos planes de lavado y enfriamiento a sellos, pero solo algunos han sido normalizados por el Instituto Americano del Petróleo (API). Estos planes son los que comúnmente se usan en las bombas centrífugas de proceso.

2.9.18 SISTEMA DE LUBRICACION

Sistema de lubricación forzada.

Si se requiere del sistema de lubricación para las bombas centrífugas de proceso, este deberá contar como mínimo con los siguientes componentes:

- a) Bomba principal de aceite.
- b) Válvula reguladora de presión.
- c) Filtro.
- d) Enfriador de aceite.
- e) Termómetro.

- f) Manómetro.
- g) Alarma por baja presión e interruptor de paro.
- h) Interruptor de arranque.
- i) Interruptor de la bomba auxiliar.
- j) Tubería de suministro y retorno.
- k) Indicador visual de flujo.
- l) Tanque reservador de aceite.
- m) Bomba auxiliar.
- n) Válvula check.
- ñ) Indicador de nivel.
- o) Válvula de relevo.
- p) Colador.
- q) Respiradero.

2.9.19 MATERIALES

Los materiales a usar en las bombas centrífugas de procesos deben ser determinados atendiendo a las condiciones específicas del servicio y las características del fluido por manejar (temperatura, pH, cantidad de sólidos contenidos, oxígeno disuelto etc.).

2.9.20 PRUEBAS NECESARIAS

Las pruebas más comúnmente practicadas a las bombas centrífugas de proceso son las siguientes:

- a) Prueba hidrostática.

Consiste en someter la cubierta de la bomba a una presión de 1.5 veces la presión máxima de trabajo (usando agua a una temperatura de 288 °K (60 °F)) por un periodo de tiempo suficiente como para revisar exhaustivamente todas las partes sujetas a presión.

La prueba será considerada como satisfactoria cuando el elemento de prueba sea observado por un periodo de 1/2 hora sin acusar fugas o goteos. Por último, debemos recordar que el equipo probado debe carecer de pintura o cualquier otro recubrimiento.

b) Prueba de comportamiento.

Consiste en operar la bomba usando agua por un periodo adecuado y suficiente como para registrar 5 puntos del comportamiento hidráulico de la bomba (carga, capacidad y potencia). Normalmente, estos puntos corresponden a valores interesantes como son: capacidad nula, capacidad mínima por protección térmica, valores comprendidos entre la mínima y de diseño y el 110 % de la capacidad de diseño. En esta misma prueba, deberán también registrarse amplitudes de vibración, temperaturas de los cojinetes, etc.

c) Pruebas de Carga Neta Positiva de Succión.

En esta prueba, se tomarán como mínimo cuatro puntos a las siguientes capacidades, capacidad mínima, capacidades comprendidas entre la mínima y de diseño, así como también al 110 % de la capacidad de diseño.

2.9.21 COSTO ANUAL DE OPERACION

Este parámetro es importante debido a que ayuda a la selección del equipo más eficiente y por consiguiente el de menor consumo de energía.

El C.A.O. puede determinarse por medio de la siguiente expresión:

$$C.A.O. = \frac{Na \ N \ C}{1.341 \ * \ Nm} \quad \dots \text{ (Ec. 2.37)}$$

en donde:

N_a = Potencia máxima de accionamiento de la bomba para el impulsor seleccionado.
 N = Horas anuales de operación.
 C = Costo de la unidad de energía (pesos/Kw-h)
 η_a = Rendimiento del accionador.
1.341 = Equivalencia del Hp y Kw.

Para el cálculo de este parámetro es importante hacer notar que el tiempo de operación anual sea lo más real posible.

2.9.22 COSTO TOTAL

El costo total del equipo deberá ser analizado bajo el mismo criterio en cuanto al contenido total del equipo para cada una de las - propuestas. En este costo, deberán incluirse flete estimado al sitio de obra, pruebas, empaque y cualquier otro elemento necesario. También resulta provechoso analizar la propuesta de partes de re- puesto para arranque y dos años de operación.

OPERACION DE BOMBAS CENTRIFUGAS EN SERIE Y EN PARALELO

3.1 INTRODUCCION

Cualquier tipo de conexión o cualquier clase de bomba puede presentar problemas. Frecuentemente, cuando la demanda es excesivamente variable, pueden operarse dos o más bombas en serie o en paralelo para satisfacer la demanda, usando una bomba para las demandas bajas. Para especificar correctamente las bombas y juzgar su comportamiento bajo varias condiciones, debe usarse la curva de carga del sistema en unión de las curvas características de las bombas compuestas.

Por ejemplo la operación satisfactoria de dos o más bombas centrífugas en paralelo depende de las características del sistema y de las bombas. Para determinar si las bombas existentes son adecuadas para operar en paralelo, deben conocerse las características de bombas y sistema en base a sus curvas.

Para bombas en serie el comportamiento se obtiene agregando las cargas a la misma capacidad. Cuando las bombas operan en paralelo el comportamiento se obtiene agregando las capacidades para la misma carga. El superponer la curva de carga del sistema sobre la curva característica H_m-Q de la bomba se aprecian claramente los gastos

que pueden esperarse y las cargas a que trabajará cada bomba.

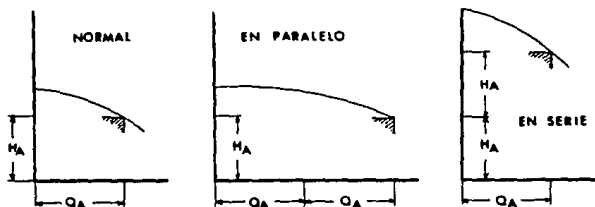


FIG 2.1 CURVAS H_m-Q PARA OPERACION DE BOMBAS EN SERIE Y EN PARALELO

3.2 OPERACION DE BOMBAS CENTRIFUGAS EN PARALELO.

Hay que tener extremo cuidado al especificar la capacidad de una bomba cuando la carga de la planta, el ritmo de producción o cualquier otro factor habrá de causar un cambio en la demanda del líquido. Las variaciones en la cantidad del líquido entregado influyen generalmente sobre la eficiencia de la bomba. Es práctica usual el elegir una bomba de manera que cuando opera a su capacidad normal su eficiencia se encuentra en el máximo o muy cerca de él. Cuando se requiere una región amplia de capacidad, la duración de los periodos de operación a varias capacidades hasta incluyendo la nominal, deben estudiarse cuidadosamente. Con la bomba centrífuga usual, un aumento en capacidad viene generalmente acompañado por una disminución en la carga desarrollada. Y puesto que la fricción de la tubería aumenta con la cantidad de gasto, la bomba puede no ser lo bastante potente para entregar la capacidad deseada debido a que no puede desarrollar suficiente carga. La operación excesiva de una bomba a capacidades mayores que la normal puede conducir a

dificultades de mantenimiento prematuras. Cuando una bomba opera una gran parte del tiempo a la capacidad nominal, con sobrecargas ocasionales, la duración del periodo de sobrecarga no es tan importante. Pero cuando las sobrecargas son excesivas, es prudente el considerar el uso de dos bombas en lugar de una.

El uso de dos bombas en lugar de una permite que cada una de ellas opere en su mejor región de eficiencia la mayor parte del tiempo. Aun cuando los costos iniciales pueden ser mayores, el costo de operación más bajo y la mayor flexibilidad ayudan a pagar la inversión adicional.

La operación en paralelo de las bombas es frecuentemente la mejor solución a un problema de variación de capacidad.

En general, las bombas recíprocas y rotatorias presentan menores problemas cuando se operan en paralelo que las bombas centrífugas. Una razón para esta diferencia es que la mayor parte de las bombas recíprocas y rotatorias son unidades de desplazamiento positivo, mientras que la capacidad de una bomba centrífuga varía con la carga que desarrolla, y además la carga de una bomba centrífuga es función del diseño del impulsor, velocidad y otros factores.

Los sistemas de bombeo industriales servidos por bombas centrífugas pueden ser ya sea del tipo estrangulado o no estrangulado. En el tipo estrangulado, el gasto (o capacidad) se ve controlado por el uso de una o más válvulas que disipan el exceso de carga desarrollado por las bombas. En sistemas no estrangulados, el flujo depende de la carga desarrollada y de las características normales del sistema.

Para el caso de que se requiera de un incremento en capacidad, se

propone el uso de dos bombas dispuestas en paralelo, como se muestra en la fig 3.2:

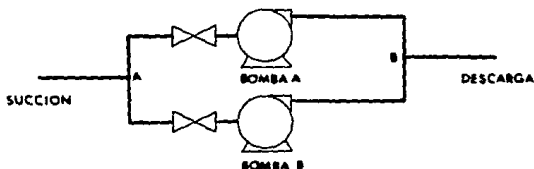


FIG. 3.2 ARREGLO DE BOMBAS OPERANDO EN PARALELO.

Cuando dos o más bombas operan en paralelo con una tubería como la mostrada, cada una tiene sus propias pérdidas de tuberías y accesorios, habiendo también pérdidas comunes a ambas bombas. En lugar de usar la curva verdadera H_m-Q , se usa una medida de A a B en estudios del sistema. Esta es la característica real de las bombas, menos la pérdida de la carga de tubería y accesorios de A a B. Generalmente, en el sistema estrangulado, particularmente en aplicaciones de carga elevadas tales como alimentación a calderas, las pérdidas en la tubería de cada bomba representan una parte tan pequeña de la carga total que pueden despreciarse.

La curva de operación del arreglo se lleva a cabo sumando las capacidades de cada bomba para iguales condiciones de carga. El resultado de esto se muestra en la gráfica 3.1.

El criterio de operación para el sistema de dos bombas operando en paralelo es el siguiente:

Si se supone que la demanda en capacidad es Q_{sc} , se tendría que cada una de las bombas estaría proporcionando una carga H_{sc} y sumi-

nistrando una capacidad unitaria igual a Q_{A1} y Q_{A2} respectivamente; de modo que la capacidad total del sistema para esa carga, sera la suma de las capacidades $Q_{C1} = Q_{A1} + Q_{A2}$.

Si la demanda en capacidad disminuyera hasta Q_{C2} , la bomba B descargaría el total de la capacidad para el sistema, mientras que la bomba A no podría descargar y por lo tanto quedaría fuera de la línea, trabajando en una situación de cierre, la cual es peligroso, aún por periodos de corta duración, todo lo anterior se muestra en la gráfica 3.1.

Esto se debe a que la bomba A para esa capacidad (Q_{C2}) no tiene definida una carga igual a la que puede proporcionar la bomba B, ya - que como se recordará la curva de operación en paralelo de las bombas A y B sólo está definida para iguales condiciones de carga, verificándose lo siguiente:

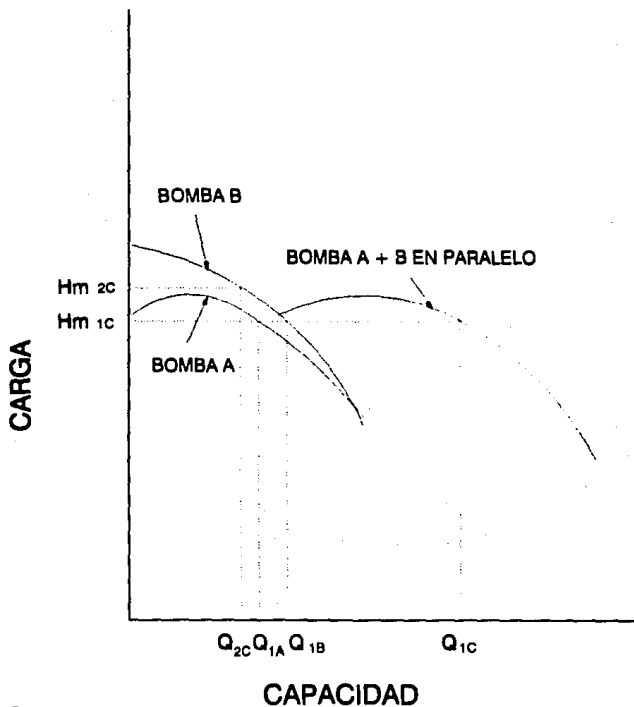
$$Q_C \text{ (total del sistema)} = Q_A + Q_B \quad \dots \text{ ec. (8.1)}$$

$$H_{MC} \text{ (total del sistema)} = H_{MA} = H_{MB} \quad \dots \text{ ec. (8.2)}$$

Para el caso que se está describiendo, las dos bombas no podrán ser operadas en paralelo para condiciones de capacidad inferiores a Q_{C2} pudiéndose operar sólo la bomba A ó la B, pero no ambas. Por lo tanto, para que las bombas operen satisfactoriamente en paralelo en un sistema como el citado anteriormente, es conveniente tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) Que las curvas de operación demuestren un comportamiento estable de la bomba (elevándose considerablemente hasta la condición de cierre).
- b) Que en toda la variación de carga de las bombas, tengan aproxima-

CURVAS CARACTERISTICAS Hm-Q DE UN ARREGLO DE BOMBAS OPERANDO EN PARALELO



GRAFICA 3.1

adadamente el mismo porcentaje de reducción en capacidad.

Generalmente dos o más bombas con características de carga capacidad estable y carga al cierre iguales o casi iguales, al operar en paralelo, tomarán la carga casi proporcionalmente, hasta una capacidad de diseño del sistema, muy por debajo de aquella a la que se-
carían de servicio a una o más bombas (ver gráfica 3.2).

En la gráfica 3.2 se pone de manifiesto la reducción de la capacidad (inferiores a Q_n) para los cuales la bomba A se sale de operación. Como puede observarse, el uso de bombas cuyo comportamiento es más estable que las presentadas en la gráfica 3.1, provoca un aumento en el rango de capacidades en que ambas pueden ser operadas. Este criterio es útil en la selección de cualquier bomba centrífuga.

3.3 OPERACION DE BOMBAS CENTRIFUGAS EN SERIE.

Ahora bien se analizará el caso en que en una instalación ya existente, se requiera de un incremento en la carga, para lo cual se propone el uso de dos bombas dispuestas en serie, como el mostrado en la fig 3.3

Y suponiendo que ambas bombas tienen curvas de comportamiento un poco diferentes.

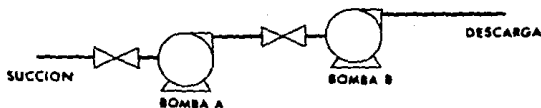
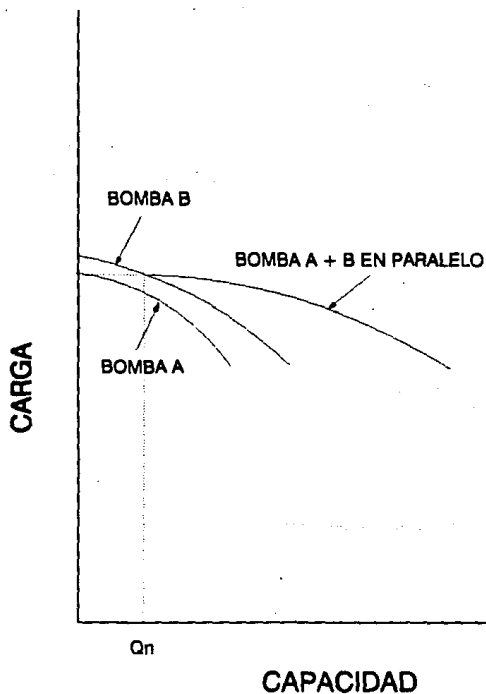


FIG. 3.3 ARRELO DE BOMBAS OPERANDO EN SERIE.

**CURVAS CARACTERISTICAS Hm-Q ESTABLES
DE UN ARREGLO DE BOMBAS
OPERANDO EN PARALELO**



GRAFICA 3.2

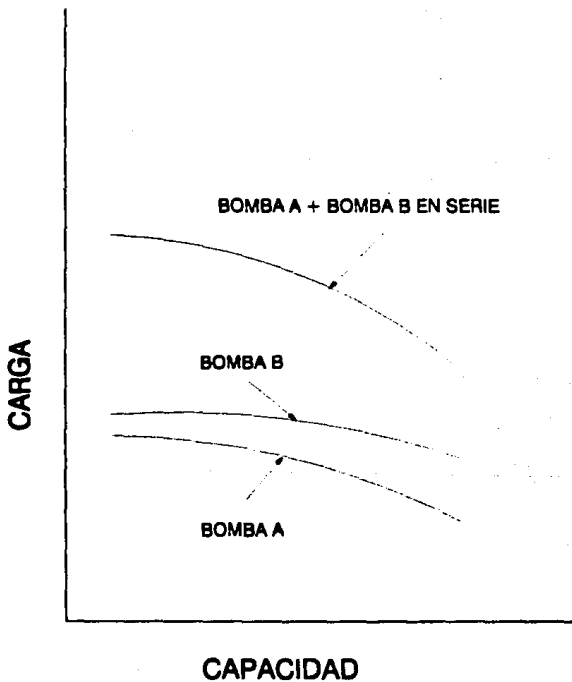
El trazado de la curva característica H_m-Q operando en serie se -
 lleva a cabo sumando las cargas de ambas bombas para la misma con-
 dición de capacidad. El resultado se muestra en la gráfica 3.3.
 La operación de las bombas deberá ser controlada, de modo que la ca-
 pacidad que cada una maneje sea igual a la de la otra. La razón de
 esto resulta obvio, ya que la tubería de interconexión no tiene for-
 ma alguna de almacenar líquido.
 Para evitar este problema, se provee a la instalación de medios de
 recirculación, para conducir el exceso de la descarga hacia la suc-
 ción de cada una de las bombas.
 Por todo lo anterior se verifica que para una operación en serie:

$$Q_c \text{ (total del sistema)} = Q_A = Q_B \quad \dots \text{Ec. (3.3)}$$

$$H_{mc} \text{ (total del sistema)} = H_{mA} + H_{mB} \quad \dots \text{Ec. (3.4)}$$

Una vez que se han generado las curvas de operación de este ar-
 reglo, se debe comprobar la compatibilidad de la bomba con el sis-
 tema.

CURVAS CARACTERISTICAS Hm-Q DE UN ARREGLO DE BOMBAS OPERANDO EN SERIE



GRAFICA 3.3

DISEÑO DEL EQUIPO REQUERIDO PARA LA PRACTICA

4.1 INTRODUCCION

La bomba centrífuga es una de las maquinas hidradlicas más usadas, es por ésto que los ingenieros deberán estar familiarizados con su operación y características de funcionamiento.

En muchas instalaciones se emplean más de una bomba centrífuga, operando en paralelo para altas cantidades de flujo o en serie para altas presiones de descarga.

Existe una gran variedad de equipos diseñados especialmente para la realización de prácticas de ingeniería, encaminadas a la obtención de las curvas características de las bombas centrífugas, y en los cuales, se incluyen adicionalmente su operación en serie y paralelo. Entre estos equipos se encuentran los modelos: TE 83 Two-stage Centrifugal Pump Test Set de la Compañía Inglesa PLINT & PARTNER LTD ENGINEERS y 6H 75 Parallel-Series Centrifugal Pump Test Set de la compañía Inglesa GILBERT GILKES & GORDON LTD. Los modelos anteriores fueron de mucha ayuda para el diseño del equipo instalado en el laboratorio, al igual que lo fue el sistema de bombeo que se encuentra en el Laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad Nacional Autónoma de México.

4.2 DESCRIPCION

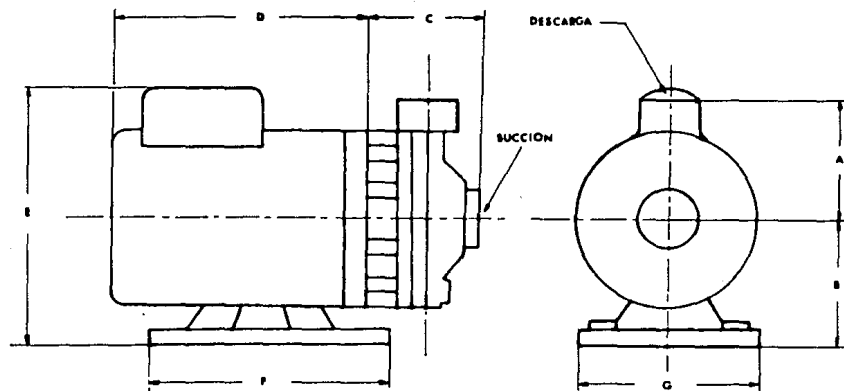
El equipo instalado en el Laboratorio de Ingeniería Química, consta básicamente de dos bombas centrífugas idénticas, montadas sobre una estructura de tubo de perfil cuadrado, en el que se soporta la fuente de abastecimiento, la cual consiste en una cesta de plástico, de la que se succiona el agua, y a la cual es recirculada después de pasar por un arreglo de tubería y válvulas que permiten la operación de una u otra bomba, o bien la de ambas trabajando en serie o paralelo (ver DIBUJO 4.1 Isométrico de tubería).

Ambas bombas de 0.25 HP marca bomvsa, se encuentran acopladas directamente a motores Siemens de 127 volts, cada una de ellas tiene conexiones para tubería de aspiración de 25 mm y de descarga de 19 mm (ver DIBUJO 4.2 Dimensiones de las bombas centrífugas utilizadas en la práctica).

Según características de fábrica cada bomba cuenta a su vez, con un gasto normal de 40 lpm, y una altura máxima permisible de 16 m.

La estructura sobre la que se encuentran montadas, está construida con tubo de perfil cuadrado de 19 mm, y cuyas dimensiones son de 1.0 m de largo, 60 cm de ancho y 75 cm de alto. En su parte superior cuenta con una cubierta de madera de 25 mm de espesor, la cual está fijada a la estructura metálica con tornillos y tuercas.

La cesta de plástico es cerrada, con asas metálicas, y medidas: - 77.19 cm de largo, 44.7 cm de ancho, 35 cm de alto y una capacidad de 92 litros. Se llena con agua por medio de un tramo de tubería, que está conectado directamente a la instalación hidráulica del laboratorio por medio de una llave de paso. Para permitir la salida del agua de la cesta, se tiene conectada una llave de desagüe direc



DIMENSIONES (mm)												
BOMBUSA	GASTO NOR.	CARGA MAX.	POTEN.	DIAM. SUCC.	DIAM. DESC.	A	B	C	D	E	F	G
	40 lpm	16 m	1/4 HP	25	19	110	85	97	192	220	100	160

BIBUJO No. 4.2 U.I.S.A.
 DIMENSIONES DE LAS BOMBAS CENTRIFUGAS UTILIZADAS EN LA PRACTICA (0.25HP)

ta al drenaje.

Toda la instalación del equipo fue construida con tubería y accesorios de cobre. Cada bomba cuenta con dos tuercas unión, una a la succión y otra a la descarga, a fin de poder montar y desmontar la bomba sin problemas alguno, también cuentan con una Y a la descarga para poder cebar la bomba, y una válvula de pie con colador en la succión (pichancha), para evitar el regreso del líquido, cuando la bomba no este operando.

Con el objeto de poder lograr la operación normal de cada bomba y la de ambas en serie o paralelo, se encuentran instaladas un total de seis válvulas de compuerta, conectadas de la siguiente manera: para cada una de las bombas, una de 25 mm y otra de 19 mm en la succión y descarga respectivamente. Otra válvula está conectada en el tramo de tubería que une la descarga de una, con la succión de la otra.

Dado que el objetivo central del equipo es la obtención de las curvas características H_m-Q para los cuatro sistemas propuestos, el equipo cuenta con una válvula de compuerta de 19 mm, conectada en la línea común de descarga de ambas bombas, y cuya función es la regulación del gasto en cada uno de los arreglos. Este gasto es indicado en un medidor del tipo velocidad chorro múltiple de lectura directa, colocado después de la válvula y el cual cuenta con conexiones roscaadas de 20 mm y gasto nominal de fabrica de 5 m³.

Para indicar las presiones de succión, se encuentran instalados a la entrada de cada bomba, un manovacúmetro de 6 pulg., con conexión inferior de 13 mm NPT, y rango de 760 mm Hg-0-1 Kg/cm².

A su vez, para indicar las presiones de descarga, se conectan a la

salida de cada bomba un manómetro de iguales dimensiones pero con -
rango de 0-2 Kg/cm².

Un manómetro más es conectado a 77 cm del nivel de aspiración de las bombas, en la línea común de descarga, y antes de la válvula reguladora de gasto, con un rango de 0-4 Kg/cm².

Con el fin de facilitar la explicación de la técnica de operación - del equipo, y reporte de cálculos y resultados, se encuentra necesario dar una denominación a cada uno de los elementos que de alguna manera, puedan llegar a provocar confusión entre sí, tal es el caso de las bombas mismas, las válvulas y los manómetros.

Es de esta manera que designamos a la bomba colocada a la derecha como bomba A, y a la montada a su lado, como bomba B.

Las válvulas son identificadas de la siguiente manera:

Válvula 1: válvula de comp. conectada a la succión de la bomba A.

Válvula 2: válvula de comp. conectada a la descarga de la bomba A.

Válvula 3: válvula de comp. conectada a la succión de la bomba B.

Válvula 4: válvula de comp. conectada a la descarga de la bomba B.

Válvula 5: válvula de compuerta de 19 mm, conectada en el tramo de tubería, que une la descarga de la bomba A con la succión de la - bomba B.

Válvula 6: válvula de comp. conectada en la línea común de descarga de las bombas, y la cual es encargada de regular el gasto.

Los manómetros son identificados de la siguiente manera:

Manómetro 1: manovacúmetro conectado a la succión de la bomba A.

Manómetro 2: manómetro conectado a la descarga de la bomba A.

Manómetro 3: manovacúmetro conectado a la succión de la bomba B.

Manómetro 4: manómetro conectado a la descarga de la bomba B.

Manómetro 5: manómetro conectado en la línea común de descarga de las bombas, antes de la válvula 6.

Las denominaciones hechas anteriormente, pueden ser apreciadas con mayor facilidad en los siguientes dibujos:

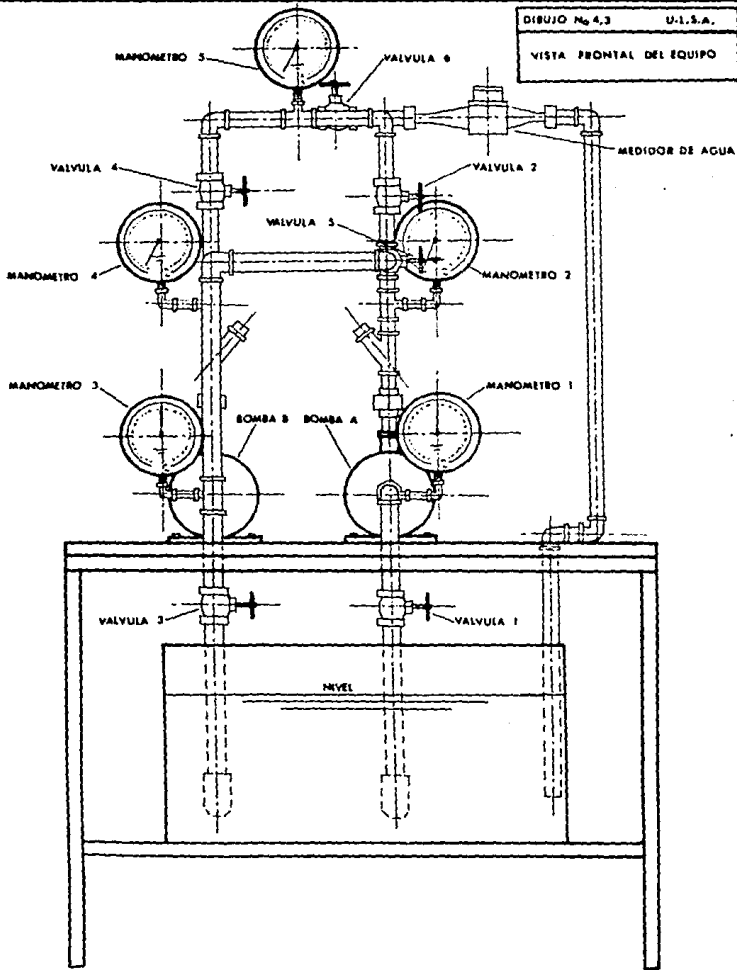
DIBUJO 4.3 Vista frontal del equipo.

DIBUJO 4.4 Vista lateral del equipo.

DIBUJO No 4,3

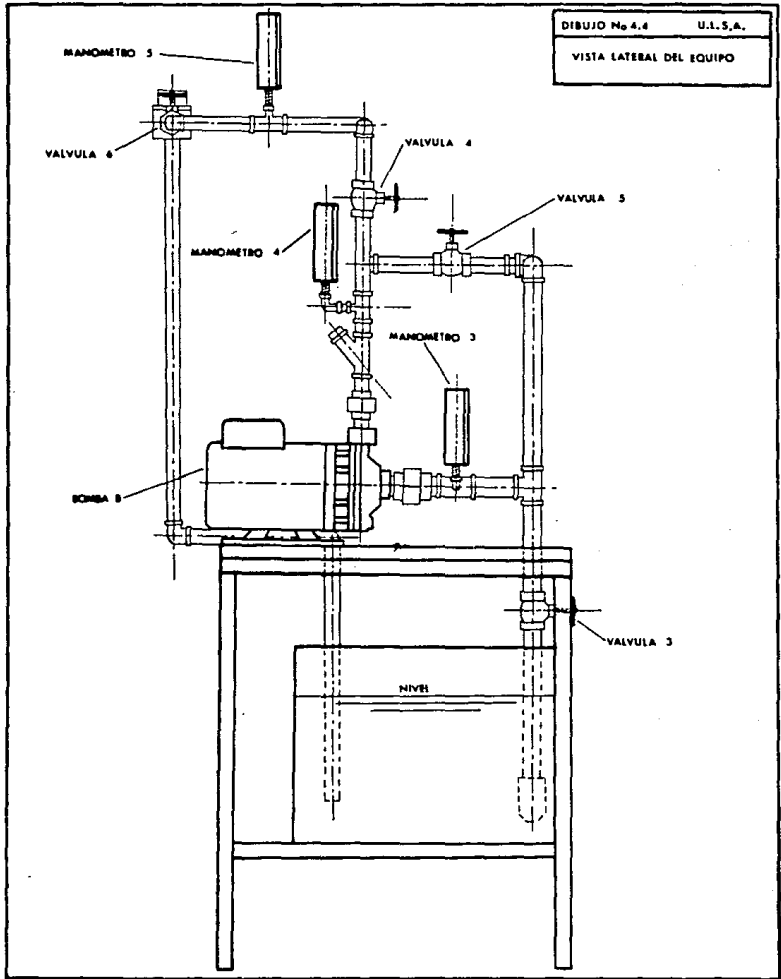
U.I.S.A.

VISTA FRONTAL DEL EQUIPO



ESTA TESTE M8
SALIR DE LA BOMBINA

DIBUJO No 4.4 U.I.S.A.
VISTA LATERAL DEL EQUIPO



RESULTADOS EXPERIMENTALES

5.1 CALCULO DE LA CARGA H_m EN m CON LA VALVULA 6 TOTALMENTE ABIERTA Y PARA EL PRIMER ARREGLO: OPERACION NORMAL BOMBA A.

El arreglo para la bomba A en operación normal con la válvula 6 totalmente abierta, reportó los siguientes datos experimentales:

Capacidad = 49.0 LPM

Presión registrada en manómetro 1 = - 12 cm-Hg (colocado a nivel del eje de la máquina).

Presión registrada en manómetro 2 = 1.16 Kg/cm² (colocado 0.35 m por encima del eje de la máquina).

Presión registrada en manómetro 3 = 0.95 Kg/cm² (colocado 0.77 m por encima del eje de la máquina).

Aplicando la primera expresión de la carga total:

$$H_m = \frac{P_s - P_e}{\rho} + Z_s - Z_e + \frac{V_s^2 - V_e^2}{2g} \quad \dots \text{ (Ec. 2.7)}$$

podemos obtener la carga H_m para una capacidad Q dada y así obtener un punto en la curva característica H_m-Q de la bomba.

• Las tablas reportan los siguientes datos:

D_e = Diámetro nominal de aspiración = 25 mm ó 0.025 m CED. 40:

Diámetro interno = 1.049 in = 0.026644 m

Área interna = 0.864 in² = 0.0005574 m²

D_s = Diámetro nominal de descarga = 19 mm ó 0.019 m CED. 40:

Diámetro interno = 0.824 in = 0.02092 m

Área interna = 0.533 in² = 0.0003438 m²

g = 9.81 m/seg²

ρ del agua a temperatura ambiente = 1000 Kg/m³

• Factores de conversión:

1 cm-Hg = 135.92 Kg/m²

1 Kg/cm² = 10000 Kg/m²

1 LPM = 0.000016 m³/seg

Para aplicar la primera expresión de la carga total, se fija la presión de salida de la bomba igual a la presión registrada en el manómetro S situado a 0.77 m por encima del eje de la máquina.

Obtención de la capacidad en m³/seg:

$$Q = 49 \text{ LPM} \left[\frac{0.000016 \text{ m}^3/\text{seg}}{1 \text{ LPM}} \right] = 0.000784 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Obtención de la presión a la entrada de la bomba en Kg/m², registrada en el manómetro 1:

$$P_e = -12 \text{ cm-Hg} \left[\frac{135.92 \text{ Kg/m}^2}{1 \text{ cm-Hg}} \right] = -1631.04 \text{ Kg/m}^2$$

Obtención de la presión a la salida de la bomba en Kg/m², registrada en el manómetro 5:

$$P_s = 0.95 \text{ Kg/cm}^2 \left[\frac{1000 \text{ Kg/m}^2}{1 \text{ Kg/cm}^2} \right] = 9500 \text{ Kg/m}^2$$

Obtención de la velocidad a la entrada de la bomba:

$$V_e = \frac{4 Q}{\pi D_e^2} = \frac{4 (0.000784 \text{ m}^3/\text{seg})}{\pi (0.026644 \text{ m})^2} = 1.4065 \text{ m/seg}$$

Obtención de la velocidad a la salida de la bomba:

$$V_s = \frac{4 Q}{\pi D_s^2} = \frac{4 (0.000784 \text{ m}^3/\text{seg})}{\pi (0.02092 \text{ m})^2} = 2.2790 \text{ m/seg}$$

Obtención de cada uno de los términos de la primera expresión de la carga total:

$$\frac{P_s - P_e}{\rho} = \frac{9500 \text{ Kg/m}^2 - (-1631.04 \text{ Kg/m}^2)}{1000 \text{ Kg/m}^3} = 11.13 \text{ m}$$

$$Z_s - Z_e = 0.77 \text{ m} - 0 \text{ m} = 0.77 \text{ m}$$

$$\frac{V_s^2 - V_e^2}{2g} = \frac{(2.2790 \text{ m/seg})^2 - (1.4065 \text{ m/seg})^2}{19.62 \text{ m/seg}^2} = 0.1638 \text{ m}$$

Obtención de la carga total H_m en m:

$$H_m = 11.13 \text{ m} + 0.77 \text{ m} + 0.1638 = 12.06 \text{ m}$$

$$\underline{H_m = 12.06 \text{ m}}$$

Con la H_m calculada para una Q dada, obtenemos un punto en la curva característica H_m-Q de la bomba A.

5.2 BASES PARA EL CALCULO Y OBTENCION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS H_m-Q EN CUATRO ARREGLOS PROPUESTOS:

- * OPERACION NORMAL BOMBA A
- * OPERACION NORMAL BOMBA B
- * OPERACION EN PARALELO BOMBA A + BOMBA B
- * OPERACION EN SERIE BOMBA A + BOMBA B

De igual forma que en 5.1, se encuentran todos los puntos de la curva característica H_m-Q para cada arreglo. La variación de la capacidad por medio de la válvula δ implica la obtención de las lecturas de presión de entrada y salida necesarias para el calculo de la carga.

Las presiones de entrada (P_e) y las de salida (P_s) que deberán ser sustituidas en la primera expresión de la carga total en cada uno de los arreglos, son las registradas en los siguientes manómetros:

Operación normal bomba A:

P_e = manómetro 1

P_s = manómetro 5

Operación normal bomba B:

P_e = manómetro 3

P_s = manómetro 5

Operación en paralelo bomba A + bomba B:

P_e = manómetro 1 = manómetro 3

P_s = manómetro 5

Operación en serie bomba A + bomba B:

P_e = manómetro 1

P_s = manómetro 5

5.3 TABULACION DE RESULTADOS EXPERIMENTALES Y OBTENCION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS H_m-Q DE LAS BOMBAS.

a) TABULACIONES:

TABLA No. 5.1: Operación normal de la bomba A

TABLA No. 5.2: Operación normal de la bomba B

TABLA No. 5.3: Operación bomba A + bomba B en paralelo

TABLA No. 5.4: Operación bomba A + bomba B en serie

b) CURVAS CARGA-CAPACIDAD:

GRAFICA 5.1: Operación normal bomba A

GRAFICA 5.2: Operación normal bomba B

GRAFICA 5.3: Operación bomba A + bomba B en paralelo

GRAFICA 5.4: Operación bomba A + bomba B en serie

GRAFICA 5.5: Comparativa de operación normal, en serie y paralelo de ambas bombas.

UNIVERSIDAD LA SALLE
TABULACION DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

Tabla No.: 5.1

ASPECTO: OPERACION NORMAL DE LA BOMBA A

LUGAR DE OBTENCION: LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA DE LA UNIVERSIDAD LA SALLE

Capacidad (lpm)	Presion registrada Manometro 1	Presion registrada Manometro 2	Presion registrada Manometro 3	Presion registrada Manometro 4	Presion registrada Manometro 5	Carga calculada (m)
6.5	- 5 cm-Hg	1.62 kg/cm ²	-	-	1.5 kg/cm ²	16.45
13.5	- 5 cm-Hg	1.54 kg/cm ²	-	-	1.4 kg/cm ²	15.46
23.8	- 6 cm-Hg	1.44 kg/cm ²	-	-	1.3 kg/cm ²	14.62
31.5	- 8 cm-Hg	1.36 kg/cm ²	-	-	1.2 kg/cm ²	13.92
39.5	- 10 cm-Hg	1.26 kg/cm ²	-	-	1.1 kg/cm ²	13.23
45.8	- 11 cm-Hg	1.18 kg/cm ²	-	-	1.0 kg/cm ²	12.40
49.8	- 12 cm-Hg	1.15 kg/cm ²	-	-	0.95 kg/cm ²	12.06

UNIVERSIDAD LA SALLE

TABULACION DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

TABLA No.: 5.2

ASIGNATURA: OPERACIONES UNITARIAS DE LA INDUSTRIA Q

LUGAR DE OBTENCION: LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA DE LA UNIVERSIDAD LA SALLE

Capacidad [lpm]	Presion registrada Manometro 1	Presion registrada Manometro 2	Presion registrada Manometro 3	Presion registrada Manometro 4	Presion registrada Manometro 5	Carga calculada [m]
5.6	-	-	- 4 cm-Hg	1.68 kg/cm ²	1.55 kg/cm ²	16.81
12.5	-	-	- 4 cm-Hg	1.63 kg/cm ²	1.5 kg/cm ²	16.32
21.5	-	-	- 5 cm-Hg	1.54 kg/cm ²	1.4 kg/cm ²	15.48
30.8	-	-	- 6 cm-Hg	1.46 kg/cm ²	1.3 kg/cm ²	14.64
38.8	-	-	- 8 cm-Hg	1.36 kg/cm ²	1.2 kg/cm ²	13.95
46.5	-	-	- 9 cm-Hg	1.28 kg/cm ²	1.1 kg/cm ²	13.14
58.8	-	-	- 11 cm-Hg	1.24 kg/cm ²	1.05 kg/cm ²	12.93

UNIVERSIDAD LA SALLE

TABULACION DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

TABLA No.: 3.3

ASPECTO: OPERACION DORN A + DORN B EN PARALELO

LUGAR DE OBTENCION: LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA DE LA UNIVERSIDAD LA SALLE

Capacidad (l por)	Presion registrada Manometro 1	Presion registrada Manometro 2	Presion registrada Manometro 3	Presion registrada Manometro 4	Presion registrada Manometro 5	Carga calculada (n l)
6.8	- 5 ca-ty	1.68 kg/cm ²	- 4 ca-ty	1.68 kg/cm ²	1.55 kg/cm ²	16.95
16.8	- 5 ca-ty	1.63 kg/cm ²	- 5 ca-ty	1.63 kg/cm ²	1.5 kg/cm ²	16.46
24.8	- 5 ca-ty	1.58 kg/cm ²	- 5 ca-ty	1.58 kg/cm ²	1.45 kg/cm ²	15.98
38.8	- 5 ca-ty	1.54 kg/cm ²	- 5 ca-ty	1.54 kg/cm ²	1.4 kg/cm ²	15.51
41.8	- 6 ca-ty	1.51 kg/cm ²	- 6 ca-ty	1.51 kg/cm ²	1.35 kg/cm ²	15.28
47.8	- 6 ca-ty	1.48 kg/cm ²	- 6 ca-ty	1.48 kg/cm ²	1.3 kg/cm ²	14.73
53.5	- 6 ca-ty	1.44 kg/cm ²	- 7 ca-ty	1.44 kg/cm ²	1.25 kg/cm ²	14.41

UNIVERSIDAD LA SALLE
TABULACION DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

TINELA No.: 3.4

OPERACION: OPERACION DOPHA A + DOPHA B EN SERIE

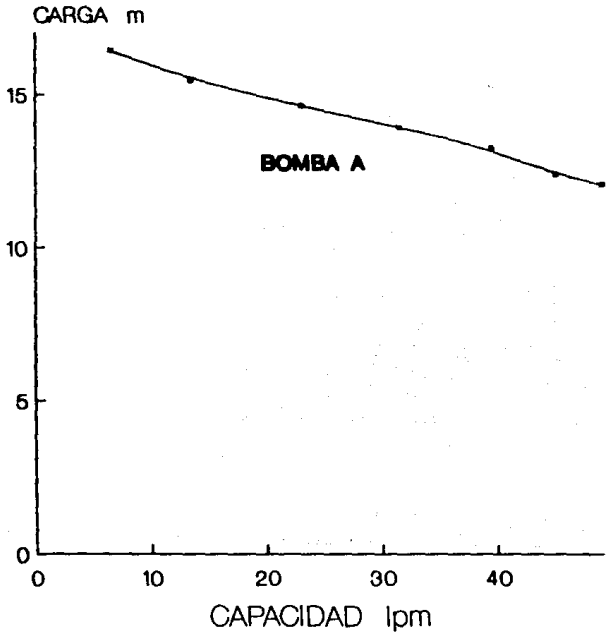
LUGAR DE OBTENCION: LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA DE LA UNIVERSIDAD LA SALLE

Capacidad (lpm)	Presion registrada Manometro 1	Presion registrada Manometro 2	Presion registrada Manometro 3	Presion registrada Manometro 4	Presion registrada Manometro 5	Carga calculada (m)
15.0	- 5 cm Hg	1.50 kg/cm ²	•	•	3.0 kg/cm ²	31.06
20.0	- 6 cm Hg	1.46 kg/cm ²	•	•	2.9 kg/cm ²	30.61
23.5	- 6 cm Hg	1.40 kg/cm ²	•	•	2.8 kg/cm ²	29.62
29.0	- 7 cm Hg	1.24 kg/cm ²	•	•	2.7 kg/cm ²	28.77
32.5	- 7 cm Hg	1.30 kg/cm ²	•	•	2.6 kg/cm ²	27.79
37.0	- 8 cm Hg	1.26 kg/cm ²	•	•	2.5 kg/cm ²	26.95
43.0	- 10 cm Hg	1.16 kg/cm ²	•	•	2.3 kg/cm ²	25.25
47.0	- 11 cm Hg	1.12 kg/cm ²	•	•	2.2 kg/cm ²	24.41
51.0	- 12 cm Hg	1.06 kg/cm ²	0.96 kg/cm ²	•	2.1 kg/cm ²	23.57
53.0	- 13 cm Hg	1.02 kg/cm ²	0.91 kg/cm ²	•	2.0 kg/cm ²	22.72
56.0	- 14 cm Hg	0.96 kg/cm ²	0.85 kg/cm ²	•	1.9 kg/cm ²	21.88
59.5	- 15 cm Hg	0.92 kg/cm ²	0.79 kg/cm ²	•	1.8 kg/cm ²	21.05
62.0	- 16 cm Hg	0.86 kg/cm ²	0.73 kg/cm ²	1.90 kg/cm ²	1.7 kg/cm ²	20.20
65.0	- 17 cm Hg	0.83 kg/cm ²	0.68 kg/cm ²	1.90 kg/cm ²	1.6 kg/cm ²	19.36

NOTAS: • Lectura de Presion en el Manometro 3 superior a 1 kg/cm²
• Lectura de Presion en el Manometro 4 superior a 2 kg/cm²

CURVA CARGA-CAPACIDAD

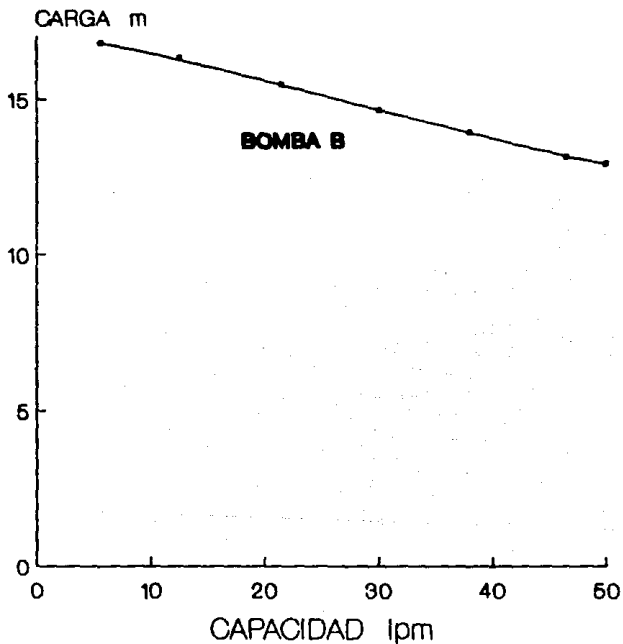
OSTENSION EXPERIMENTAL DE LA CURVA H_m-Q
OPERACION NORMAL DE LA BOMBA A



GRAFICA 5.1

CURVA CARGA-CAPACIDAD

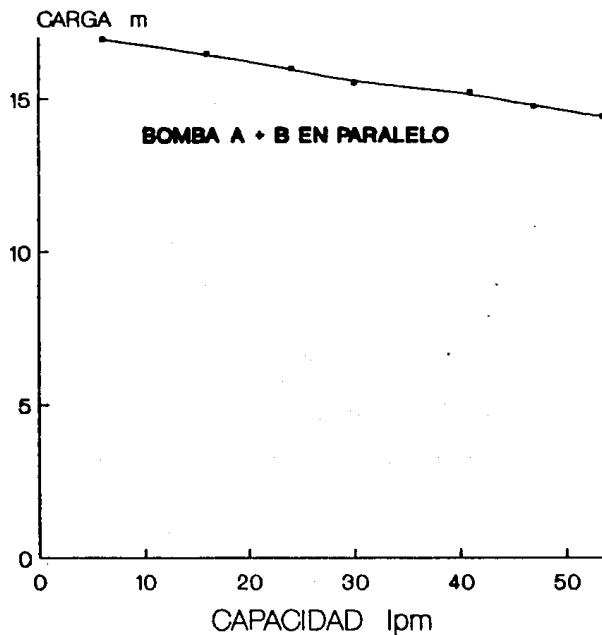
OSTENSION EXPERIMENTAL DE LA CURVA H_m-Q
OPERACION NORMAL DE LA BOMBA B



GRAFICA 5.2

CURVA CARGA-CAPACIDAD

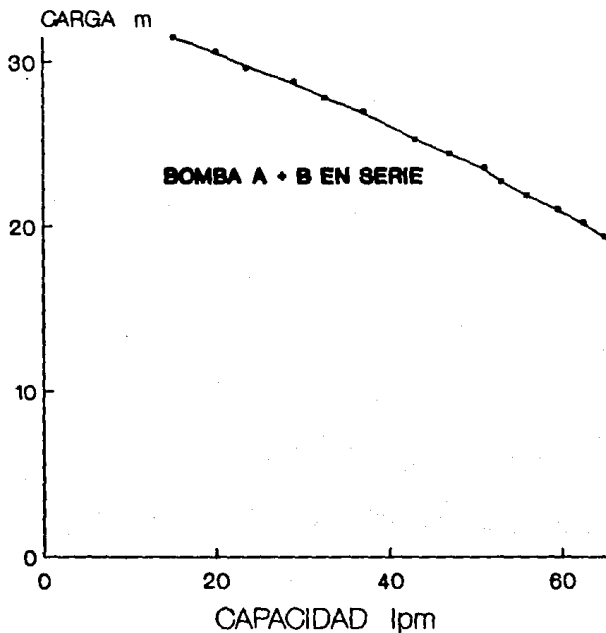
OBTENCION EXPERIMENTAL DE LA CURVA H_m-Q
OPERACION DE BOMBAS A + B EN PARALELO



GRAFICA 5.3

CURVA CARGA-CAPACIDAD

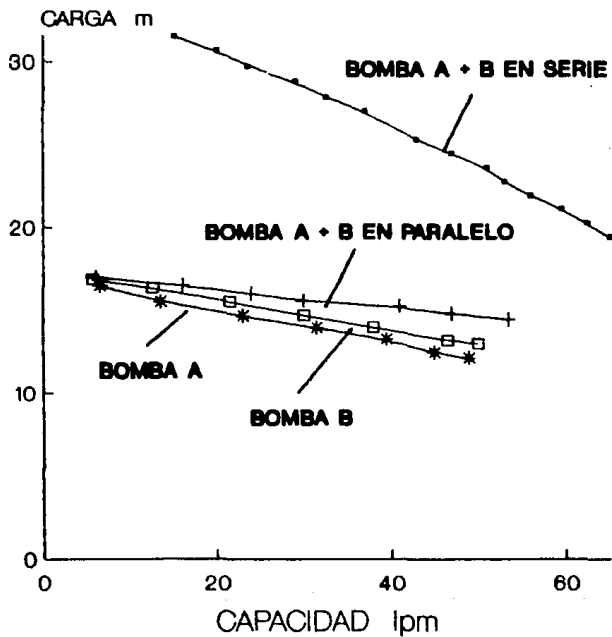
OSTENSION EXPERIMENTAL DE LA CURVA Hm-Q
OPERACION DE BOMBAS A + B EN SERIE



GRAFICA 5.4

CURVAS CARGA-CAPACIDAD

CURVAS H_m-Q EXPERIMENTALES OPERACION
NORMAL, EN SERIE Y EN PARALELO



GRAFICA 5.5

DISEÑO DE LA PRACTICA

OPERACION DE BOMBAS CENTRIFUGAS EN SERIE Y EN PARALELO

6.1 OBJETIVOS

Estudio general del funcionamiento y comportamiento de una bomba - el cual incluye definición, clasificación, tipos de bombas, elementos constitutivos, características principales de un sistema hidráulico e interrelaciones más importantes.

Análisis de las necesidades y relaciones que implican tener un sistema de bombeo, operado con una sola bomba, o bien con dos o más - trabajando en serie o paralelo, en base a sus curvas características

Obtención experimental de la curva característica H_s-Q de una bomba centrífuga y las de su operación en serie y en paralelo.

Estudio y operación correcta del equipo instalado en el Laboratorio de la Universidad la Salle requerido para la realización de esta - práctica.

6.2 INTRODUCCION

6.2.1 DEFINICION, CLASIFICACION Y TIPOS

Una bomba es una turbomáquina generadora para líquidos. La bomba

absorbe energía mecánica y restituye al líquido que la atraviesa, - energía hidráulica (Mataix). Las bombas se emplean para transportar una gran diversidad de líquidos tales como agua, ácidos, aceites, - hasta incluso melazas y fangos.

La clasificación general de las bombas, así como sus principales tipos se encuentran en el cuadro sinóptico 6.1.

6.2.2 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UNA BOMBA CENTRIFUGA

En su forma más sencilla, los elementos constitutivos de una bomba centrífuga son los siguientes:

a) Rodete o impulsor. El rodete consiste en un cierto número de alabes o paletas, abiertos o encerrados en una corona, montados sobre un eje que sobresale de la carcasa. El rodete es la pieza que imparte la energía cinética y energía de presión.

b) Carcasa. La función principal de la carcasa es dar dirección al flujo del rodete. Por un pasaje en espiral y transformar la energía dinámica en energía de presión.

c) Flecha. Transmite la potencia del motor al rodete o impulsor al mismo tiempo que indica el movimiento del fluido.

6.2.3 CARACTERÍSTICAS DE UNA BOMBA CENTRIFUGA

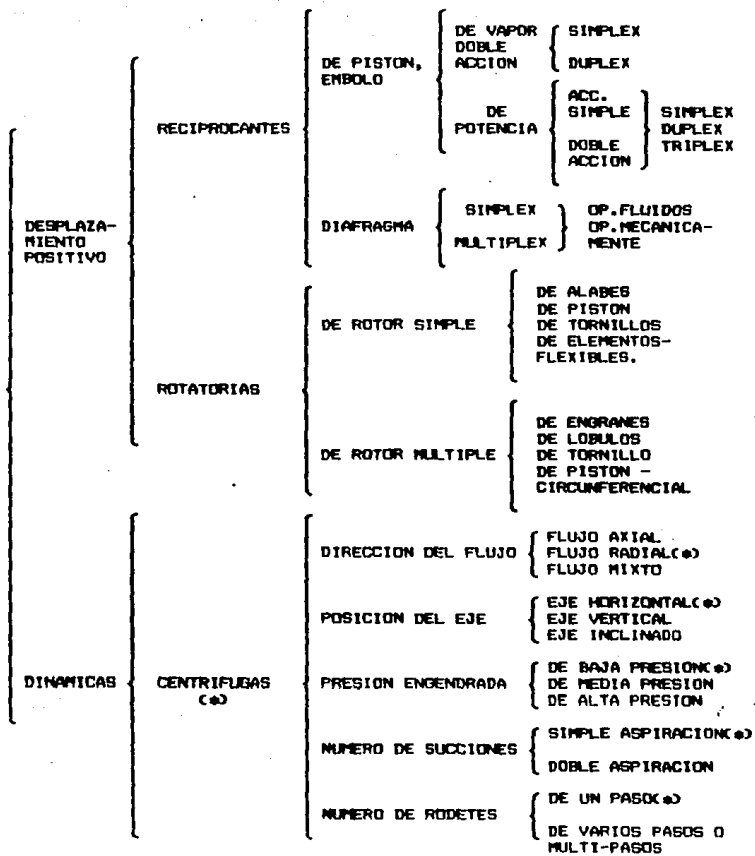
a) Características del fluido por manejar.

Entre estas características se puede citar el pH, la viscosidad y presión de vaporización a la temperatura a que se verifica el bombeo, la gravedad específica o densidad relativa, la cantidad de oxígeno disuelto y cualquier otra sustancia.

b) Características del sistema hidráulico.

De las cuales se puede mencionar la carga total que la bomba debe

B
O
M
B
A
S



(☉) UBICACION DE LAS BOMBAS UTILIZADAS EN LA PRACTICA.

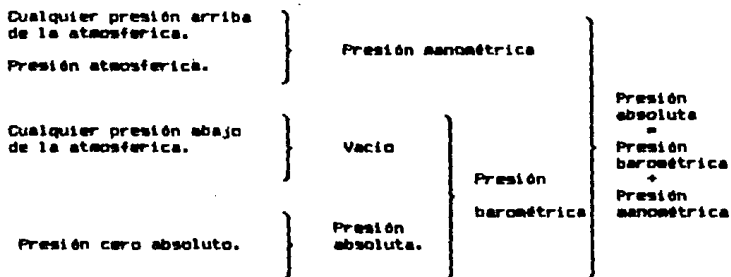
CUADRO SINOPTICO 6.1 CLASIFICACION DE LAS BOMBAS.

desarrollar en el sistema, la capacidad que la bomba debe manejar, cuya cantidad es determinada por las necesidades de fluido para el proceso, la carga neta positiva de succión disponible (C.N.P.S.D.), la potencia, rendimiento o eficiencia, etc.

c) Características constructivas de la bomba.

Dentro de estas características se puede citar que la bomba sea horizontal o vertical, de un paso o multipasos; de doble o simple aspiración, con impulsor abierto o cerrado; de flujo radial, axial o mixto; con simple o doble voluta, con o sin corona directriz; - con o sin cono difusor, con bridas laterales o en posición superior y tipo de caras.

TIPOS DE PRESION



CUADRO SINOPTICO 6.2 TIPOS DE PRESION

6.2.4 CARACTERISTICAS DEL SISTEMA HIDRAULICO

CAPACIDAD

La capacidad o gasto de una bomba se expresa como una medida del volumen de líquido manejado por unidad de tiempo, como los litros por minuto o barriles por hora.

CARGA

Carga estática.

Es la altura, expresada en metros de líquido, de la columna de fluido que actúa sobre la succión (entrada) o descarga (salida) de una bomba.

Elevación estática de succión y carga estática de succión.

Se denomina elevación estática de succión a la distancia entre el nivel del líquido a bombear y el eje central de la bomba, sólo en el caso de que la bomba se encuentre arriba del nivel libre de bombeo. Si la bomba se encuentra abajo del nivel libre de bombeo, la distancia entre el nivel del líquido y el eje central de la bomba se denomina carga estática de succión.

Carga estática de descarga.

Es la distancia vertical entre el eje central de la bomba y el punto de entrega libre del líquido.

Carga estática total.

Es la distancia vertical entre los niveles de succión y de descarga.

Carga de fricción.

Es la columna, en metros del líquido que se maneja, equivalente y necesaria para vencer la resistencia de las tuberías de succión, - descarga y sus accesorios.

Carga de velocidad.

La carga de velocidad es la distancia de caída necesaria para que un líquido adquiera una velocidad dada.

Elevación de succión.

Es la suma de la elevación estática de succión de la carga de fricción de succión total y de las pérdidas de admisión.

Carga de succión.

Es la carga estática de succión menos la carga de fricción total y las pérdidas de admisión, más cualquier presión que se encuentre en la línea de succión.

Carga de descarga.

Es la suma de la carga de descarga estática, de la carga de fricción de descarga y de la carga de velocidad de descarga.

Carga total.

Es la suma de las cargas de elevación de succión y descarga.

Cuando hay una columna de succión, la carga total de la bomba es la diferencia entre las cargas de succión y descarga.

TRABAJO DE BOMBEO.

Primera expresión de la carga total.

Si se define la carga total como la diferencia de energías entre la salida y la entrada de la bomba. Esta diferencia es la energía específica útil comunicada por la bomba al fluido.

$$H_b = \frac{P_s - P_e}{\rho} + Z_s - Z_e + \frac{V_s^2 - V_e^2}{2g} \dots (\text{Ec } 2.7)$$

La carga total es igual al incremento de presión que experimenta el fluido en la bomba más el incremento de carga geodésica más el incremento de carga dinámica.

Segunda expresión de la carga total.

$$H_b = \frac{P_s - P_s}{\rho} + Z_2 - Z_1 + H_{ra} + H_{ri} + \frac{V_d^2}{2g} \dots (\text{Ec } 2.14)$$

- H_{ra} = Pérdida total exterior de la bomba.
- H_{ra} = Pérdida de la tubería de aspiración.
- H_{ri} = Pérdida de la tubería de impulsión.

$$\frac{Vd^4}{2g} = \text{Pérdida secundaria en el desagüe a el depósito.}$$

C.M.P.S. CARGA META POSITIVA DE SUCCION.

Es la presión por encima de la presión de vapor de un líquido medido en el punto de succión.

C.M.P.S Disponible.

Varía directamente con la carga de succión o elevación, la carga de fricción, y la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo.

C.M.P.S. Requerido.

Esta depende sólo del diseño de la bomba, y se obtiene del fabricante para cada bomba en particular, según su tipo, modelo, capacidad y velocidad.

POTENCIA

Potencia hidráulica.

Es el trabajo neto necesario para poder pasar de unas condiciones dadas a otras en un tiempo determinado.

$$N_h = \frac{Q H_m \rho}{75} \quad \text{C.V.} \quad \dots \text{ (Ec. 2.10)}$$

N_h = Potencia hidráulica

H_m = Carga total expresada en m.

ρ = Densidad del líquido expresada en kg/m^3 .

Potencia eléctrica.

Es la energía eléctrica por unidad de tiempo suministrada por el sistema motor-bomba.

$$N_e = V I f \sqrt{3} \quad \dots \text{ (Ec. 2.17)}$$

V = Voltios
I = Amperios
f = Factor de potencia

Potencia al freno.

En el sistema motor-bomba la potencia al freno no es la potencia absorbida por toda la red, sino unicamente la suministrada al eje, es decir aquella que es requerida para variar las pérdidas y suministrar el fluido la energía deseada.

$$N_a = \frac{Q H_m \rho}{75 \eta} \quad \text{C.V.} \quad \dots \text{ (Ec. 2. 18)}$$

N_a = Potencia al freno o de accionamiento
Q = Capacidad expresada en m³/seg.
H_m = Carga total expresada en m.
ρ = Densidad del líquido expresada en kg/m³.
η = Rendimiento de la bomba.

EFICIENCIA O RENDIMIENTO

La eficiencia o rendimiento es la relación entre la potencia absorbida por el fluido (potencia hidráulica) y la potencia suministrada al eje de la bomba (potencia al freno).

$$\eta = \frac{\text{Potencia hidráulica}}{\text{Potencia al freno}} \quad \dots \text{ (Ec. 2. 19)}$$

6.2.5 CURVAS CARACTERISTICAS DE UNA BOMBA CENTRIFUGA

La carga total por desarrollar de una bomba centrífuga, la potencia necesaria para lograrlo y el rendimiento, varían respecto de la capacidad manejada. Las interrelaciones existentes entre la capacidad y las características restantes pueden ser graficadas, obteniéndose el gráfico de las curvas características.

CARGA-CAPACIDAD

Curva característica que indica la relación entre la carga desarrollada por la bomba y el caudal a través de la misma. Cabe mencionar que, conforme la capacidad aumenta, se reduce la carga total que la bomba es capaz de desarrollar.

POTENCIA ABSORBIDA-CAPACIDAD

Curva que presenta la relación entre la capacidad y la potencia absorbida. En las bombas centrífugas, la potencia generalmente aumenta con un incremento de capacidad.

RENDIMIENTO-CAPACIDAD

El rendimiento debe ser calculado mediante la Ec. 2.19 y una vez determinado a distintas capacidades puede obtenerse su curva.

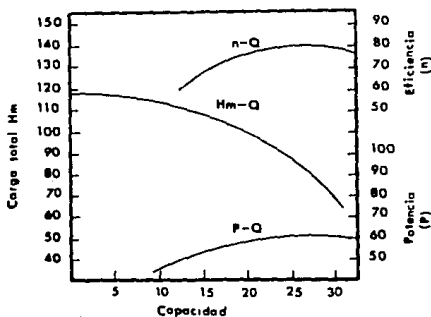


FIG. 6.1 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS

C.N.P.S.-CAPACIDAD

Esta curva señala la relación entre la capacidad que la bomba suministrará y el C.N.P.S. requerido para un funcionamiento correcto de la bomba a la capacidad citada.

6.2.6 CURVAS DEL SISTEMA DE BOMBEO.

Curva de fricción del sistema.

Se puede determinar la curva de fricción del sistema como una gráfica carga total contra capacidad, donde H_m es expresado en m y θ en lps .

Esta curva siempre pasa por el origen debido a que cuando no hay carga desarrollada por la bomba, es obvio que no exista flujo en el sistema de tuberías. Las pérdidas de carga por fricción son una función del diámetro del tubo, longitud, número y tipo de accesorios, velocidad del flujo del líquido y su naturaleza.

Curva de carga del sistema.

Esta curva se puede obtener combinando la curva de fricción del sistema con la curva estática y con cualquier diferencia de presión en el sistema.

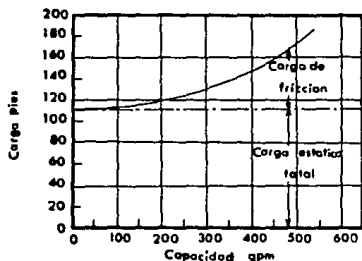


FIG 6.2 CURVA DE CARGA DEL SISTEMA.

6.2.7 INTERRELACION DE LAS VARIABLES DE DISEÑO

La aplicación de la similitud implica el cambio en dos sentidos principales:

- Variar el número de r.p.m. en la bomba.

a) Los gastos son proporcionales al número de r.p.m.

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{rpm_2}{rpm_1} \quad \dots \text{ (Ec. 2. 20)}$$

b) Las cargas son proporcionales al cuadrado de las velocidades

$$\frac{H_{m2}}{H_{m1}} = \left[\frac{rpm_2}{rpm_1} \right]^2 \quad \dots \text{ (Ec. 2. 21)}$$

c) Las potencias absorbidas son proporcionales al cubo del número de r.p.m.

$$\frac{N_2}{N_1} = \left[\frac{rpm_2}{rpm_1} \right]^3 \quad \dots \text{ (Ec. 2. 22)}$$

-Cambiando el diámetro del impulsor.

a) Los gastos son proporcionales a los diámetros:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{D_2}{D_1} \quad \dots \text{ (Ec. 2. 23)}$$

b) Las cargas son proporcionales al cuadrado de los diámetros.

$$\frac{H_{m2}}{H_{m1}} = \left[\frac{D_2}{D_1} \right]^2 \quad \dots \text{ (Ec. 2. 24)}$$

c) Las potencias absorbidas son proporcionales al cubo de los diámetros.

$$\frac{N_s}{N_a} = \left[\frac{D_s}{D_a} \right]^3 \quad \dots \text{Ecu. 2. 550}$$

6.2.8 OPERACION DE BOMBAS CENTRIFUGAS EN SERIE Y EN PARALELO

INTRODUCCION

Cualquier tipo de conexión o cualquier clase de bomba puede presentar problemas. Frecuentemente, cuando la demanda es excesivamente variable, pueden operarse dos o más bombas en serie o en paralelo para satisfacer la demanda, usando una bomba para las demandas bajas.

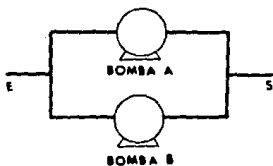
Para bombas en serie el comportamiento se obtiene agregando las cargas a la misma capacidad. Cuando las bombas operan en paralelo el comportamiento se obtiene agregando las capacidades para la misma carga. El superponer la curva de carga del sistema sobre la curva característica H_m-Q de la bomba se aprecian claramente los gastos que pueden esperarse y las cargas a que trabajará cada bomba.

CURVAS CARACTERISTICAS H_m-Q PARA BOMBAS CENTRIFUGAS OPERANDO EN PARALELO.

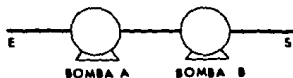
El uso de dos bombas en lugar de una permite que cada una de ellas opere en su mejor región de eficiencia la mayor parte del tiempo. Aun cuando los costos iniciales pueden ser mayores, el costo de operación más bajo y la mayor flexibilidad ayudan a pagar la inversión adicional.

La operación en paralelo de las bombas es frecuentemente la mejor solución a un problema de variación de capacidad.

Para el caso de que se requiera de un incremento en capacidad, se propone el uso de dos bombas dispuestas en paralelo, como se muestra en la fig 6.3 (a):



(A) OPERACION EN PARALELO



(B) OPERACION EN SERIE

FIG 6.3 OPERACION DE BOMBAS EN SERIE Y EN PARALELO

La curva de operación del arreglo se lleva a cabo sumando las capacidades de cada bomba para iguales condiciones de carga.

Si se supone que la demanda en capacidad es Q_T se tendría que cada una de las bombas estaría proporcionando una carga H_{mT} y suministrando una capacidad unitaria igual a Q_A y Q_B respectivamente; de modo que la capacidad total del sistema para esa carga, será la suma de las capacidades $Q_T = Q_A + Q_B$.

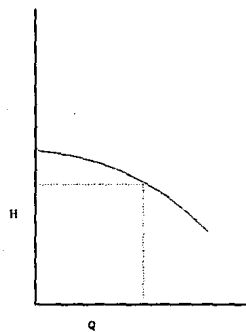
La curva de operación en paralelo de las bombas A y B sólo está definida para iguales condiciones de carga, verificandose lo siguiente:

$$Q_T \text{ (total del sistema)} = Q_A + Q_B$$

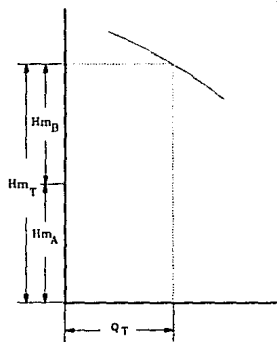
$$H_{mT} \text{ (total del sistema)} = H_{mA} = H_{mB}$$

La operación satisfactoria de dos o más bombas centrífugas en paralelo depende de las características del sistema y de las bombas.

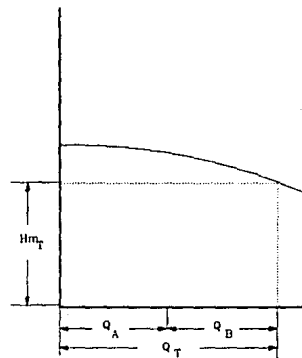
OPERACION DE BOMBAS EN SERIE Y EN PARALELO



UNA SOLA BOMBA



DOS BOMBAS TRABAJANDO
EN SERIE



DOS BOMBAS TRABAJANDO
EN PARALELO

GRAFICA 6.1

CURVAS CARACTERISTICAS H_m-Q PARA BOMBAS CENTRIFUGAS OPERANDO EN SERIE

En el caso de que una instalación ya existente, requiera de un incremento en la carga se propone el uso de dos bombas dispuestas en serie, como el mostrado en la figura 6.3 (b).

El trazado de la curva característica H_m-Q operando en serie se lleva a cabo sumando las cargas de ambas bombas para las mismas condiciones de capacidad.

Por todo lo anterior se verifica que para una operación en serie:

$$Q_r \text{ (total del sistema)} = Q_A = Q_B$$

$$H_{mr} \text{ (total del sistema)} = H_{mA} + H_{mB}$$

6.3 DESCRIPCION DEL EQUIPO A UTILIZAR EN LA PRACTICA

El equipo instalado en el Laboratorio de Ingeniería Química, consiste básicamente en dos bombas centrífugas idénticas, montadas sobre una estructura de tubo de perfil cuadrado, en el que se soporta la fuente de abastecimiento, que consiste en una cesta de plástico, de la que se succiona el agua, y la cual es recirculada después de pasar por un arreglo de tubería y válvulas que permiten la operación de una u otra bomba, o bien la de ambas trabajando en serie o paralelo.

Ambas bombas centrífugas marca mobovisa de 0.25 HP, se encuentran acopladas directamente a motores Siemens de 127 volts, cada una de ellas tiene conexiones para tubería de aspiración de 25 mm y de descarga de 19 mm.

Con el objeto de poder lograr la operación normal de cada bomba y la de ambas en serie y paralelo, se encuentran instaladas un total

de seis válvulas de compuerta.

El equipo cuenta con una válvula de compuerta de 19 mm conectada en la línea común de descarga de ambas bombas, y cuya función es la regulación del gasto en cada uno de los arreglos. Este gasto es indicado en un medidor del tipo velocidad chorro múltiple de lectura directa, colocado después de la válvula.

Para indicar las presiones de succión y descarga, se encuentran instalados un manovacúmetro a la entrada y un manómetro a la salida de cada bomba.

Un manómetro más es conectado a 77 cm del nivel de aspiración de las bombas, en la línea común de descarga, y antes de la válvula reguladora de gasto.

IDENTIFICACIONES:

Las bombas son identificadas de la siguiente manera:

Bomba A: Bomba montada a la derecha del equipo.

Bomba B. Bomba montada a la izquierda del equipo.

Las válvulas son identificadas de la siguiente manera:

Válvula 1: válvula de comp. conectada a la succión de la bomba A.

Válvula 2: válvula de comp. conectada a la descarga de la bomba A.

Válvula 3: válvula de comp. conectada a la succión de la bomba B.

Válvula 4: válvula de comp. conectada a la descarga de la bomba B.

Válvula 5: válvula de compuerta conectada en el tramo de tubería que une la descarga de la bomba A con la succión de la bomba B.

Válvula 6: válvula de comp. conectada en la línea común de descarga de las bombas, y la cual es encargada de regular el gasto.

Los manómetros son identificados de la siguiente manera:

Manómetro 1: manovacuómetro conectado a la succión de la bomba A.
Manómetro 2: manómetro conectado a la descarga de la bomba A.
Manómetro 3: manovacuómetro conectado a la succión de la bomba B.
Manómetro 4: manómetro conectado a la descarga de la bomba B.
Manómetro 5: manómetro conectado en la línea común de descarga de las bombas, antes de la válvula 6.

6.4 TÉCNICA DE LA PRACTICA

Debido al número de arreglos posibles, es conveniente dividir la operación de la práctica en cuatro etapas principales:

a) Obtención de la curva $H_m - Q$ para el sistema de bombeo operación normal bomba A.

Primeraente, el operario deberá cerciorarse de que el depósito de abastecimiento, tenga un nivel mínimo requerido de agua, suficiente para cubrir totalmente las válvulas de pie a la succión de cada bomba. Las bombas podrán ser cebadas, removiendo el tapón de la Y, y agregando agua, hasta llenar con esta la bomba y su línea de succión.

Para la operación de la bomba A en forma individual, se deberán mantener totalmente abiertas las válvulas 1 y 2, así como totalmente cerradas las válvulas 3, 4 y 5.

Previo al arranque de la bomba, por uno de los interruptores fijos, instalados al lado derecho del equipo, deberá ser registrada la lectura inicial en litros, indicada por el medidor.

El tiempo de operación de la bomba, deberá ser medido desde el arranque y hasta el paro de la misma, por medio de un cronómetro.

Con el fin de efectuar la primera corrida, se deberá mantener total

mente abierta la válvula 6.

Durante el lapso de operación recomendado de 1 min., deberán tomarse las lecturas de presión de succión (manómetro 1) y las presiones de descarga (manómetros 2 y 3). Al cumplirse el minuto de operación, la bomba podrá ser detenida y tomarse la lectura final en el medidor.

De esta misma manera se llevan a cabo, cuando menos cinco corridas más, variando el gasto, en base al control de la línea común de descarga de ambas bombas por medio de la válvula 6, y tomando las lecturas correspondientes de presión en los manómetros 1, 2 y 3.

Ya con la obtención de todos estos valores, la carga desarrollada podrá ser calculada sustituyendo en la primera expresión de la carga total la presión de succión dada en el manómetro 1, y la presión de descarga leída en el manómetro 3. Tanto las presiones registradas, como los valores de capacidad y carga calculados tendrán que ser tabulados y graficados posteriormente para obtener la curva característica H_m-Q de la bomba.

En las siguientes etapas se lleva a cabo el mismo procedimiento anterior, solo que variando los arreglos por medio de las válvulas 1, 2, 3, 4 y 5.

b) Obtención de la curva $H_m - Q$ para el sistema de bombeo operación normal bomba B.

Para la operación de la bomba B en forma individual, las válvulas 1, 2 y 3 deberán estar totalmente cerradas, y las válvulas 4 y 5 totalmente abiertas. El gasto deberá ser regulado por medio de la válvula 6, y calculado de igual forma, en base a las lecturas inicial y final en el medidor de agua. En cuanto al cálculo de la car-

ga, la presión de succión en este caso, será la registrada en el manómetro 3 y la de descarga la leída en el manómetro 5.

c) Obtención de la curva H_m-Q para el sistema de bombeo operación en paralelo bomba A + bomba B.

Para la operación de la bomba A y la bomba B en paralelo, las válvulas 1, 2, 3 y 4 deberán estar totalmente abiertas, mientras que la válvula 5 deberá permanecer completamente cerrada. Ambas bombas deberán entrar en funcionamiento al mismo tiempo y su gasto estará regulado por la válvula 6. Para obtener la carga la presión de succión deberá considerarse como la leída en los manómetros 1 o 3, lo anterior se debe a que se cuenta con dos bombas idénticas, y ambas lecturas resultan ser iguales para una operación en paralelo. La presión de descarga seguirá siendo la leída en el manómetro 5.

d) Obtención de la curva H_m-Q para el sistema de bombeo operación en serie bomba A + bomba B.

Para la operación de la bomba A y la bomba B en serie, las válvulas 1, 5 y 4 deberán estar totalmente abiertas, mientras que las válvulas 2 y 3 totalmente cerradas. El gasto de las bombas será controlado por medio de la válvula 6. El cálculo de la carga, se lleva a cabo sustituyendo la presión de succión como el valor registrado en el manómetro 1 y la presión de descarga como el indicado en el manómetro 5.

6.5 RECOMENDACIONES

Las siguientes recomendaciones pueden resultar de gran ayuda en la realización de esta práctica:

a) Como ya se había mencionado anteriormente, es necesario que las

bombas sean cebadas, con el objeto de evitar que se encuentre aire atrapado en su interior, y perjudique su operación correcta.

b) Se debe asegurar un nivel mínimo de agua en el depósito, suficiente para cubrir las válvulas de pie de ambas bombas, y no permitir la entrada del aire al interior de ellas.

c) Antes de iniciar la práctica, se recomienda tener bien localizado el interruptor de paro-arranque de cada bomba, y estar enterado de las identificaciones hechas anteriormente para las bombas, válvulas y manómetros.

d) Deberá contarse con un cronómetro o reloj para el control del tiempo de operación, aconsejando que este sea de un minuto, ya que de esta manera el gasto se obtiene directamente en lpm, con solo restar la lectura final de la inicial indicadas en el medidor de agua.

f) Ya sea en cualquiera de los cuatro arreglos posibles, se recomienda obtener los primeros valores, con la válvula 6 totalmente abierta, para después obtener los subsecuentes, cerrándola proporcionalmente, de tal manera que se incremente 0.1 kg/cm^2 en la lectura del manómetro 5, en cada corrida.

g) Hay que tener el cuidado de no cerrar por completo la válvula 6 en un periodo largo de tiempo, ya que esto provocaría que las bombas trabajaran en una situación de cierre y llegaran a dañarse.

i) Si se dispone de tiempo suficiente, se pueden hacer varias corridas en cada uno de los arreglos, con el fin de poder comparar entre sí los valores obtenidos, y decidirse por la corrida más exacta.

j) Al operar ambas bombas en serie, cuidar de encender primero la bomba A antes que la bomba B.

6.6 TRABAJO POSTERIOR A LA REALIZACION DE LA PRACTICA

El alumno tendrá que entregar al profesor como reporte lo siguiente:

- a) Isoétrico del equipo instalado.
- b) Determinar la carga total en m para el arreglo en que la bomba A opera normalmente, sustituyendo los valores para la primera corrida, en la cual la válvula δ permanece totalmente abierta.
- c) Tabulación de resultados experimentales y H_m calculada para los siguientes arreglos:
 - * Operación normal de la bomba A.
 - * Operación normal de la bomba B.
 - * Operación en paralelo bomba A + bomba B.
 - * Operación en serie bomba A + bomba B.
- d) Obtención de la curva característica H_m-Q para los arreglos:
 - * Operación normal bomba A.
 - * Operación normal bomba B.
 - * Operación en paralelo bomba A + bomba B.
 - * Operación en serie bomba A + bomba B.
- e) Grafica comparativa con las curvas de todos los arreglos propuestos en la práctica.

6.7 BIBLIOGRAFIA

- (1)... CLAUDIO NATAIX
MECANICA DE FLUIDOS Y MAQUINAS HIDRAULICAS
N.Y. HARPER ROW PUBLS. c1 1972
IMPRESO EN MEXICO POR HARLA.

- (2)... HICKS TYLER G.
BOMBAS SU SELECCION Y APLICACION
MEXICO D.F. COMPANIA EDITORIAL S.A.
- (3)... VIEJO ZUBICARAY MANUEL
BOMBAS, TEORIA, DISEÑO Y APLICACIONES.
MEXICO, LIMUSA WILEY, 1972
- (4)... U.S.A. HYDRAULIC INSTITUTE
HYDRAULIC INSTITUTE FOR CENTRIFUGAL, ROTARY AND
RECIPROCATING PUMPS.
FOURTEENTH EDITION

QUESTIONARIO

Nombre del alumno _____ Grupo _____

1. ¿Qué es una bomba y cual es su clasificación?
2. ¿Cual es la clasificación de las bombas centrifugas?
3. ¿Cuales son las partes principales de una bomba centrifuga?
4. Mencione las principales características hidráulicas de una bomba
5. ¿Qué es la capacidad?
6. ¿Qué es la carga total y cómo se calcula?
7. Mencione las primera y segunda expresiones de la carga total
8. ¿Qué es la C.P.N.S., cual es su aplicación y como varia el C.P.N.S. disponible con respecto al requerido en un grafico H_m-Q ?
9. ¿Como se calcula la potencia hidráulica, la eléctrica y al freno en una bomba centrifuga?
10. ¿Qué es la eficiencia y cómo se obtiene?
11. Dibuje el gráfico de curvas características de una bomba centrifuga.
12. Dibuje la curva de carga del sistema de una bomba centrifuga.
13. ¿Cuáles son las interrelaciones que se obtienen al variar el número de r.p.m. y el diámetro del impulsor?
14. Dibuje la curva H_m-Q de dos bombas operando en paralelo con respecto a la de una sola bomba, y mencione como varían la capacidad y la carga en este caso.
15. Dibuje la curva H_m-Q de dos bombas operando en serie con respecto a la de una sola bomba, y mencione como varia la carga y la capacidad en este caso.
16. Describa la técnica de operación del equipo para la práctica.

CONCLUSIONES

7.1 CONCLUSIONES

Del estudio teórico y realización experimental de esta práctica pug de concluirse que:

- * La bomba centrífuga resulta ser una de las máquinas hidráulicas más usadas, por lo que todos los ingenieros deberán estar familiarizados con su operación y características de funcionamiento.
- * Al superponer la curva característica H_m-Q de la bomba sobre la curva de carga del sistema, se obtendrá el punto en el cual trabaja una bomba determinada, en el sistema para el cual se ha trazado la curva.
- * En muchas instalaciones se utilizan más de una bomba centrífuga pudiendose operar en serie o paralelo, frecuentemente cuando la demanda resulta ser excesivamente variable y necesita ser satisfecha, obteniéndose altas presiones de descarga para el primer caso o altas cantidades de flujo en el segundo.
- * Para bombas operando en paralelo la curva característica H_m-Q se obtiene sumando las capacidades de cada bomba para iguales condiciones de carga.

- Para bombas operando en serie la curva característica H₀-Q se obtiene sumando las cargas de cada bomba para iguales condiciones de capacidad.
- La operación de dos o más bombas en serie o paralelo puede resultar económicamente más factible, que su similitud con una sola bomba capaz de satisfacer las mismas demandas de carga o capacidad ya que el uso de dos bombas en lugar de una permite que cada una de ellas opere en su mejor región de eficiencia la mayor parte del tiempo. Aun cuando los costos iniciales pueden ser mayores, el costo de operación más bajo y la mayor flexibilidad ayudan a pagar la inversión adicional.

BIBLIOGRAFIA

- (1)... CLAUDIO MATAIX
MECANICA DE FLUIDOS Y MAQUINAS HIDRAULICAS
N.Y. HARPER ROW PUBLS. c1 1972
IMPRESO EN MEXICO POR HARLA.
- (2)... HICKS TYLER G.
BOMBAS SU SELECCION Y APLICACION
TR. POR LYONEL DIGNOWITY
MEXICO D.F. COMPANIA EDITORIAL S.A.
TITULO ORIGINAL EN INGLES:
PUMP SELECTION AND APPLICATION.
- (3)... VIEJO ZUBICARAY MANUEL
BOMBAS, TEORIA, DISEÑO Y APLICACIONES.
MEXICO, LIMUSA WILEY, 1972
- (4)... U.S.A. HYDRAULIC INSTITUTE
HYDRAULIC INSTITUTE FOR CENTRIFUGAL, ROTARY AND
RECIPROCATING PUMPS.
FOURTEENTH EDITION

- (5)... M.C. ANTONIO VALIENTE BARDERAS
PRACTICAS DE LABORATORIO DE MOMENTUM Y CALOR
SEXTA IMPRESION
FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M. 1986
- (6)... GOULDS PUMP INC.
GOULDS PUMP MANUAL GPM5
EDC. 1988
- (7)... M.C. GUILLERMO RODRIGUEZ PEREZ
CURSO DE CALCULO Y SELECCION DE BOMBAS CENTRIFUGAS
INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO
- (8)... JOHN H. PERRY AND CHILTON
MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO
Mc GRAW HILL EDICION 1973
- (9)... ENGINEERING DIVISION CRANE
FLOW OF FLUIDS
CRANE Co.
- (10)... GOULDS PUMPS
GOULDS MODEL 3196 ANSI STANDARD DIMENSION PROCESS
PUMPS
BULLETIN 725.1 JANUARY 1980

- (11)... BOMBAS GOULDS
IMPULSOR CERRADO/UN SOLO PASO/ACOPLAMIENTO DIRECTO/
SUCCION LATERAL
BOMBAS CENTRIFUGAS
BOLETIN 710.1 NOVIEMBRE 15, 1968 SUP
- (12)... PLINT & PARTNERS LTD ENGINEERS
INSTRUCTIONAL EQUIPMENT FOR ENGINEERING
TE 83 TWO-STAGE CENTRIFUGAL PUMP TEST SET
PRINTED BY A.P. 8.82
- (13)... GILBERT GILKES & GORDON LTD.
GH 75 PARALLEL-SERIES CENTRIFUGAL PUMP TEST SET
PRINTED IN ENGLAND 2m 2/75 WY
- (14)... PLINT & PARTNERS LTD. ENGINEERS
INSTRUCTIONAL EQUIPMENT FOR ENGINEERING
TE 47 CENTRIFUGAL PUMP TEST
PRINTED IN ENGLAND
- (15)... PLINT & PARTNERS LTD. ENGINEERS
INSTRUCTIONAL EQUIPMENT FOR ENGINEERING
TE 83 TWO-STAGE CENTRIFUGAL PUMP TEST SET
PRINTED IN ENGLAND

- (16)... PLINT & PARTNERS LTD. ENGINEERS
G 158 PUMP IMPELLER DISPLAY PANEL
PRINTED IN ENGLAND 1.5 #/6/74(LB)
- (17)... MORRIS PUMP, INC. BALDWINVILLE, NEW YORK 13027
TYPE JC SLURRY PUMP
BULLETIN 201.1 JUNE 1981
- (18)... CRANE DENINS DE MEXICO
BOMBAS ... QUE DAN MAS SERVICIO PESADO A LA
INDUSTRIA
BOLETIN 3060
- (19)... IGOR J. KARASICK Y ROGER CARTER
BOMBAS CENTRIFUGAS, SELECCION, OPERACION Y
MANTENIMIENTO
MEXICO CONTINENTAL 1966
- (20)... Mc CABE AND SMITH
UNIT OPERATIONS OF CHEMICAL ENGINEERING
Mc GRAW HILL 1963