

870117

6  
2ej

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA**  
INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA



" MANUAL DE PRACTICAS PARA PRUEBAS DE BOMBAS  
CENTRIFUGAS EN SERIE Y PARALELO "

**FALLA DE ORIGEN**  
**TESIS PROFESIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A

GABRIEL ENRIQUE MEJIA ROMO DE VIVAR

GUADALAJARA, JALISCO. 24 DE ENERO DE 1995.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

Todo el material contenido en esta tesis 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.



FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL Y MECANICA ELECTRICA

Guadalajara, Jal., 3 de Julio de 1990.

Al Pasante de  
Ingeniero Mecánico Electricista  
Area: Mecánica  
Sr. Gabriel Enrique Mejía Romo de Vivar  
P r e s e n t e .

En contestación a su solicitud de fecha 24 de Junio del - -  
presente año, me es grato informar que la Comisión de Tesis que me honro  
en presidir, aprobó como tema que usted deberá desarrollar para su examen  
de Ingeniero Mecánico Electricista, el que a continuación transcribo:

" MANUAL DE PRACTICAS PARA PRUEBAS DE BOMBAS  
CENTRIFUGAS EN SERIE Y PARALELO "

- INTRODUCCION  
ANTECEDENTES  
I.- CARACTERISTICAS Y ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO QUE SE  
UTILIZARA EN LAS PRACTICAS.  
II.- CLASIFICACION DE LAS PRUEBAS DE BOMBAS CENTRIFUGAS .  
III.- DISEÑO Y PRESENTACION DE LAS PRACTICAS.  
CONCLUSIONES  
BIBLIOGRAFIA

Ruego a usted tomar nota que la copia fotografiada del -  
presente oficio, deberá ser incluida en cada uno de los preliminares de -  
su Tesis .

A T E N T A M E N T E .  
" CIENCIA Y LIBERTAD "

ING. MANUEL JURIARTE RAZO  
DIRECTOR  
FAC. DE ING. IND. Y MEC. ELECT.



### CAPITULO 3 : DISEÑO Y PRESENTACION DE LAS PRACTICAS.

3.1 Curvas características del sistema de una bomba.....	57
3.1.1 Objetivo.	
3.1.2 Procedimiento.	
3.1.3 Desarrollo.	
3.1.4 Representación gráfica de resultados.	
3.1.5 Hoja de resultados	
3.2 Curvas característica del sistema de bombas en serie.....	64
3.2.1 Objetivo.	
3.2.2 Procedimiento.	
3.2.3 Desarrollo.	
3.2.4 Cálculos de los resultados.	
3.2.5 Representación gráfica de resultados.	
3.2.6 Hoja de resultados.	
3.3 Curvas característica del sistema de bomba en paralelo.....	74
3.3.1 Objetivo.	
3.3.2 Procedimiento.	
3.3.3 Desarrollo.	
3.3.4 Cálculo de los resultados.	
3.3.5 Presentación gráfica de resultados.	
3.3.6 Hojas de resultados.	

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

**A DIOS:**

Gracias por haberme permitido  
concluir una meta más en mi vida.  
gracias por iluminar mi camino.

**A MIS PADRES:**

Con amor, cariño y gratitud  
que les profeso, les ofrezco  
el fruto de sus esfuerzos.  
Gracias por la educación,  
orientación y preparación  
que me brindaron.  
¡ Que Dios los guarde y  
bendiga!

**A ELLA:**

Por el cariño y apoyo  
que siempre me ha brindado  
Hoy le dedico , con el  
corazón lleno de amor esta  
pequeña ofrenda; fruto de  
la ayuda, amistad y el  
amor.

**PARA TODOS MIS PROFESORES:**

Con agradecimiento por su  
empeño, dedicación y  
orientación hacia el cono-  
cimiento de la responsabi-  
lidad y de la honradez.

**A MIS FAMILIARES:**

Gracias por el apoyo y  
cariño que me demostraron  
en el transcurso de mi  
preparación universitaria.

**A MI ALMA MATER:**

Por los conocimientos y  
preparación que me brindó.  
G R A C I A S.

**" MANUAL DE PRACTICAS PARA PRUEBAS DE BOMBAS  
CENTRIFUGAS EN SERIE Y PARALELO "**

**Elaborado por:**

**GABRIEL ENRIQUE MEJIA ROMO DE VIVAR.**

## INTRODUCCION

Las máquinas nos han servido desde su invención en el aprovechamiento de cualquier tipo de energía, ya sea aplicadas directamente o por medio de mecanismos que permitan su transformación.

Dentro del perfeccionamiento de las máquinas existentes en el campo industrial en talleres y laboratorios deben de surgir inovaciones que resuelvan un problema determinado ó que permitan su mejor aprovechamiento.

Es por eso que la utilización de un laboratorio de máquinas hidráulicas es importante e imprescindible en toda institución de estudios superiores. En el laboratorio se puede finalmente conocer la operación completa, en todas las circunstancias de funcionamiento de una máquina industrial mediante el aprovechamiento de un modelo reducido. Entre los diferentes modelos que se pueden encontrar en los laboratorios de máquinas hidráulicas se encuentra el de bombas centrifugas serie paralelo, que sera el estudio principal de este manual de prácticas.

El conocer el funcionamiento de las bombas centrifugas es esencial debido al enorme desarrollo de la tecnología en la epoca actual, pues ya casi no hay industria o servicio público que no use equipo de bombeo de un tipo u otro. Es por eso que dentro de las aulas escolares y principalmente dentro del laboratorio es donde se deben de iniciar los futuros profesionales, que resolveran los problemas industriales que afecten a la máquinas y consecuentemente a la productividad.

## ANTECEDENTES

A todo dispositivo que da lugar a un intercambio de energía entre un sistema mecánico y un medio fluido se le conoce como máquina de fluido. Si la máquina es accionada mecánicamente y trabaja sobre el sistema fluido de manera que la energía mecánica se transforme en energía de fluido, dicha máquina se conoce como bomba.

Los componentes de las máquinas de fluido y sus disposiciones varían mucho. Por lo tanto hay una gran variedad de tipos de estas máquinas. En forma amplia, pueden clasificarse en máquinas de desplazamiento positivo y turbomáquinas o máquinas rotodinámicas.

En una máquina de desplazamiento positivo, también llamadas máquinas volumétricas, el órgano intercambiador de energía cede energía de presión creada por la variación de volumen.

Las turbomáquinas son máquinas rotativas que permiten una transferencia energética entre un fluido y un rotor provisto de álabes o cangilones, mientras el líquido pasa a través de ellos. La transferencia de energía tiene su origen en un gradiente de presión dinámica que se produce entre la salida y la entrada del fluido en el rotor, por lo que también se denomina a estas máquinas de presión dinámica.

La bomba centrífuga es una turbomáquina de reacción de tipo radial con flujo de dentro hacia afuera, presentando por lo general un área de paso de agua relativamente reducida en relación con el diámetro del rotor o impulsor, con objeto de obligar al fluido a hacer un recorrido radial largo y aumentar la acción centrífuga, a fin de incrementar la carga estática, que es lo que generalmente se pretende aunque el gasto en parte se sacrifique.

La bomba centrífuga está constituida principalmente por dos partes, un elemento giratorio que comprende un impulsor y una flecha, y un elemento estacionario compuesto por una carcasa, estopero y chumaceras.

Atendiendo a las características de succión las bombas pueden ser de succión simple y doble succión.

En las primeras el agua entra en el ojo del impulsor por un solo lado de este. Pero cuando se requiere admitir más gasto sin aumentar el diámetro del ojo de entrada, lo que reduciría el recorrido radial y la carga, se dispone de la doble succión o entrada por los dos lados del impulsor.

Los impulsores pueden ser cerrados o abiertos. En los cerrados los álabes generalmente de tipo bidimensional, tienen dos cubiertas laterales con salida periférica del agua, pudiendo trabajar con claros mayores entre ellos y la carcaza. En los impulsores abiertos, los álabes pueden ser de tipo bidimensional o tridimensional y solo presentan una cubierta lateral en la que van engastados los álabes, total o parcialmente. El ducto entre álabes se cierra con la pared de la carcaza, permitiendo la necesaria luz del entrehierro.

Según el número de impulsores que contenga una bomba puede ser de uno o varios pasos. En una bomba de un solo paso se utiliza un impulsor para generar la presión necesaria que produzca la descarga requerida con una carga determinada.

En la de pasos múltiples la carga a desarrollar, requiere el empleo de dos o mas impulsores operando en serie conectados en forma de que el agua sea descargada con una presión mayor desde uno de los impulsores y escurra hacia la abertura de succión del segundo impulsor, y así sucesivamente. Se pueden conectar en serie dos o más bombas de un solo paso o bien incorporar todos los impulsores necesarios en una sola carcaza para obtener pasos múltiples.

Por la posición que guarde la flecha se clasifican en verticales y horizontales.

El material de los impulsores es generalmente de bronce fundido ( 85% Cu, 5% Zn, 5% Sn, 5% Pb) y en ciertos casos de plástico. La carcaza suele ser de hierro vaciado.

El tipo de bombas centrifugas con que cuenta el equipo es: de tipo radial con flujo de dentro hacia afuera, horizontal, de succión simple, con impulsor abierto de un solo paso.

**C A P I T U L O 1**

**CARACTERISTICAS Y ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO QUE SE  
UTILIZARA EN LAS PRACTICAS.**

## C A P I T U L O 1

### CARACTERISTICAS Y ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO QUE SE UTILIZARA EN LAS PRACTICAS.

#### 1.1 Descripción del equipo y su funcionamiento.

Los principales elementos que constituyen el equipo son los siguientes:

Tanque de almacenamiento.

Sistema de tubería.

Válvulas de pie.

Tubos de succión.

Válvulas de succión.

Válvula situada en la tubería que une la descarga de la bomba A con la succión de la bomba B.

Válvula de descarga.

Tubería común para las bombas.

Válvula situada en la descarga principal.

Tubo de descarga principal.

Bomba Centrífuga.

Válvula de purga.

Tuberías para conectar los vacuómetros.

Tuberías para conectar los manómetros.

Medidores de presión.

Vacuómetros.

Manómetros de Bourdon.

Válvulas de purga de manómetros y vacuómetros.

Diafragma.

Válvula de purga del diafragma.

Manómetro diferencial de mercurio.

Válvula de purga del manómetro.

Motor eléctrico de corriente directa.

Dos mandriles.

Tensor de banda.

Bandas A22, A36.

Amperímetro.

Voltímetro.

Switch de encendido y apagado.

El equipo de bombas centrífugas serie - paralelo, de circuito cerrado, básicamente está constituido por dos bombas idénticas accionadas por un motor de corriente directa, las bombas succionan el agua de un tanque y descargan a una línea común que reintegra el flujo nuevamente al tanque.

En la trayectoria del líquido este pasa por una serie de válvulas, manómetros, vacuómetros, medidores de flujo, todos ellos necesarios en la búsqueda de la información para la construcción de las curvas características, las cuales se obtienen con 4 a 8 ensayos a diferentes aperturas de la válvula de descarga, desde el cierre completo hasta la apertura total. En cada ensayo se toman los datos correspondientes a la carga  $H$ , potencia de accionamiento  $P_a$  y rendimiento total; colocandolos en la gráfica en las ordenadas y en la abscisa el caudal  $Q$ .

## 1.2 DISPOSITIVOS DE MEDICION Y CONTROL.

### 1.2.1 MANOMETRO DIFERENCIAL DE MERCURIO.

Este dispositivo consiste en un tubo generalmente de vidrio en forma de U. Fig # 2 el cual aloja al líquido manométrico, que debe de ser inmiscible con el fluido contenido en los recipientes A y B. En este caso agua; en la parte superior se encuentran unas llaves de purga, que permiten la extracción del aire.

Este manómetro se utiliza cuando la diferencia de presiones es grande; y que estando el mercurio inicialmente a nivel en la parte inferior del tramo en U, sube por una de las ramas del tubo debido a la presión aplicada en uno de sus extremos.

A continuación se relacionará la caída de presiones, con la relación de los pesos específicos del agua y mercurio para llegar a una expresión matemática.

$$P_A - \tau h_A = P_B - \tau h_B + \tau m H$$

de donde

$$P_A - P_B = \tau h_A - \tau h_B + \tau m H$$

de la figura se tiene que

$$\tau h_A - \tau h_B = - \tau H$$

substituyendo y factorizando se reduce a

$$P_A - P_B = H ( \tau m - \tau ) \quad \text{Ec.1}$$

Para expresar la presiones, en cargas de presiones basta con dividir la ecuación anterior entre el peso específico del agua, resultando:

$$\frac{P_A - P_B}{\rho} = H \left( \frac{\rho_m}{\rho} - 1 \right) = H (m - 1) \quad \text{Ec.1.1}$$

substituyendo en la ecuación el valor de la densidad relativa, se llega a una expresión más sencilla, que es:

$$\frac{P_A - P_B}{\rho} = 12.56 \quad H \quad \text{Ec.1.2}$$

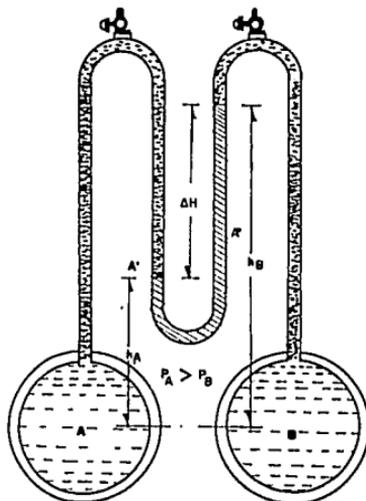


FIG. 2

MANOMETRO DIFERENCIAL

### 1.2.2 DIAFRAGMA

Es una placa de metal, bronce, acero inoxidable, etc., que lleva un orificio circular de diámetro (d) concéntrico con el eje de la tubería de diámetro (D), donde se instala entre dos bridas provistas de las juntas de estanqueidad convenientes. Por su sencillez de construcción son muy usados para medir caudales tanto en líquidos como en gases.

Deduciendo la fórmula para el caudal nos basaremos en la figura # 3.1 utilizando la ecuación de Bernoulli con pérdidas, aplicada entre las secciones 0 y 2 :

$$\frac{P_0}{g} + z_0 + \frac{v_0^2}{2g} - H_{r_{0-2}} = \frac{P_2}{g} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad \text{Ec.2}$$

luego

$$\left(\frac{P_0}{g} + z_0\right) - \left(\frac{P_2}{g} + z_2\right) = h_0 - h_2 = H_{r_{0-2}} + \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_0^2}{2g} \quad \text{Ec 2.1}$$

donde  $h_0 - h_2$  : Diferencia de alturas piezométricas entre las secciones 0 y 2.

Las pérdidas  $H_{r_{0-2}}$  pueden expresarse con fracción de la velocidad  $v_1$

$$H_{r_{0-2}} = f \frac{v_1^2}{2g} \quad \text{Ec.2.2}$$

donde  $f$  = Coeficiente de pérdidas.

Por la ecuación de continuidad:

$$v_0 \frac{\pi D^2}{4} = v_1 \frac{\pi d^2}{4} = v_2 \frac{\pi d_2^2}{4}$$

donde  $d_2$  ( Fig # 3.1 ) es el diámetro de la llamada vena contracta. Por tanto

$$v_0 = v_1 ( d/D )^2 \quad \text{Ec. 2.3}$$

y

$$v_2 = v_1 ( d/d_2 )^2 \quad \text{Ec. 2.4}$$

Llamando para simplificar

$$\alpha = \frac{d}{d_2} \quad \beta = \frac{d}{D} \quad \text{Ec.2.5}$$

Substituyendo las ecuaciones 2.2 , 2.3 y 2.4 en la ecuación 2.1 y teniendo en cuenta la ecuación 2.5 tendremos:

$$h_0 - h_2 = ( f + \alpha^4 - \beta^4 ) \frac{v_1^2}{2g}$$

de donde

$$v_1 = \frac{1}{\sqrt{ ( f + \alpha^4 - \beta^4 ) }} \sqrt{ [ 2g(h_0 - h_2) ] } \quad \text{Ec.2.6}$$

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} * \frac{1}{\sqrt{ ( f + \alpha^4 - \beta^4 ) }} \sqrt{ [ 2g(h_0 - h_2) ] }$$

en donde

$$A_2 = \frac{\pi d^2}{4} \quad \text{y} \quad C_q = \frac{1}{\sqrt{(f + \alpha^4 - \beta^4)}}$$

Substituyendo resulta

$$Q = C_q A_2 \sqrt{[2g(h_0 - h_2)]} \quad \text{Ec.2.7}$$

#### OBTENCION DEL COEFICIENTE DE CAUDAL

Se calculará el coeficiente de caudal en relación a (m) utilizando la tabla de valores sacada del libro mecanica de fluidos y maquinas hidraulicas del doctor Claudio Mataix, pagina 632.

$$m = \frac{A_2}{A_1} = \frac{804.24}{1520.53} = .52$$

$m = A_2/A_1$	$C_q$
0.05	0.598
0.10	0.602
0.15	0.608
0.20	0.615
0.25	0.624
0.30	0.634
0.35	0.645
0.40	0.650
0.45	0.660
0.50	0.695
0.55	0.716
0.60	0.740
0.65	0.768
0.70	0.802

El coeficiente de caudal según  $m = 0.52$  aproximadamente es  $C_q = 0.695$

La norma ASME. American Society of Mechanical Engineers en NEW YORK, 1961 establece la forma de colocar un diafragma. Utilizando la figura No 3.1 donde las fórmulas

Son:

$$\begin{aligned}L_1 &= 10 D \\L_2 &= 5 D \\P_0 &= D \\P_2 &= D/2\end{aligned}$$

$L_1$  = longitud de la tubería antes del diafragma.  
 $L_2$  = longitud de la tubería después del diafragma.  
 $D$  = diámetro interno de la tubería.  
 $d_2$  = diámetro de la sección más estrecha del diafragma  
 $P_0$  = toma de alta del manómetro diferencial.  
 $P_2$  = toma de baja del manómetro diferencial.

El diseño del diafragma colocado en el banco de pruebas queda con los siguientes valores:

$$\begin{aligned}L_1 &= .44 \text{ met.} \\L_2 &= .22 \text{ met.} \\P_0 &= 44 \text{ mm} \\P_2 &= 22 \text{ mm} \\D &= 44 \text{ mm} \\d_2 &= 32 \text{ mm}\end{aligned}$$

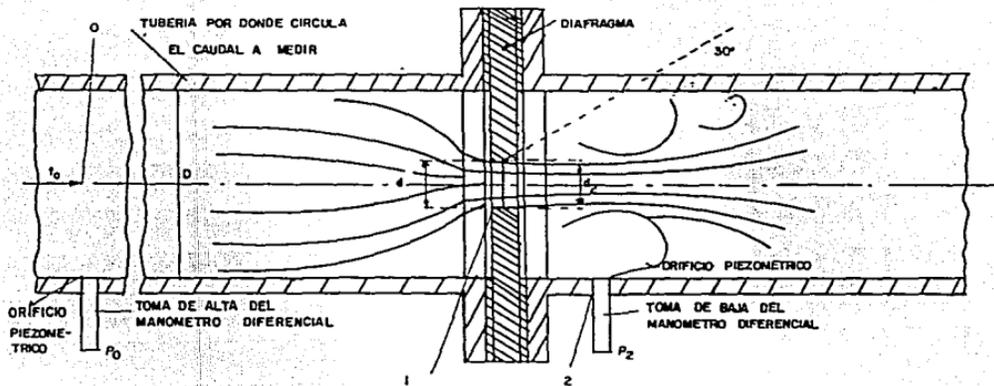


FIG. 3.1  
DIAFRAGMA.

### 1.2.3 MANOMETRO DE BOURDON.

Los manómetros de tubo de Bourdon se utilizan para la medición de grandes presiones. Estos dispositivos miden la presión en el punto donde se colocan. Tiene como órgano esencial un tubo metálico de sección elíptica con el eje dispuesto según una circunferencia Fig.# 4. Un extremo del tubo en el cual se ejerce la presión está fijado al cuerpo del manómetro, en tanto que el otro extremo se deja libre y herméticamente cerrado.

Los manómetros incorporados al equipo se encuentran conectados a la salida de las bombas por medio de la tubería de nylon.

Debido a que estos dispositivos miden la presión en el centro de la carátula, la lectura registrada en ella debe corregirse, en virtud a la distancia vertical que existe, desde la sección que interesa, al centro de los manómetros. La corrección en estos casos es positiva, debido a que los manómetros se encuentran por encima de las secciones en cuestión. Teniéndose en este caso la carga de presión a la salida de la bomba (Hm), es igual a la lectura (hm) del monómetro, más la corrección (h) es decir:

$$Hm = hm + h'$$

Ec.3

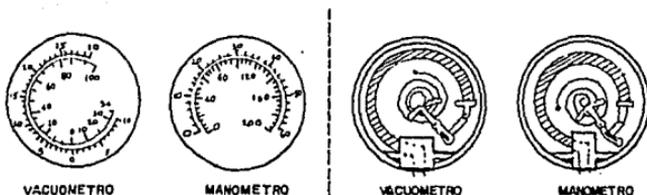


FIGURA 4

#### 1.2.4 TACOMETRO DE MANO

El tacómetro de mano de tipo centrífugo es un aparato que indica la velocidad de rotación de un órgano mecánico. Mide la velocidad angular permitiendo leer su fluctuación en la carátula con la precisión de 0.5 % del total de la lectura.

Para medir la velocidad angular de la bomba en funcionamiento por medio del tacómetro, la manera de proceder es la siguiente:

Se acopla la punta de contacto al eje del tacómetro teniendo especial cuidado al seleccionar la punta; ya que se encuentra colocada se apoya suavemente al extremo de la flecha del motor localizada en la parte posterior del mismo (los ejes respectivos deben quedar colineales), una vez que se encuentra estabilizada la aguja se oprime el botón fijador pudiéndose leer en el intervalo correspondiente la velocidad en cuestión.

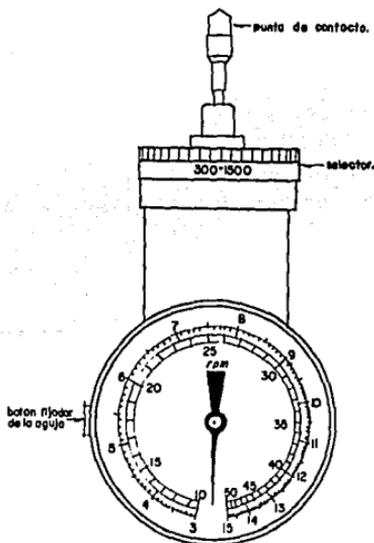


FIG 5

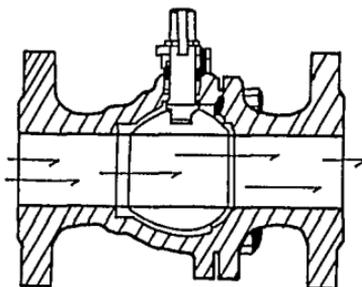
TACOMETRO DE MANO

### 1.2.5 VALVULAS DE CONTROL.

Una válvula es un órgano de interceptación que sirve para interrumpir, controlar o para regular el flujo, cuya luz dara el paso de los fluidos. La luz se optiene mediante el desplazamiento de una de sus partes que mantiene la estanqueidad en el sentido del movimiento del fluido; este desplazamiento se efectúa a través de una traslación o una rotación al rededor de un eje fijo.

Cualquiera que sea la categoría a que pertenezca la válvula las partes principales de que constaría son:

- a) El cuerpo.
- b) El obturador.
- c) El vástago.



ORIFICIO COMPLETO

FIG. 6  
VALVULAS DE BOLA

C A P I T U L O 2

CLASIFICACION DE LAS PRUEBAS DE BOMBAS CENTRIFUGAS.

## CAPITULO 2

### CLASIFICACION DE LAS PRUEBAS DE BOMBAS CENTRIFUGAS

Las pruebas de bombas centrífugas son clasificadas por el Instituto de Hidráulica en:

- a) Pruebas en la planta del fabricante.
- b) Pruebas en el campo.
- c) Pruebas con modelos.

Las pruebas hechas en la planta del fabricante son de dos tipos:

- a) Pruebas hidrostáticas.
- b) Pruebas de funcionamiento.

El objeto de las pruebas hidrostáticas es asegurarse de que no existirán fugas de líquido en ninguna de las partes en contacto; y el objeto de las pruebas de funcionamiento es determinar el gasto, carga, potencia de una bomba con la cual pueden determinarse las curvas características.

El fabricante podrá hacer estas pruebas con o sin testigo por parte del cliente lo cual obviamente influye en el costo del equipo, ya que en el primer caso el fabricante tendrá que hacer toda la prueba a horas determinadas y con ajuste y calibración de todos los aparatos en presencia del inspector.

Antes de proceder a la prueba de funcionamiento se debe tener cuidado de inspeccionar lo siguiente:

1. Alineamiento de bomba y motor.
2. Dirección de rotación.
3. Conexiones eléctricas.
4. Aperturas piezométricas.
5. Estoperos y sistemas de lubricación.
6. Claro entre los anillos de desgaste.
7. Todos los pasajes del líquido.

Además, debe efectuarse la prueba hidrostática antes del ensamble.

## PRUEBA HIDROSTATICA

La prueba hidrostática consiste en someter a una presión determinada la pieza que va a estar en contacto con un líquido a presión, por un lado, y por el otro, con la presión atmosférica.

Este es el caso de las carcazas, cabezas succión, etc., las que deben ser probadas, pero no de peso profundo que trabajan ahogadas.

La prueba se efectúa introduciendo agua a presión y manteniendo ésta durante un tiempo determinado, según el tipo de bomba.

Una regla general es someter las piezas al doble de la presión de operación por un espacio de tiempo que pueda llegar hasta 30 minutos. Es obvio que si hay un defecto la fuga se manifiesta inmediatamente.

Para presiones pequeñas de pruebas (hasta 100 lb/pul<sup>2</sup>) se pueden usar los sistemas hidroneumáticos, pero para presiones mayores se usan pequeñas bombas reciprocantes que introducen agua a grandes presiones sin el peligro que produce la compresibilidad del aire.

La detección de la fuga es visual y las piezas deben arreglarse de acuerdo con las buenas prácticas de ingeniería y probarse de nuevo o se las rechaza definitivamente.

Tanto en las pruebas de funcionamiento como en las hidrostáticas debe llevarse un registro de dichas bombas. Las prácticas a realizarse se basaran en las pruebas de funcionamiento.

### 2.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.

El objetivo principal de este tipo de pruebas es determinar la carga, caudal y eficiencia de la bomba para elaborar las curvas características y así saber el comportamiento de las bombas centrífugas bajo todas las condiciones de operación.

La prueba para la elaboración de las curvas características experimentales de una bomba o de un sistema de bombas, se hace de dos maneras:

- a) Pruebas elementales.
- b) Pruebas completas.

**PRUEBA ELEMENTAL.** - Es aquella en que manteniéndose constante el número de revoluciones se hace variar el gasto, desde el cierre total hasta una apertura completa, mediante intervalos de cierre.

**PRUEBA COMPLETA.** - Es un conjunto de pruebas elementales, caracterizada cada una por un número de revoluciones distinto; consta de varias (de cuatro o ocho) curvas con eficiencia constante. Al conjunto de todas las curvas se le denomina curvas de isoeficiencia.

Para fijar las ideas del funcionamiento de una bomba en esta sección se presentan los principios fundamentales, como ser las características de operación de las bombas centrífugas, lográndose mediante un análisis entre las sección de entrada o de succión y salida o descarga de la bomba.

Otro de los principios es el estudio de las curvas características teóricas y reales. También para llegar a conocer las características de comportamiento se presentan parámetros que intervienen directamente en ellas.

## CARACTERISTICAS DE OPERACION DE LAS BOMBAS CENTRIFUGAS

Se analizaran los tres casos principales con que el banco de pruebas de bombas centrífugas en serie y paralelo trabaja y son:

- Sistema de una bomba.
- Sistema de bombas en serie.
- Sistema de bombas en paralelo.

### - SISTEMA DE UNA BOMBA.

Se analizará la transferencia de la energía a través de la bomba, haciendo un balance de energía de acuerdo con la ecuación de Bernoulli entre las secciones de entrada y salida, ver figura # 7. se tiene:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2g} + H_u + E_h = Z_2 + \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2g} \quad \text{Ec.4}$$

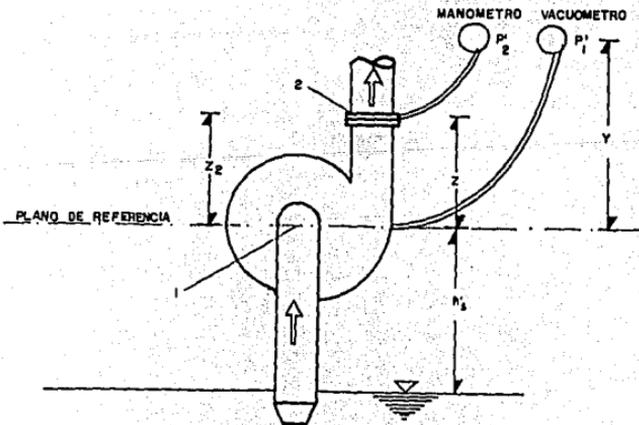


FIG. 7

SISTEMA DE UNA BOMBA

La carga de la bomba (  $H_u$  ) representa el trabajo neto hecho sobre la unidad de peso del líquido al pasar desde la brida de entrada a la descarga. El término llamado la carga de presión, representa el trabajo requerido para mover una unidad de peso de líquido a través de un plano arbitrario perpendicular al vector de velocidad (V) contra la presión (P). La carga de velocidad representa la energía cinética de la unidad del peso del líquido moviéndose con velocidad (V). El término (Z) llamado la carga de elevación o carga potencial, representa la energía potencial de la unidad de peso del líquido con respecto al plano de referencia elegido.

Despreciando las pérdidas existentes y despejando se tiene.

$$H_u = Z_2 - Z_1 + \frac{P_2}{\rho} - \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \quad \text{Ec.4.1}$$

De la figura # 7 se tiene que  $Z_2 = Z$  y  $Z_1 = 0$ , substituyendo resulta

$$H_u = Z + \frac{P_2}{\rho} - \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \quad \text{Ec.4.2}$$

De acuerdo a la ecuación para la corrección de la presión a la salida de la bomba se tiene:

$$\frac{P_2}{\rho} = \frac{P_2'}{\rho} + (Y - Z)$$

La lectura registrada en el vacuómetro corresponde a la lectura de succión (hs).

$$\frac{P_1}{\rho} = -hs$$

Substituyendo los valores encontrados en la ecuación 4.2 se tiene

$$H_u = Z + \frac{P_2'}{\tau} + (Y - Z) - (-hs) + \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \quad \text{Ec.4.3}$$

simplificando resulta

$$H_u = \frac{P_2'}{\tau} + Y + hs + \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \quad \text{Ec.4.4}$$

Las velocidades  $V_2$  y  $V_1$  se calcularán de acuerdo con la ecuación de continuidad, conociendo previamente el gasto que pasa por la bomba, es decir

$$Q = A_2 V_2 \quad V_2 = \frac{4Q}{\pi D_2^2} \quad \text{Ec.4.5}$$

$$Q = A_1 V_1 \quad V_1 = \frac{4Q}{\pi D_1^2} \quad \text{Ec.4.6}$$

por lo que la diferencia de cargas de velocidad es

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} = \frac{1}{2g} \left[ \frac{4Q}{\pi D_2^2} - \frac{4Q}{\pi D_1^2} \right]^2$$

y factorizando

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} = \frac{16Q^2}{2g(\pi)^2} \left[ \frac{1}{D_2^4} - \frac{1}{D_1^4} \right] \quad \text{Ec.4.7}$$

De las dimensiones de la bomba se conoce que el  $D_2 = 16$  mm y el  $D_1 = 39$  mm, ver Fig.# 8 además que el valor de la gravedad es  $g = 9.7825$  m/s<sup>2</sup>, así como  $Y = 31$  mm, substituyendo resulta.

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} = (122851.55) Q^2 ; \text{ con } Q \text{ en m}^3/\text{s} \quad \text{Ec.4.8}$$

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} = (122.85) Q^2 ; \text{ con } Q \text{ en lts/s} \quad \text{Ec.4.9}$$

Ahora bien introduciendo en la Ec.4.4 los valores encontrados, la ecuación para la carga total de la bomba A ó B será

$$H_u = \frac{P_2'}{r} + Y + h_s + 122.85 Q^2 \quad \text{Ec.4.10}$$

POTENCIA.- La potencia (Pu) se refiere al caballaje que la bomba comunica al agua para elevarla a una altura (Hu) la cual expresada en C.V. viene dada por

$$P_u = \frac{r Q H_u}{75} \quad \text{Ec.4.11}$$

EFICIENCIA.- Es la relación de la potencia que la bomba aplica al agua Ec.4.11 a la potencia entregada por el motor a la bomba Ec.4. es decir

$$n = \frac{P_u}{P_e} * 100 \quad \text{Ec.4.12}$$

#### - SISTEMA DE BOMBAS EN SERIE.

Para el análisis de las bombas en serie fig.9 se hará un balance de energía entre las secciones de entrada y salida para cada bomba en particular.

El balance de energía para la bomba A es igual al obtenido en el análisis anterior por lo que la carga de la bomba es

$$H_{uA} = \frac{P_2'}{\rho} + Y + h_s + \frac{V_2^1 - V_1^1}{2g} \quad \text{Ec. 5.1}$$

La ecuación anterior es la lectura del manómetro a la entrada de la bomba B.

Haciendo un balance de energía para la bomba B de acuerdo con la ecuación de Bernoulli entre las secciones 1 y 2, fig.9, se tiene

$$Z_1 + \frac{P_1B}{\rho} + \frac{V_1^2B}{2g} + H_{uB} = Z_2 + \frac{P_2B}{\rho} + \frac{V_2^2B}{2g} \quad \text{Ec. 5.2}$$

conociendo que  $Z_2 = Z$  y  $Z_1 = 0$  se tiene

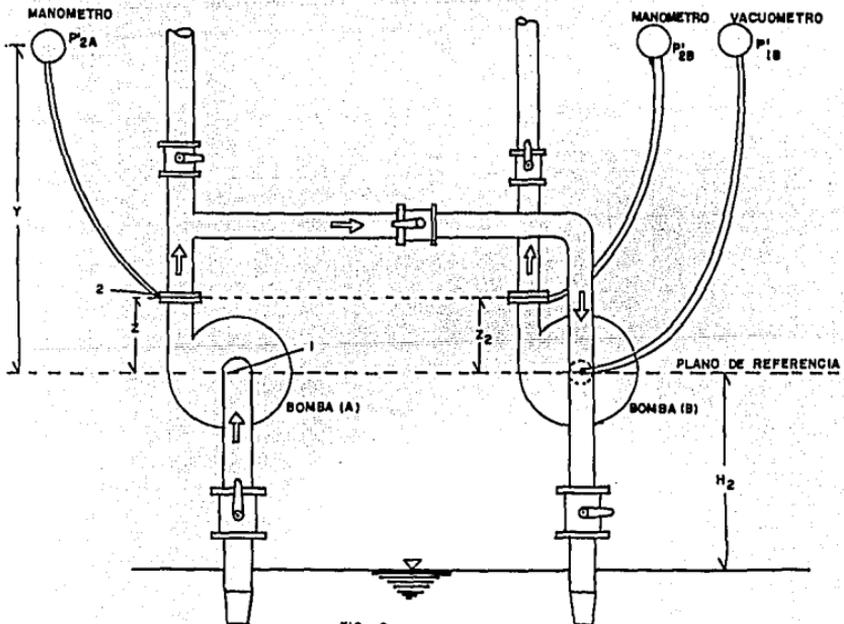


FIG. 9  
SISTEMA DE BOMBA EN SERIE

$$Hu_B = Z + \frac{P_2 B}{r} - \frac{P_1 B}{r} + \frac{V_2^2 B - V_1^2 B}{2g} \quad \text{Ec.5.3}$$

Corrigiendo la presión a la salida y en la entrada de la bomba respectivamente resulta

$$\frac{P_2 B}{r} = \frac{P_2 B'}{r} + (Y - Z) \quad y \quad \frac{P_1 B}{r} = \frac{P_1 B'}{r} + (Y)$$

Substituyendo estos valores en la Ec. 5.3 y simplificando

$$Hu_B = \frac{P_2 B'}{r} - \frac{P_1 B'}{r} + \frac{V_2^2 B - V_1^2 B}{2g} \quad \text{Ec.5.4}$$

Substituyendo las ecuaciones 5.1 y 5.4 en la ecuación para la carga total desarrollada por las dos bombas da por resultado la ecuación para la carga útil del sistema:

$$H_s = Hu_A + Hu_B \quad \text{Ec.5.5}$$

Las velocidades a la salida y a la entrada de las bombas A y B son iguales. Substituyendo y ordenando resulta.

$$H_s = \frac{P_2 A'}{r} + \frac{P_2 B'}{r} - \frac{P_1^2 B'}{r} + Y + h_s + 2 \left[ \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \right] \quad \text{Ec.5.6}$$

De acuerdo a la ecuación 4 en donde las velocidades se encuentran en función del gasto se tiene:

$$H_s = \frac{P_2 A'}{r} + \frac{P_2 B'}{r} - \frac{P_1^2 B'}{r} + Y + h_s + 2 \left[ 122.85 Q^2 \right] \quad \text{Ec.5.7}$$

Simplificando resulta:

$$H_s = \frac{P_2 A'}{r} + \frac{P_2 B'}{r} - \frac{P_1^2 B'}{r} + Y + h_s + 245.7031 Q^2 \quad \text{Ec.5.8}$$

**POTENCIA.**— La potencia (Pu) para la bomba A y B expresada en caballos de vapor se encuentra con la ecuación 4.11 es decir:

$$P_{uA} = \frac{r Q H_{uA}}{75} \quad P_{uB} = \frac{r Q H_{uB}}{75} \quad \text{Ec.5.9}$$

La potencia entregada por los motores en el sistema de bombas en serie se encuentra por la ecuación:

$$P_s = P_A + P_B \quad \text{Ec.5.10}$$

en donde se tiene

$$P_A = 0.001396 M_A N \quad \text{Ec.5.11}$$

$$P_B = 0.001396 M_B N \quad \text{Ec.5.12}$$

substituyendo en la ecuación 5.10 los valores anteriores resulta:

$$P_s = 0.001396 M_A N + 0.001396 M_B N$$

simplificando queda:

$$P_s = 0.001396 N ( M_A + M_B ) \quad \text{Ec.5.13}$$

**EFICIENCIA.**— La eficiencia total o del sistema de bombas en serie se encuentra con:

$$\eta_s = \frac{\eta_A + \eta_B}{2} \quad \text{Ec.5.14}$$

en donde:

$$\eta_A = \frac{P_{uA}}{P_A} \times 100 \qquad \eta_B = \frac{P_{uB}}{P_B} \times 100 \qquad \text{Ec.5.15}$$

### - SISTEMA DE BOMBAS EN PARALELO.

Este sistema es a la inversa que en las bombas en serie, o sea las bombas se conectan en paralelo, si la carga desarrollada por una sola bomba es suficiente para cubrir la demanda requerida pero el gasto no lo es; De este modo la carga en ambas bombas es la misma pero el gasto es mayor que con una sola bomba.

Para el análisis de este sistema en paralelo se hará un balance de energía en la secciones de salida de las bombas.

El análisis se hará para cada bomba en particular ver figura # 10, teniéndose entonces:

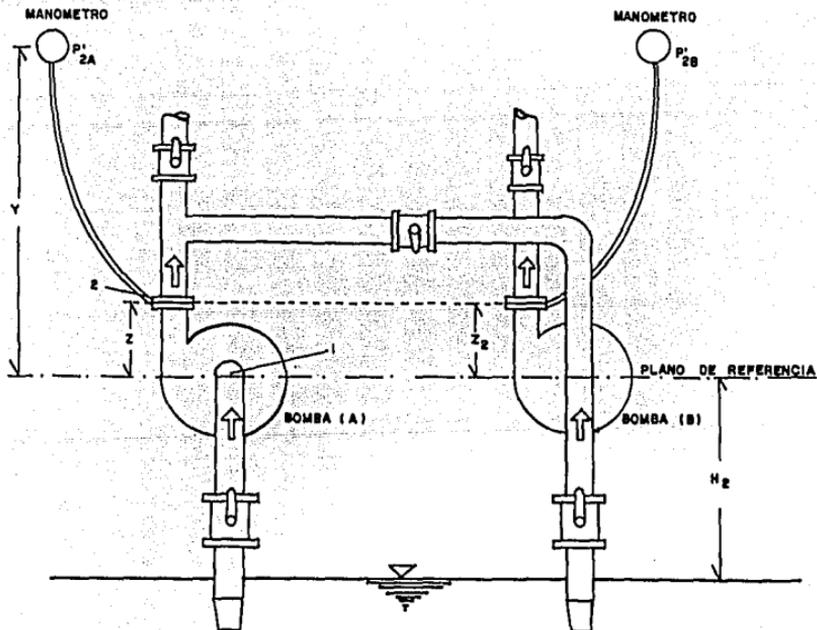


FIG. 10

SISTEMA DE BOMBAS EN PARALELO

$$Hu B = \frac{P_2 B'}{r} + Y + hs + \frac{V_2^2 B - V_1^2 B}{2g} \quad \text{Ec. 6.1}$$

Y

$$Hu A = \frac{P_2 A'}{r} + Y + hs + \frac{V_2^2 A - V_1^2 A}{2g} \quad \text{Ec. 6.2}$$

La corrección por carga de velocidad se hará en función de la ecuación de continuidad y debido a que las velocidades en la entrada y en la salida de ambas bombas se consideran iguales se tiene:

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} = \frac{1}{2g} \left[ \frac{4Q}{\pi D_2^2} - \frac{4Q}{\pi D_1^2} \right]^2 \quad \text{Ec. 6.3}$$

Substituyendo valores queda finalmente:

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} = (122.851) Q^2 \quad \text{Ec. 6.4}$$

Debido a que dicho gasto es la suma de los gastos de las dos bombas se obtiene:

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} = (122.85) (Q/2)^2 \quad \text{Ec. 6.5}$$

Substituyendo la ecuación 6.5 en las ecuaciones 6.1 y 6.2 queda:

$$Hu B = \frac{P_2 B'}{r} + Y + hs + (122.85) \frac{Q^2}{4} \quad \text{Ec. 6.6}$$

$$Hu A = \frac{P_2 A'}{r} + Y + hs + (122.85) \frac{Q^2}{4} \quad \text{Ec. 6.7}$$

**POTENCIA.**- Para las bombas en paralelo la ( $P_u$ ) expresada en C.V. viene dada por las ecuaciones:

$$P_{uA} = \frac{\tau Q/2 H_{uA}}{75} \quad P_{uB} = \frac{\tau Q/2 H_{uB}}{75} \quad \text{Ec.6.8}$$

La potencia entregada por el motor expresada en C.V. para cada bomba es:

$$P_A = 0.001396 M_A N \quad \text{Ec.5.11}$$

y

$$P_B = 0.001396 M_B N \quad \text{Ec.5.12}$$

Al substituir los valores anteriores en la ecuación 5.2 se tiene:

$$P_S = 0.001396 N ( M_A + M_B ) \quad \text{Ec.5.13}$$

**EFICIENCIA.**- La eficiencia total o del sistema de bombas en paralelo se encuentra con:

$$\eta_s = \frac{\eta_A + \eta_B}{2} \quad \text{Ec.5.14}$$

en donde:

$$\eta_A = \frac{P_{uA}}{P_A} \times 100 \quad \eta_B = \frac{P_{uB}}{P_B} \times 100 \quad \text{Ec.5.15}$$

### 2.3.2 CURVAS CARACTERISTICAS TEORICAS

#### C A R G A.

La expresión para la carga teórica de una bomba centrífuga se obtiene aplicando el principio del momento angular a la masa del líquido que circula a través del impulsor.

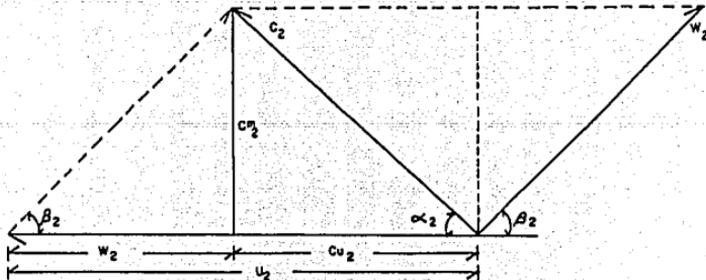
Este principio establece que el cambio del momento angular de un cuerpo con respecto al eje de rotación, es igual al par de fuerzas resultantes sobre el cuerpo, con respecto al mismo eje.

Un impulsor ideal contiene un número muy grande de álabes de espesor infinitesimal. Las partículas de un fluido ideal se mueven exactamente paralelas a la superficie de los álabes sin fricción.

Deduciremos a continuación la fórmula para obtener la curva característica ideal carga-gasto. Usando la ecuación de Euler para la carga en su forma más simple, o sea, en la que se supone que el líquido entra al impulsor radialmente ( $C_{u1} = 0$ ). por tanto:

$$H_e = \frac{U_2 C_{u2}}{g} \quad \text{Ec.7}$$

tomando en cuenta la geometría del triángulo de velocidades a la salida ver figura # 11 para encontrar el valor de  $C_{u2}$ .



Triángulo de velocidades a la salida del impulsor.

Figura 11.

$$Cu_2 = U_2 - W_2$$

$$Cu_2 = U_2 - \frac{Cm_2}{\text{tg } \beta_2} \quad \text{Ec.7.1}$$

y sabiendo que el caudal es igual a (  $Q = A_2 Cm_2$  ) despejando para  $Cm_2$  resulta:

$$Cm_2 = \frac{Q}{A_2} \quad \text{Ec.7.2}$$

substituyendo esta ecuación en la # 7.1 resulta:

$$Cu_2 = U_2 - \frac{Q}{A_2 \text{tg } \beta_2} \quad \text{Ec.7.3}$$

si substituimos esta última ecuación en la ecuación # 7 resulta:

$$He = \frac{U_2^2}{g} - \frac{U_2 Q}{g A_2 \text{tg } \beta_2} \quad \text{Ec.7.4}$$

esta ecuación es una línea recta con:

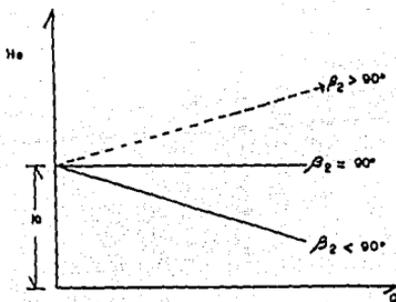
$$\frac{U_2^2}{g} \quad \text{como ordenada}$$

y

$$\frac{U_2 Q}{g A_2 \text{tg } \beta_2} \quad \text{como pendiente}$$

y depende del ángulo de salida  $\beta_2$ .

- Si  $\beta_2 > 90^\circ$  Los álabes son curvos hacia adelante produciendo  $C_2$  muy alta, mal rendimiento y una transferencia de energía alta.
- Si  $\beta_2 = 90^\circ$  Los álabes son radiales produciendo un rendimiento bajo pero una transferencia de energía importante.
- Si  $\beta_2 < 90^\circ$  Los álabes son curvos hacia atrás, produciendo un buen rendimiento pero con baja transferencia de energía y la carga es inversamente proporcional al gasto.



Características ideales Carga-Gasto  
Gráfica 1.

#### POTENCIA.

En una bomba ideal, la potencia que entra es igual a la que sale, o en otras palabras, los caballos al freno son iguales a los caballos de agua.

La forma de la curva de potencia se obtiene multiplicando la ecuación de la carga teórica por el gasto  $Q$ .

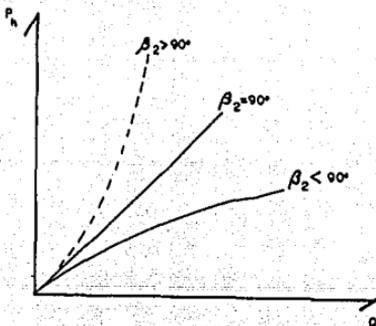
$$P_h = H_e Q$$

$$P_h = \frac{U_2^2 Q}{g} - \frac{U_2 Q^2}{g A_2 \operatorname{tg} \beta_2}$$

Ec.7.5

esta ecuación es una parábola y varía parabólicamente con el gasto.

- Si  $\beta_2 > 90^\circ$  La curva está representada por una parábola cuya concavidad está hacia arriba.
- Si  $\beta_2 = 90^\circ$  Representa una línea recta de pendiente  $U_2^2/g$  y que pasa por el origen.
- Si  $\beta_2 < 90^\circ$  La curva es una parábola tangente, en el origen, a la recta anterior, y cuya concavidad está hacia abajo.



Características ideales Potencia-Gasto.  
Gráfica 2.

### 2.3.3 CURVAS CARACTERISTICAS REALES.

#### 2.3.3.1 SISTEMA DE UNA BOMBA

##### C A R G A.

Las condiciones requeridas por la ecuación de Euler no se satisfacen totalmente, porque parte de la energía se pierde en fricción, separación de flujo, choques, fugas y otras causas. Por estos motivos la carga real de salida (Hm) es siempre menor que la carga teórica hidráulica (He) es decir:

$$H_m = H_e - H_L$$

Ec. 8

donde (HL) representa las pérdidas en el interior de la bomba, ver gráfica 3.

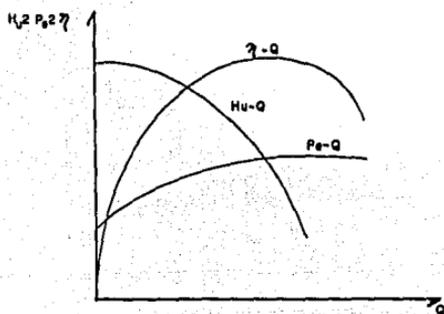
La ecuación 8 se define como la altura manométrica siendo Hm la altura útil que da la bomba.

La característica carga - capacidad, es frecuentemente una curva irregular y comúnmente se clasifican como sigue:

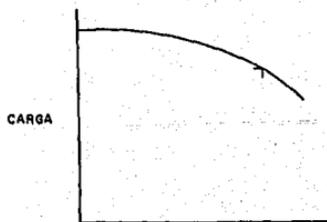
1. CARACTERISTICA CRECIENTE . - Significa una curva en la que la carga aumenta continuamente mientras que la capacidad disminuye.
2. CARACTERISTICA DESCENDENTE . - Indica casos en los que la carga-capacidad desarrollada al cierre es menos de la desarrollada a algunas otras capacidades.
3. CARACTERISTICA DE INCLINACION.- Una característica ascendente de carga-capacidad en la que hay un gran aumento de carga entre la desarrollada a la capacidad de diseño y la desarrollada al cierre.
4. CARACTERISTICA PLANA . - Una característica de carga-capacidad en la que la carga varía sólo ligeramente con capacidad desde el cierre a la capacidad de diseño.
5. CARACTERISTICA ESTABLE . - Una característica de carga-capacidad en la cual sólo se puede obtener una capacidad con cualquier carga.
6. CARACTERISTICA INESTABLE . - Una característica de carga-capacidad en la cual se desarrolla la misma carga a dos o más capacidades.

La representación gráfica se observa a continuación:

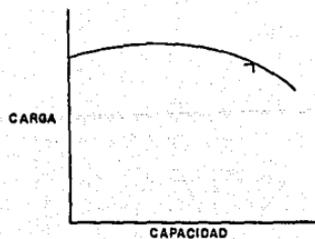
# CARACTERISTICAS TIPICAS DE LAS BOMBAS CENTRIFUGAS



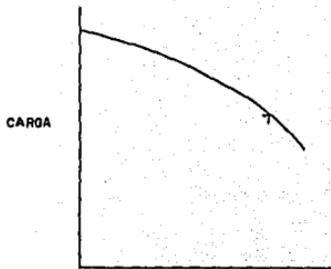
GRAFICA 5



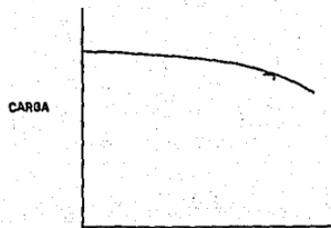
Curva ascendente de carga-capacidad



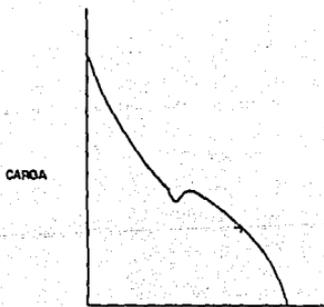
Curva descendente de carga-capacidad



Curva cóncava de carga-capacidad



Curva plana de carga-capacidad



Curva inestable de carga-capacidad

## P O T E N C I A .

La potencia interna ( $P_i$ ) es la potencia suministrada al impulsor, y se obtiene restando las pérdidas mecánicas a la potencia entregada por el motor es decir:

$$P_i = P_e - P_m$$

o

$$P_i = \gamma ( Q + q_e + q_i ) - ( H_m + H_l ) \quad \text{Ec.8.1}$$

sin embargo la potencia útil ( $P_u$ ) es la que se emplea en bombear el gasto  $Q$  a la altura útil o altura manométrica, teniéndose por lo tanto:

$$P_u = \gamma Q H_u$$

La potencia entregada por el motor ( $P_e$ ) se puede expresar en magnitudes hidráulicas, de acuerdo a la ecuación

$$P_e = \frac{\gamma Q H_m}{\eta_t}$$

La forma de la curva bhp varía con el tipo de la velocidad específica. Representada en la gráfica 3.

## E F I C I E N C I A

La eficiencia de una bomba depende de la velocidad y del gasto de descarga. Si se mantiene una velocidad constante, la eficiencia dependerá del valor del gasto de descarga, hasta un cierto punto, y de ahí disminuirá gradualmente. Esto puede advertirse analizando la curva de eficiencia que se muestra en la gráfica 3.

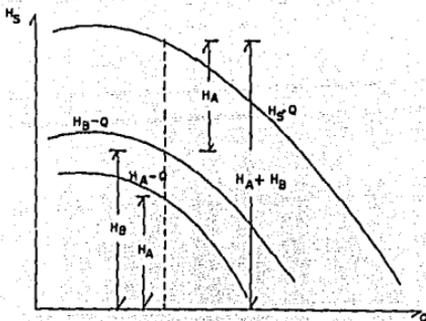
### 2.3.3.2 CURVAS CARACTERISTICAS DEL SISTEMA EN SERIE

#### C A R G A

La carga total desarrollada se obtiene sumando el valor de la carga de cada bomba correspondiente al gasto pertinente.

$$H_s = H_A + H_B$$

Ec.9



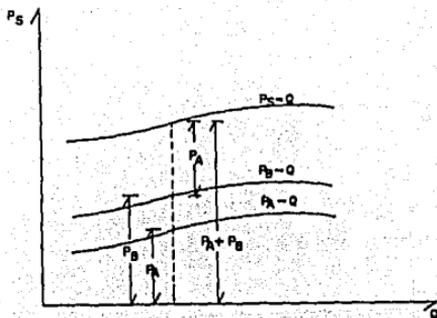
Características carga-gasto de la bomba en serie.  
Gráfica 4.

#### P O T E N C I A

La potencia de la bomba en serie se obtiene de la misma manera que la carga, es decir, la potencias de ambas se suman.

$$P_s = P_A + P_B$$

Ec.5.10



Características Potencia-Gasto de las bombas en serie.  
Gráfica 5.

### E F I C I E N C I A

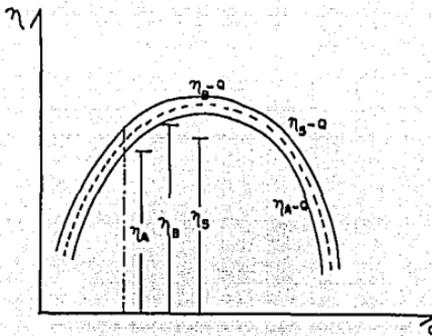
La eficiencia total en este sistema se encuentra de la siguiente manera: si la eficiencia de la bomba A es  $n_A$  y la de la bomba B es  $n_B$  la eficiencia  $n_s$  de las dos bombas será:

$$\frac{\tau Q (H_A + H_B)}{n_s} = \frac{\tau Q H_A}{n_A} + \frac{\tau Q H_B}{n_B}$$

Dividiendo por  $\tau Q$  y despejando se obtiene

$$\frac{1}{n_s} = \frac{\frac{H_A}{n_A} + \frac{H_B}{n_B}}{H_A + H_B}$$

$$\eta_s = \frac{\Sigma H}{2 \Sigma H} \frac{\Sigma H}{\Sigma N} \quad \text{Ec.10}$$



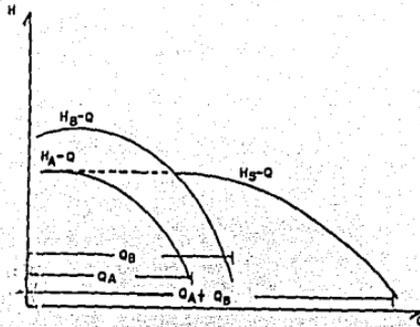
Características Eficiencia-Gasto del sistema en serie.  
Gráfica 6.

### 2.3.3.3 CURVAS CARACTERISTICAS DEL SISTEMA EN PARALELO

#### G A S T O

El gasto total correspondiente a una carga en particular es la suma de los gastos a través de cada bomba a esa carga.

$$Q_s = Q_A + Q_B \quad \text{Ec.11}$$



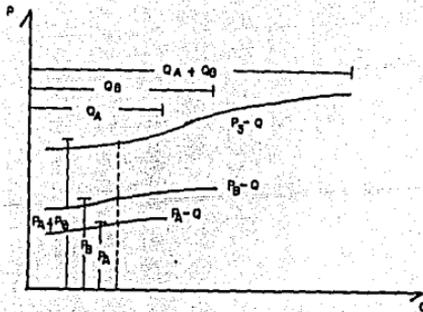
Características Carga-Gasto del sistema en paralelo.  
Gráfica 7.

POTENCIA

La potencia de la bombas en paralelo se obtiene sumando las potencias obtenidas para una misma carga con sus respectivos gastos.

$$P_s = P_A + P_B$$

Ec.12



Características Potencia-Gasto del sistema en paralelo.  
Gráfica 8.

## E F I C I E N C I A

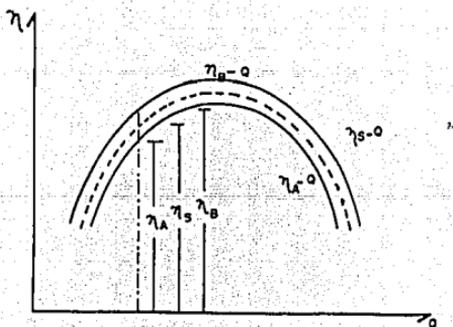
La eficiencia combinada de las bombas en paralelo se obtiene en forma similar a la obtenida en el sistema de bombas en serie, es decir: si la bomba A tiene una eficiencia  $n_A$  y la bomba B una eficiencia  $n_B$  la eficiencia total está dada por:

$$\frac{\tau [ Q_A + Q_B ] Hm}{n_s} = \frac{\tau Q_A Hm}{n_A} + \frac{\tau Q_B Hm}{n_B}$$

Dividiendo por  $\tau Hm$  y despejando se obtiene:

$$\frac{1}{n_s} = \frac{\frac{Q_A}{n_A} + \frac{Q_B}{n_B}}{Q_A + Q_B}$$

$$n_s = \frac{\Sigma Q}{2 \Sigma Q} \frac{\Sigma N}{\Sigma N} \quad \text{EC.13}$$

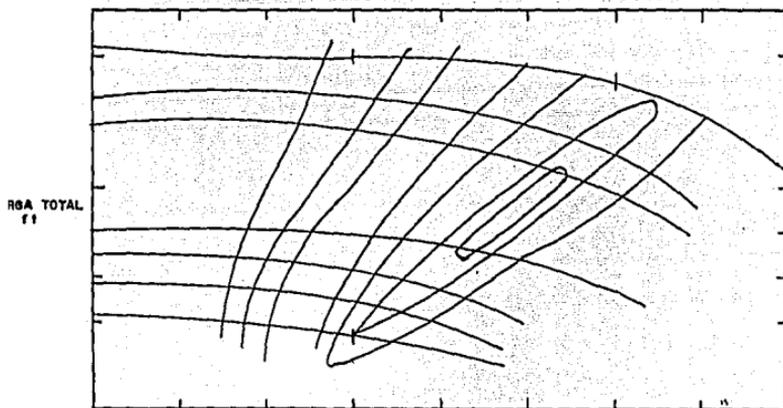


Características Eficiencia-Gasto del sistema en paralelo.  
Gráfica 9.

## CURVAS CARACTERISTICAS DE ISOEFICIENCIA

Las curvas características de isoeficiencia se construyen de la siguiente manera:

Una vez que se han realizado pruebas para diferentes velocidades y que se han trazado las curvas, se fijan valores exactos de eficiencias y se unen los puntos de igual eficiencia en todas las curvas de carga-gasto, obteniendo de esta manera las curvas.



CAUDAL, GAL/MIN

GRAF. 10

CURVAS DE ISOEFICIENCIA

### 2.3.4 PARAMETROS QUE INTERVIENEN EN LAS CARACTERISTICAS DE LA BOMBA

#### TRABAJO UTIL.

El trabajo útil que hace la bomba es el peso del líquido bombeado en un periodo, multiplicado por la carga producida por la bomba y se expresa en términos de caballaje, llamados caballos de agua (WHP). Se determina con:

$$WHP = \frac{QH \text{ (Sp. gr)}}{3960} \quad \text{Ec.14}$$

La potencia requerida para la propulsión de la bomba son los caballos de agua divididos entre la eficiencia (n) de la bomba. Se conoce como potencia al freno.

$$BHP = \frac{QH \text{ (Sp. gr)}}{3960 \cdot n} \quad \text{Ec.15}$$

#### LEYES DE AFINIDAD.

Son las relaciones que nos permiten predecir el rendimiento de una bomba, a una velocidad que no sea la de característica y son:

- \* La capacidad Q en cualquier punto dado en la característica de la bomba varía directamente con la velocidad de giro.
- \* El caballaje al freno Ph varía en razón directa al cubo de la velocidad de giro.
- \* La carga H varía en razón directa al cuadrado de la velocidad.

#### VELOCIDAD ESPECIFICA.

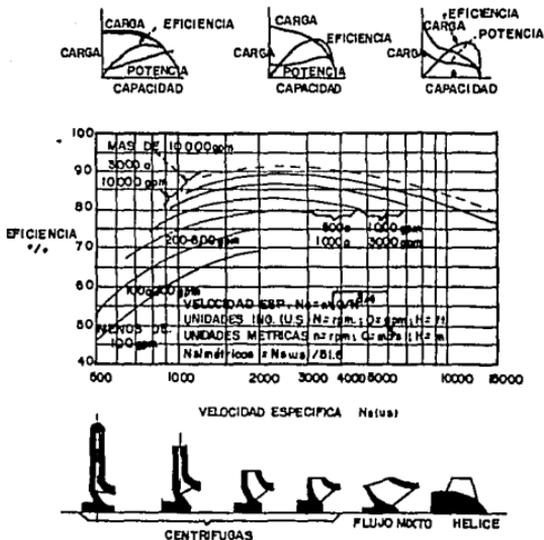
Es el término que relaciona los tres factores principales de las características de rendimiento: Carga, capacidad, y velocidad de rotación, en un solo término.

En su forma básica, la velocidad específica es un número índice que se expresa con:

$$Ns = \frac{n \sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad \text{Ec.16}$$

en donde  $N_s$  = velocidad específica,  $n$  = velocidad de rotación,  $Q$  = capacidad,  $H$  = carga.

Se debe recalcar que la "velocidad específica" es un número índice, que identifica las diversas características de un grupo. Por ejemplo, las características físicas y el contorno geométrico de los perfiles de los impulsores tienen estrecha relación con sus respectivas velocidades específicas. Por tanto, el valor de la velocidad específica describirá de inmediato la configuración aproximada del impulsor.



GRAF. II  
RELACION DE VELOCIDAD ESPECIFICA DE BOMBAS ROTODINAMICAS.



## CAVITACION

La cavitación ocurre cuando la presión absoluta dentro de un impulsor cae por abajo de la presión de vapor del líquido y se forman burbujas de vapor. Estas se contraen más adelante en los álabes del impulsor cuando llegan a una región de presión mas alta.

La (NPSH)<sub>R</sub> mínima para una capacidad y velocidad dada de la bomba se define como la diferencia entre la carga absoluta de succión y la presión de vapor 14.7 lb/pul<sup>2</sup> del líquido bombeado a temperatura de bombeo y que es necesaria para evitar la cavitación.

La cavitación de la bomba se nota cuando hay una o más de las siguientes señales: ruido, vibración, caída en las curvas de capacidad de carga y eficiencia, y con el paso del tiempo , por los daños en el impulsor por picaduras y erosión.

La NPSH mínima se determina con una prueba en la cual se miden tanto la carga total como la eficiencia a velocidad y capacidad dadas en condiciones NPSH variables.

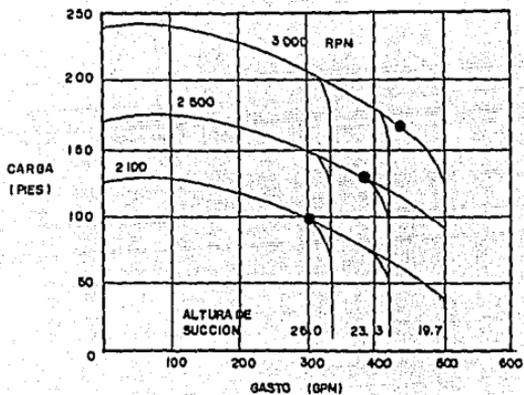
### CAIDA DE CARGA-CAPACIDAD.

La forma que adopta una curva al llegar al punto de cavitación varía con la velocidad específica de la bomba en cuestión.

Con bombas de baja velocidad específica las curvas de capacidad-carga, eficiencia y potencia se quiebran y caen bruscamente al llegar al punto de cavitación. En la gráfica # 12 se puede apreciar tal inflexión así como el efecto que tienen la altura de succión y la velocidad.

En bombas de media velocidad específica el cambio es menos brusco y en bombas de alta velocidad específica es un cambio gradual sin que pueda fijarse un punto preciso en que la curva se quiebre.

Esta diferencia en el comportamiento de bombas de diferentes velocidades específicas, se debe a las diferencias en el diseño del impulsor.



GRAF. 12  
CAIDA DE LA CURVA CARGA-CAPACIDAD

## CARGA DEL SISTEMA

En términos estrictos, una bomba sólo puede funcionar dentro de un sistema. Para entregar un volumen dado de líquido en este sistema, la bomba debe aplicar, al líquido, una energía formada por los siguientes componentes.

- \* Carga estática.
- \* Diferencia en presiones en la superficie de los líquidos.
- \* Carga de fricción.
- \* Pérdida en la entrada y la salida.

## CARGA ESTÁTICA

La carga estática significa una diferencia en elevación. Por tanto, la "Carga estática total" de un sistema es la diferencia en elevación entre los niveles del líquido en los puntos de descarga y de succión de la bomba, la "Carga estática de descarga" es la diferencia en elevación entre el nivel del líquido de descarga y la línea de centro de la bomba.

Cuando la carga estática de succión tiene el nivel del líquido de succión por debajo de la línea de centro de la bomba se le suele llamar "Altura estática de aspiración" y se coloca con el signo negativo.

## CARGA DE FRICCIÓN

Es la necesaria para contrarrestar las pérdidas por fricción ocasionadas por el flujo del líquido en la tubería, válvulas y accesorios. Estas pérdidas varían más o menos proporcionalmente al cuadrado del flujo en el sistema.

C A P I T U L O 3

DISEÑO Y PRESENTACION DE LAS PRACTICAS

### CAPITULO III

#### DISEÑO DE LAS PRACTICAS

##### PRACTICA # 1

###### PRACTICA CON EL SISTEMA DE UNA BOMBA

**OBJETIVO:** Recabar los datos experimentales complementarios para la construcción de las curvas características

**MATERIALES:** Banco de pruebas, Tacómetro de mano, hojas de registro.

**PROCEDIMIENTO:**

- 1.- Se recomienda haber leído con anterioridad el manual del banco de pruebas.
- 2.- Verificar que todos los dispositivos de Medición esten a cero:
  - a) El cero de la escala del manómetro diferencial debe coincidir con la parte superior del menisco de la columna de mercurio.
  - b) La aguja indicadora de los manómetros y vacuómetros deben coincidir con el cero de la carátula.
- 3.- Tener preparado para la prueba un tacómetro de mano.
- 4.- Verificar las válvulas.
  - a) Cerciorarse que la válvula de succión de la bomba con la cual se va a hacer la prueba, esté abierta.
  - b) Cerrar la válvula de descarga de la bomba que no esté funcionando.
  - c) Revisar que la válvula situada en la tubería que une la descarga de la bomba A con la B esté cerrada.
  - d) Checar que la válvula de descarga principal esté cerrada.

- 5.- Antes de poner en funcionamiento el equipo debe de cebarse las bombas.
- 6.- Poner el equipo en funcionamiento cerrando el switch.
- 7.- Estando en funcionamiento el equipo se purgan todos los dispositivos de medición.
- 8.- Se mide y anota en la hoja de registro la velocidad de operación del motor, para la prueba mediante el tacómetro de mano.
- 9.- Se leen todos los datos experimentales observados en los diferentes medidores del banco de pruebas y se anotan en la parte correspondiente en la hoja de registro.
- 10.- Se varía un poco el gasto mediante la apertura gradual de la válvula de descarga principal.
- 11.- Se checa nuevamente la velocidad de operación del motor, en caso que halla variado se ajusta a la velocidad ya escogida para la prueba.
- 12.- Se espera un momento para que se estabilicen las condiciones en los diferentes medidores del banco de prueba.
- 13.- Se vuelven a leer todos los datos experimentales observados en los diferentes medidores del banco de pruebas y se anotan en la parte correspondiente de la hoja de registro.
- 14.- Por lo menos 10 tomas de datos se deben realizar de la misma manera, variando el gasto gradualmente volviendo a leer y a notar los datos experimentales
- 15.- Terminando la prueba se abre el switch y se cierran las válvulas.

## DESARROLLO:

Se procede a efectuar una serie de cálculos a fin de obtener la información necesaria para la elaboración de las curvas características de la bomba instalada en el banco de pruebas.

Los datos obtenidos se anotarán en la hoja de registro en el lugar que le correspondan.

**C A U D A L :** para la obtención del mismo se utilizará la fórmula siguiente:

$$Q = C_q A_2 \sqrt{2g (h_0 - h_2)}$$

donde:  $C_q$  = Coeficiente de caudal, aproximadamente = 0.695  
 $g$  = Gravedad = 9.81 m/s<sup>2</sup>  
 $d_2$  = Diámetro de la sección más estrecha del diafragma, que es de 32mm.  
 $A_2$  = Es el área de la sección más estrecha del diafragma. =  $\pi d_2^2 / 4$   
 $H$  = ( $h_0 - h_2$ ) Diferencia de alturas piezométricas estas lecturas se obtienen con los datos experimentales que corresponden al manómetro diferencial de mercurio, los encontraremos anotados en la hoja de registro.

A continuación encontraremos el caudal para las diferentes tomas de datos, substituir en la fórmula del caudal los datos correspondientes, el resultado lo anotaremos en la hoja de registro.

**POTENCIA HIDRAULICA** o la potencia útil, es la potencia que comunica la bomba al agua, se calcula por la Ec.4.11

$$P_u = \frac{\sigma g Q H_u}{75}$$

Se requieren los siguientes datos para ser calculada:

- Densidad del agua,  $\sigma = 1000 \text{ Kg/m}^3$
- Gravedad,  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
- Caudal, se localiza en la hoja de registro.

- d) Carga útil o altura manométrica se calcula mediante la ecuación 4.10

$$H_u = \frac{P_2}{\gamma} + Y + h_s + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$$

- d<sub>1</sub>)  $P_2/\gamma$  = Carga de presión, los datos corresponden al manómetro a la salida de la bomba, se localizan en la hoja de registro.
- d<sub>2</sub>)  $h_s$  = Carga de succión, los datos corresponden al vacuómetro a la entrada de la bomba, se localizan en la hoja de registro.
- d<sub>3</sub>)  $Y$  = Distancia del centro del eje de la bomba al centro de los manómetros y vacuómetros, corresponde a 31 mm.

A continuación encontraremos la carga útil para los diferentes tomas de datos, substituir en la fórmula 4.10 los datos correspondientes, el resultado lo anotaremos en la hoja de registro.

Después procederemos a encontrar la potencia útil para los diferentes tomas de datos, substituir en la fórmula 4.11 los datos correspondientes, el resultado lo anotaremos en la hoja de registro.

**POTENCIA DE ENTRADA.** Mecánica: Para el cálculo de la potencia de entrada se requieren los siguientes datos:

- Fuerza en el medidor.
- Velocidad de rotación del motor.
- Momento de giro o par de motor, se calcula por la ecuación  $M = 0.160 F$  Ec. 17

Finalmente la potencia entregada por el motor se encuentra por la ecuación:

$$P_e = 0.001396 M N \quad \text{Ec. 18}$$

donde

$$N = R.P.M$$

**POTENCIA DE ENTRADA Eléctrica:** Con los datos ya mencionados para el voltaje y la corriente, la potencia de entrada se calcula de la siguiente forma:

La potencia eléctrica que toma un motor de corriente continua está definida por:

$$P = E * I$$

P = Potencia Eléctrica en Watts.

E = Voltaje en Volts.

I = Corriente en Amperes.

Se sabe que un C.V. = 736 Watts

Por lo tanto, para expresar la potencia eléctrica en C.V.:

$$P_w = \frac{E * I}{736} \quad \text{Ec.19}$$

**EFICIENCIA:** La eficiencia se calcula mediante la ecuación 4.12.

$$n = \frac{P_u}{P_e} * 100$$

#### REPRESENTACION GRAFICA DE LOS RESULTADOS

En nuestra hoja de registro hemos anotado todos los datos necesarios para graficar las características de la bomba.

En papel milimétrico graficar:

Primero: Carga contra caudal.  $H_u$  contra  $Q$ .

Segundo: Potencia contra caudal.  $(P_u, P_e, P_w)$  contra  $Q$ .

Tercero: Eficiencia contra caudal.  $n$  contra  $Q$

HOJA DE REGISTRO DE BOMBAS CENTRIFUGAS

HOJA 1

PRUEBA DE LA BOMBA \_\_\_\_\_  
 DEL SISTEMA \_\_\_\_\_  
 VELOCIDAD DE LA PRUEBA \_\_\_\_\_  
 DISTANCIA VERTICAL DEL MANOMETRO AL EJE DEL IMPULSOR \_\_\_\_\_

PRUEBA No \_\_\_\_\_ DE \_\_\_\_\_  
 EFECTUADA POR \_\_\_\_\_  
 DURACION \_\_\_\_\_  
 FECHA \_\_\_\_\_

DATOS EXPERIMENTALES

PRUEBA	MANOMETRO DIFERENCIAL	VOLTAJE	CORRIENTE	CARGA DE PRESTON	CARGA DE SUCCION	FUERZA EN EL MEDIDOR
	H ( mm Hg )	E ( VOLT )	I ( AMPERE )	$\frac{P_2}{T}$ T	$h_s$ ( m )	F ( kg )
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

DATOS DE TABLAS

GASTO DEL DIAFRAGMA

Q

( l / s )



## PRACTICA # 2

### SISTEMA DE BOMBAS EN SERIE

**OBJETIVO:** Recabar los datos experimentales de cada una de las bombas para la construcción de las curvas características.

**MATERIALES:** Banco de pruebas, 1 Tacómetro, hojas de registro.

#### PROCEDIMIENTO:

- 1.- Se recomienda haber leído con anterioridad el manual del banco de pruebas.
- 2.- Verificar que todos los dispositivos de medición estén en cero: (como se hizo en la practica # 1).
- 3.- Disponer del tacómetro de mano.
- 4.- Verificar las válvulas.
  - a) Abrir la válvula de succión de la bomba A.
  - b) Cerrar la válvula de descarga de la bomba A.
  - c) Abrir la válvula situada en la tubería que une la descarga de la bomba A con la succión de la bomba B.
  - d) Cerrar la válvula de succión de la bomba B.
  - e) Abrir la válvula de descarga de la bomba B.
  - f) Cerrar la válvula de descarga principal.
- 5.- Antes de poner en funcionamiento el equipo debe de cebarse la bomba A.
- 6.- Poner el equipo en funcionamiento cerrando el switch.

- 7.- Estando en funcionamiento el equipo se purgan todos los dispositivos de medición.
- 8.- Se mide y anota en la hoja de registro la velocidad de operación del motor, para la prueba mediante el tacómetro de mano.
- 9.- Se leen todos los datos experimentales observados en los diferentes medidores del banco de pruebas y se anotan en la hoja de registro en la siguiente forma: para la bomba A se llena la hoja de registro # 1 y para la bomba B la hoja # 3.
- 10.- Se varia un poco el gasto mediante la apertura gradual de la válvula de descarga principal.
- 11.- Teniendo una nueva serie de datos; y cuya secuencia a seguir es análoga al caso de la prueba con una sola bomba.

#### DESARROLLO:

Se procede a efectuar una serie de cálculos a fin de obtener la información necesaria para la elaboración de las curvas características de las bombas instaladas en el banco de pruebas.

C A U D A L : para la obtención del mismo se utilizará la fórmula siguiente:

$$Q = C_q A_2 \sqrt{2g (h_0 - h_2)}$$

donde:  $C_q$  = Coeficiente de caudal, aproximadamente = 0.695  
 $g$  = Gravedad = 9.81 m/s<sup>2</sup>  
 $d_2$  = Diámetro de la sección más estrecha del diafragma, que es de 32mm.  
 $A_2$  = Es el área de la sección más estrecha del diafragma. =  $\pi d_2^2 / 4$   
 $H$  =  $(h_0 - h_2)$  Diferencia de alturas piezométricas estas lecturas se obtienen con los datos experimentales que corresponden al manómetro diferencial de mercurio, los encontraremos anotados en la hoja de registro.

A continuación encontraremos el caudal para las diferentes tomas de datos, substituir en la fórmula del caudal los datos correspondientes, el resultado lo anotaremos en la hoja de registro #1 y #3.

POTENCIA HIDRAULICA o la potencia útil, es la potencia que comunica la bomba al agua, se calcula por la Ec.5.9

$$P_{uA} = \frac{\tau Q H_{uA}}{75} \quad P_{uB} = \frac{\tau Q H_{uB}}{75}$$

Se requieren los siguientes datos para ser calculada:

- Densidad del agua,  $\sigma = 1000 \text{ Kg/m}^3$
- Gravedad,  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
- Caudal, se localiza en la hoja de registro.
- Carga útil o altura manométrica de cada una de las bombas se calcula de la siguiente manera:

- Para la bomba A por medio de la ecuación 5.1

$$H_{uA} = \frac{P_{2A}}{\tau} + Y + h_s + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$$

- Para la bomba B por medio de la ecuación 5.4

$$H_{uB} = \frac{P_{2B}}{\tau} - \frac{P_{1B}}{\tau} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$$

- $P_2/\tau$  = Carga de presión, los datos corresponden al manómetro a la salida de cada bomba, se localizan en la hoja de registro.
- $h_s$  = Carga de succión, los datos corresponden al vacuómetro a la entrada de la bomba A, se localizan en la hoja de registro.
- $Y$  = Distancia del centro del eje de la bomba al centro de los manómetros y vacuómetros, corresponde a 31 mm.

d<sub>4</sub>)  $P_1/\tau$  = Carga de presión, los datos corresponden al manómetro a la entrada de la bomba B, se localizan en la hoja de registro #3.

d<sub>5</sub>)  $\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$  = Corrección de la velocidad se calcula por medio de la ecuación de continuidad, y conociendo previamente el gasto  $Q = A V$  despejando para la velocidad y substituyendo en la fórmula resulta  $(122.85)Q^2$

A continuación encontraremos la carga útil para los diferentes tomas de datos, substituir en la fórmula 5.1 y 5.4 los datos correspondientes, el resultado lo anotaremos en la hoja de registro correspondiente.

Despues prosederemos a encontrar la potencia útil para los diferentes tomas de datos, substituir en la fórmula 5.9 los datos correspondientes, el resultado lo anotaremos en la hoja de registro.

**POTENCIA DE ENTRADA. Mecánica:** Para el cálculo de la potencia de entrada se requieren los siguientes datos:

- a) Fuerza en el medidor A y B.
- b) Velocidad de rotación A y B.
- c) Momento de giro o par de motor, se calcula por la ecuación  $M = 0.160 F$  Ec. 17

Finalmente la potencia entregada por el motor se encuentra por la ecuaciones 5.11 y 5.12 respectivamente.

$$P = 0.001396 M N$$

**POTENCIA DE ENTRADA Eléctrica:** Con los datos ya mencionados para el voltaje y la corriente, la potencia de entrada se calcula de la siguiente forma:

La potencia eléctrica que toma un motor de corriente continua está definida por:

$$P = E * I$$

Ec.17

P = Potencia Eléctrica en Watts.  
 E = Voltaje en Volts.  
 I = Corriente en Amperes.

Se sabe que un C.V. = 736 Watts

Por lo tanto, para expresar la potencia eléctrica en C.V.:

$$P_w = \frac{E * I}{736} \quad \text{Ec.19}$$

EFICIENCIA: La eficiencia se calcula mediante la ecuación 5.15.

$$n_A = \frac{P_{uA}}{P_{eA}} * 100 \quad n_B = \frac{P_{uB}}{P_{eB}} * 100$$

#### CALCULOS DEL SISTEMA

1.- Carga útil del sistema Ec. 5.5.

$$H_s = H_{uA} + H_{uB}$$

2.- Potencia útil del sistema: Se obtiene sumando el valor de la potencia útil de cada una de las bombas.

$$P_s = P_{uA} + P_{uB}$$

3.- Potencia Mecánica del sistema: Ec.5.13 o sumando el valor correspondiente a ambas bombas.

$$P_s = 0.001396 N ( M_A + M_B )$$

4.- Potencia Eléctrica: Se obtiene sumando los valores correspondientes de cada bomba.

5.- Eficiencia del Sistema: Ec. 5.14.

$$n_s = n_A + n_B$$

## PROCEDIMIENTO PARA GRAFICAR LOS RESULTADOS

En nuestra hoja de resultados hemos anotado todos los datos necesarios para graficar las curvas características de las bombas.

En papel milimétrico graficar:

Primero: Carga del sistema contra caudal.

Segundo: Potencias del Sistema contra caudal.  
(  $P_{u_s}$ ,  $P_{e_s}$ ,  $P_{w_s}$  contra  $Q$  ).

Tercero: Eficiencia del sistema contra caudal  
(  $n_s$  contra  $Q$  ).





HOJA DE REGISTRO DE BOMBAS CENTRIFUGAS

HOJA 3

PRUEBA DE LA BOMBA \_\_\_\_\_  
 DEL SISTEMA \_\_\_\_\_  
 VELOCIDAD DE LA PRUEBA \_\_\_\_\_  
 DISTANCIA VERTICAL DEL MANOMETRO AL EJE DEL IMPULSOR  $\gamma =$  \_\_\_\_\_

PRUEBA No \_\_\_\_\_ DE \_\_\_\_\_  
 EFECTUADA POR \_\_\_\_\_  
 DURACION \_\_\_\_\_  
 FECHA \_\_\_\_\_

DATOS EXPERIMENTALES

PRUEBA	U	I	CARGA DE PRESION	CARGA DE PRESION	MANOMETRO DIFERENCIAL	CARGA DE SUCCION	FUERZA EN EL REBIDOR
	VOLT	AMPERE	$\frac{P_2}{T}$	$\frac{P_1}{T}$	$\Delta H$ ( m )	$h_s$ ( m )	F ( kg )
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

DATOS DE TABLAS

GASTO DEL DIAFRAGMA

Q

( l/s )



### PRACTICA # 3

#### SISTEMA DE BOMBAS EN PARALELO

**OBJETIVO:** Recabar los datos experimentales de cada una de las bombas para la construcción de las curvas características.

**MATERIALES:** Banco de pruebas, 1 Tacómetro, hojas de registro.

#### PROCEDIMIENTO:

- 1.- Se recomienda haber leído con anterioridad el manual del banco de pruebas.
- 2.- Verificar que todos los dispositivos de medición estén en cero, (como se hizo en la práctica #1).
- 3.- Disponer de 1 tacómetro de mano.
- 4.- Verificar las válvulas.
  - a) Abrir las válvulas de succión de las bombas.
  - b) Abrir las válvulas de descarga de las dos bombas.
  - c) Cerrar la válvula situada en la tubería que une la descarga de la bomba "A" con la succión de la bomba "B".
  - d) Cerrar la válvula de la descarga principal.
- 5.- Antes de poner en funcionamiento, el equipo debe de cebarse la bomba "A".
- 6.- Poner el equipo en funcionamiento cerrando el switch.
- 7.- Estando en funcionamiento el equipo se purgan todos los dispositivos de medición.
- 8.- Se mide la velocidad de operación del motor mediante el tacómetro de mano y se anota en la hoja de registro.
- 9.- Se leen todos los datos experimentales observados en los diferentes medidores del banco de pruebas y se anotan en la hoja de registro en la siguiente forma: para la bomba A se llena la hoja de registro # 2 y para la bomba B la hoja # 4.

- 10.- Se varía un poco el gasto mediante la apertura gradual de la válvula de descarga principal.
- 11.- Teniendo una nueva serie de datos; La secuencia a seguir es análoga al de las prácticas anteriores.

**DESARROLLO:**

Se procede a efectuar una serie de cálculos a fin de obtener la información necesaria para la elaboración de las curvas características de las bombas instaladas en el banco de pruebas.

**C A U D A L :** para la obtención del mismo se utilizará la fórmula siguiente:

$$Q = C_q A_2 \sqrt{(2g(h_0 - h_2))}$$

donde:  $C_q$  = Coeficiente de caudal, aproximadamente = 0.695  
 $g$  = Gravedad = 9.81 m/s<sup>2</sup>  
 $d_2$  = Diámetro de la sección más estrecha del diafragma, que es de 32mm.  
 $A_2$  = Es el área de la sección más estrecha del diafragma. =  $\pi d_2^2 / 4$   
 $H$  = ( $h_0 - h_2$ ) Diferencia de alturas piezométricas estas lecturas se obtienen con los datos experimentales que corresponden al manómetro diferencial de mercurio, los encontraremos anotados en la hoja de registro.

A continuación encontraremos el caudal para las diferentes tomas de datos, substituir en la fórmula del caudal los datos correspondientes, el resultado lo dividiremos entre dos para sacar el promedio del caudal obtenido por cada bomba, y se anotará en la hoja de registro #2 bomba A, #4 bomba B.

**POTENCIA HIDRAULICA** o la potencia útil, es la potencia que comunica la bomba al agua, se calcula por la Ec.6.8

$$P_{uA} = \frac{\tau Q/2 H_{uA}}{75}$$

$$P_{uB} = \frac{\tau Q/2 H_{uB}}{75}$$

Se requieren los siguientes datos para ser calculada:

- a) Densidad del agua,  $\rho = 1000 \text{ Kg/m}^3$
- b) Gravedad,  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
- c) Caudal, se localiza en la hoja de registro.
- d) Carga útil o altura manométrica de cada una de las bombas se calcula de la siguiente manera:

- Para la bomba A por medio de la ecuación 6.7

$$H_{uA} = \frac{P_2A}{\rho} + Y + h_s + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$$

- Para la bomba B por medio de la ecuación 6.6

$$H_{uB} = \frac{P_2B}{\rho} + Y + h_s + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$$

- d<sub>1</sub>)  $P_2/\rho$  = Carga de presión, los datos corresponden al manómetro a la salida de cada bomba, se localizan en la hoja de registro.
- d<sub>2</sub>)  $h_s$  = Carga de succión, los datos corresponden al vacuómetro a la entrada de las bombas, se localizan en la hoja de registro.
- d<sub>3</sub>)  $Y$  = Distancia del centro del eje de la bomba al centro de los manómetros y vacuómetros, corresponde a 31 mm
- d<sub>5</sub>)  $\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$  = Corrección de la velocidad se calcula por medio de la ecuación de continuidad, y conociendo previamente el gasto  $Q = A V$  despejando para la velocidad y substituyendo en la fórmula resulta  $122.85 (Q/2)^2$

A continuación encontraremos la carga útil para los diferentes tomas de datos, substituir en la fórmula 6.6 y 6.7 los datos correspondientes, el resultado lo anotaremos en la hoja de registro.

Despues procederemos a encontrar la potencia útil para los diferentes tomas de datos, substituir en la fórmula 6.8 los datos correspondientes, el resultado lo anotaremos en la hoja de registro.

**POTENCIA DE ENTRADA** o mecánica: Se requieren los siguientes datos para ser calculada:

- a) Fuerza en el medidor de cada bomba .
- b) Velocidad de rotación de cada bomba.
- c) Momento de giro o par motor se calcula por la ecuación 17.

$$M = 0.160 F$$

Finalmente la Potencia entregada se calcula por la ecuación:

$$P_e = 0.001396 M N$$

**POTENCIA DE ENTRADA** o eléctrica: Con los datos de voltaje y corriente de las hojas de registro, la potencia de entrada electrica se calcula de la siguiente forma:

La potencia electrica que toma un motor de corriente continua esta definida por:

$$P = E * I$$

P = Potencia electrica en Watts.

E = Voltaje en Volts.

I = Corriente en Amperes.

Se sabe que un C.V. = 736 Watts.

Por lo tanto, para expresar la potencia electrica en C.V:

$$P_w = \frac{E * I}{736}$$

**EFICIENCIA:** El valor de la eficiencia individual de cada bomba se encuentra mediante la ecuación Ec. 5.15.

$$n = \frac{P_u}{P_e} * 100$$

## CALCULOS DEL SISTEMA

- 1.- Carga útil del sistema Ec. 5.5.

$$H_s = H_{uA} + H_{uB}$$

- 2.- Potencia útil del sistema: Se obtiene sumando el valor de la potencia útil de cada una de las bombas.

$$P_s = P_{uA} + P_{uB}$$

- 3.- Potencia Mecánica del sistema: Ec.5.13 o sumando el valor correspondiente a ambas bombas.

$$P_s = 0.001396 N ( M_A + M_B )$$

- 4.- Potencia Eléctrica: Se obtiene sumando los valores correspondientes de cada bomba.

- 5.- Eficiencia del Sistema: Ec. 5.14.

$$n_s = n_A + n_B$$

## PROCEDIMIENTO PARA GRAFICAR LOS RESULTADOS

En nuestra hoja de resultados hemos anotado todos los datos necesarios para graficar las curvas características de las bombas.

En papel milimétrico graficar:

Primero: Carga del sistema contra caudal.

Segundo: Potencias del Sistema contra caudal.  
(  $P_{u_s}$ ,  $P_{e_s}$ ,  $P_{w_s}$  contra  $Q$  ).

Tercero: Eficiencia del sistema contra caudal  
(  $n_s$  contra  $Q$  ).

HOJA DE REGISTRO DE BOMBAS CENTRIFUGAS

HOJA 2

PRUEBA DE LA BOMBA \_\_\_\_\_  
 DEL SISTEMA \_\_\_\_\_  
 VELOCIDAD DE LA PRUEBA \_\_\_\_\_  
 DISTANCIA VERTICAL DEL MANOMETRO AL EJE DEL IMPULSOR Y = \_\_\_\_\_

PRUEBA No \_\_\_\_\_ DE \_\_\_\_\_  
 EFECTUADA POR \_\_\_\_\_  
 DURACION \_\_\_\_\_  
 FECHA \_\_\_\_\_

DATOS EXPERIMENTALES

PRUEBA	MANOMETRO	VOLTAJE	CORRIENTE	CARGA DE	CARGA DE	FUERZA EN
	DIFERENCIAL			PRESION	SUCCION	EL MEDIDOR
	H	E	I	$\frac{P_2}{T}$	$h_s$	F
	( mm Hg )	( VOLT )	( AMPERE )		( m )	( kg )
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

DATOS DE TABLAS

GASTO DEL	GASTO
DIAPHRAGMA	PROMEDIO
Q	$q/2$
( l/s )	( l/s )







## CONCLUSIONES:

Es evidente que el egresado se encuentre en el campo industrial con problemas que posiblemente no se hayan visto en las aulas escolares ó unicamente cuente con nociones teóricas obtenidas en la escuela. (por lo extenso de la Ingeniería). Es razón por la cuál debe de surgir una enseñanza lo más cercano posible y actualizada a la realidad. "Teórico - Práctica".

Nuestro país tanto en el campo industrial privado como en el de participación estatal se ven en la necesidad de comprar maquinaria junto con la tecnología propia de estas, ó mandar a capacitar a su personal al extranjero para hacer más productiva su empresa. Siendo que día con día los avances tecnológicos siguen una trayectoria ascendente, por eso es necesario que los laboratorios y talleres escolares junto con el área industrial sigan una trayectoria paralela para una formación de egresados mejor capacitados.

Es conveniente que la universidad fomente la inquietud en los alumnos a la investigación creando concursos de diseño para titulación automática a los mejores proyectos, en los que intervengan las empresas para que sean ellas las que elijan los mejores proyectos, formando una relación universidad alumno empresa.

En la actualización del equipo del laboratorio de Maquinas - Hidráulicas se tiene el banco de pruebas de bombas centrifugas serie - paralelo. Con este aparato se tiene como finalidad: Relacionar lo más cercano posible al alumno con las bombas, Iniciarlos con los posibles problemas industriales, Sembrar la inquietud en los alumnos a la investigación.

Es necesario que los futuros ingenieros deban participar directamente sobre la especialización de equipos de trabajo que podrá mejorar, crear, modificar e intervenir de una manera efectiva en una marcha hacia la solución de problemas.

## BIBLIOGRAFIA.

- 1.- MECANICA DE FLUIDOS Y MAQUINAS HIDRAULICAS.  
Doctor Claudio Mataix. Segunda Edición.  
Editorial Harla 1982. Pag. 146, 356, 530,  
630.
- 2.- BOMBAS TEORIA, DISEÑO Y APLICACIONES.  
Manuel Viejo Zubicaray. Segunda Edición.  
Editorial Limusa,s.a. 1983. Pag. 201 a 207.
- 3.- BOMBAS SELECCION, USO Y MANTENIMIENTO.  
Kenneth J. Mc Naughton. Primera Edición.  
Editorial Mc GRAW - Hill, 1987.
- 4.- INSTRUCTIVO PARA REALIZAR PRACTICAS EN  
UN BANCO DE PRUEBAS BOMBA - TURBINA DE  
FLUJO AXIAL.  
Tesis de la Escuela Superior de Ingenieros  
Mecanicos Electricos. IPN. 1978.
- 5.- CATALOGOS DE LA COMPAÑIA DISHMATIC, S.A. DE  
C.V. FABRICANTE DE BOMBAS CENTRIFUGAS.