



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

DISEÑO DE UNA PRACTICA PARA EL LABORATORIO
DE INGENIERIA QUIMICA CON BOMBAS CENTRIFUGAS
EN SERIE Y PARALELO.

TESIS PROFESIONAL

presenta

RICARDO PEREZ CAMACHO

INGENIERO QUIMICO



EXAMEN PROFESIONAL
FAC. DE QUIMICA

México, D. F.

1982



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

C O N T E N I D O

Introducción.

Objetivo de la Tesis

Primera Parte: Diseño de la práctica con bombas centrífugas.
Diseño de la práctica con bombas centrífugas
en serie y paralelo.
Anexo a la práctica de bombas centrífugas.
Anexo a la práctica de bombas centrífugas
en serie y paralelo.

Segunda Parte: Estudio y actividad Experimental que funda-
mentan los diseños de las prácticas.

Tercera Parte: Clasificación y Teoría de la bomba centrífuga.

Conclusiones

Bibliografía

Indice Alfabético

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

El proceso constante de cambio para la actualización del Laboratorio de Ingeniería Química que se ha verificado desde sus orígenes, por los años cuarentas hasta el día de hoy; ha tratado de responder a las urgencias de mantener y responder a los planes y programas de estudio que se imparten.

Las transformaciones que ha sufrido desde su nacimiento, han sido el resultado de acciones bien intencionadas desde sus dirigentes y colaboradores que postularon que los pasantes aborden temas de tesis; hasta sus actuales dirigentes y colaboradores que siguen postulando a sus alumnos la misma idea.

En el Laboratorio de Ingeniería Química se han diseñado en base a las experiencias, una serie de prácticas que responden a los planes y programas vigentes de teoría y ha tenido y tiene numerosos cambios y modificaciones con el fin de adaptarlo a las nuevas tendencias agilizando y modernizando la enseñanza de sus prácticas, impartiendo no sólo a los alumnos de ingeniería química, sino también a los alumnos de farmacia y metalurgia. Ahora el laboratorio tiene el carácter de materia obligatoria independiente de la teoría y con créditos propios, formándose de esta manera las materias de Laboratorio de Momen tum y Calor y Laboratorio de Transferencia de Masa.

Se han adquirido nuevos equipos y se están modificando otros para darle mayor versatilidad. La presente práctica nació precisamente de una modificación del sistema de bombeo ya existente y se diseñó para sustituir la segunda práctica titulada como Bombas, del libro de Prácticas de Laboratorio de Ingeniería Química, de Momentum y Calor, (Pag. 125) y, a su vez ampliar el número de prácticas cuando las bombas se operan en serie y

paralelo.

El diseño de una práctica es una forma de solucionar y a su vez actualizar los contenidos metodológicos que vinculan la teoría y la práctica académica. La presente tesis sirve para continuar este proceso constante de cambio y trata de ampliar el marco de investigación experimental del laboratorio.

OBJETIVO DE LA TESIS

En general una clase de momentum y calor impartida en el Laboratorio de Ing. Química, tiene una duración de tres horas continuas las cuales se distribuyen de la siguiente forma:

La primera media hora; el profesor hace preguntas a los alumnos para averiguar su conocimiento acerca de la práctica que va a desarrollar a través de un cuestionario, y en el caso de que algún estudiante demuestre no haber estudiado se le anula el derecho a presentarla.

La segunda media hora; el grupo en compañía del profesor muestra el equipo siguiendo las líneas de flujo, investigando la ubicación de los aparatos controladores y medidores y los familiariza con éste para que sea operado.

La siguiente hora y media; se dedica al manejo del equipo: ponerlo en marcha, operarlo hasta alcanzar el régimen permanente y por último se obtienen los datos experimentales adecuados.

En la última media hora; se realiza un trabajo de ordenamiento sobre el equipo para ser manejado por el siguiente grupo, pasando después a los alumnos a un salón donde se platica con el maestro la forma en que se deberán manejar los datos obtenidos.

Además al alumno se le da la capacidad de decisión sobre las condiciones de operación, sujeto lo anterior, a las limitaciones del equipo.

Por otra parte no es conveniente que:

- 5.- El profesor abandone a SU GRUPO de alumnos mientras estos realizan SU PRACTICA.
- 6.- El profesor intervenga, excepto en casos necesarios (según su criterio) en las decisiones fundamentales que el grupo de alumnos debe tomar para realizar la práctica.
- 7.- El profesor trate de INDUCIR AL ALUMNO para realizar la práctica.

Lo anterior pretende que:

- a. El alumno manifieste su inquietud en el desarrollo de la práctica y el maestro simplemente la canalice, tratando de conducir el grupo a un objetivo común.
- b. El alumno permanezca más tiempo (de las tres horas disponibles) operando al equipo, ya que es la única forma de que el alumno puede por si mismo comparar y conjugar las variables postuladas en la teoría y las obtenidas en la práctica.
- c. El alumno termine su práctica con una idea más clara acerca de los cálculos que posteriormente va a realizar para presentar su reporte, ya sea individual o por equipo.
- d. El profesor no se presione por terminar a tiempo la práctica; ya que por lo regular su trabajo continua inmediatamente con otro grupo, no viéndose en la necesidad de inducir AL ALUMNO para que este realice la práctica lo más rápido posible diciéndole específicamente lo que tiene que hacer.

e. El grupo de alumnos acuda PREPARADO para desarrollar la práctica tratando de asegurar esta preparación por:

- La lectura de la práctica diseñada.
- La presentación de los juegos de hojas con las variables que va a determinar experimentalmente y las que va a obtener para desarrollar el objetivo de la práctica.

Partiendo de los incisos anteriormente expuestos, postulo el siguiente objetivo para la Tesis.

"Tratar" de independizar a los grupos de alumnos que realizan las prácticas en el Laboratorio de Ingeniería Química de las hojas de: DATOS OBTENIDOS. Hojas presentadas al final de cada práctica del Manual de Momentum y Calor, las cuales contienen columnas ya tituladas con las variables y sus respectivas unidades que se requieren determinar para realizar las prácticas.

Las hojas de DATOS OBTENIDOS conducen al alumno por un solo camino, hacer las prácticas.

Las inquietantes preguntas son:

- ¿Al terminar la práctica el alumno realmente la entendió? o siguió un procedimiento ya establecido el cual le permite presentar su reporte.
- ¿El alumno detectó las condiciones limitantes inherentes del equipo?.
- ¿Este consideró a las variables que optimizan o hacen más eficiente al sistema?

- ¿Está interpretando la realidad operativa del equipo o simplemente escribe resultados que sus compañeros le dictan al estar desarrollando la práctica?

- ¿El alumno vá al laboratorio con la idea de aprender operando al equipo o simplemente asiste para pasar la materia y presentar reportes?

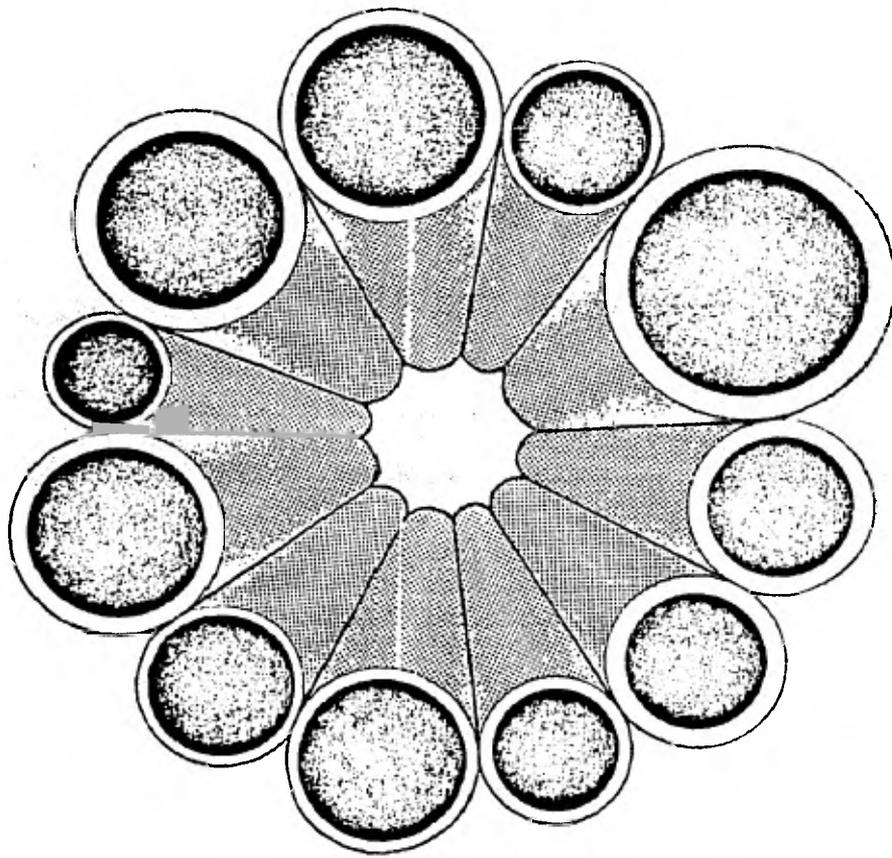
P R I M E R A P A R T E

DISEÑO DE LA PRACTICA CON BOMBAS
CENTRIFUGAS

DISEÑO DE LA PRACTICA CON BOMBAS
CENTRIFUGAS EN SERIE Y PARALELO

ANEXO A LA PRACTICA DE BOMBAS CEN-
TRIFUGAS

ANEXO A LA PRACTICA DE BOMBAS CEN-
TRIFUGAS EN SERIE Y PARALELO



BOMBAS CENTRIFUGAS

UN
AM

INTRODUCCION

En esta segunda sesión deberá presentar a su profesor como mínimo la información del inciso b) de la PRACTICA DE BOMBAS CENTRIFUGAS, ya que esta se utilizará para comparar -- las curvas características H-Q en serie y paralelo experimentales contra las curvas H-Q en serie y paralelo obtenidas al sumar gráficamente las características de cada bomba. "También presentará el grupo" (a) unas hojas que contengan las columnas ya tituladas con las variables y sus unidades en el sistema M.K.S. que van a ser determinadas experimentalmente en el laboratorio y (b). Otras hojas -- que contengan las columnas ya tituladas con las variables que se tienen que calcular para finalizar el desarrollo -- del objetivo de las prácticas.

En esta segunda sesión también se abordarán tres partes -- teóricas a saber:

- La teoría relacionada con los principales variables eléctricos que intervienen en el sistema.
- La teoría relacionada con los principales variables mecánicas que intervienen en el sistema.
- La teoría relacionada con los principales variables hi--dráulicas que intervienen en el sistema, que análogamente para su estudio.

Se divide en las tres subpartes siguientes:

LA PRIMERA explica la teoría referente a las tuberías sin considerar la acción de las bombas.

Para el estudio de esta primera sesión entonces se ---
abordarán tres partes teóricas a saber: .

- La teoría relacionada con las principales variables-eléctricas que intervienen en el sistema.
- La teoría relacionada con las principales variables-mecánicas que intervienen en el sistema.

Estas se presentan en un anexo el cual está titulado como ANEXO A LA PRACTICA DE BOMBAS CENTRIFUGAS, su -
conexión con el contexto general de la práctica se -
hace a través de la página 15 y deberá ser -
adquirido con anterioridad (una semana antes lo cita
rá el profesor a sus alumnos) "para que se presente-
por grupo" (a) unas hojas que contengan las columnas
ya tituladas con las variables y unidades en el sis-
tema M.K.S. que van a ser determinadas experimental-
mente en el laboratorio y (b) otras ojas que contengan
las columnas ya tituladas con las variables que-
se tienen que calcular para desarrollar el objetivo-
de la práctica.

- Y la teoría relacionada con las principales varia---
bles hidráulicas que intervienen en el sistema.

Esta última para su estudio se divide en las tres --
subpartes siguientes.

- * LA PRIMERA explica la teoría referente a las tube-
rías sin considerar la acción de la bomba.
- * LA SEGUNDA explica la teoría referente a la bomba-
sin considerar la acción de las tuberías y
- * LA TERCERA interrelaciona ambas teorías para expli-
car al sistema de bombeo en su parte hidráulica.

Contenido General de la Primera Sesión.

Introducción, página No. 1

Trabajo a desarrollar, página No. 4

I.- Descripción del sistema de bombeo, página No. 7

ii.- Teoría general relacionada con el sistema de bombeo, página No. 15

III.- Técnica para operar el sistema de bombeo, página No. 48

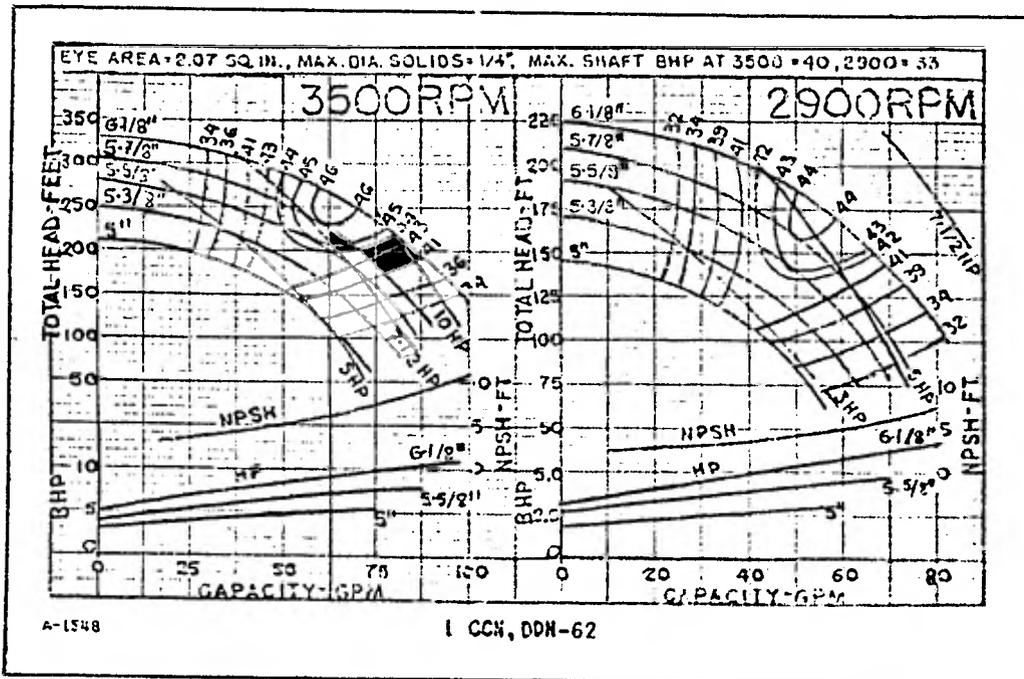
Lista de variables utilizadas, página No. 54

Bibliografía recomendada, página No. 56

TRABAJO A DESARROLLAR

Para cada una de las dos bombas del equipo hidráulico, contruir a partir de datos experimentales:

- a) Una carta que presente en la parte superior la siguiente información; bomba ICN-152, R.P.M., diámetro del impulsor y serie No. 23160 para la bomba de simple impulsor, o bomba CCN-62, R.P.M, diámetro del impulsor y serie No. 23235 para la bomba de doble impulsor (ver las placas mostradas en cada bomba), y en su contenido:
 - a.1.) Muestre simultáneamente a las variables H-Q, B.H.P-Q, η_B -Q, N.P.S.H.R-Q (corregido este por el cambio en las R.P.M)
 - a.2.) Muestre simultáneamente a las variables T-Q, S-Q, N_S -Q.
 - a.3.) Muestre la η_M - W (kilovatios)
 - a.4.) Muestre el N.P.S.H.D - Z (alturas del nivel del líquido desplazado por la bomba en el tanque alimentador) para cada valor del gasto experimental.
- b) Dos cartas por bomba, una donde muestre la variación de las R.P.M permaneciendo constante el diámetro del impulsor y otra donde muestre la variación del diámetro del impulsor permaneciendo constantes las R.P.M. Estas deberán de presentar la distribución gráfica semejante a las proporcionados por el fabricante.



BOMBA DE DOBLE IMPULSOR

- c) Una carta donde muestre simultáneamente a las variables $H-Q$, $W_o - Q$, $\eta_B - Q$ y pueda concluirse, qué diámetro del haz de tubos hace más eficiente al sistema de bombeo.
- d) Reportar la conclusión más pertinente de cada uno de los resultados de los incisos anteriores.

PRIMERA SESION

I. DESCRIPCION DEL SISTEMA DE BOMBEO.

1. Definiciones.

Sistema de bombeo.- Se debe de entender por sistema - de bombeo a todo el equipo eléctrico, mecánico e hi-- draúlico que interviene en el control, medición y ope-- ración de las variables eléctricas, mecánicas e hi--- draúlicas.

Equipo eléctrico.- Es el conjunto formado por los con-- troladores y medidores de la energía eléctrica que se alimenta a los motores acoplados a las bombas del -- equipo de bombeo.

Equipo mecánico.- Es el conjunto formado por el tren-- deslizable de motores, manerales de acoplamiento, mo-- tores y empaques flexibles de hule.

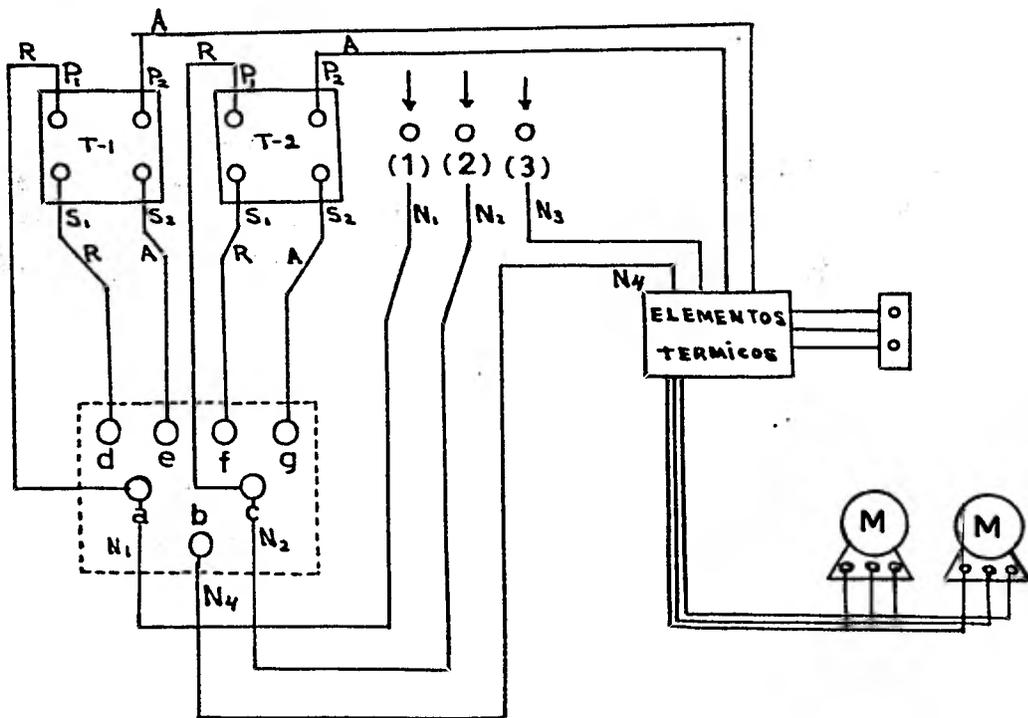
Equipo hidráulico.- Es el conjunto formado por las -- bombas, tanques, tuberías, accesorios y medidores hi-- dráulicos en general.

2. Observacion general acerca del sistema de bombeo.

El equipo de bombeo está constituido por dos bombas - diferentes acoplados a motores diferentes correspon-- diendo clasificarlo como un equipo de características desiguales.

3.- Equipo eléctrico que interviene en el sistema de bombeo.

La figura 1 muestra el diagrama de conexiones eléctricas que para su descripción arbitrariamente se ha dividido en seis regiones.



NOMENCLATURA	
P ₁ = Línea de entrada al primario	R = Línea color rojo
P ₂ = Línea de salida del primario	A = Línea color azul
S ₁ = Línea de entrada al secundario	N = Línea color negro
S ₂ = Línea de salida del secundario	

FIGURA 1

La subestación de Ciudad Universitaria provee corriente alterna trifásica al tablero de control del laboratorio, aquí es conducida a la primera región del equipo eléctrico formada por los bornes (1), (2), (3), localizadas en la parte inferior del switch de cuchillas.

La segunda región la constituye un vatímetro trifásico, que puede operar a una capacidad máxima de 20,000 vatios, dos transformadores T-1 y T-2 constituyen la tercera región, la cuarta la forma un juego de elementos térmicos B17.5 para una corriente máxima tomada por los motores de 11.5 a 12.5 amperes, (datos leídos del cuadro de conexiones de distribución), la quinta región consta de dos botones uno de arranque (negro) y otro de alto (rojo) los cuales permiten controlar los motores acoplados a las bombas, por último los motores determinan la sexta región.

La figura 2 muestra una ampliación de la segunda y tercera región.

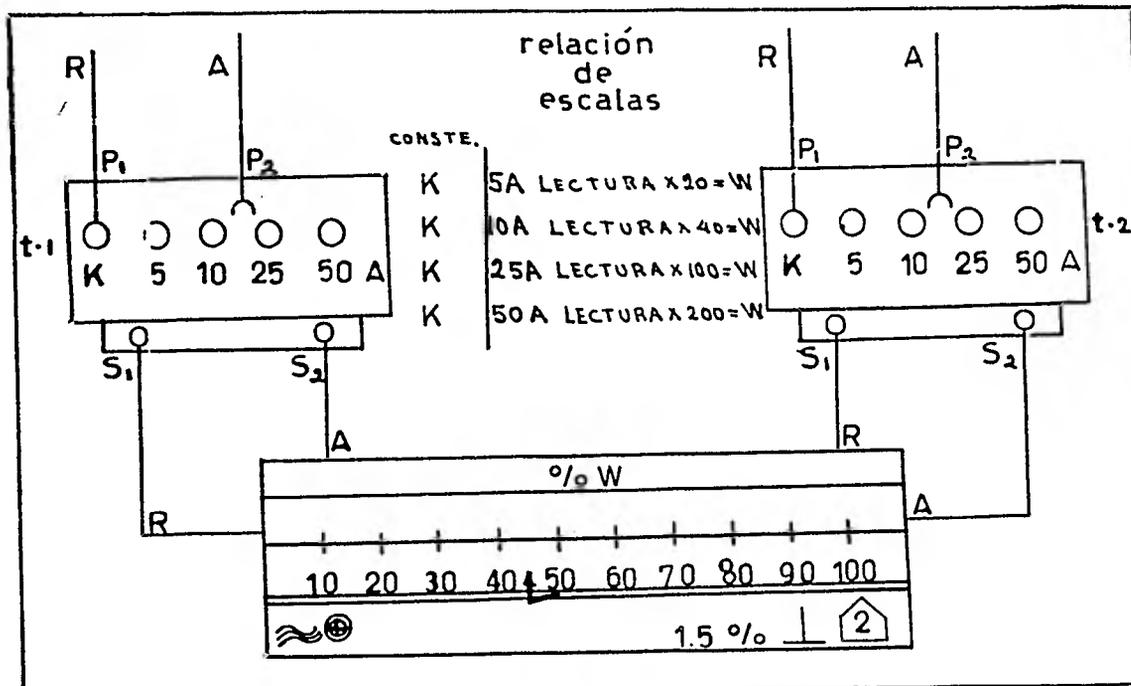


FIGURA 2

Según la cantidad de amperes requeridos por los motores acoplados se requerirá conectar los polos P_2 (líneas azules móviles de los transformadores T_1 y T_2) en las conexiones 5, 10, 25, 50 amperes para obtener en el cuadrante una fácil lectura, permaneciendo constantes los polos P_1 (líneas rojas de los transformadores) en las conexiones K.

Las relaciones de escala mostrados en la figura anterior multiplicadas por la lectura del vatímetro proporcionan la potencia en vatios para cada condición de operación requerida en el desarrollo de la práctica.

Significado de la simbología que aparece en el cuadrante del vatímetro mostrado en la figura 2, de izquierda a derecha; el primero significa que es un vatímetro trifásico; en el segundo la cruz significa que es un instrumento electromagnético, el doble círculo indica una protección magnética para cualquier ataque magnético externo; el tercero significa que para cualquier lectura del vatímetro indicada habrá un 1.5% de error; el cuarto significa que es un instrumento con posición vertical; y el último indica la tensión de prueba hecha por el fabricante en el vatímetro, es decir, el aislamiento de sus bobinas fue sometido a una tensión de 2 kilovolts.

Para determinar la cantidad de amperes requeridos a cualquier condición de operación en el desarrollo de la práctica se usará un medio externo de medición, utilizando una electropinza acoplada en el polo P_2 , línea azul del transformador T_2 .

4. Equipo mecánico que interviene en el sistema de bombeo.

Un tren de cuatro motores con potencia nominal de placa de 3 H.P, 2 H.P, 5 C.P y 1 H.P pueden ser acoplados por manerales dispuestos en la parte posterior de cada motor, el acoplamiento entre las flechas de los motores y las flechas de las bombas se logra con empaques de hule. Los acoplamientos simultáneos motor-bomba para la operación en serie y paralelo pueden ser:

Motores de (3 H.P y 2H.P), (2 H.P y 5 C.P), (5 C.P y 1 H.P), donde la última combinación es recomendable ya que el motor de 2 H.P sufre un sobrecalentamiento

en su carcasa, lo que indica un desperfecto interno. Es conveniente citar que los motores no son intercambiables, ya que sus bases difieren debido a sus diferentes características de placa.

5. Equipo hidráulico que interviene en el sistema de bombeo:

Por la disposición del tanque alimentador con respecto a los ejes centrales de las bombas se tiene un sistema con carga estática de succión (sistema ahogado), por su régimen de flujo se tiene un sistema batch o intermitente, ambos a una presión y temperatura de trabajo constante, ver el diagrama de flujo, figura 3.

Dos tanques atmosféricos de 2,150 l. en posición horizontal provistos con un indicador de nivel, actúan como tanque alimentador y tanque receptor respectivamente, tubería cédula 40 de acero comercial, con diámetros nominales de $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{8}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, 1 1/2 y 2 pulgadas se usan en las interconexiones, válvulas de compuerta, válvulas de globo y una válvula de retención proporcionan control sobre el flujo, accesorios en general, le dan la dirección requerida; dos medidores de flujo un orificio y un venturi provocan caídas de presión detectadas por los dos manómetros de mercurio dispuestos respectivamente, tres vacuómetros y tres manómetros tipo bourdon indican las presiones de operación, estos están protegidos de las caídas bruscas de presión por medio de un serpentín tubular denominado comercialmente "colas de cochino" y por último dos bombas distintas efectúan el trabajo de bombeo. La primera (de un impulsor) es una bomba centrífuga que según

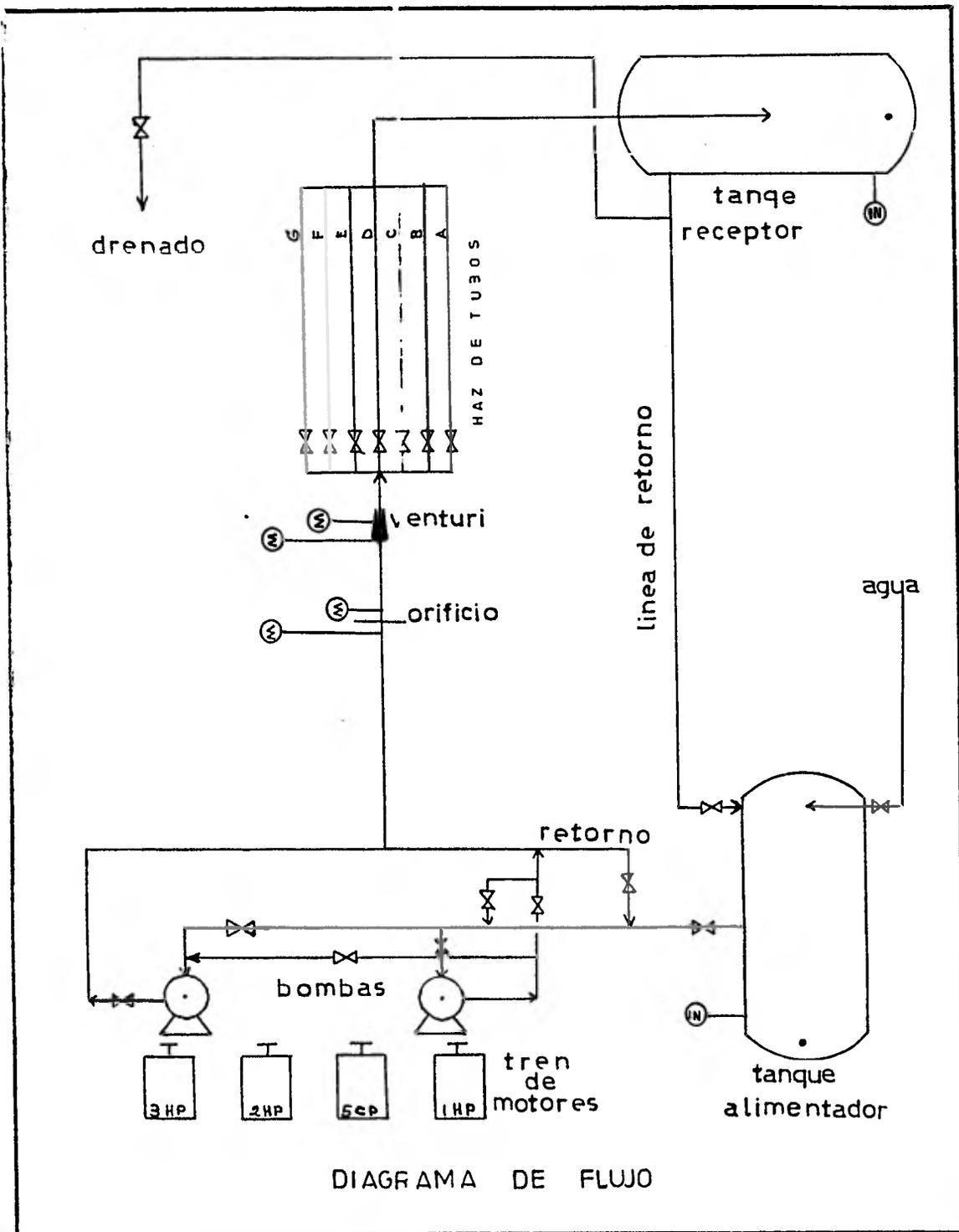


figura 3

su clase es de flujo radial con simple succión de velocidad específica baja, según su tipo, es de un paso con impulsor semiabierto y por su sistema de cebado - es una bomba de cebado manual externo. La segunda (de dos impulsores) es una bomba centrífuga que según su clase es de flujo radial con simple succión y velocidad específica baja, según su tipo, es de dos pasos - con impulsores semiabiertos y por su sistema de cebado es una bomba con cebado manual externo.

CONEXION CON EL ANEXO DE LA
PRACTICA DE BOMBAS CENTRIFUGAS .

3. Teoría relacionada con las principales variables hidráulicas que intervienen en el sistema.

3.1 Definiciones para las tuberías sin considerar la acción de la bomba.

Carga estática de succión C.E.S. (o sistema de bombeo ahogado).- Es la diferencia de elevación que existe entre la superficie del líquido a bombear (cota superior) y el eje central de la bomba (cota inferior), ver la figura 10-a, b, c.

Elevación estática de succión E.E.S. (o sistema de bombeo seco).- Es la diferencia de elevación que existe entre la superficie del líquido a bombear (cota inferior) y el eje central de la bomba (cota superior), ver la figura 10-d, e.

Carga estática de descarga C.E.D.- Es la diferencia de elevación que existe entre el eje central de la bomba y el punto de entrega libre del líquido (cuando el tanque de descarga se hace independiente de la diferencia de elevación, ver figura 10-f, g) o el nivel de líquido bombeado (cuando el tanque de descarga se hace dependiente de la diferencia de elevación) ver la figura 10-h, i, j, k, l.

Carga estática total C.E.T.- Es la diferencia de elevación que existe entre la carga estática de succión y la carga estática de descarga, ver la figura 11.

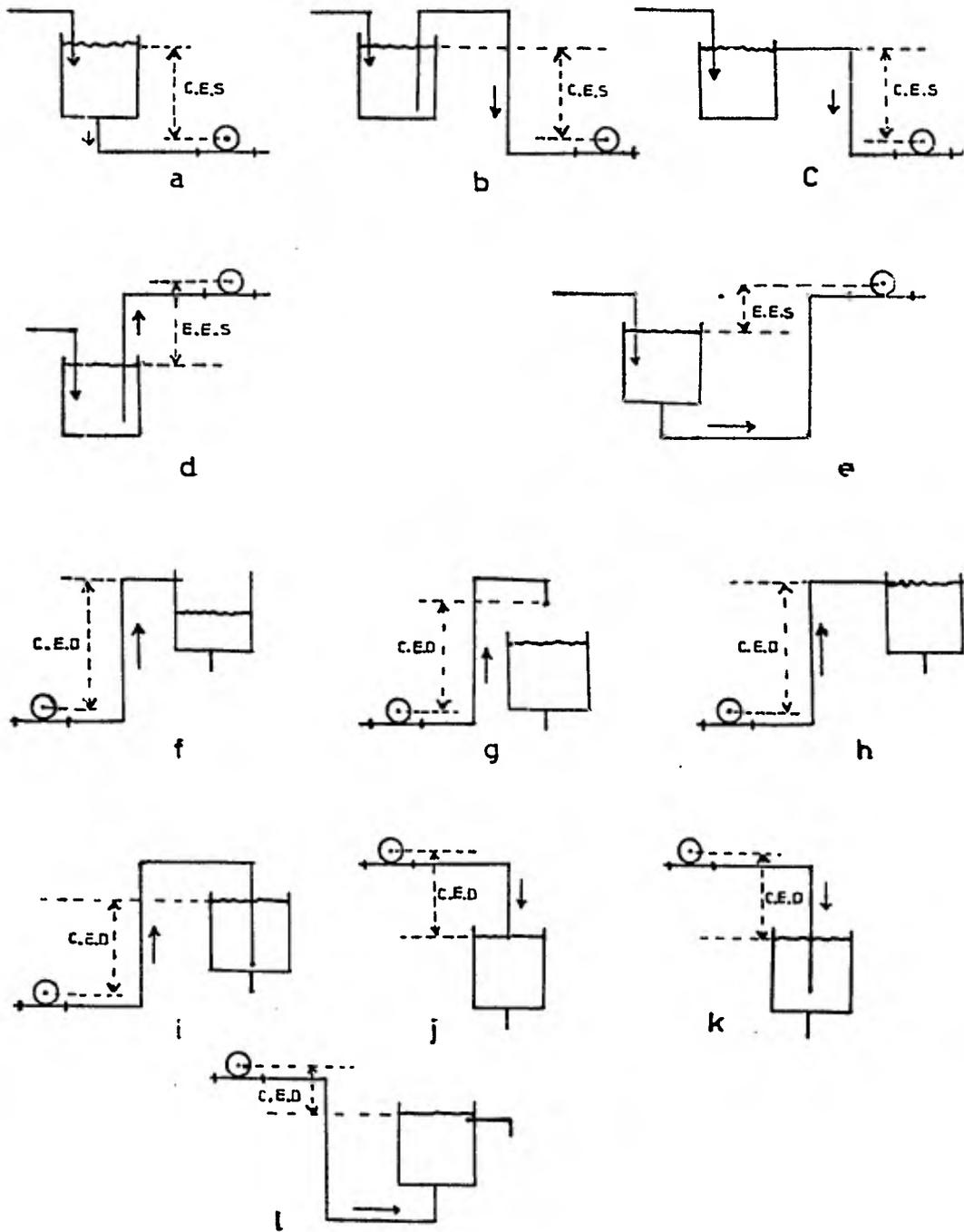


FIGURA 10

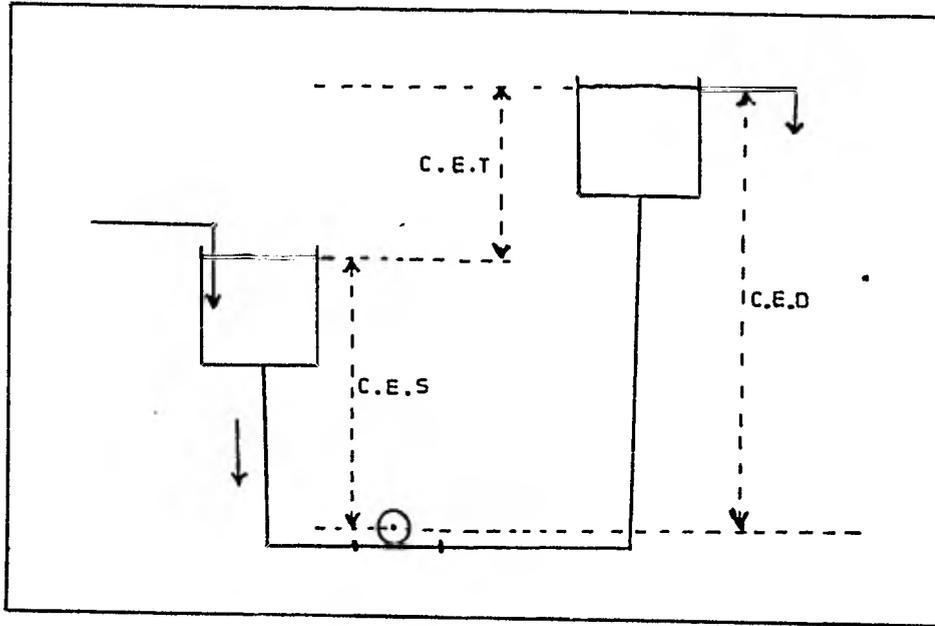


FIGURA 11

Carga de succión y carga de elevación de succión.- Estos términos representan la suma de las resistencias al flujo desde la superficie del líquido a bombear hasta la brida de succión de la bomba, su expresión es la siguiente:

$$H_S = \frac{P_S}{f} = \pm (\Delta Z)_S \frac{g}{g_c} - \frac{v_S^2}{2\alpha g_c} + \frac{P_1}{f} - \sum_1^S H f_S \dots (25)$$

Donde:

$(\Delta Z)_S \frac{g}{g_c}$ = Es la carga obtenida por la diferencia de alturas, en la brida de succión de la bomba. Este término es positivo si el nivel del líquido a bombear está por encima del eje central de la bomba o es negativo si está por abajo.

$\frac{v_S^2}{2\alpha g_c}$ = Es la carga obtenida por concepto de ----

energía cinética, en la brida de succión de la bomba, para vencer la resistencia al flujo. En ocasiones este término es despreciable por tener un valor pequeño con relación a los demás.

$\frac{P_1}{f} =$ Es la carga obtenida en la brida de succión de la bomba por concepto de presión ejercida sobre la superficie del líquido a bombear.

$\sum_1^S H_{fs} =$ Es la carga obtenida por concepto de --- fricciones cuando el líquido rozá las paredes de la tubería y accesorios en general.

Carga de descarga.- Este término representa la suma de las resistencias al flujo desde la brida de descarga de la bomba hasta el punto de entrega libre de líquido (cuando el tanque de descarga se hace independiente de la diferencia de elevación de la C.E.D.) o al nivel del líquido bombeado (cuando el tanque de descarga se hace dependiente de la diferencia de elevación de la C.E.D.), su expresión es la siguiente:

$$H_D = \frac{P_D}{f} = \pm (\Delta Z)_D \text{ g/gc} - \frac{v_D^2}{2ag_c} + \frac{P_2}{f} + \sum_D H_{fs} \dots (26)$$

Donde:

$(\Delta Z)_D \text{ g/gc} =$ Es la carga que debe proporcionar la bomba en la brida de descarga para vencer la diferencia de alturas.

Este término es positivo si el nivel del líquido bombeado está por encima del eje central de la bomba o es negativo si está por abajo.

$$\frac{v_D^2}{2\alpha g_c}$$

Es la carga que debe proporcionar la bomba al líquido en términos de energía cinética en su brida de descarga, para vencer la resistencia del flujo.

En ocasiones este término se desprecia por tener un valor pequeño con relación a los demás.

$$\frac{P_D}{\rho}$$

Es la carga que debe proporcionar la bomba en la brida de descarga, para vencer la presión ejercida sobre la superficie del líquido bombeado.

$$\sum_D^2 H_{fS}$$

Es la carga que debe proporcionar la bomba en la brida de descarga para vencer el roce del líquido bombeado en la tubería y accesorios en general.

Carga total o carga de la bomba.- Es la diferencia que existe entre la carga de descarga y la carga de succión, su expresión es la siguiente:

$$W_o = \frac{P_D - P_S}{\rho} = H_D - H_S \quad \dots (27)$$

Esta ecuación representa la cantidad de - carga que se le tiene que impartir a un - líquido por una bomba para ser desplazado por las tuberías de un punto a otro y re - presenta el trabajo de bombeo definido co - mo $W_o = - \frac{W_f}{m}$, que es el trabajo de - flecha proporcionado al sistema por uni - dad de masa; la convención en termodinámi - ca indica que si este término es negativo se debe proporcionar trabajo al sistema - es decir se debe colocar una bomba, si es positivo el sistema es capaz de proporci - onar trabajo a los alrededores y no será - necesario utilizarla para desplazar al lí - quido.

Carga neta positiva de succión (N.P.S.H).- Este término proporciona la caída de carga que puede sufrir el líquido antes de evaporarse. Existen dos tipos, la carga neta positiva de succión disponible (N.P.S.H.D) y la carga neta positiva de succión requerida (N.P.S.H.R); esta última será analizada en el punto siguiente 3.2.

Carga neta positiva de succión disponible (N.P.S.H.D) Es la caída de carga que puede sufrir el líquido antes de evaporarse debido a la diferencia de presión absoluta de succión (antes de la entrada a la bomba), menos la presión de vapor del líquido, a la temperatura de bombeo, es decir:

$$\text{N.P.S.H.D} = \frac{P_S - P^\circ}{f} \dots(28)$$

Sustituyendo la ecuación (25) en la (28) se obtendrá:

$$\text{N.P.S.H.D} = \frac{P_1 - P^\circ}{f} \pm (\Delta Z)_S g/g_c - \frac{v_S^2}{2 \alpha g_c} - \sum_1^S Hf_S \dots(29)$$

Curva, carga hidráulica del SISTEMA - CAPACIDAD (W_o - Q).- Esta curva representa la carga necesaria que se le necesita impartir al líquido por la bomba para vencer la resistencia al flujo en las tuberías de succión y en las de descarga. Es obtenida por un balance de energía mecánica de acuerdo a la ecuación de Bernoulli.

$$W_o = (Z_2 - Z_1) g/g_c + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \alpha g_c} + \frac{P_2 - P_1}{f} + \sum_1^2 Hf_S \dots(30)$$

La figura 12 ilustra la curva de la carga hidráulica del sistema-capacidad.

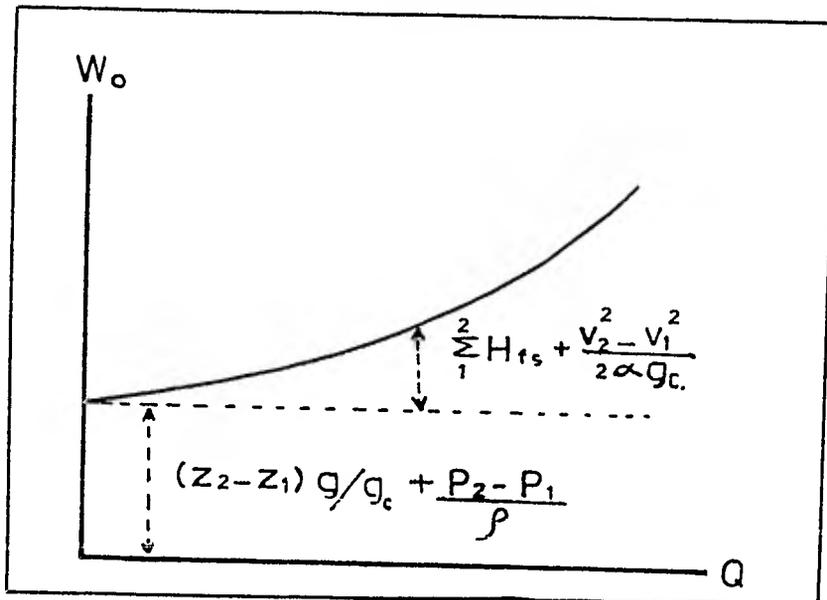


FIGURA 12

Al disminuir fricciones en el sistema de tubería tal como aumentar el diámetro de los tubos, disminuir su longitud o abrir válvulas, la inclinación de esta curva disminuye, ver la figura 13-a. Y viceversa, al aumentar las fricciones la inclinación de esta curva aumenta, así como lo muestra la figura 13-b.

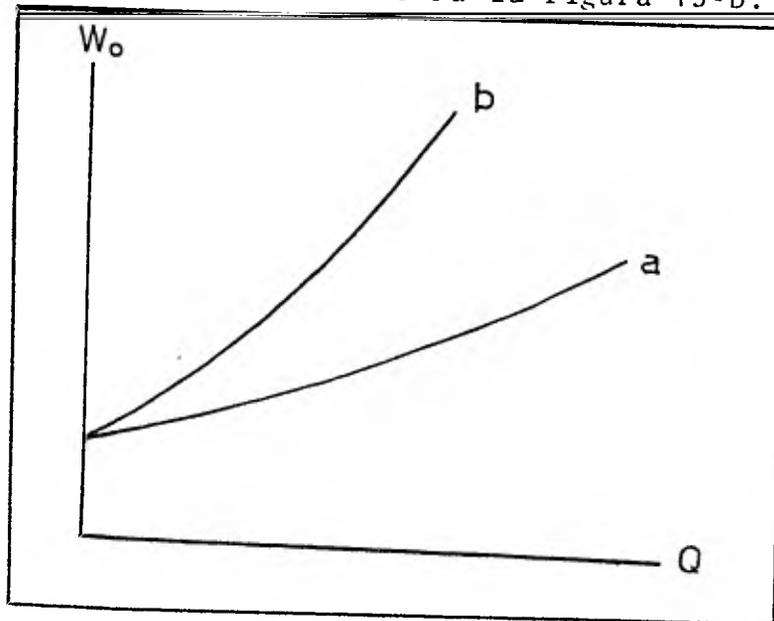


FIGURA 13

Los tres primeros términos de la ecuación (30) son -- evaluados de acuerdo a la disposición geométrica de -- los tanques de alimentación y descarga con respecto a la bomba, diámetro nominal y gasto, presiones en los tanques de alimentación y descarga así como la densidad del líquido a bombear, respectivamente. El último término denominado suma de cargas por fricciones puede ser evaluado por dos métodos:

- a) $\sum_1^2 Hf_S = F (D, \text{material de construcción, } \frac{\epsilon}{D}, N_{Re}, f', L_e, v \text{ y } g_c)$, cuya expresión es la siguiente y puede ser aplicada para cualquier líquido que se desee bombear.

$$\sum_1^2 Hf_S = \frac{f' v^2 L_e}{2 g_c D} \quad \dots(31)$$

- b) $\sum_1^2 Hf_S = f$ (las sumas parciales de las cargas -- por fricciones en tubería recta, y las sumas parciales de las cargas por fricciones en válvulas y accesorios).

Para evaluar las cargas por fricciones en tubería recta Hazen y Williams proponen la siguiente expresión experimental exclusiva para agua.

$$Hf_S = 82.7 \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} \times d^{-4.87} \times L \quad \dots(32)$$

Donde:

$$Hf_S = \text{pérdida de carga por fricciones en m } \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$$

Q = gasto en l/min.

d = diámetro interno de la tubería en cm.

L = longitud de la tubería en m.

C = coeficiente de lisura, 130 para acero comercial.

Para evaluar las cargas por fricciones en válvulas y accesorios proponen la siguiente ecuación experimental exclusivamente para agua.

$$Hf_s = \frac{K v^2}{2 g_c} \quad \dots(33)$$

Donde K es una constante experimental que varía de -- acuerdo al tipo de válvula y accesorio, a continuación se presentan algunos valores.

VALVULAS Y ACCESORIOS	VALOR DE K EXPERIMENTAL
válvula de globo	10.00
válvula de ángulo	5.00
válvula de retención	1.5 a 2.5
válvula de compuerta	0.20
te normal que opera como codo	1.80
te con flujo derecho	0.10
retorno en U	2.20
codo A 90°	0.90
codo de radio largo	0.60
codo A 45°	0.40
ye con flujo derecho	0.15
ye con flujo lateral	1.00
cruz con flujo a 90°	1.80
campana de 1 a 1 1/2 pulg	0.34

VALVULAS Y ACCESORIOS

VALOR DE K EXPERIMENTAL

contracción súbita de diámetro muy gran- de a diámetro muy chico.	0.50
expansión súbita de diá- metro muy pequeño a diá- metro muy grande.	1.00
expansión de 1 a 2 pulg.	0.56

v = velocidad del líquido en $\frac{m}{seg}$.

g_c = factor de transformación de Newton $9.8066352 \frac{m}{seg^2} \frac{Kg}{Kg}$

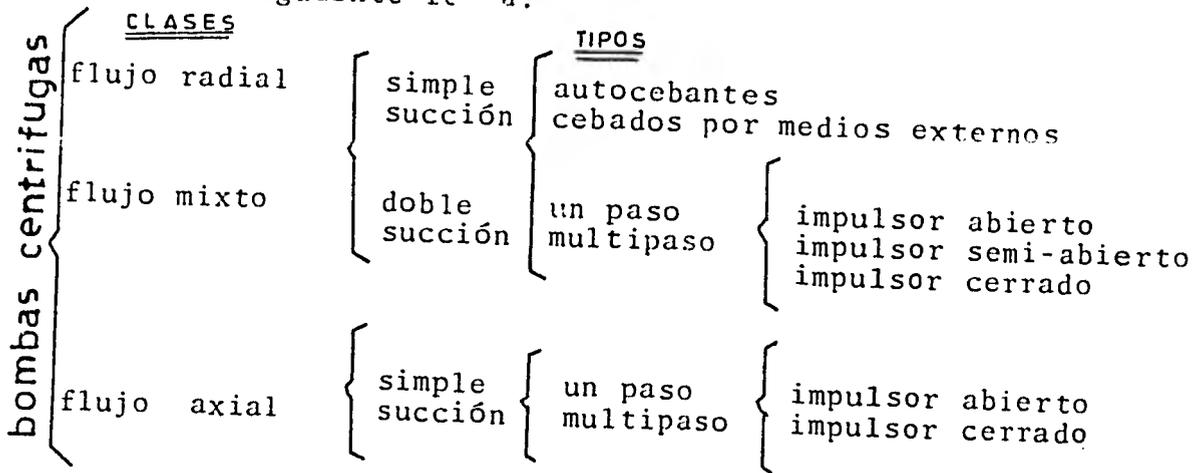
Hf_s = pérdida de carga por fricciones en $m \frac{Kg}{Kg}$.

3.2 Definiciones para la bomba sin considerar la acción de las tuberías.

Definición de bombeo.- El bombeo es la adición de energía a un líquido por una bomba para ser desplazado de un punto a otro.

Definición de bomba centrífuga.- Es una máquina que sirve para transportar líquidos y consiste de una pieza rotatoria llamada impulsor dispuesto dentro de una carcasa, el cual imparte energía al fluido por la fuerza centrífuga. Despojada de todos los refinamientos una bomba centrífuga consta de dos elementos principales: (1) un elemento giratorio incluyendo un impulsor y una flecha y (2) un elemento estacionario compuesto por una carcasa, estopero y chumaceras.

División de las bombas centrífugas.- El Instituto de hidráulica en su 13° edición las divide de la siguiente forma:



Las bombas centrífugas se dividen en clases:

- a) Bombas centrífugas de flujo radial; en estas bombas el líquido entra por el centro del impulsor y escurre radialmente a la periferia, la carga se desarrolla por la acción de la fuerza centrífuga del impulsor. Para bombas con impulsores de simple succión tienen una velocidad específica menor de 4,200 y con impulsores de doble succión una velocidad específica menor de 6,000.
- b) Bombas centrífugas de flujo mixto; en estas bombas el líquido entra axialmente y descarga en dos direcciones axial y radial, la carga se desarrolla en parte por la acción de la fuerza centrífuga y en parte por la acción de la carcasa tipo voluta de la bomba, que tiene por objeto reducir la velocidad del líquido por un aumento gradual del área. Estas bombas

tienen generalmente impulsores de simple succión aunque también los hay de doble succión, teniendo una velocidad específica de 4,200 a 9,000.

- c) Bombas centrífugas de flujo axial; en estas -- bombas el líquido entra axialmente y descarga axialmente, la carga se desarrolla por la acción impelente de golpeo de las aspas del impulsor sobre el líquido. Estas bombas tienen un impulsor de simple succión con una velocidad específica mayor de 9,000.

Las bombas centrífugas se subdividen en tipos de acuerdo al número de pasos:

- a) Bombas de un paso; una bomba en la cual la carga total está desarrollada por un impulsor.
- b) Bombas de paso múltiple; una bomba que tiene dos o más impulsores actuando en serie en una misma flecha en la carcasa.

Capacidad Q.- Es el gasto de líquido que puede proporcionar una bomba.

Carga total H.- Es la energía capaz de proporcionar una bomba a un líquido para ser desplazado de un punto a otro por las tuberías.

Un balance de energía mecánica entre la brida de succión y la de descarga en la bomba proporciona la ecuación (27) analizada anteriormente:

$$H = W_o = \frac{P_D - P_S}{\rho} \quad \dots (27)'$$

El fabricante denomina a la ecuación anterior como la carga proporcionada por una bomba y la simboliza por H , variable que se encuentra reportada en sus gráficas experimentales en función del gasto Q .

Presión de bombeo.- Al funcionar una bomba acoplada a las tuberías, esta tiende a formar un vacío en el seno del líquido debido a la diferencia de presiones entre la descarga y la succión, a esta diferencia de presiones se le denomina presión de bombeo.

Temperatura de bombeo.- Es la temperatura a la que se encuentra el líquido entre la succión y descarga de la bomba.

Cavitación.- Si en un momento determinado y a una temperatura de bombeo, la presión de succión de la bomba es más baja que la presión de vapor del líquido, este tiende a liberarse y a pasar a su fase de vapor por la acción continua de la presión de bombeo.

Como la presión de vapor es más alta este cambio de fase persiste, originándose la interrupción del gasto proporcionado por la bomba, a este hecho se le conoce como punto de corte o cavitación de la bomba y se dice que se ha alcanzado el límite máximo de bombeo, la bomba ahora trabaja a una muy baja eficiencia acompañada de un desgaste mecánico en el impulsor ocasionando vibraciones y ruidos. La cavitación empieza cuando la presión de entrada a la bomba está a punto de igualarse con el punto de vaporización del líquido, las bolsas de vapor producido forman burbujas en la base de los álabes del impulsor, estas ahora se desplazan por la acción de la fuerza centrífuga de la zona de baja presión existente en la admisión del impulsor, hacia la zona de alta presión en la periferia, al llegar aquí las

burbujas son comprimidas por la presión, desapareciendo en forma tan rápida que el vapor y el líquido golpean al álabe con tal fuerza que se desprenden pequeñas partículas de este; el desperfecto resultante se llama erosión y el ruido que se escucha en el interior de la bomba lo causa - el colapso de las burbujas de vapor.

Cebado.- Cebado una bomba significa reemplazar el aire, gas o vapor que se encuentre en la parte interna de esta por el líquido a bombear.

Carga neta positiva de succión requerida (N.P.S.H.R).- Es la caída de carga que puede sufrir el líquido, al pasar de la brida de succión de la bomba hasta el punto de mínima presión en el centro del impulsor, antes de evaporarse.

Esta variable para ser determinada se requiere de un equipo que solo el fabricante posee y además no puede presentarse una expresión generalizada como la expuesta para el N.P.S.H.D., ya que el N.P.S.H.R. tiene como función (las dimensiones internas de la carcasa, diámetro de la flecha de la bomba, tipo de impulsor, diámetro del impulsor, diámetro del ojo del impulsor, velocidad del impulsor en R.P.M., área de la entrada a la bomba, presiones y temperaturas de vapor relacionados con las presiones de bombeo), básicamente. El fabricante muestra en forma gráfica las determinaciones empíricas del N.P.S.H.R. contra el gasto proporcionado por la bomba y específicamente para cada una de ellas, en donde para un mismo tipo y clase varía de una marca de fabri-

cante a otro y entre diferentes modelos para una misma marca.

Velocidad específica (N_S).- El principio de escalación o similitud dinámica aplicado a un modelo de bomba en pequeña escala, requiere la necesidad de cumplir con los requisitos dimensionales originales, aplicados a una bomba de mayor tamaño y con las mismas cualidades, para obtener lo anterior fue necesario plantear un concepto que vinculara tres características básicas en el funcionamiento de la bomba; la carga total, la capacidad y la velocidad de rotación del impulsor en una sola expresión denominada velocidad específica. Esta se define como un número que indica la clase de bomba centrífuga y es numéricamente igual a la velocidad giratoria referida a un modelo teórico de bomba la cual opera a 1 unidad de capacidad con 1 unidad de carga total, su expresión es la siguiente:

$$N_S = \frac{N \sqrt{Q}}{(g_c H)^{3/4}} \quad \dots(34)$$

Donde:

N = Velocidad de rotación del impulsor, en RPM.

Q = Gasto manejado por la bomba, en $\frac{\text{gal}}{\text{min}}$.

g_c = Factor de transformación de Newton $115,826.4 \frac{\text{ft lb}}{\text{min}^2 \text{lb}}$

H = Carga total, en en ft $\frac{\text{lb}}{\text{lb}}$

$$N_s = \text{Velocidad específica en R.P.M.} \times \text{min} \times \frac{\text{gal}^{1/2}}{\text{ft}^{3/2}}$$

Las unidades anteriores en el sistema inglés están de acuerdo con los valores reportados por el Instituto de Hidráulica para determinar "la clase" de bomba centrífuga. Se ha convenido en suprimir el valor de g_c en la ecuación (34) ya que es constante.

Velocidad específica tipo (N_s).- Es el valor de la velocidad específica en el punto de trabajo de máxima eficiencia de la bomba. Este valor es el reportado por el fabricante para indicar "la clase" de la bomba centrífuga en base a una unidad de un paso con simple admisión, su expresión es:

$$N_s = \frac{N \sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad \dots (35)$$

Donde:

N = Velocidad de rotación del impulsor en el punto de máxima eficiencia de la bomba, en R.P.M.

Q = Gasto manejado por la bomba en el punto de máxima eficiencia de esta, en $\frac{\text{gal.}}{\text{min.}}$.

H = Carga total en el punto de máxima eficiencia de la bomba, en $\text{ft} \frac{\text{lb}}{\text{lb}}$.

$$N_s = \text{Velocidad específica tipo, en R.P.M.} \times \frac{\text{gal}^{1/2}}{(\text{ft} \frac{\text{lb}}{\text{lb}})^{3/4}}$$

Velocidad específica de succión (S).- También es un número que indica el tipo de impulsor y es numéricamente igual a la velocidad giratoria referida a un modelo teórico de un impulsor el cual opera a 1 unidad de capacidad con 1 unidad de carga total, su expresión es:

$$S = \frac{N \sqrt{Q}}{(N.P.S.H.R.)^{3/4}} \quad \dots (36)$$

Donde:

N = Velocidad de rotación del impulsor en el punto de máxima eficiencia de la bomba, en R.P.M.

Q = Gasto manejado por el impulsor en el punto de máxima eficiencia de la bomba, en $\frac{\text{gal.}}{\text{min.}}$

N.P.S.H.R. = Carga neta positiva requerida en
ft $\frac{\text{lb}}{\text{lb}}$.

S = Velocidad específica de succión, en R.P.M.
x $\frac{\text{gal}^{1/2}}{(\text{ft} \frac{\text{lb}}{\text{lb}})^{3/4}}$

(E.H.P).- Es la potencia eléctrica en caballos de potencia tomada por el motor acoplado a la bomba, su expresión es:

$$E.H.P. = \frac{\text{vatios}}{745.7} \quad \dots (37)$$

(B.H.P.).- Es la potencia mecánica útil en la flecha del motor cedida a la flecha de la bomba en caballos de potencia (punto de vista del motor a la bomba), o es la potencia mecánica recibida en la flecha de la bomba cedida por la flecha del motor y transmitida al impulsor, en caballos de potencia (punto de vista de la bomba al motor) su expresión es:

$$B.H.P. = E.H.P \times \eta_M \quad \dots(38)$$

(W.H.P.).- Es la potencia hidráulica útil proporcionada al líquido por la bomba en caballos de potencia, su expresión es:

$$W.H.P. = \frac{Q \times \rho \times H}{76.040} \quad \dots(39)$$

Q = Gasto manejando por la bomba en $\frac{m^3}{seg.}$

ρ = Densidad del líquido en $\frac{Kg}{m^3}$

H = Carga total en m $\frac{Kg}{Kg}$

W.H.P. = Potencia hidráulica en caballos de potencia.

Eficiencia de la bomba (η_B), eficiencia del motor (η_M), eficiencia del motor-bomba (η_{MB}).

Supongamos un sistema como el de la figura 14 en donde el vatímetro indica 1 E.H.P. tomado por el grupo motor-bomba, este H.P. será transformado en energía mecánica por el motor y a su vez en energía hidráulica por la bomba; el H.P. proporcionado en la salida de ésta será menor que 1 W.H.P ya que

ambas máquinas tienen pérdidas, mecánicas y eléctricas por parte del motor y mecánicas e hidráulicas por parte de la bomba; es decir, cada una de ellas posee una eficiencia de operación.

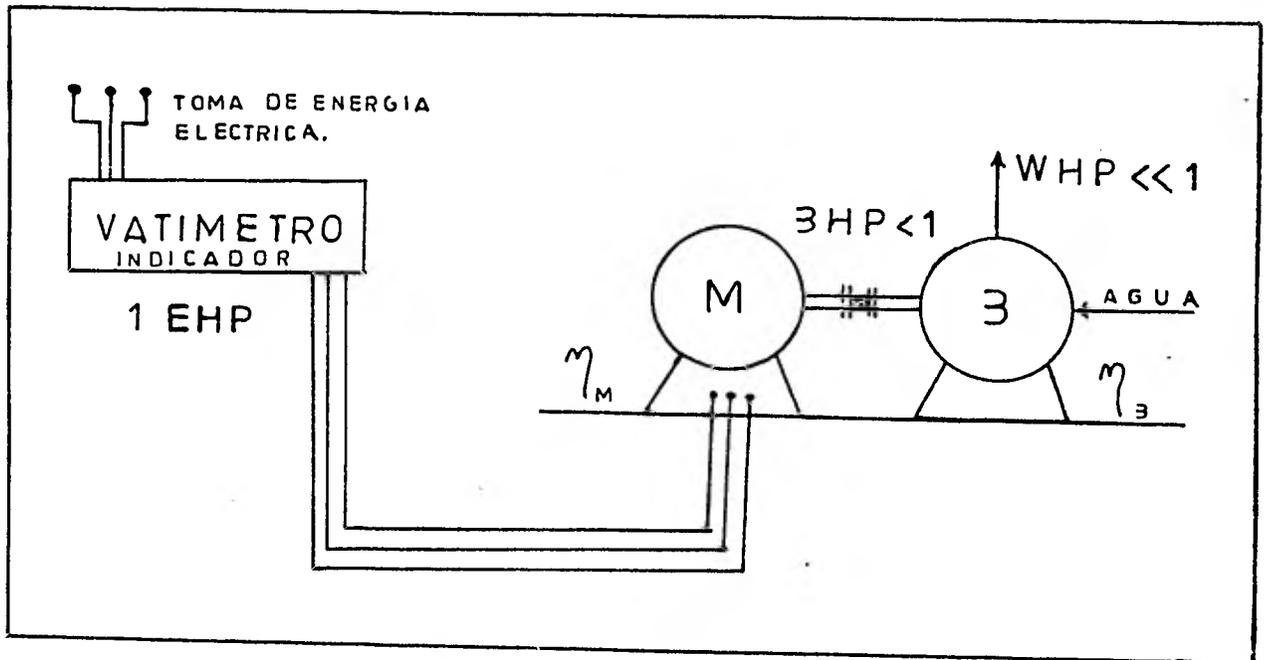


FIGURA 14

Eficiencia del motor (η_M).- Es la relación de la potencia mecánica útil en la flecha del motor B.H.P. a la potencia eléctrica alimentada E.H.P., su expresión es:

$$\eta_M = \frac{\text{B.H.P.}}{\text{E.H.P.}} \quad \dots(40)$$

Eficiencia de la bomba (η_B).- Es la relación de la potencia hidráulica útil proporcionada en la brida de descarga de la bomba W.H.P a la potencia mecánica alimentada B.H.P, su expresión es:

$$\eta_B = \frac{\text{W.H.P.}}{\text{B.H.P.}} \quad \dots(41)$$

Eficiencia del motor-bomba (η_{MB}).- Es la relación de la potencia hidráulica útil en la brida de descarga de la bomba W.H.P a la potencia eléctrica E.H.P alimentada al subsistema motor-bomba, su expresión es:

$$\eta_{MB} = \frac{W.H.P}{E.H.P} \quad \dots(42)$$

Otra expresión equivalente es la que obtiene el sustituir las ecuaciones (40) y (41) en (42).

$$\eta_{MB} = \eta_M \cdot \eta_B \quad \dots(43)$$

La figura (15) muestra los tipos de curvas para las variables B.H.P-Q, $\eta_B - Q$, $\eta_{MB} - Q$.

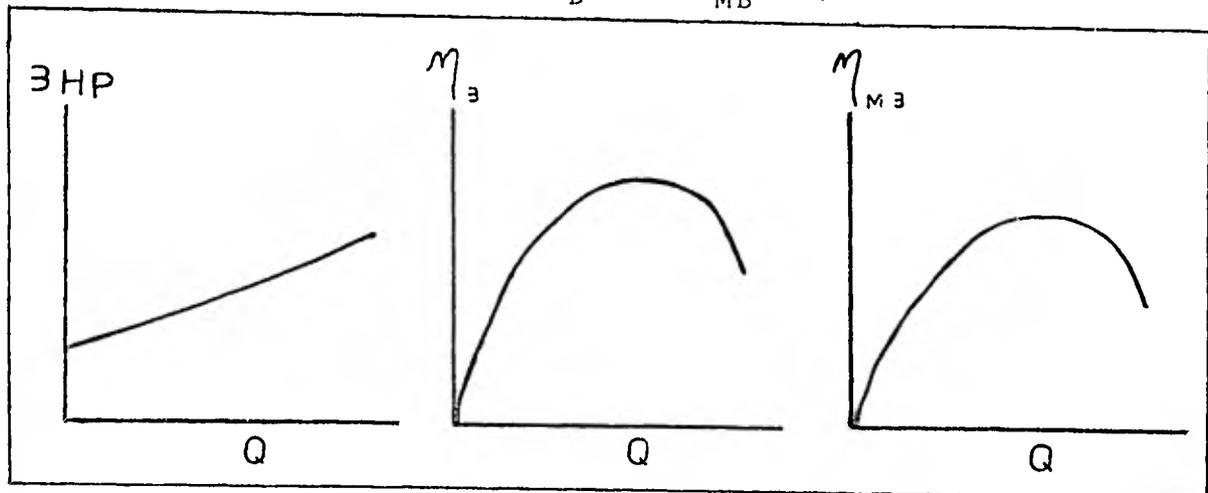


FIGURA 15

Curva carga total-gasto (H - Q).- Esta curva representa la caída de carga que sufre la bomba al ir proporcionando gasto, ver la figura (16)

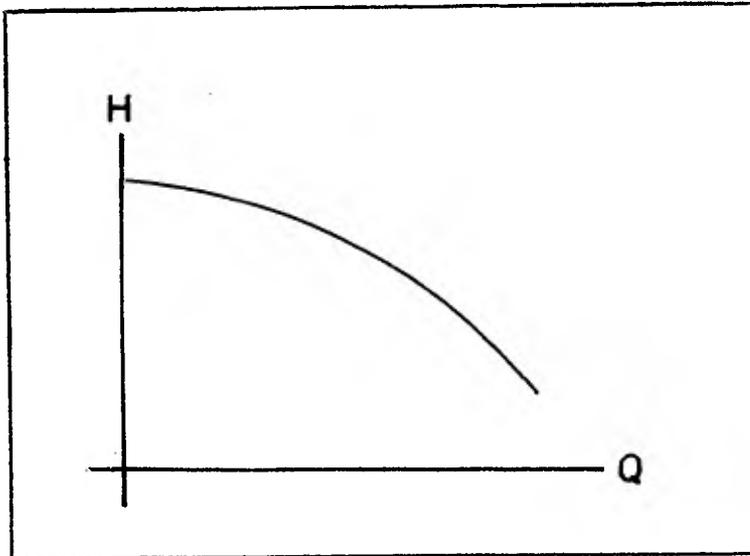


FIGURA 16

Leyes de afinidad para bombas centrífugas.- Existen ciertas relaciones que permiten predecir el comportamiento de una bomba centrífuga en sus curvas H - Q, B.H.P - Q, η_B - Q, N.P. S.H.R - Q, cuando se varían las RPM, es decir cuando se le acoplan motores de distintas revoluciones, estas son:

$$Q_2 = Q_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right) \quad \dots(44)$$

$$H_2 = H_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 \quad \dots(45)$$

$$\text{B.H.P}_2 = \text{B.H.P}_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^3 \quad \dots(46)$$

$$\text{N.P.S.H.R}_2 = \text{N.P.S.H.R}_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 \quad \dots(47)$$

Donde:

Q_1 , H_1 , B.H.P_1 , N.P.S.H.R_1 , representan la capacidad, la carga, la potencia y la carga neta po-

positiva de succión a las R.P.M. conocidas N_1 ; y Q_2 , N_2 , B.H.P₂, N.P.S.H.R₂ representan la capacidad, la carga, la potencia y la carga neta positiva de succión a las R.P.M. requeridas N_2 .

Otras relaciones permiten predecir el comportamiento de la bomba en sus curvas H-Q, B.H.P - Q, η_B - Q cuando se varía el diámetro del impulsor, estas son:

$$Q_2 = Q_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right) \quad \dots(48)$$

$$H_2 = H_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 \quad \dots(49)$$

$$\text{B.H.P}_2 = \text{B.H.P}_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^3 \quad \dots(50)$$

donde:

Q_1 , H_1 , B.H.P₁, representan la capacidad, la carga, la potencia al diámetro conocido D_1 y Q_2 , H_2 , B.H.P₂, representan la capacidad, la carga y la potencia al diámetro requerido D_2 .

Relaciones gráficas para diferentes condiciones de operación de las curvas características de las bombas centrífugas.- El fabricante de bombas presenta una carta característica semejante a la figura 17, cuando varía las velocidades del impulsor en R.P.M. y mantiene constante el diámetro del impulsor o varía el diámetro del impulsor manteniendo constante las R.P.M.

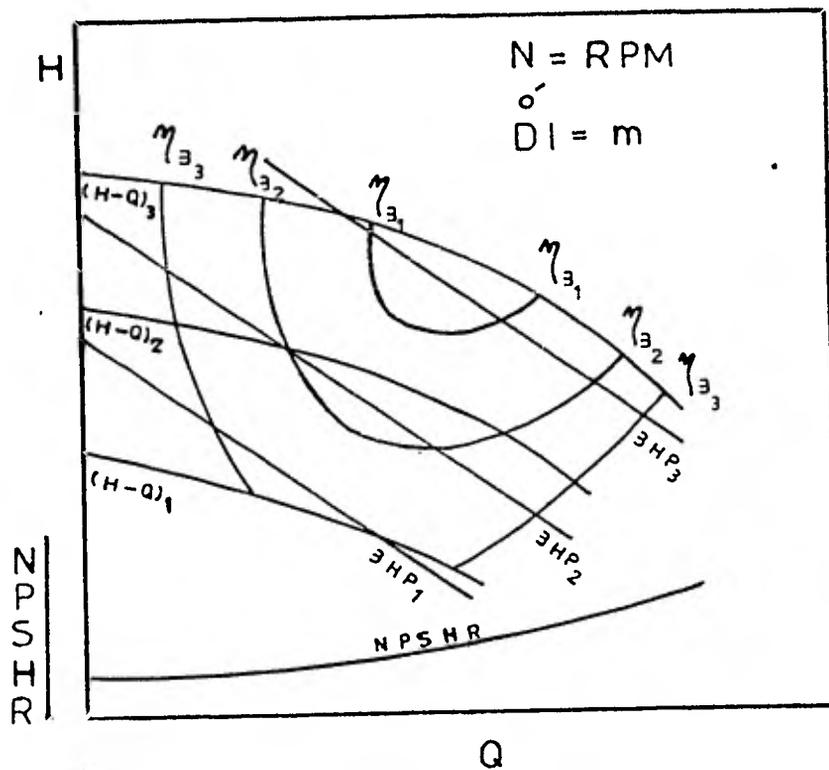


FIGURA 17

Este determina las curvas características anteriores experimentalmente (para el desarrollo de la presente práctica se aplicarán las leyes de afinidad).

La figura 18 indica el procedimiento de construcción para una carta semejante a la figura 17.

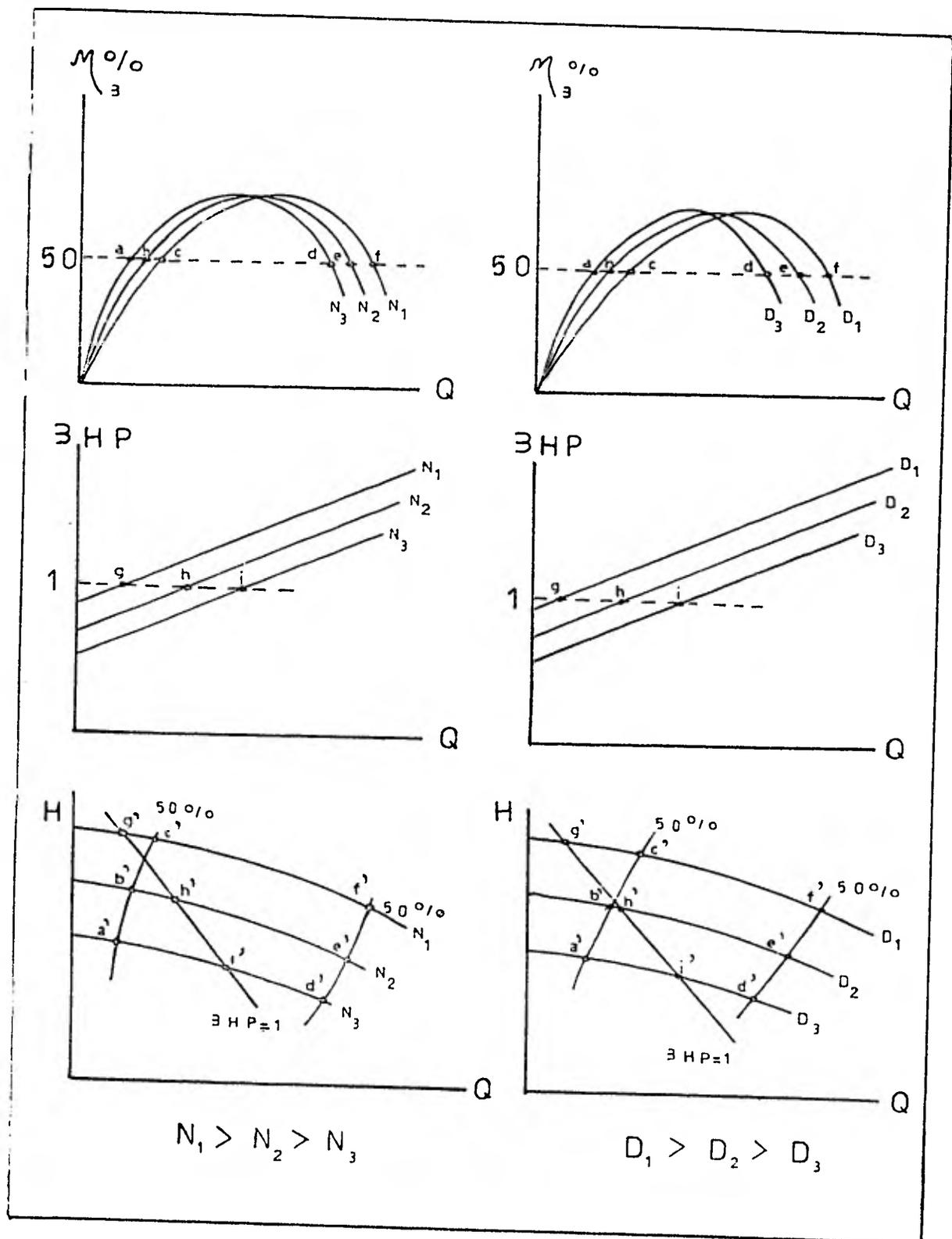


FIGURA 18

Esta indica que debe de disponerse de dos cartas que relacionen a las variables $\eta_B - Q$ y BHP - Q para diferentes condiciones de operación ya sea variando los R.P.M. o el diámetro del impulsor.

Muestran un punto supuesto ilustrativo al 50% de eficiencia y una potencia de operación de 1 BHP. Se deben proyectar los puntos de intersección a, b, c, d, e, f para eficiencias y los puntos g, h, i para potencias, sobre las variaciones de las curvas correspondientes H-Q, formando los puntos a', b', c', d', e', f' para eficiencias y los puntos g', h', i' para potencias, que posteriormente se deberán unir por una línea, este procedimiento debe ser repetido para otros valores superiores e inferiores del valor supuesto ilustrativo, generándose así la carta deseada.

3.3 Interacciones entre las tuberías y la bomba.

Interacción entre el N.P.S.H.D y el N.P.S.H.R -- con la cavitación.- La brida de succión de la -- bomba es el límite de separación entre el NPSHD y el NPSHR. El primero es una función característica de las tuberías y es el responsable de en-- tregar a la bomba el líquido con suficiente gra-- diente de carga para no evaporarse, ver ecuación (29); el segundo es una función característica - de la bomba y es el responsable de recibir al líquido con este gradiente y llevarlo hasta el punto de mínima carga; el centro del impulsor, sin que se evapore.

De lo anterior se deduce que el NPSHD debe ser - mayor que el NPSHR para evitar la cavitación.

Un análisis de la ecuación (29) proporciona cri-- terios para cuando el NPSHR es mayor que el --- NPSHD.

Cuando se presenta en una carga estática de suc-- ción.

- a) En el primer término $\frac{p_1 - p^\circ}{\rho g}$, la presión - de vapor podrá abatirse disminuyendo la temperatura del líquido a bombear.
- b) En el segundo término $+ (\Delta Z) g/g_c$, puede au-- mentarse la altura del tanque alimentador de la bomba o bajar el nivel de colocación de ésta.

- c) En el tercer término $-\frac{v_s^2}{2\alpha g_c}$ generalmente proporciona un valor pequeño al cual muchas ocasiones se desprecia.
- d) En el cuarto término $-\sum_1^S Hf_s$, puede aumentarse el diámetro nominal del tubo que alimenta a la bomba para eliminar fricciones y este término sea menos negativo.

Cuando se tiene una elevación estática de succión:

- a) Todos los criterios en los términos anteriores son igualmente válidos para una elevación estática de succión, excepto el segundo que es negativo, aquí se recomienda disminuir la altura del tanque alimentador de la bomba o subir el nivel de colocación de ésta.

Si lo anterior no hace que el NPSHD se mayor que el NPSHR, lo preferible es cambiar la bomba con otro NPSHR menor.

Curvas del (NPSHD - Q) y del (NPSHR - Q) para régimen continuo.- La figura 19 muestra la variación del NPSHD y del NPSHR contra el gasto, en el cruce de estos se presenta el punto de cavitación de la bomba.

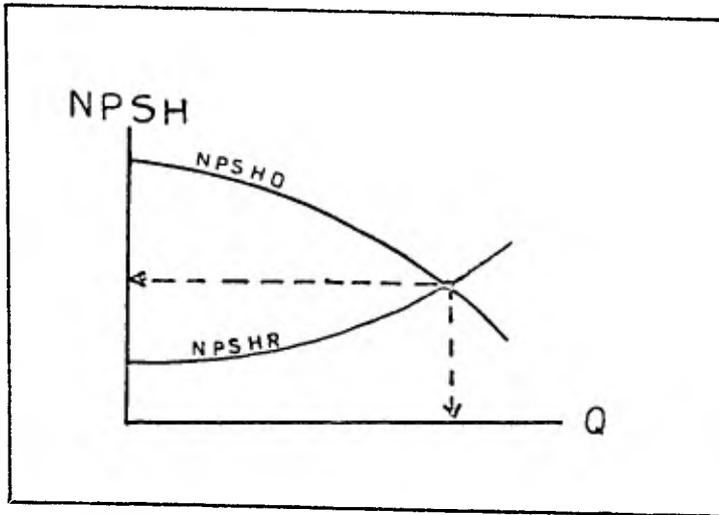


FIGURA 19

Curvas del (NPSHD - Q) y el (NPSHR - Q) para régimen intermitente.- La figura 20 muestra la variación del NPSHD en función de dos variables, - el gasto y la altura del nivel del líquido dentro del tanque de alimentación, así como la curva del NPSHR en función del gasto cuyo perfil es independiente del régimen a que se opere el sistema de bombeo.

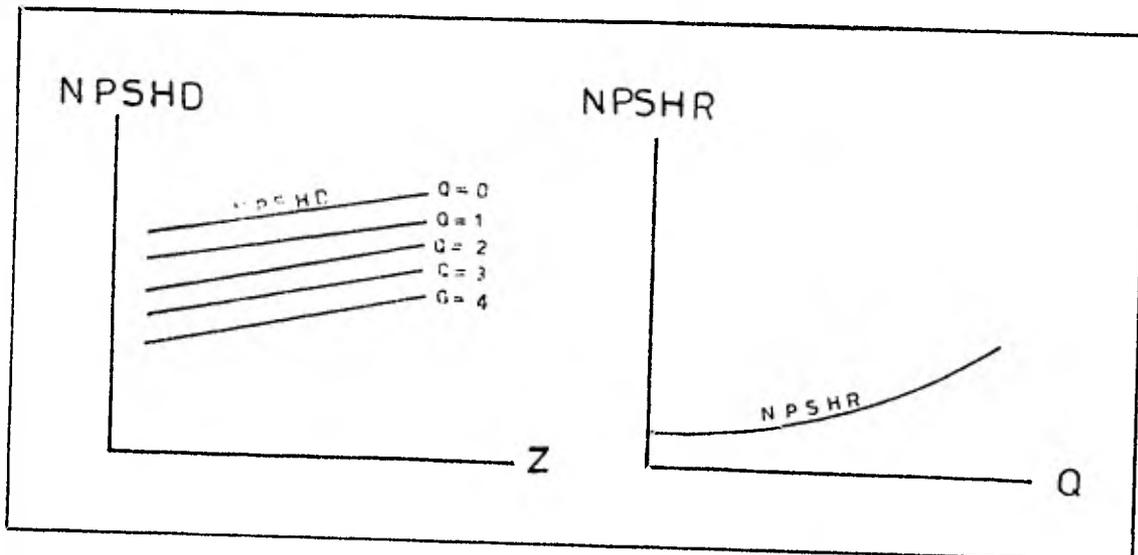


FIGURA 20

Interacción de las curvas $W_0 - Q$, $H - Q$.- La curva $W_0 - Q$ representa una serie de puntos a los cuales se les "requiere impartir carga" para vencer las resistencias al flujo del líquido que va a ser desplazado por las tuberías. La curva $H - Q$ representa una serie de puntos los cuales son "capaces de impartir carga" a un líquido y desplazado de un punto a otro.

La sobreposición de las dos curvas en un sistema común de coordenadas proporcionan un punto de cruce llamado punto de "operación del sistema-bomba" y representa la carga que una bomba es capaz de suministrar a un líquido que va ser desplazado por las tuberías, ver la figura 21.

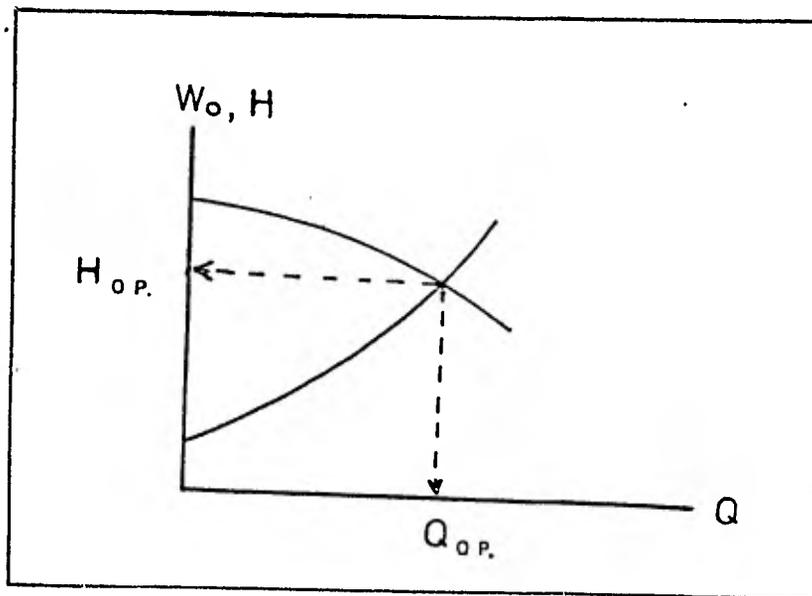


FIGURA 21

Interacción de las curvas $W_0 - Q$, $H - Q$, $\eta_B - Q$

B.H.P. - Q, N.P.S.H.D - Q, N.P.S.H.R - Q.- En el proyecto de instalación de un sistema de bombeo- deberá seleccionarse de los catálogos mostrados- por el fabricante la carta de la bomba que propor- cione el punto de operación del sistema - bomba, que haga a esta desarrollar su máxima eficiencia y además que el NPSHD sea por lo menos $1 \text{ m } \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$ mayor que el NPSHR en el punto considerado, lo anterior queda representado en la figura 22.

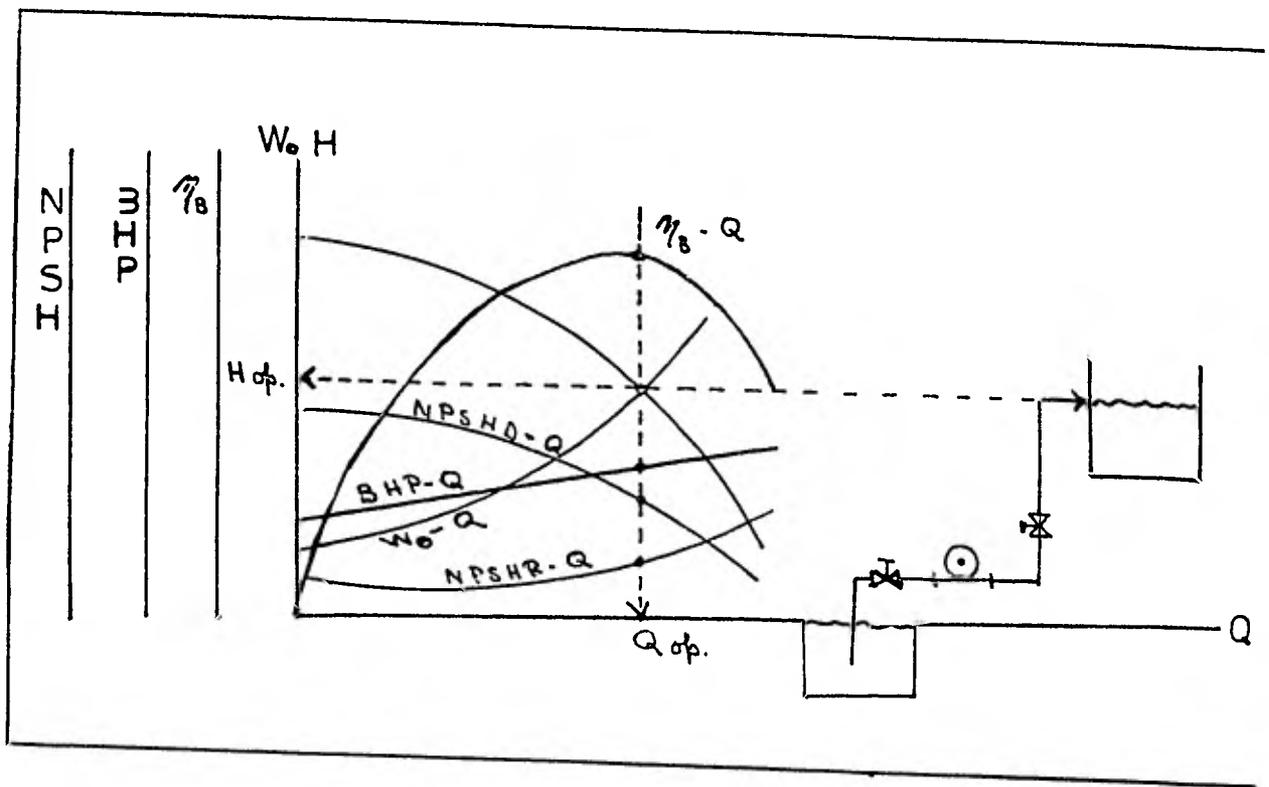


FIGURA 22

Las interacciones anteriores también deben de cumplirse para cualquier sistema de bombeo en funcionamiento.

III. TECNICA PARA OPERAR EL SISTEMA DE BOMBEO.

Equipo mecánico.- Seleccionar de acuerdo a las cartas características de cada bomba el par de motores más adecuado para la operación serie - paralelo (no hay inconveniente en esta práctica, para elegir otros motores arbitrariamente, pero es necesario tomar en cuenta la aclaración expuesta en la parte 4 de la descripción del sistema de bombeo), los motores elegidos deberán permanecer inalterables en las dos sesiones. Se recomienda acoplar adecuadamente el motor a la bomba para obtener una alta eficiencia de transmisión de potencia.

Equipo eléctrico.- Antes de alimentar energía eléctrica por medio del switch de cuchillas al equipo eléctrico, verificar que los polos P_2 (líneas azules de los transformadores T-1 y T-2) estén acoplados adecuadamente ya sea en 5 ó en 10 ó en 25 ó en 50 amperes según los motores seleccionados; para determinar la localización de los bornes de acoplamiento se deben sumar los amperes por línea de cada motor, valores que se encuentran reportados en las placas de estos. Se recomienda un acoplamiento de los polos P_2 en los bornes de 10 amperes.

Equipo hidráulico.- La figura siguiente muestra un diagrama isométrico de tubería e instrumentación del sistema en serie y paralelo.

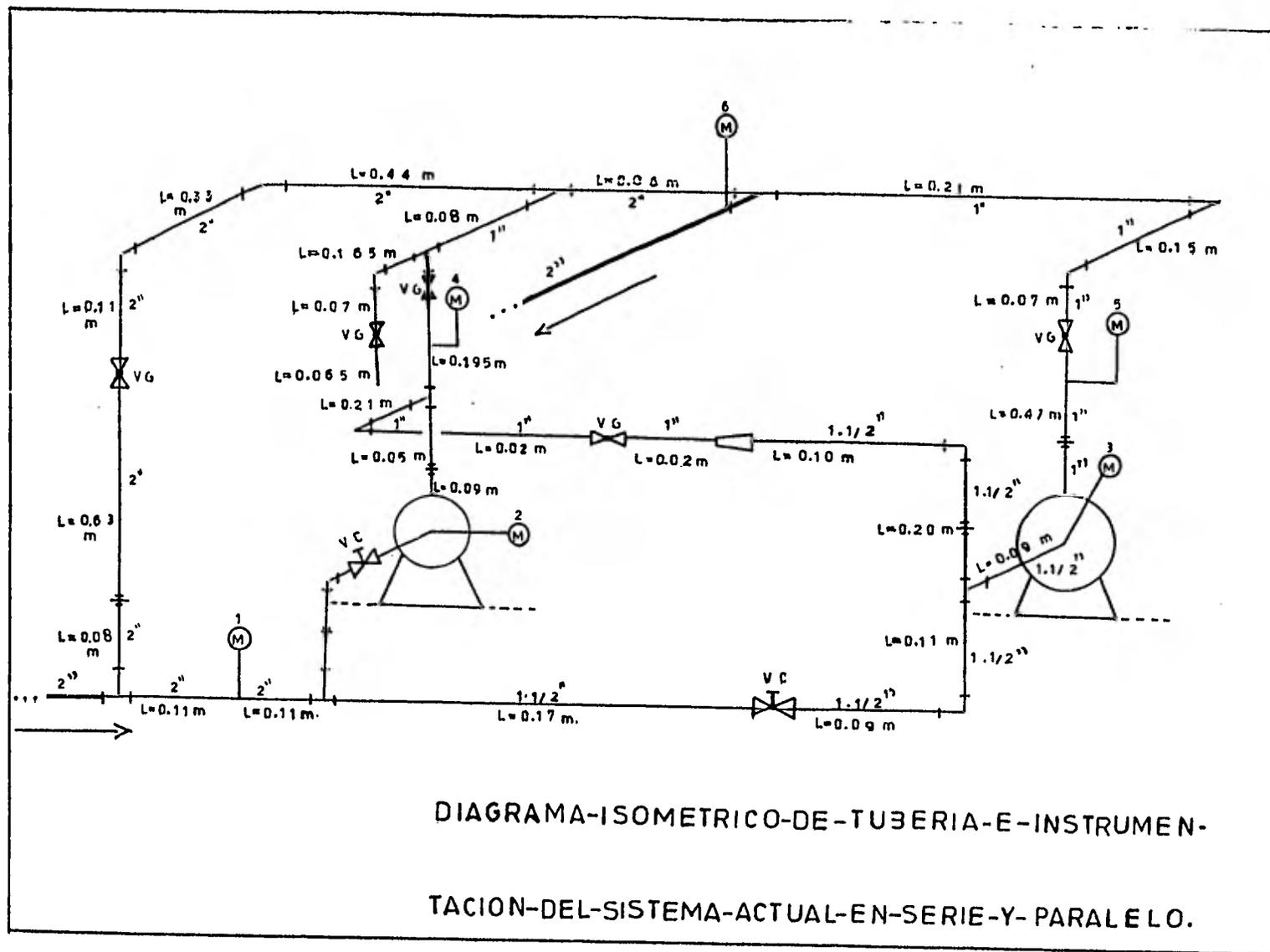


DIAGRAMA-ISOMETRICO-DE-TUBERIA-E-INSTRUMENTACION-DEL-SISTEMA-ACTUAL-EN-SERIE-Y-PARALELO.

Se presenta a continuación las indicaciones para operar la bomba izquierda (de un impulsor).

- a) La válvula de compuerta antes de la alimentación de la bomba deberá permanecer totalmente abierta para cualquier lectura eléctrica o hidráulica relacionada con esta bomba.
- b) La válvula de globo después de la descarga puede ser variada desde el cierre total hasta su abertura total de acuerdo al valor requerido por la experimentación. Esta válvula es la generadora de las variables eléctrica, mecánica e hidráulica necesarias para la construcción de la carta de esta bomba.
- c) El vacuómetro Núm. 2 indica la presión de succión de la bomba, el manómetro Núm. 4 indica la presión de descarga.
- d) Todas las válvulas restantes antes del haz de tubos deberán permanecer cerradas.
- e) Todas las válvulas dispuestas en el haz de tubos y después de éste deberán permanecer totalmente abiertas.

Indicaciones para operar la bomba derecha (de doble impulsor).

- a) La válvula de compuerta antes de la alimentación de la bomba deberá permanecer totalmente abierta para cualquier lectura eléctrica o hidráulica relacionada con esta bomba.

- b) La válvula de globo después de la descarga puede ser variada desde el cierre total hasta su abertura total de acuerdo al valor requerido por la experimentación. Esta válvula es la generadora de las variables eléctricas, mecánicas e hidráulicas necesarias para la construcción de la carta de esta bomba.
- c) El vacuómetro Núm. 3 indica la presión de succión de la bomba, el manómetro Núm. 5 indica la presión de descarga.
- d) Todas las válvulas restantes antes del haz de tubos deberán permanecer cerradas.
- e) Todas las válvulas dispuestas en el haz de tubos y después de éste, deberán permanecer totalmente abiertas.

Se recomienda ver las lecturas máxima y mínima en los manómetros de descarga 4 y 5 respectivamente, y en base a éstas, postular lecturas de igual caída de presión utilizando las válvulas generadoras de las variables eléctricas, mecánicas e hidráulicas en cada una de las bombas.

Recomendaciones previas a la experimentación.

- a) Comprobar que el tanque alimentador contenga el agua suficiente para el desarrollo de la práctica.
- b) Verificar que las bombas estén cebadas.
- c) Operar el sistema de bombeo algunos minutos para

que alcance su régimen estable de trabajo.

- d) Tener dispuesto un cronómetro, un termómetro, un tacómetro, una cinta métrica y una electropinza.

Toma de datos.

El grupo de alumnos que realice la práctica deberá -- presentar al maestro del laboratorio una tabla que indique los encabezados de las variables a ser determinadas para poder generar así los objetivos de la práctica.

Las variables eléctricas, mecánicas e hidráulicas se determinan simultáneamente en el sistema de bombeo, - controlando estas por medio de las válvulas de descarga de cada una de las bombas, si estas variables no - se determinan con el sincronismo necesario los resultados obtenidos se verán afectados unos a otros proporcionando resultados incorrectos. Las ocho varia---bles siguientes se deben determinar al mismo tiempo - para cada abertura considerada de válvula.

- a) Volumen de agua desalojada en el tanque alimentador de la bomba.
- b) Tiempo requerido para desalojar el volumen de agua del punto anterior.
- c) Presión de succión de la bomba.
- d) Presión de descarga de la bomba.
- e) Corriente requerida por el motor acoplado a la --

bomba .

✓f) Potencia consumida por el motor acoplado a la bomba .

g) Caída de presión en el mediador de orificio .

h) Caída de presión en el mediador vénturi .

En el desarrollo de la práctica las R.P.M. y la diferencia de potencial se pueden considerar prácticamente constantes .

LISTA DE VARIABLES UTILIZADAS

- C: Coeficiente de lisura, adimensional en la ecuación (32).
- D: Diámetro interno en la tubería, en m en la ecuación (31); subíndice que indica descarga en las ecuaciones (26) y (27); diámetro del impulsor de la bomba en m para las ecuaciones (48) a (50), d; diámetro interno de la tubería en cm. ecuación (32).
- f': Factor de fricciones, adimensional en la ecuación (31).
- g: Aceleración debido a la gravedad, 9.802368 m/seg^2 , ecuaciones (25), (26), (29), (30).
- g_C: Factor de transformación de Newton, $9.8066352 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2} \times \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$ ecuaciones (25), (26), (29), (30), (31), (33), (34).
- H: Representa la carga capaz de proporcionar una bomba a un líquido en $\text{m Kg}/\text{Kg}$, ecuación (27')
- H_S: Carga de succión y carga de elevación de la succión en $\text{m Kg}/\text{Kg}$, ecuación (25).
- H_D: Carga de descarga en $\text{m Kg}/\text{Kg}$, ecuación (26).
- H_f: Carga debido a las fricciones en $\text{m Kg}/\text{Kg}$, en las ecuaciones (25), (26), (29), (30), (31), (32) y (33)
- K: Constante experimental para la ecuación (33), sin dimensiones.
- L: Longitud de tubo recto en m, en la ecuación (32), L_e; longitud equivalente de tubería en m en la ecuación (31).

- N: Velocidad de rotación del impulsor de la bomba en R.P.M. en las ecuaciones (44) a (47).
- Ps: Presión de succión, P_1 presión en el punto uno, P_D presión de descarga, P_2 presión en el punto dos y P° presión de vapor del líquido bombeado en Kg/m^2 - absolutos, en las ecuaciones (25), (26), (27), (28) (29), (30) y (27').
- Q: Gasto volumétrico en l/min, en las ecuaciones (32), (44) y (48).
- V_S : Velocidad del líquido en la brida de succión de la bomba, V_D velocidad del líquido en la brida de descarga de la bomba, V_1 velocidad del líquido en el punto uno y V_2 velocidad del líquido en el punto dos en m/seg, en las ecuaciones (25), (26), (29) y (30).
- Wo: Representa la cantidad de carga que se le tiene -- que impartir a un líquido por una bomba en m Kg/Kg en la ecuación (27).
- ρ : Densidad del líquido en Kg/m^3 en las ecuaciones -- (25) a (30).
- v: viscosidad cinemática en S.S.U. (segundos saybolt-universal).

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

- 1.- P. ROBERJOT
"Electrotecnia aplicada y ensayo de las máquinas eléctricas".
Edit. Gustavo Gili, S.A. Págs. 55 - 125.
- 2.- ROBERT ROSENBERG
"Preparación de motores eléctricos".
Edit. Gustavo Gili, S.A. 3a. Edición. Tomo I. Pgs. 116 - 159 .
Tomo II, Págs. 62-102.
- 3.- Catálogo A.S.E.A.
"Fundamentos de control para motores de la SCUARE. D. de Mé-
xico, S.A."
Edit. Cía A.S.E.A. de México, S.A. Págs. 1 - 75.
- 4.- Catálogo del Comité Consultivo Nacional de Normalización de
la Industria Eléctrica.
"Normas de calidad, funcionamiento y métodos de prueba, en
motores de inducción de corriente alterna del tipo de rotor
en corto circuito o de jaula de ardilla".
Dirección; Mariano Escobedo 724 - 4° piso, México 5, D.F.
Págs. 1 - 56.
- 5.- LANE K. BRANSON
"Mecánica para estudiantes de ingeniería".
Edit. Fondo Educativo Interamericano 1975. páginas 203 -
224, 250-262, 300-319, 322-244.
- 6.- Hydraulic Institute Standars for Centrifugal and Reciproca-
ting Pumps. Thirteenth Edition 1975. Pags. 1-120.
- 7.- TYLER AND HICKS
"Bombas, su selección y Operación."
Edit. C.E.C.S.A. 1970. Pags. 19-46, 89-444.
- 8.- IGOR J. KARASSICK Y ROY CARTER
"Bombas Centrífugas, selección, operación y mantenimiento".
Edit. C.E.C.S.A. 1980. Pags. 11-197, 211-267, 197-369,

505-527.

- 9.- VICTOR L. STREETER
"Mecánica de los fluidos" 4a edición.
Edit. Mc Graw-Hill, 1976. Pags. 286-290, 523-527, 537-541.
- 10.- Catálogo para Bombas Centrífugas de la Compañía Goulds Pumps.
- 11.- Worthington de México, S.A.
"Instrucciones para la instalación, operación y mantenimiento y lista de partes para bombas D-1000.
- 12.- Worthinton de México, S.A.
"Bombas centrífugas, instrucciones para instalación, operación y mantenimiento".
- 13.- Worthington de México, S.A.
"Instructivo para la instalación, operación, mantenimiento y lista de partes de bombas centrífugas tipo L-R".
- 14.- CLAUDIO MATAIX
"Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas".
Edit. Harper and Row Publishers inc. 1981.
pags. 343 - 391.



BOMBAS CENTRIFUGAS
EN
SERIE Y PARALELO

LIN
AM

INTRODUCCION

La presente práctica y la de bombas centrífugas en serie y paralelo están diseñadas para efectuarse en dos sesiones (las cuales pueden ser o no consecutivas). El objetivo que se pretende en ambas es que usted haga intervenir experimentalmente a las principales variables eléctricas, mecánicas e hidráulicas de manera objetiva y manejarlas eficientemente en el sistema de bombeo para construir las cartas características reales de trabajo de cada bomba y operarlas en serie y paralelo.

¿Por qué hacer intervenir a las variables eléctricas, mecánicas e hidráulicas?

Porque en todo sistema de bombeo existe una conversión consecutiva de energía eléctrica a mecánica y esta última a hidráulica; si alguna de estas transformaciones no es eficiente el sistema de bombeo tampoco lo será.

En esta primera parte usted descubrirá en su experimentación las limitaciones de operación de cada una de las bombas así como de los motores acoplados y de las tuberías que intervienen en el sistema de bombeo.

LA SEGUNDA explica la teoría referente a las bombas sin --
considerar la acción de las tuberías y

LA TERCERA interrelaciona ambas teorías para explicar al -
sistema de bombeo en su parte hidráulica. En esta subpar-
te existe una hoja de especificación de datos para bombas-
centrífugas, en la cual deberá especificarse una bomba se-
leccionada del catálogo proporcionado en el laboratorio pa-
ra sustituir a la bomba ICN-152 serie No. 23160 (bomba de -
un impulsor) o la bomba CCN-62 serie No. 23235 (bomba de -
doble impulsor), pues concluirá al desarrollar la práctica
que solamente en un rango reducido de cargas y gastos PUE-
DE OPERARSE EL SISTEMA EN PARALELO debido a la gran dife-
rencia entre las curvas características de cada máquina, -
impidiendo que el sistema del bombeo del laboratorio sea -
eficiente cuando se opera en paralelo.

En esta subparte existe otro anexo que describe los efec--
tos de la densidad y la viscosidad en las curvas caracte--
rísticas de las bombas, titulado como ANEXO A LA PRACTICA-
DE BOMBAS CENTRIFUGAS EN SERIE Y PARALELO y también debe--
rá ser adquirido con anterioridad, su conexión con el con-
texto general de la práctica se hace a través de la pági-
na 27

Contenido general de la segunda sesión.

Introducción, página No. 1

Trabajo a desarrollar, página No. 4

IV.- Teoría general relacionada con el sistema de bombeo -
para operarlo en serie y paralelo, página No. 8

V.- Técnica para operar al sistema de bombeo en serie y -
paralelo, página No. 28

Lista de variables utilizadas, página No. 33

Bibliografía recomendada, página No. 35

TRABAJO A DESARROLLAR

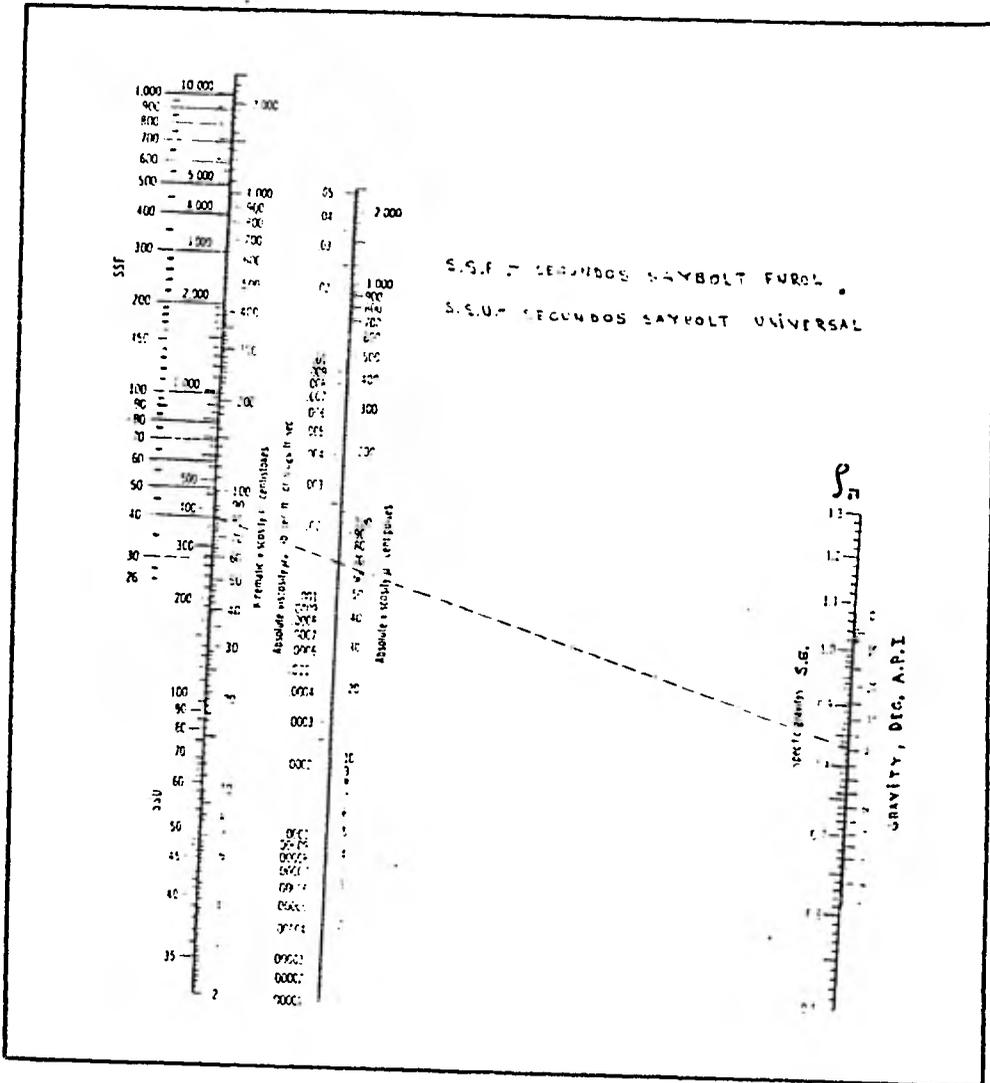
- a) Presentar una carta donde muestra simultáneamente la curva H-Q experimental en serie, las curvas H-Q experimentales para cada bomba, la curva resultante obtenida al sumar las curvas H-Q individuales experimentales en serie de cada bomba.

- b) Presentar una carta donde muestre la curva experimental η_{MB} -Q del sistema de bombeo operando en serie.

- c) Presentar una carta donde muestre simultáneamente la curva H-Q experimental en serie y la curva H-Q experimental en serie obtenida al sumar las curvas individuales de cada bomba, la curva η_{MB} -Q en serie y la curva W_o -Q que haga más eficiente al sistema de bombeo al variar el diámetro de los tubos dispuestos en el haz.

- d) Presentar una carta donde muestre simultáneamente la curva H-Q experimental en paralelo, las curvas H-Q experimentales para cada bomba, la curva resultante obtenida al sumar las curvas H-Q individuales experimentales en paralelo de cada bomba.

- e) Presentar una carta donde muestre la curva experimental $\eta_{MB}-Q$ del sistema de bombeo operando en paralelo.
- f) Presentar una carta donde muestre simultáneamente la curva H-Q experimental en paralelo y la curva H-Q experimental en paralelo obtenida al sumar las curvas individuales de cada bomba, la curva $\eta_{MB}-Q$ en paralelo y la curva W_o-Q que haga más eficiente al sistema de bombeo al variar el diámetro de los tubos dispuestos en el haz.
- g) Seleccionar del catálogo de la Goulds-Pumps proporcionado en el laboratorio una bomba (la más semejante) para sustituir a la bomba ICN-152 serie No. 23160 o a la bomba CCN-62 serie No. 23235; ya que usted ha concluido al entregar su reporte de la primera sesión, que las bombas tienen características muy diferentes y concluirá al desarrollar esta práctica que solamente en un rango reducido de cargas y gastos puede el sistema operarse en paralelo.
- h) Llenar una hoja de especificación de datos para la bomba seleccionada del inciso anterior.
- i) Seleccionar otra bomba del mismo catálogo y corregir sus curvas H-Q, B.H.P-Q, η_B-Q para cuando se



j) Reportar la conclusión más pertinente de cada uno de los resultados de los incisos anteriores.

SEGUNDA SESION

IV. TEORIA GENERAL RELACIONADA CON EL SISTEMA DE BOMBEO - PARA OPERARLO EN SERIE Y PARALELO

1. Teoría relacionada con las variables eléctricas.

Las definiciones expuestas anteriormente para las variables eléctricas son aplicables al operar el sistema de bombeo en serie o en paralelo, ya que cada motor funciona independientemente.

2. Teoría relacionada con las variables mecánicas.

Las definiciones expuestas anteriormente para las variables mecánicas son aplicables al operar el sistema de bombeo en serie o en paralelo, ya que cada motor funciona independientemente.

3. Teoría relacionada con las variables hidráulicas.

3.1 Definiciones para las tuberías sin considerar la acción de las bombas.

La carga estática de succión, la elevación estática de succión, la carga estática de descarga y la carga estática total tienen el mismo significado para cuando se operan las bombas en serie o en paralelo.

La carga de succión y la carga de elevación de succión así como la carga de descarga y la carga total, tienen el mismo significado para cuando se operan las bombas en serie o en paralelo, donde -

ahora la brida de succión será la brida de la primera bomba que se alimenta (cuando se operan las bombas en serie) o la te de bifurcación (cuando se operan las bombas en paralelo) y la brida de descarga será la brida de la última bomba que descarga en las tuberías (cuando se operan las bombas en serie) o la te de reunión (cuando se operan las bombas en paralelo).

La carga neta positiva de succión disponible, tiene el mismo significado para cuando se operan las bombas en serie o en paralelo, donde la presión absoluta de succión será calculada en la brida de succión de la primera bomba (cuando se operan las bombas en serie) o en la te de fiburcación (cuando se operan las bombas en paralelo).

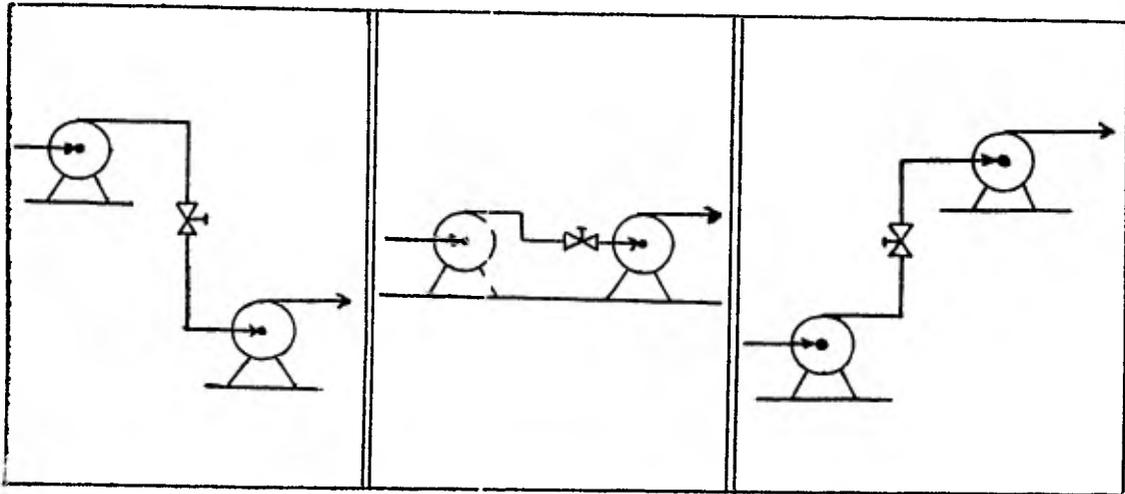
La curva, carga hidráulica del sistema - Capacidad tiene el mismo significado para cuando se operan las bombas en serie o en paralelo.

3.2 Definiciones para la bomba sin considerar la acción de las tuberías.

3.2.1 Presentación del comportamiento de la curva característica $H-Q$ en un sistema de bombeo para operarse en serie.

La figura siguiente muestra los arreglos comunes para operar dos bombas en serie, en el caso de que las bombas sean distintas en sus características $H-Q$ la mayor deberá colocarse en segundo término en dirección al flujo, para que esta desarrolle su

energía directamente sobre el líquido el cual es descargado en las tuberías.



En todo sistema de bombeo en serie deberá existir una válvula que interconecte ambas máquinas, su función es proporcionar un gasto controlado para poner en funcionamiento la segunda bomba y no hacer un arranque simultáneo de máquinas.

Si una bomba proporciona un buen gasto pero con una carga pequeña, una posible solución es combinar (al menos) dos bombas en serie, es decir que la descarga de la primera alimenta a la succión de la segunda, proporcionando estas:

- Un caudal Q total mayor que el propor--

cionado por cada una de las bombas cuando se operan independientemente.

- Una carga H total obtenida por la suma de cargas desarrolladas por cada bomba.

Otra opción es utilizar una sola bomba con etapas múltiples en las que están dispuestos dentro de una carcasa varios impulsores en una misma flecha, proporcionando la carga H total y su caudal Q.

Un sistema de bombeo en serie entonces proporciona líquidos con cargas altas y gases bajos (relativamente),

Caso a.- Característica H-Q para dos bombas iguales acoplados a motores iguales.

La figura 23 muestra la curva resultante cuando se suman gráficamente dos bombas en serie, este procedimiento no toma en consideración las interconexiones entre las bombas.

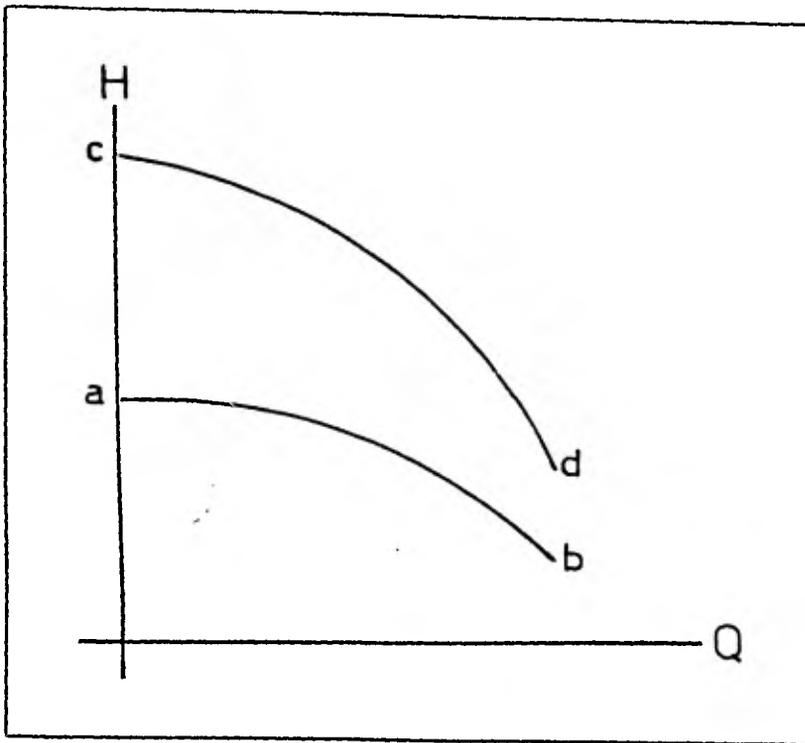


FIGURA 23

La curva a-b se va a sumar a la curva a-b en serie, para esto se traza la característica de una de las bombas con cargas al doble, utilizando el mismo rango de gastos. La curva c-d es la curva-carga total - capacidad resultante.

Caso b.- Característica H - Q para dos bombas diferentes acopladas a motores diferentes.

La figura 24 muestra la curva resultante cuando se suman gráficamente dos bombas en serie, este procedimiento no toma en consideración las interconexiones entre las bombas.

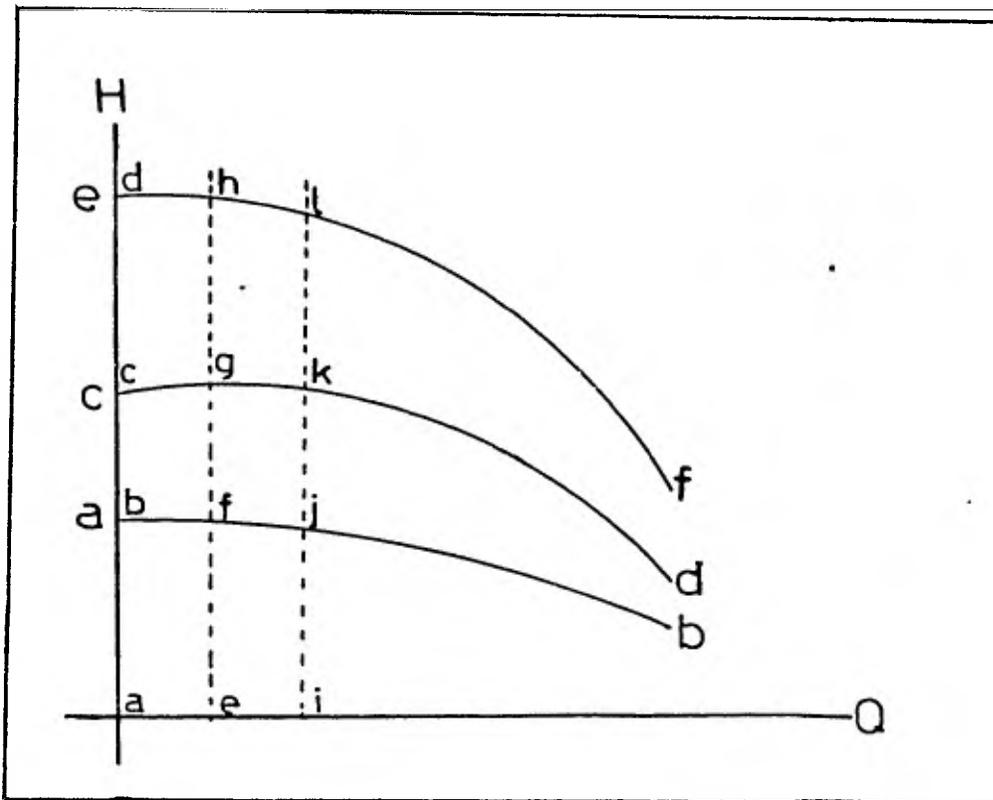


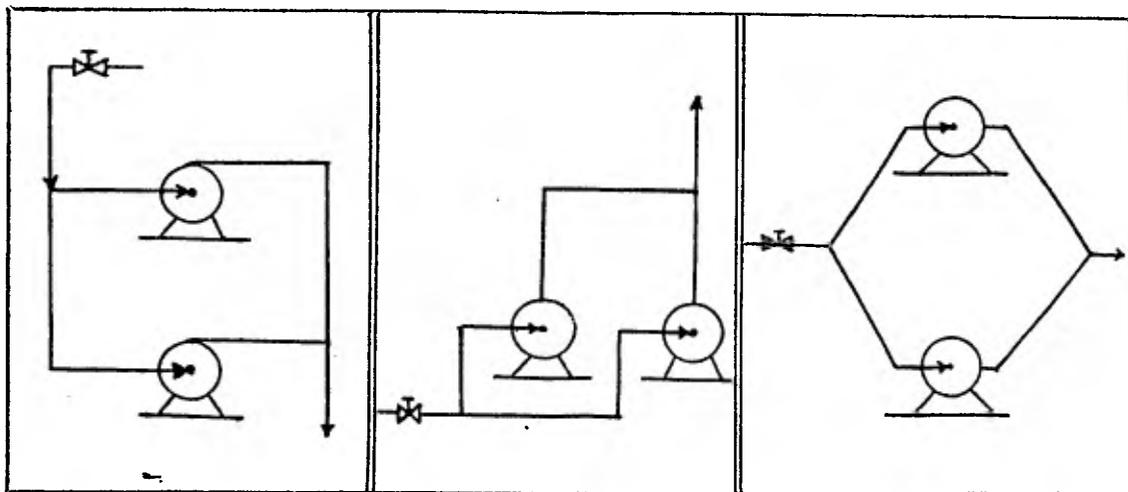
FIGURA 24

La curva a-b se va a sumar a la curva c-d en serie, para esto se suman las cargas de cada característica entre sí, para el correspondiente valor de gasto considerado. La curva e-f es la curva carga total - capacidad resultante; para obtenerla se trazan líneas paralelas a la carga H -- partiendo del origen hasta terminar el perfil de la curva a-b, generandose la siguiente tabulación:

H	b + c = d	f + g = h	j + k = l	...
Q	a	e	i	...

3.2.2 Presentación del comportamiento de la curva característica H-Q en un sistema de bombeo para operarse en paralelo.

La figura siguiente muestra los arreglos comunes para operar dos bombas en paralelo, en el caso de que las bombas sean distintas en sus características H-Q no interesa la colocación de una con respecto a la otra.



En comparación con el sistema de bombeo en serie, en un sistema en paralelo deberán - arrancarse simultáneamente sus máquinas.

Si una bomba proporciona una buena carga - pero un gasto pequeño, una posible solu- - ción es combinar (al menos) dos bombas en - paralelo, es decir que la succión de ambas bombas sea común y de igual forma su des- - carga; proporcionando estas:

- Un caudal Q total obtenido por la suma - de gastos desarrollados por cada bomba.
- Una carga H total mayor que la propor- - cionada por cada una de las bombas cuan- - do se operan independientemente.

Otra opción es utilizar una sola bomba con varios impulsores dispuestos en paralelo - en una misma flecha en una etapa, propor- - cionando esta el gasto Q total y su carga- H .

Un sistema en paralelo entonces proporcio- - na líquidos con gastos altos y cargas ba- - jas (relativamente).

Caso a.- Características $H-Q$ para dos bom- - bas iguales acopladas a motores iguales.

La figura 25 muestra la curva resultante - cuando se suman gráficamente dos bombas en - paralelo, este procedimiento no toma en --

consideración las interconexiones entre las bombas.

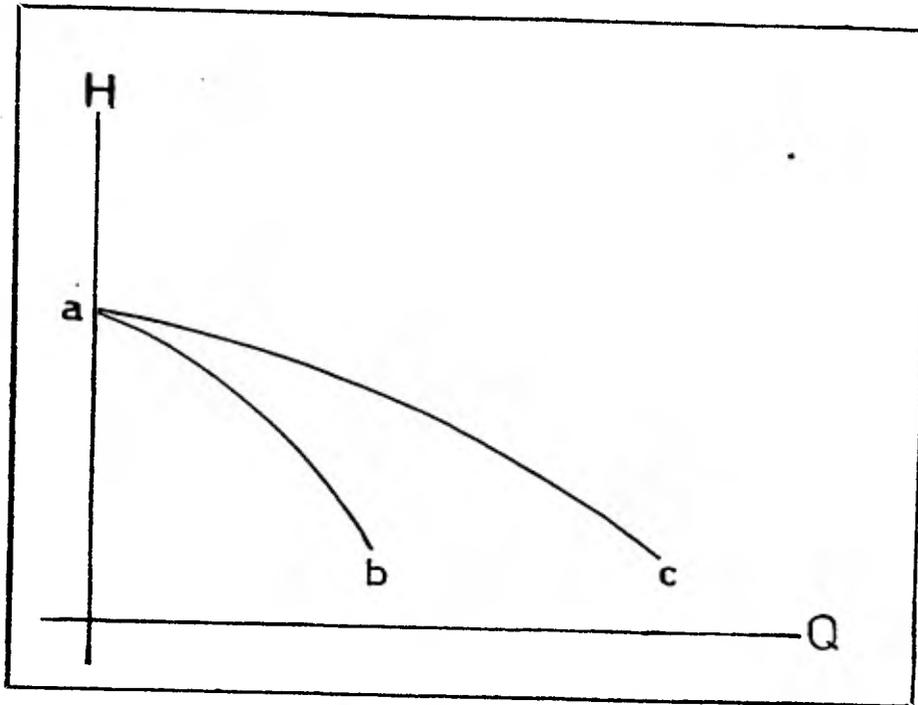


FIGURA 25

La curva a-b se va a ~~sumar~~ a la curva a-b en paralelo, para esto se traza la característica

de una de las bombas con gastos al doble, utilizando el mismo rango de cargas. La curva a - c es la curva carga total - capacidad resultante.

Caso b.- Característica H - Q para dos bombas diferentes acopladas a motores diferentes.

La figura 26 muestra la curva resultante cuando se suman gráficamente dos bombas en paralelo, este procedimiento no toma en consideración las interconexiones entre las bombas.

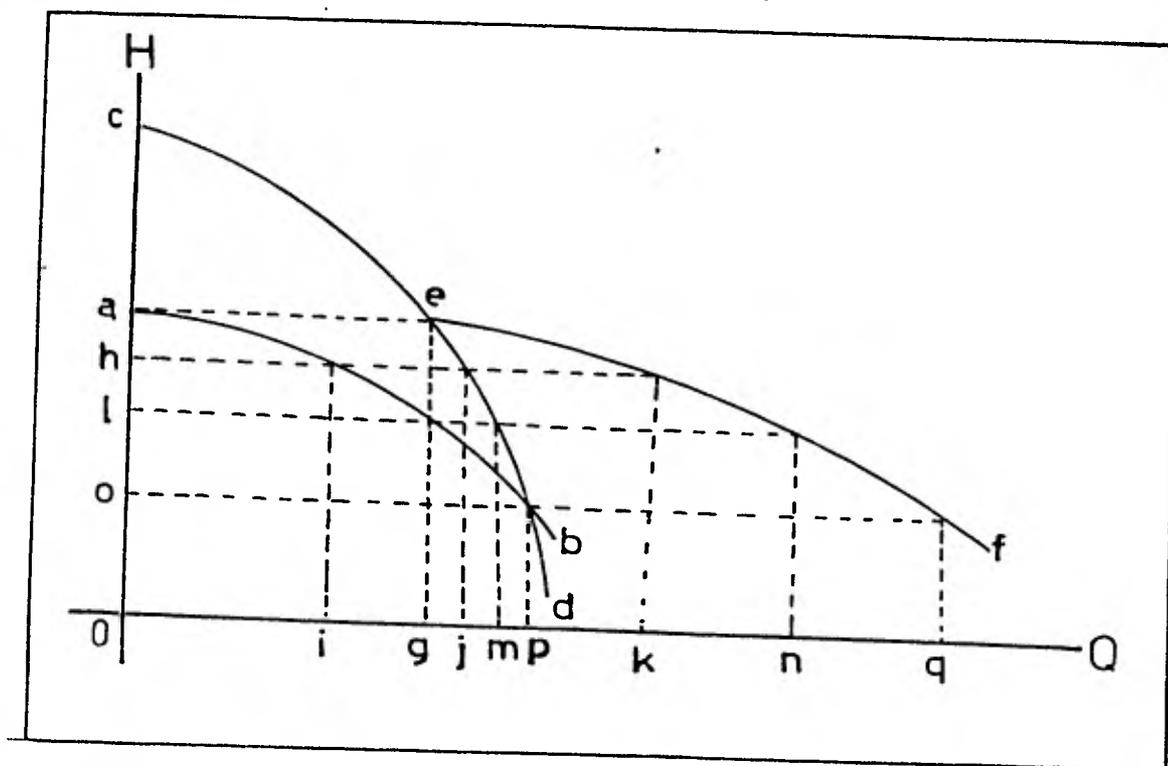


FIGURA 26

La curva a - b se va a sumar a la curva c - d en paralelo, para esto se suman los gastos de cada característica entre sí, para el correspondiente

valor de carga considerado. La curva c - e - f es la curva carga total-capacidad resultante; para obtenerla se trazan líneas paralelas al gasto Q partiendo del punto a hasta terminar el perfil de la curva a - b, generándose la siguiente tabulación:

H	a	h	l	o	...
Q	$o + g = g$	$i + j = k$	$g + m = n$	$p + p = q$...

La velocidad específica tipo y la velocidad específica de succión, tienen el mismo significado para cuando se operan las bombas en serie o en paralelo, ya que cada bomba funciona independientemente.

La potencia eléctrica, la potencia al freno y la potencia hidráulica tienen el mismo significado para cuando el sistema de bombeo se opera en serie o en paralelo.

La eficiencia de las bombas, la eficiencia del motor y la eficiencia de los motores - bombas, tienen el mismo significado para cuando el sistema de bombeo se opera en serie o en paralelo.

3.3 Interrelaciones entre las tuberías y las bombas.

La interacción entre el NPSHD y el NPSHR con la cavitación tienen el mismo significado para cuando se opera el sistema en serie o en paralelo, donde ahora la brida de succión será la brida de la primera bomba que se alimenta (cuando se operan las bombas en serie) o la te de bifurcación, -

(cuando se operan las bombas en paralelo).

Interacción de las curvas $W_o - Q$, $H - Q$.- Estas curvas también tienen el mismo significado para cuando se opera al sistema en serie o en paralelo; a continuación se presenta un análisis en el sistema de bombeo.

Punto de operación para un sistema en serie.

Caso a.- Dos bombas iguales acopladas a motores iguales. La figura 27 muestra los puntos de operación para las bombas.

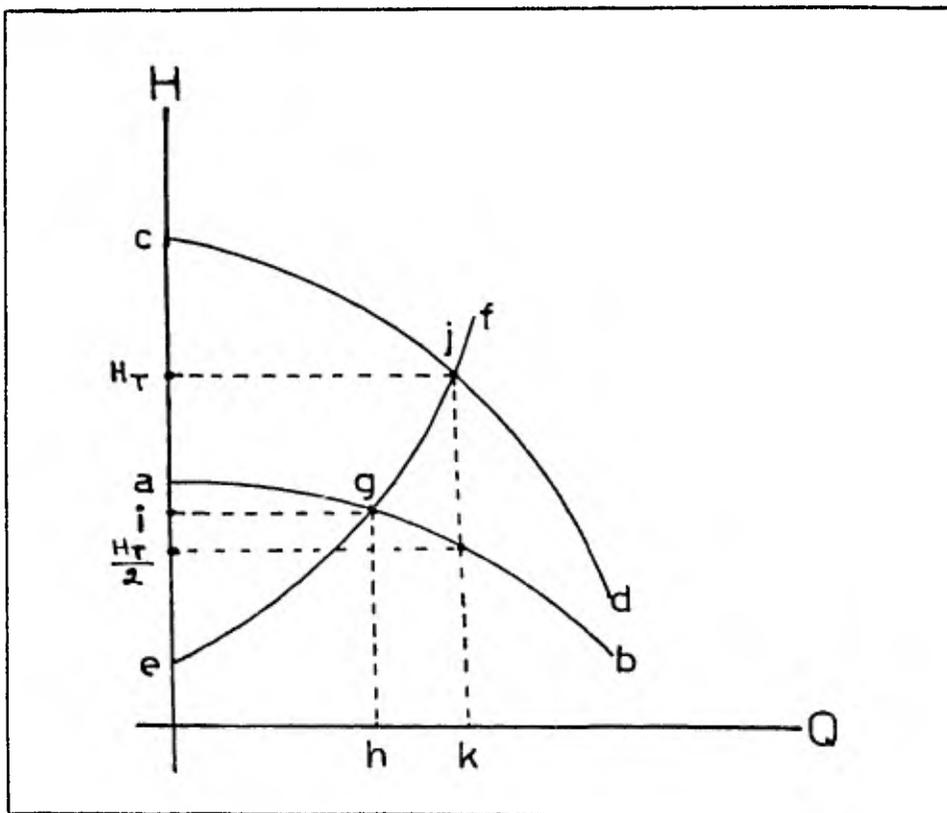


FIGURA 27

El punto de operación cuando funciona una bomba está localizado en el punto g, aquí se obtiene un gasto h con una carga i. Al funcionar las bombas en serie el punto de operación se desplaza hasta j, proporcionando ahora un gasto k' (mayor que el proporcionado en h) con una carga total H_T (menor que el doble de la proporcionada en g) en este punto cada bomba en serie contribuye con la mitad de la carga total, puntos H_T y $\frac{H_T}{2}$.

Caso b.- Dos bombas diferentes acopladas a motores diferentes. La figura 28 muestra los puntos de operación para las bombas.

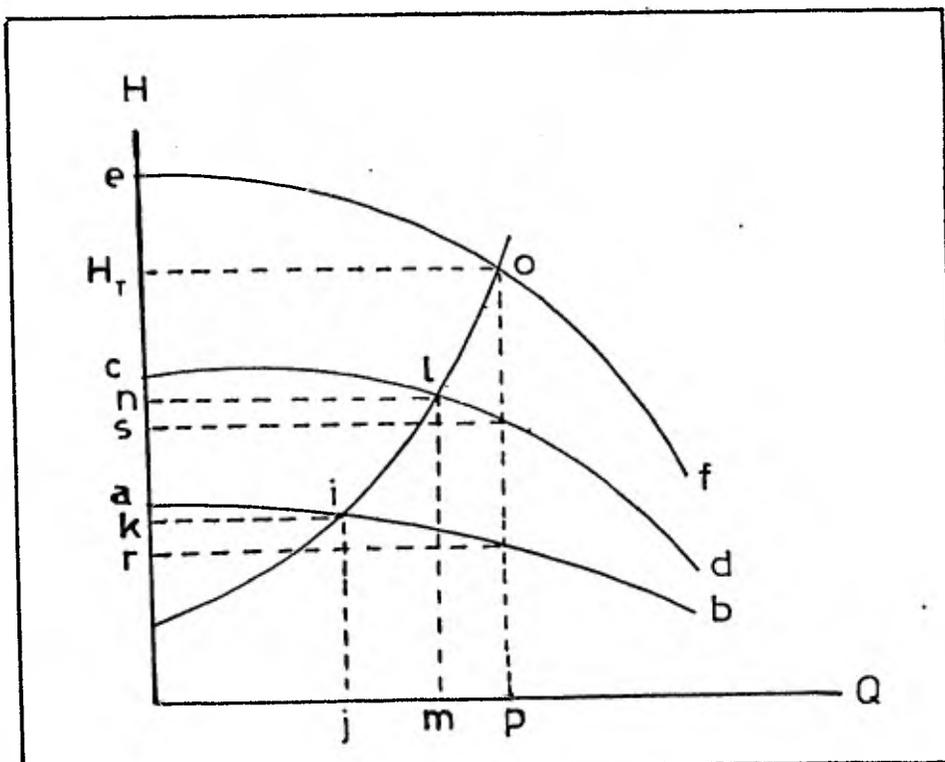


FIGURA 28

El punto de operación cuando funciona la bomba -

a - b está localizado en el punto i, aquí se obtiene un gasto j con una carga k; el punto de operación cuando funciona la bomba c - d está localizado en el punto l, aquí se obtiene un gasto m con una carga n.

Al funcionar las bombas en serie el punto de operación se desplaza hasta o, proporcionando ahora un gasto p (mayor que el proporcionado en j ó m), con una carga total H_T (mayor que las proporcionadas en k y en n), en este punto cada bomba en serie contribuye con las cargas r y s respectivamente .

Interacción de las curvas $W_o \pm Q$, $H - Q$, $\eta_B - Q$, $B.H.P - Q$, $N.P.S.H.D - Q$, $N.P.S.H.R - Q$, en serie.

Las figuras 27 y 28 muestran los puntos de operación j y o respectivamente para dos bombas en serie.

En el proyecto de instalación de un sistema de bombeo deberá seleccionarse de los catálogos mostrados por el fabricante, las cartas de las bombas que proporcionen la máxima eficiencia y que el N.P.S.H.D sea por lo menos $1m \frac{Kg}{Kg}$ mayor que los N.P.S.H.R en el punto considerado de operación j ó o. Para esto conviene graficar en una carta común las curvas de eficiencias, las de potencias, las del N.P.S.H.R, la curva del NPSHD, la curva carga total - capacidad resultante y la curva de la carga hidráulica del sistema-capacidad, y proyectar así el punto de operación j ó o

en las ordenadas y en las abscisas de la carta - común construída.

Punto de operación para un sistema en paralelo.

Caso a.- Dos bombas iguales acopladas a motores iguales. La figura 29 muestra los puntos de operación para las bombas.

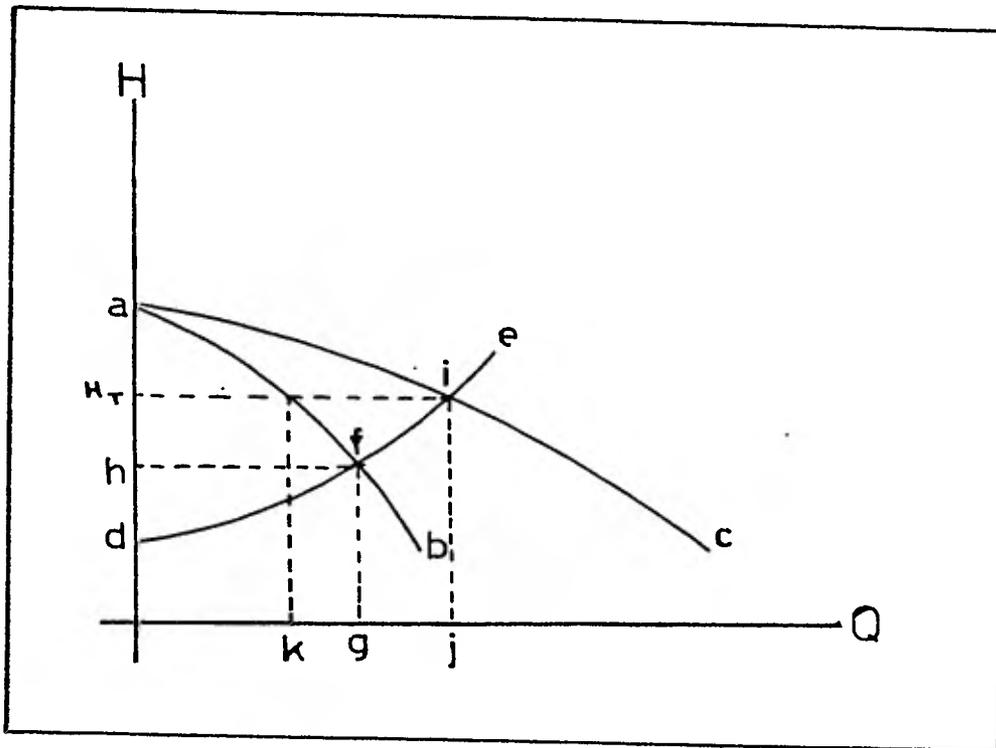


FIGURA 29

El punto de operación cuando funciona una bomba está localizado en el punto f, aquí se obtiene un gasto g con una carga h. Al funcionar las bombas en paralelo el punto de operación se desplaza - hasta i, proporcionando ahora un gasto j (menor - que el doble del proporcionado en g) con una carga

H_T (mayor que la proporcionada en h), en este -- punto cada bomba en paralelo contribuye con la -- mitad del gasto total, puntos j y k.

Caso b.- Dos bombas diferentes acopladas a motores diferentes. La figura 30 muestra los puntos de operación para las bombas.

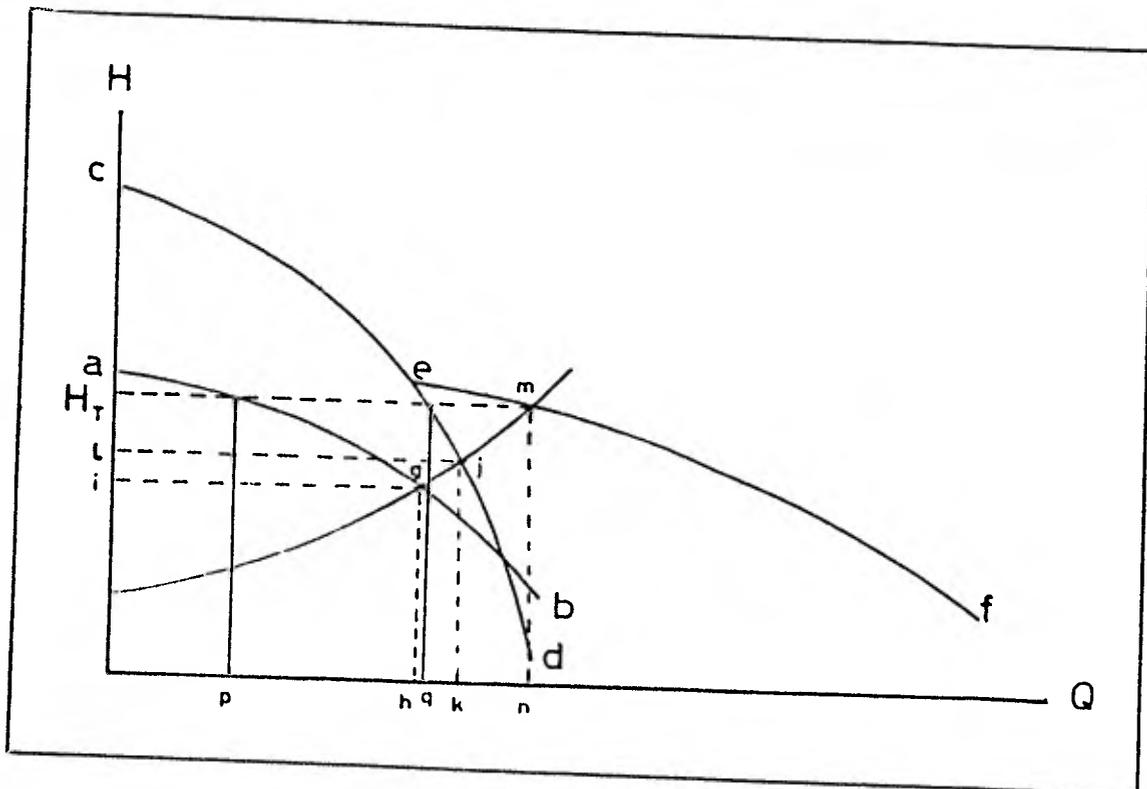


FIGURA 30

El punto de operación cuando funciona la bomba a-b está localizado en el punto g, aquí se obtiene un gasto h con una carga i; el punto de operación cuando funciona la bomba c-d está localizado en el punto j, aquí se obtiene un gasto k con una carga i.

Al funcionar las bombas en paralelo el punto de operación se desplaza hasta m , proporcionando ahora un gasto n (mayor que el proporcionado en h o en k) con una carga total H_T (mayor que las proporcionadas en i y en l), en este punto cada bomba en paralelo contribuye con los gastos p y q respectivamente.

Análisis de comportamiento de la curva carga total-capacidad resultante c-e-f.- En el tramo c-e la bomba con característica c-d, bloquea en la te de reunión a la bomba a-b; en el tramo e-f las dos bombas trabajan en paralelo (este caso es el que se presenta en el desarrollo de la práctica).

Interacción de las curvas $W_0 - Q$, $H - Q$, $\eta_M - Q$, B.H.P-Q, N.P.S.H.D.-Q y N.P.S.H.R-Q en paralelo.

Las figuras 29 y 30 muestran los puntos de operación i y m respectivamente, para dos bombas en paralelo.

En el proyecto de instalación de un sistema de bombeo deberá seleccionarse de los catálogos mostrados por el fabricante, las cartas de las bombas que proporcionen las máximas eficiencias y que el NPSHD sea por lo menos $1m \frac{Kg}{Kg}$ mayor que los NPSHR en los puntos considerados de operación p y q (ver figura 30). Para esto conviene graficar en una carta común las curvas de eficiencias, las dos de potencia, las del NPSHR, la curva del NPSHD y las curvas carga total - capacidad para cada bomba y localizar los puntos de operación p y q en las ordenadas

y en las abscisas de la carta común construida.

- 3.4 Selección de la bomba más adecuada para sustituir a una de las instaladas en el sistema de bombeo - del Laboratorio de Ingeniería Química.

Usted está ahora en condición de seleccionar y especificar la bomba más adecuada para que el sistema de bombeo funcione con dos bombas semejantes, una de ellas la seleccionará del catálogo de la - Goulds Pumps que se le proporcionará en el laboratorio y la especificará en la hoja de especificación de datos anexa.

PLANTA	CONTRATO N°	HOJA DE
LOCALIZACION	REQUISICION N°	FECHA
CLAVE	MECHA POR	APROBADA POR
N° UNIDADES		

B O M B A S C E N T R I F U G A S

2	SERVICIO	
3	EN USO CONTINUO	ACCIONADOR
4	No. REQ. DE RELEVOS	ACCIONADOR
5	FABRICANTE BOMBA	TAMAÑO Y TIPO
6	CONDICIONES DE OPERACION	
7	LIQUIDO	GPM o T.B. NORM. DIS
8		DESCARGA Kg/cm ² man.
9	TEMP BOMBEO (°B.) °C	P. SUC. Kg/cm ² man. MAX DIS
10	DENS. REL. (Sp Gr.) o T.B.	P. DIF. Kg/cm ²
11	P. VAPOR o T.B. Kg/cm ² ABS.	COLUMNA OIF m
12	VISCOSIDAD o T.B. cp	NPSH DISP. o PT m
13	CORR./ERC. CALSADA POR	POTENCIA HIDRAULICA
14	CONSTRUCCION Y MATERIALES	
15	CARCAZA - MONTAJE (EJE) (BASE) (MENSULA) (VERTICAL)	CURVA PRDPUESTA No _____ NPSH NEC. (AGUA) m. _____ No. DE PASOS _____ RPM _____ EFIC. DE DISEÑO _____ BHP _____ MAX. BHP OE DIS. EN IMPUL. _____ MAX. COLUM. DE DIS EN IMPUL. m _____ GASTO MIN. CONT GPM (PCR FAB) _____ ROTACION FRENTE ACCPLAMIENTO _____ AGUA ENFRIAMIENTO PARA _____ BALEROS _____ ESTOPERO _____ PEDESTAL _____ PRENSA ESTOPA _____ AGUA NECESARIA GPM _____ ENFRIAMIENTO EMPAQUE _____ AGUA DE SELLC _____ TUBERIA AUXILIAR _____
16	- TAPA (AXIAL) (RADIAL)	
17	- TIPO (VOLUTA SIMPLE) (CORRE VOLTA) (DIFUSOR)	
18	- BARRENOS (CASCADOS) (VENTEO) (DRENE) (MANGMETRIC)	
19	BOQUILLAS	DIAM CLASIF. ASA CARA POSICION
20	SUCCION	
21	DESCARGA	
22	IMPULSOR TIPO	DIAM. DISEÑO MAX
23	BALEROS No	RADIAL AXIAL
24	COPLA Y GUARDA	PLACA DE BASE
25	EMPAQUE	
26	SELLO MECANICO	CODIGO FABR.
27	CLAVE DE LOS	MATERIAL
28	MATERIALES	CARCAZA
29		PARTES INTERNAS
30	I-F FUNDIDO	IMPULSOR
31	B-BRONCE	INTERIORES (CARCAZA)
32	S-ACERO	CAMISA (EMPACADA)
33	C-(11-13% CROMO)	CAMISA (DE SELLO)
34	A-ALEACION	PARTES DESGASTABLES
35	h-ENURECIDO	FLECHA
36	I-PUERTO	
37	X-	
38		
39	MOTOR PCR	TURBINA POR
40	CLAVE MONTADA POR	CLAVE MONTADA POR
41	HP RPM CORAZA	HP RPM MAT.
42	MARCA	MARCA TIPO
43	TIPO AISLAMIENTO	VAPOR ENT Kg/cm ² man
44	ENVOLT ELEV TEMP °C	ESCAPE Kg/cm ² man
45	VOLT./FASES/CICLOS	CONSUMO DE VAPOR Kg/BHP/h
46	BALEROS LUBR	BALEROS LUBR.
47	AMP PLENA CARGA	BOQUILLAS DIAM CLASIF. ASA CARA POSIC.
48		ENTRADA
49		SAIDA
50	REGIDA POR CODIGO API 60 SI NO SE ESTABLECE OTRA COSA	
	EXCEPCIONES (ESPECIFICAR)	

CONEXION CON EL ANEXO
DE LA PRACTICA DE
BOMBAS CENTRIFUGAS EN
SERIE Y PARALELO

V. TECNICA PARA OPERAR AL SISTEMA DE BOMBEO EN SERIE Y-
PARALELO.

Equipo mecánico.- Los motores elegidos en la primera sesión deberán ser nuevamente acoplados.

Equipo eléctrico.- Antes de alimentar energía eléctrica por medio del switch de cuchillas al equipo eléctrico, verificar que los polos P_2 (líneas azules de los transformadores T-1 y T-2) estén acoplados adecuadamente ya sea en 5 o en 10 o en 25 o en 50 amperes según los motores seleccionados; para determinar la localización de los bornes de acoplamiento se deben sumar los amperes por línea de cada motor, valores que se encuentran reportados en las placas de éstos.- Se recomienda un acoplamiento de los polos P_2 en los bornes de 25 amperes.

Equipo hidráulico.- Indicaciones para operar el sistema de bombeo en serie o en paralelo; ver el diagrama isométrico de tubería e instrumentación y el diagrama de flujo de la figura 3.

Operación del sistema en serie.

- a) La válvula de compuerta antes de la bomba derecha de doble impulsor deberá permanecer totalmente cerrada para cualquier lectura eléctrica o hidráulica.
- b) La válvula de globo después de la descarga de la bomba izquierda de un impulsor deberá permanecer totalmente cerrada para cualquier lectura eléctrica.

ca o hidráulica.

- c) La válvula de globo que interconecta ambas bombas entre la descarga de la bomba izquierda de un impulsor y la alimentación de la bomba derecha de doble impulsor deberá permanecer totalmente abierta para cualquier lectura eléctrica o hidráulica.
- d) La válvula de compuerta antes de la alimentación de la bomba izquierda de un impulsor deberá permanecer totalmente abierta para cualquier lectura eléctrica o hidráulica.
- e) La válvula de globo dispuesta en la descarga de la bomba derecha de doble impulsor puede ser variada desde el cierre total hasta su abertura total de acuerdo al valor requerido por la experimentación. Esta válvula es la generadora de las variables eléctricas, mecánicas e hidráulicas, cuando las bombas se operan en serie.
- f) Todas las válvulas dispuestas en el haz de tubos y después de éste deberán permanecer totalmente abiertas.
- g) El vacuómetro número 2 indica la presión de succión de las bombas conectadas en serie.
- h) El manómetro número 5 indica la presión de descarga de las bombas conectadas en serie.

Operación del sistema en paralelo.

- a) Las válvulas de compuerta dispuestas antes de la alimentación de cada bomba deberán permanecer totalmente abiertas para cualquier lectura eléctrica o hidráulica.
- b) La válvula de globo que interconecta ambas bombas entre la descarga de la bomba izquierda de un impulsor y la alimentación a la bomba derecha de do-

ble impulsor deberá permanecer totalmente abierta para cualquier lectura eléctrica e hidráulica.

- c) Las válvulas de globo dispuestas en las descargas de cada bomba deberán permanecer totalmente abiertas para cualquier lectura eléctrica o hidráulica
- d) Las válvulas de globo dispuestas en el haz de tubos pueden ser variadas desde el cierre total hasta su - abertura total, de acuerdo al valor requerido por la experimentación. Estas válvulas son las generadoras de las variables eléctricas, mecánicas e hidráulicas, cuando las bombas se operan en paralelo.
- e) Todas las válvulas después del haz de tubos deberán permanecer totalmente abiertas.
- f) El vacuómetro Núm. 1 indica la presión de succión de las bombas conectadas en paralelo.
- g) El manómetro Núm. 6 indica la presión de descarga de las bombas conectadas en paralelo.

Se recomienda ver las lecturas máximas y mínima en los manómetros de descarga 5 y 6 respectivamente, y en base a éstas, postular lecturas de igual caída de presión utilizando las válvulas generadoras de las variables eléctricas, mecánicas e hidráulicas en cada una de las operaciones en serie o en paralelo.

Recomendaciones previas a la experimentación.

- a) Comprobar que el tanque alimentador contenga el -

agua suficiente para el desarrollo de la práctica

- b) Verificar que las bombas estén cebadas.
- c) Operar el sistema de bombeo algunos minutos después para que alcance su régimen estable de trabajo.
- d) Tener dispuesto un cronómetro, un termómetro, un tacómetro, una cinta métrica y una electropinza.

Toma de datos.

El grupo de alumnos que realice la práctica deberá -- presentar al maestro del laboratorio una tabla que indi que los encabezados de las variables a ser determinadas para poder generar así los objetivos de la práctica.

Las variables eléctricas, mecánicas e hidráulicas se determinan simultáneamente en el sistema de bombeo, - controlando estas por medio de las válvulas de descarga de cada una de las bombas. Si estas variables no - se determinan con el sincronismo necesario los resultados obtenidos se verán afectados unos a otros proporcionando resultados incorrectos. Las ocho varia--bles siguientes se deben determinar al mismo tiempo - para cada abertura considerada de válvula.

- a) Volumen de agua desalojada en el tanque alimentador de las bombas.
- b) Tiempo requerido para desalojar el volumen de agua del punto anterior.

- c) Presión de succión de las bombas.
- d) Presión de descarga de las bombas.
- e) Corriente requerida por los motores acoplados a las bombas.
- f) Potencia consumida por los motores acoplados a las bombas.
- g) Caída de presión en el medidor de orificio.
- h) Caída de presión en el medidor vénturi.

En el desarrollo de esta práctica los R.P.M. y la diferencia de potencial se pueden considerar prácticamente constantes.

"Alguien afirma que olvidamos la mayoría de las cosas que oímos, recordamos algo de lo que vemos, pero aquellas cosas que HACEMOS, las entendemos y las retenemos como parte de nuestro acervo intelectual formativo".

LISTA DE VARIABLES UTILIZADAS

- C: Coeficiente de lisura, adimensional en la ecuación (32).
- D: Diámetro interno en la tubería, en m en la ecuación (31); subíndice que indica descarga en las ecuaciones (26) y (27); diámetro del impulsor de la bomba en m para las ecuaciones (48) a (50), d; diámetro interno de la tubería en cm. ecuación (32).
- f': Factor de fricciones, adimensional en la ecuación (31).
- g: Aceleración debido a la gravedad, 9.802368 m/seg^2 , - ecuaciones (25), (26), (29), (30).
- g_c : Factor de transformación de Newton, 9.8066352 - - -
 $\frac{\text{m}}{\text{seg}^2} \times \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$ ecuaciones (25), (26), (29), (30), (31), (33), (34).
- H: Representa la carga capaz de proporcionar una bomba a un líquido en $\text{m Kg}/\text{Kg}$, ecuación (27')
- H_S : Carga de succión y carga de elevación de la succión en $\text{m Kg}/\text{Kg}$, ecuación (25).
- H_D : Carga de descarga en $\text{m Kg}/\text{Kg}$, ecuación (26).
- Hfs: Carga debido a las fricciones en $\text{m Kg}/\text{Kg}$, en las - ecuaciones (25), (26), (29), (30), (31), (32) y (33)
- K: Constante experimental para la ecuación (33), sin - dimensiones.
- L: Longitud de tubo recto en m, en la ecuación (32), -
 L_e ; longitud equivalente de tubería en m en la ecuación (31).

- N: Velocidad de rotación del impulsor de la bomba en R.P.M. en las ecuaciones (44) a (47).
- Ps: Presión de succión, P_1 presión en el punto uno, P_D presión de descarga, P_2 presión en el punto dos y P° presión de vapor del líquido bombeado en Kg/m^2 - absolutos, en las ecuaciones (25), (26), (27), (28) (29), (30) y (27').
- Q: Gasto volumétrico en l/min, en las ecuaciones (32), (44) y (48).
- V_s : Velocidad del líquido en la brida de succión de la bomba, V_D velocidad del líquido en la brida de descarga de la bomba, V_1 velocidad del líquido en el punto uno y V_2 velocidad del líquido en el punto dos en m/seg, en las ecuaciones (25), (26), (29) y (30).
- Wo: Representa la cantidad de carga que se le tiene -- que impartir a un líquido por una bomba en m Kg/Kg en la ecuación (27).
- ρ : Densidad del líquido en Kg/m^3 en las ecuaciones -- (25) a (30).
- ν : viscosidad cinemática en S.S.U. (segundos saybolt-universal).

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

- 1.- P. ROBERJOT
"Electrotecnia aplicada y ensayo de las máquinas eléctricas".
Edit. Gustavo Gili, S.A. Págs. 55 - 125.
- 2.- ROBERT ROSENBERG
"Preparación de motores eléctricos".
Edit. Gustavo Gili, S.A. 3a. Edición. Tomo I. Pgs. 116 - 159.
Tomo II, Págs. 62-102.
- 3.- Catálogo A.S.E.A.
"Fundamentos de control para motores de la SCUARE. D. de México, S.A."
Edit. Cía A.S.E.A. de México, S.A. Págs. 1 - 75.
- 4.- Catálogo del Comité Consultivo Nacional de Normalización de la Industria Eléctrica.
"Normas de calidad, funcionamiento y métodos de prueba, en motores de inducción de corriente alterna del tipo de rotor en corto circuito o de jaula de ardilla".
Dirección; Mariano Escobedo 724 - 4º piso, México 5, D.F.
Págs. 1 - 56.
- 5.- LANE K. BRANSON
"Mecánica para estudiantes de ingeniería".
Edit. Fondo Educativo Interamericano 1975. páginas 203 - 224, 250-262, 300-319, 322-244.
- 6.- Hydraulic Institute Standards for Centrifugal and Reciprocating Pumps. Thirteenth Edition 1975. Pags. 1-120.
- 7.- TYLER AND HICKS
"Bombas, su selección y Operación".
Edit. C.E.C.S.A. 1970. Pags. 19-46, 89-444.
- 8.- IGOR J. KARASSICK Y ROY CARTER
"Bombas Centrífugas, selección, operación y mantenimiento".
Edit. C.E.C.S.A. 1980. Pags. 11-197, 211-267, 197-369,

505-527.

- 9.- VICTOR L. STREETER
" Mecánica de los fluidos" 4a edición.
Edit. Mc Graw-Hill, 1976. Pags. 286-290, 523-527, 537-541.
- 10.- Catálogo para Bombas Centrífugas de la Compañía Goulds Pumps.
- 11.- Worthington de México, S.A.
"Instrucciones para la instalación, operación y mantenimiento y lista de partes para bombas D-1000.
- 12.- Worthinton de México, S.A.
" Bombas centrífugas, instrucciones para instalación, operación y mantenimiento".
- 13.- Worthington de México, S.A.
" Instructivo para la instalación, operación, mantenimiento y lista de partes de bombas centrífugas tipo L-R".
- 14.- CLAUDIO MATAIX
"Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas".
Edit. Harper and Row Publishers inc. 1981.
pags. 343 - 391.

ANEXO A LA PRACTICA

DE

BOMBAS CENTRIFUGAS

Primera sesión

UN
AM

II. TEORIA GENERAL RELACIONADA CON EL SISTEMA DE BOMBEO

1. Teoría relacionada con las principales variables --- eléctricas que intervienen en el sistema.

Utilidad de la corriente eléctrica en el desarrollo de esta práctica.- La utilidad de la corriente eléctrica frecuentemente se funda en el análisis de los resultados y efectos que ella causa, los dos siguientes son de gran importancia ya que a partir de estos se determinarán las eficiencias de los motores acoplados a las bombas.

- a. El paso de una corriente eléctrica a través de un conductor produce calor; hecho conocido como efecto Joule y que a continuación se deduce su expresión.

De la siguiente tabla que muestra las principales variables eléctricas y sus analogías mecánicas e hidráulicas se puede deducir que;

CANTIDAD ELECTRICA	SIMBOLO	UNIDAD (M.K.S.A.)	ECUACION RELACIONADA.	ANALOGIA MECANICA	ANALOGIA HIDRAULICA.
Corriente	I	ampere	$I = Q/t$	velocidad	flujo
Carga	Q	coulomb	-----	posición	volumen
Voltaje	E	volt	$E = W/Q$	fuerza	cabeza
Trabajo	W	joule	$W = E/t$	trabajo	trabajo
Potencia	P	vatio	$P = W/t$	potencia	potencia
Resistencia	R	ohm	$R = E/I$	rozamiento	fricciones

La potencia en vatios disipada en forma de calor es:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{E Q}{t} = E I = R I^2 \dots (1)$$

- b. Un campo de fuerza aparecerá en la vecindad de un conductor que lleva una corriente eléctrica, llamado campo magnético. Este hecho es utilizado para determinar la corriente tomada por el motor -- acoplado a la bomba, empleando una electropinza.

Generalidades sobre motores de inducción con rotor en corto circuito o jaula de ardilla.

Es el tipo de motor empleado más frecuentemente, consta de cuatro partes fundamentales: (1) el estator o inductor, (2) el rotor o inducido, (3) las tapas frontal y trasera y (4) los cojinetes.

Características de arranque. El motor jaula de ardilla se caracteriza en que en su arranque toma una corriente excesiva y a pesar de ello desarrolla un par muy bajo (observar esta característica en el cuadrante del vatímetro en el desarrollo de la práctica).

Factor de potencia.- Es la relación de la potencia -- activa a la potencia aparente, la primera representa la potencia útil tomada por el motor durante su funcionamiento (valor leído directamente en el vatímetro) la segunda representa la potencia que verdaderamente está proporcionando la línea (valor que puede obtenerse con una electropinza), su valor oscila dependiendo de la máquina entre 0 y 1, generalmente este tipo de motores tienen un factor de potencia de -- 0.8 trabajado a plena carga, su expresión es:

$$f_p = \frac{E I \cos \theta}{E I} = \cos \theta \quad \dots (2)$$

Direcciones de rotación.- Un motor jaula de ardilla -- puede rotar en ambas direcciones, con sólo 'invertir -- dos de las tres terminales que alimentan a los bornes del motor.

Revoluciones por minuto (R.P.M.).- Los R.P.M. disminuyen cuando a un motor se le va haciendo alcanzar su -- plena carga, estabilizándose a sus condiciones de placa después de un intervalo de tiempo, por otro lado; -- si este va a desarrollar desde su arranque una carga constante las R.P.M. se van normalizando después de -- terminar su régimen transitorio, en ambos casos cuando ha alcanzado una plena carga la velocidad es prácticamente constante.

Trabajar con carga.- Significa que el motor está funcionando y acomplando a la máquina a la cual le transmite energía mecánica.

Trabajar sin carga o al vacío.- Significa que el motor está funcionando y no está acoplado.

Interpretación de datos de las características de placa de un motor.

La siguiente información se muestra en la placa del motor jaula de ardilla de corriente alterna trifásica en forma indeleble y en lugar visible, ver la figura 4.

1	ESTILO 3-112-021		SERIE 1603036	
2	ARMAZON 182		HP 1	CLASE 1
3	3 FASES CLAVE DE K.V.A BLOQUEADO A 60 CICLOS J			
4	60 CICLOS	50 CICLOS	conexión para voltaje mayor	
5	220/440	volts	220/440	conexión para voltaje menor
6	4 / 2	amp.por línea	4.4 / 2.2	
7	3475	R.P.M	2890	
8	40	aum. de temp. °C	50	

<p style="text-align: center;">línea</p>	<p style="text-align: center;">línea</p>
--	--

FIGURA 4

Análisis:

Renglón 1.- El estilo y la serie son datos de catálogo y seriación específicamente para utilidad y control por parte del fabricante.

Renglón 2.- Armazón 182, H.P 1, clase 1 (algunos motores dicen tipo 1).

Del catálogo CCONNIE (Comité Consecutivo Nacional de Normalización de la industria eléctrica) pag. 37, utilizando los números de armazón y tipo se tienen las siguientes dimensiones del motor, ver las figuras 5 y 6.

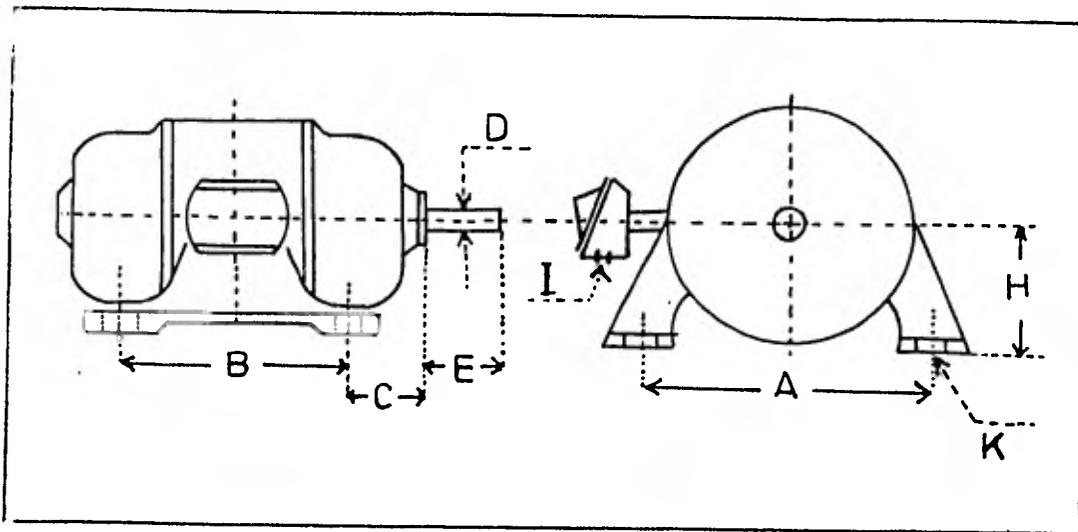


FIGURA 5

ARMAZON TIPO 1	A	B	C	D	E	H	I	K
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
182	190	114	70	28.58	63	114	19	10.3

FIGURA 6

Donde:

A y B.- Distancia entre los centros de las barrenos.

C.- Distancia del centro del barreno cercano a la -- flecha, al hombro que sobresale de la tapa posterior del motor.

D.- Diámetro de la flecha.

E.- Mínima longitud de flecha útil para acoplamiento.

H.- Altura del centro de la flecha a la base del motor.

K.- Diámetro de los barrenos de la base.

1.H.P. Indica que proporciona una potencia de un caballo.

Renglón 3.- 3 fases, clave K.V.A. bloqueado a 60 ciclos J. 3 fases indica que hay tres arrollamientos o bobinas en el estator. El dato siguiente sirve para calcular la cantidad de corriente que consume cuando su rotor está totalmente bloqueado, la letra es de código e indica la relación de K.V.A./H.P a rotor bloqueado con una frecuencia de 60 ciclos por segundo.

A continuación se muestran los valores de la tabla 3.2 del catálogo Fundamentos de control para motores de la SQUARE.D. DE MEXICO, S.A. que relaciona este tipo de información.

LETRA DE CODIGO	K.V.A.S. / H.P a rotor bloqueado
A	Hasta 3.14
B	3.15 a 3.54
C	3.25 a 3.99
D	4.00 a 4.49
E	4.50 a 4.99
F	5.00 a 5.59
G	5.60 a 6.29
H	6.40 a 7.09
J	7.10 a 7.99
K	8.00 a 8.99
L	9.00 a 9.99
M	10.00 a 11.19
N	11.20 a 12.49
P	12.50 a 13.99
R	14.00 a 15.99
S	16.00 a 17.99
T	18.00 a 19.99
U	20.00 a 22.39
V	22.40 y superior

La expresión para calcular la corriente a rotor bloqueado es:

$$I_{rb} = \frac{\frac{K.V.A.S}{H.P} \text{ (PROMEDIO)} \times H.P \times 1000}{1.732 \times E} \dots (3)$$

Donde:

I_{rb} = corriente consumida a rotor bloqueado en amperes.

HP = es la potencia impresa en la placa.

E = es la diferencia de potencial entre fase.

Renglón 4.- 60 ciclos, 50 ciclos, indican que este motor está diseñado para trabajar a 50 ó 60 hertz (1 hertz = 1 ciclo en un segundo).

Renglón 5.- Este indica que el motor podrá alimentarse para un voltaje menor de 220 volts o para uno mayor, de 440, según la tensión disponible.

Renglón 6.- 4 ó 4.4 amperes por línea tomará el motor a plena carga cuando la tensión disponible alimentada sea de 220 volts, para una frecuencia de 60 ó 50 ciclos respectivamente.

2 ó 2.2 amperes por línea tomará el motor a plena carga cuando la tensión disponible alimentada sea de 440 volts, para una frecuencia de 60 ó 50 ciclos respectivamente.

Renglón 7.- Definiciones previas:

Velocidad de sincronismo: Es aquella a la cual el motor funcionaría si el rotor girara a la misma velocidad que el campo magnético (3,600 R.P.M. a 60 hertz) su expresión, es:

$$N = \frac{120 \times f}{p} \dots (4)$$

Donde:

N = velocidad de sincronismo en R.P.M.

f = frecuencia en hertz.

P = número de polos diseñados que actúan en el estator sobre el rotor, este número será siempre par.

Velocidad de operación y deslizamiento: El rotor siempre girará a una velocidad un poco menor que la velocidad de sincronismo denominada velocidad de operación y es la que se reporta en los datos de placa. A la diferencia de estas velocidades se denomina deslizamiento la cual se reporta en por ciento, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$S \% = \frac{\text{velocidad de sincronismo} - \text{velocidad de operación}}{\text{velocidad de sincronismo}} \times 100$$

Donde:

...(5)

S % = por ciento de deslizamiento.

Por lo tanto, se tendrán unas velocidades de operación de 3,475 R.P.M. a 60 ciclos para un voltaje de 220 ó 440 volts, y 2,890 R.P.M. a 50 ciclos para un voltaje de 220 ó 440 volts.

Renglón 8.- Las temperaturas de 40 y 50°C a 60 y 50 - ciclos respectivamente, indican las temperaturas máximas que debe tener el medio ambiente que rodea al motor en operación (no las partes internas de este), para quedar protegidas sus bobinas al sobrecalentamiento.

Explicación de los diagramas de conexiones para volta

je mayor y menor.

Las bobinas alojadas en las ranuras del estator se deben conectar con las líneas trifásicas del voltaje -- disponible en forma conveniente, para formar. así el - campo magnético giratorio, que es el que obliga al rotor a girar a determinada velocidad. En la caja de conexiones situada sobre la carcasa del motor se presentan 9 terminales las cuales están numeradas del 1 al 9 en motores americanos (o indicadas con letras en motores europeos). En la parte superior de la figura 7, se representa el estator con dos estrellas conectadas en serie, la primera está representada por los núme--ros (7), (8), (9) y la segunda por los números (1,4), (2, 5), (3,6); estas terminales deben conectarse por pares de la siguiente manera: (4 y 7), (6 y 9), ---- (8 y 5) y alimentar tensión al motor en las termina--les (1), (3), (2).

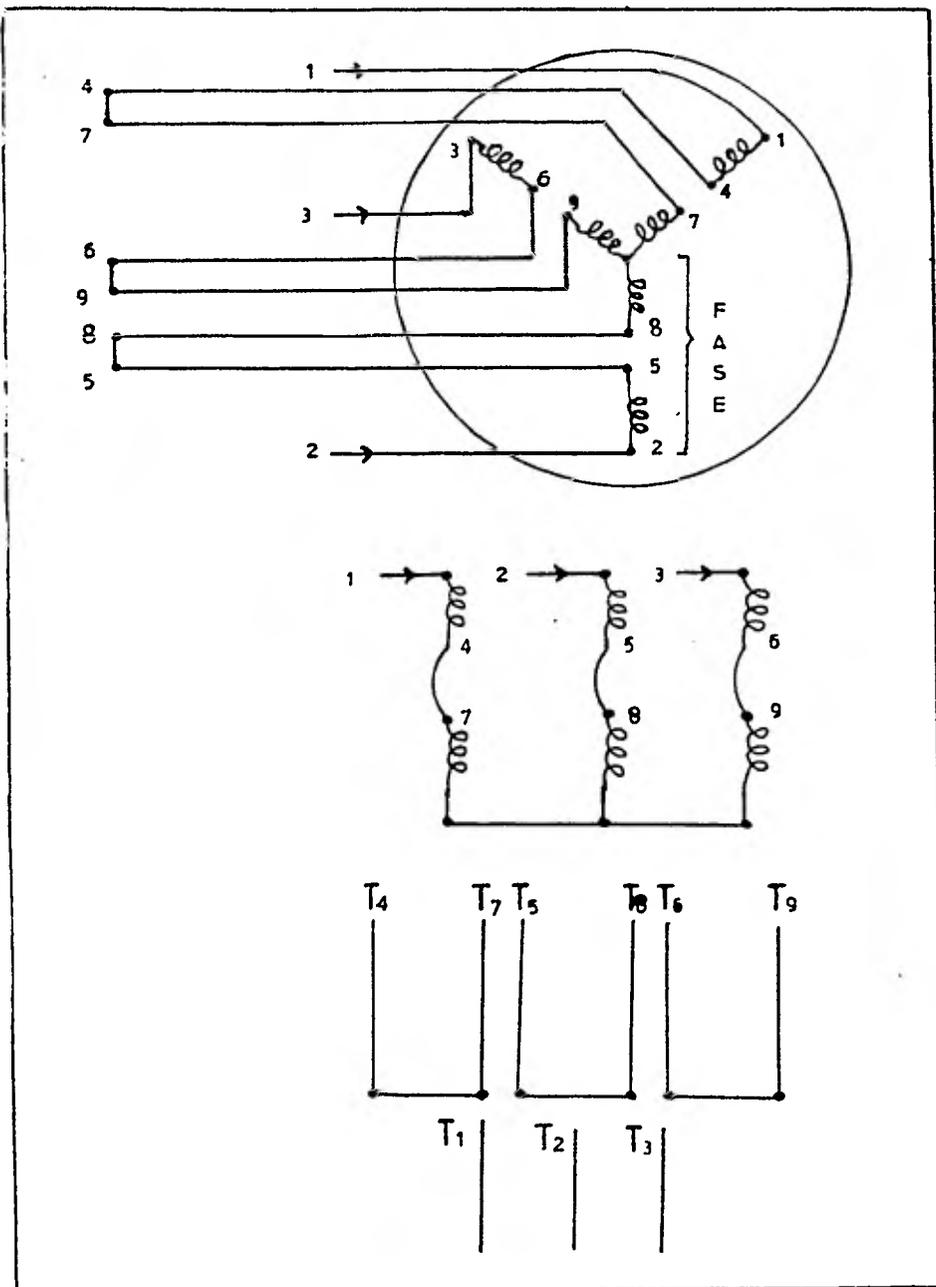


FIGURA 7

La segunda figura representa en forma más simple las mismas conexiones, la tercera las simplifica aun más, pero conservando su significado, es decir, alimentar tensión T en las terminales 1, 2 y 3; unir las termi-

nales con tensión T por pares de la manera siguiente:
(4 y 7), (5 y 8), (6 y 9). En la parte superior de -
la figura 8 se representa un estator con dos estre---
llas conectadas en paralelo, la primera está represen
tada por los números (7), (8), (9) y la segunda por -
los números (1, 4), (2, 5), (3, 6); estas terminales -
deben conectarse por pares de la siguiente manera: --
(1 y 7), (3 y 9), (8 y 2) y alimentar tensión al mo--
tor entre las conexiones (1 y 7), (3 y 9), (8, 2); --
por último, formar un neutro con las terminales (4), -
(5), (6).

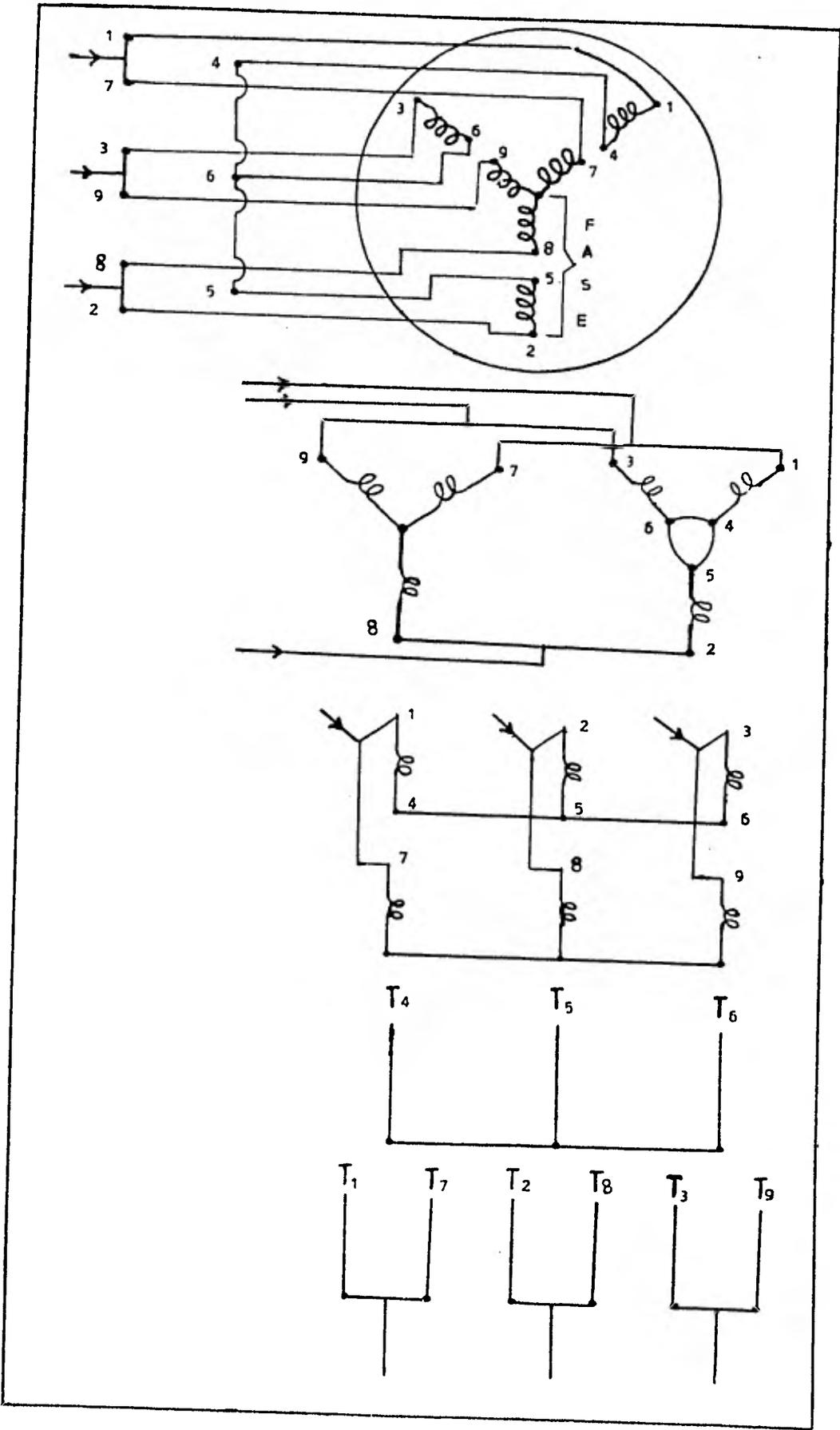


FIGURA 8

La segunda y tercera figura representan en forma más simple las mismas conexiones, la cuarta las simplifica aún más, pero conservando su significado, es decir, alimentar tensión T entre las conexiones (1 y 7) (2 y 8), (3 y 9) y formar, un neutro con las tensiones (4), (5) y (6).

La información anterior sobre las características de placa podrá resumirse como: Este motor proporciona -- una potencia nominal de 1 H.P cuando toma una corriente de 4 amperes por línea a una frecuencia de 60 ciclos y 220 volts, con una velocidad desarrollada de 3,475 R.P.M., requiriendo una temperatura ambiente no mayor de 40°C con una conexión para voltaje menor. Cuando se verifica la anterior se dice que el motor trabaja a plena carga o a condiciones de placa.

Factor de servicio.- La mayoría de los motores desarrollan una potencia algo mayor que la nominal a plena carga, debido a que su diseño eléctrico y su clase de aislamiento lo permiten. Un factor de servicio de --- 1.15 significa que un motor eléctrico puede suministrar un 15% más de su potencia nominal sin sufrir un calentamiento perjudicial.

Cálculo de la eficiencia de un motor por el método de las pérdidas separadas.

Este método utiliza a la variable potencia (en vatios) para determinar la eficiencia, que por definición, para cualquier máquina transformadora de energía, en este caso eléctrica o mecánica; es la relación de la energía útil proporcionada por la máquina a la energía total alimentada a ésta, es decir:

$$\eta_{\text{máquina}} = \frac{\text{Energía útil proporcionada por la máquina}}{\text{Energía total alimentada a la máquina}}$$

...(6)

La energía útil proporcionada en términos de potencia serán los vatios útiles en la flecha del motor, para obtener este valor se utiliza el método de las "Pérdidas separadas", el cual primero determina las pérdidas totales en el estator (en vatios) ver la ecuación (10) debidas a las pérdidas mecánicas y magnéticas más las pérdidas por efecto joule con carga. Segundo, determina la potencia comunicada al motor (en vatios) ver ecuación (11) y tercero, determina las pérdidas por deslizamiento del motor y en consecuencia la potencia útil en la flecha del motor, ecuación (13); es decir:

Pérdidas por efecto joule en vacío (este valor permanecerá constante durante la determinación de la eficiencia del motor).

$$P_e \text{ EJV} = I_o^2 R_o \quad \dots(7)$$

Pérdidas mecánicas y magnéticas (también permanecerá constante).

$$P_e \text{ M M} = W_o - P_e \text{ EJV} \quad \dots(8)$$

Pérdidas por efecto joule con carga:

$$P_e \text{ EJC} = I^2 R_o \quad \dots(9)$$

Pérdidas totales en el estator:

$$P_e \text{ TE} = P_e \text{ M M} + P_e \text{ EJC} \quad \dots(10)$$

Potencia comunicada al rotor

$$P_{CR} = W - P_{eTE} \quad \dots(11)$$

Pérdidas por deslizamiento del rotor

$$P_{eDR} = P_{CR} \times S\% \quad \dots(12)$$

Potencia útil en la flecha del motor

$$P_{UFM} = P_{CR} - P_{eDR} \quad \dots(13)$$

La energía total alimentada a la máquina en términos de potencia se determina por el vatímetro del equipo eléctrico ya antes mencionado, por lo que:

$$\eta_M = \frac{P_{UFM}}{W} \quad \dots(14)$$

Donde:

I_0 = Corriente consumida por el motor al vacío en amperes, valor leído en una electropinza acoplada en el polo P_2 línea azul del transformador T-2, ver figura 1.

I = Corriente consumida por el motor con carga en amperes, valor leído en una electropinza acoplada en el polo P_2 , línea azul del transformador T-2.

R_0 = Resistencia de una fase (de las bobinas alojados en el estator), en ohms. Para determinar este valor se utilizó un multímetro tipo analógico acoplado entre las conexiones (1 y 7), (3 y 9) ó (1 y 7), (8 y 2) ó (3 y 9), (8 y 2), ver figura 8.

A continuación se presentan los valores leídos para cada uno de los cuatro motores, simbolizando a esta lectura por R_o' :

MOTOR DE	R_o' EN OHMS.
1 H.P	10.50
5 C.P	1.85
2 H.P	4.90
3 H.P	3.30

Para obtener el valor de R_o se dividirá la lectura de R_o' entre dos, puesto que la lectura obtenida es para dos fases, de acuerdo al estator representado en la figura 8.

W_o = Potencia consumida por el motor al vacío en vatios. Valor leído directamente en el vatímetro trifásico.

W = Potencia consumida por el motor con carga, en vatios. Valor leído directamente en el vatímetro trifásico.

$S\%$ = Porcentaje de deslizamiento, este valor es calculado por la ecuación (5), permaneciendo casi constante durante el desarrollo de la práctica. Sus variaciones se pueden determinar utilizando un tacómetro acoplado en la flecha del motor.

PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR LA EFICIENCIA DEL MOTOR.

DATOS CONSTANTES								
R_o	W_o	I_o	P_{eEJV}	P_{eMM}				
VARIABLES								
I	W	P_{eEJC}	P_{eTE}	PCR	% S	P_{eDR}	PUFM	η_m
—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—

DONDE:

R_o (OHMS)

W_o, W (VATIOS)

I_o, I (AMPERES)

PERDIDAS EN GENERAL (VATIOS)

POTENCIAS EN GENERAL (VATIOS)

2. Teoría relacionada con las principales variables mecánicas que intervienen en el sistema.

Esta parte está solamente enfocada a las interacciones entre las flechas acopladas del motor y la bomba.

Caballo de potencia (o caballo de vapor).- Es la unidad usada para expresar la potencia mecánica cedida o aceptada por una máquina e indica la capacidad para realizar un trabajo entre una unidad de tiempo. En el sistema M.K.S.G.

$$1 \text{ C.P.} = 75 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{Seg.}}$$

B.H.P.- Es la potencia útil disponible en la flecha del motor en unidades de H.P.

Par motor o torque del motor.- Es el momento de la fuerza (momento = módulo de la fuerza x distancia del eje de rotación a la línea de acción de la fuerza), que produce torsión o giro en la flecha del motor, sus unidades en el sistema M.K.S.G. son $\text{Kg} \cdot \text{m}$ y en el sistema M.K.S.A. son $\text{N} \cdot \text{m}$.

Relación entre B.H.P y par motor.- Consideramos una sección de flecha cuando un motor está acoplado a una bomba y funcionando, e imaginemos que esta sección es equivalente a tener un alambre enrollado que ejerce una fuerza de torsión F sobre la flecha, así como lo muestra la figura 9.

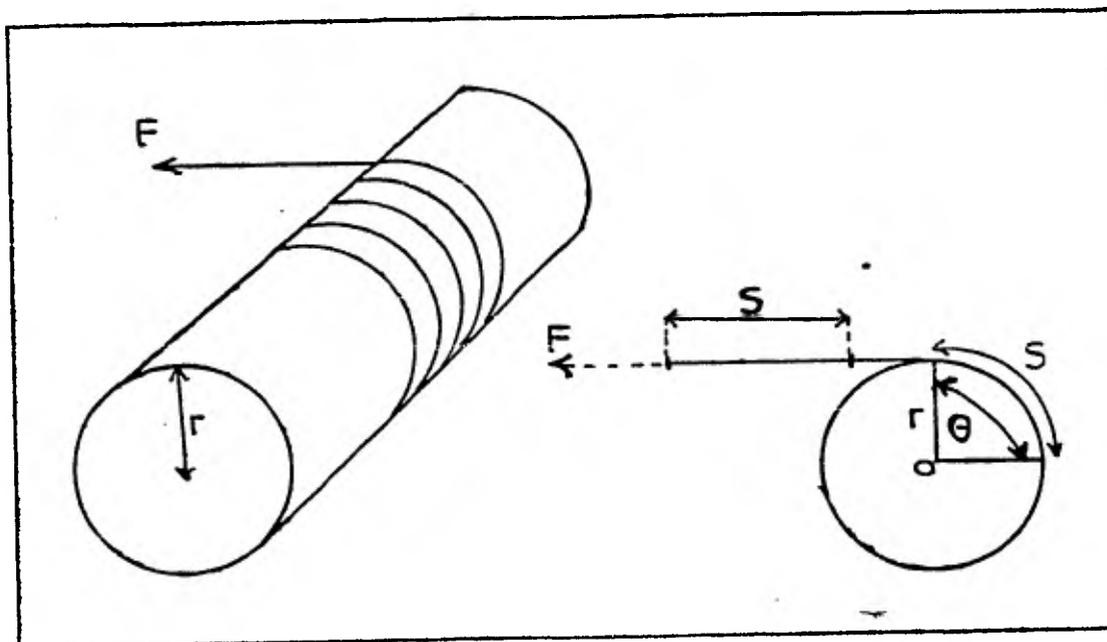


FIGURA 9

El trabajo hecho por la fuerza F es

$$W = F \times S \quad \dots(15)$$

Por la definición de radián

$$S = r \times \theta \quad \dots(16)$$

Sustituyendo (16) en (15).

$$W = F \times r \times \theta \quad \dots(17)$$

Al producto $F \times r$ se denomina torque y es el producto de la fuerza por la distancia perpendicular a la línea de acción de la fuerza al eje de rotación, por lo que:

$$W = T \times \theta \quad \dots(18)$$

Por definición de velocidad angular

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad \dots(19)$$

La potencia proporcionada por el motor o recibida por la bomba acoplada será:

$$P = \frac{dw}{dt} \quad \dots(20)$$

Diferenciando la ecuación (18) y despejando a T se obtendrá:

$$T = \frac{dW}{d\theta} \quad \dots(21)$$

Sustituyendo las ecuaciones (19) y (20) en (21) obtendremos:

$$T = \frac{P}{\omega} \quad \dots(22)$$

La velocidad angular en términos de R.P.M. está expresada como:

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} \quad \dots(23)$$

Si sustituimos (23) en (22) y si deseamos operar a la potencia P en B.H.P, obtendremos la relación entre par motor y B.H.P.

$$T = \frac{\text{B.H.P. (H.P.) (rad.)} \times \frac{76.040 \left(\frac{\text{m Kg}}{\text{seg.}}\right)}{(\text{H.P.})}}{\frac{2\pi N}{60} \left(\frac{\text{rad.}}{\text{seg.}}\right)}$$

por lo tanto:

$$T = \frac{726.129 \text{ B.H.P.}}{N} \quad \dots(24)$$

Donde:

F = fuerza que provoca el par motor, en Kg⁺
N = velocidad de rotación de la flecha, en R.P.M.
P = potencia cedida por el motor o recibida por la
bomba en $\frac{\text{Kg}^+ \text{ m}}{\text{Seg.}}$ x radián.

r = radio de la flecha en movimiento en m.

S = distancia recorrida por el alambre enrollado en
la flecha en m.

T = torque, en Kg⁺ x m en ecuación (24).

t = tiempo, en segundos.

W = trabajo realizado por la fuerza que actúa sobre
la sección de flecha considerada en Kg⁺ x m x
radián

θ = desplazamiento angular en radianes.

ω = velocidad angular, en $\frac{\text{radianes}}{\text{segundo}}$

1 H.P = 76.04 $\frac{\text{m Kg}^+}{\text{Seg.}}$

ANEXO A LA PRACTICA DE

BOMBAS CENTRIFUGAS EN

SERIE Y PARALELO

segunda sesion

UN
AM

3.5 Efecto de la densidad en las curvas características de las bombas.

La curva $H - Q$.- Varía de acuerdo a la ecuación - (27)'.
'

La curva BHP - Q .- Varía de acuerdo a las ecuaciones (39) y (41).

La curva $\eta_B - Q$.- Varía de acuerdo a las ecuaciones (38), (39) y (41).

La curva NPSHD - Q .- Varía de acuerdo a la ecuación (29).

La curva $W_0 - Q$.- Varía de acuerdo a la ecuación (30).

3.6 Efecto de la viscosidad en las curvas $H - Q$, BHP Q , $\eta_B - Q$.

A continuación se presenta un ejemplo propuesto -- por el Instituto de Hidráulica en su 13a. edición para corregir estas curvas por efecto de la viscosidad utilizando un nomograma.

Datos necesarios:

- a) Curvas características $H - Q$, B.H.P - Q , $\eta_B - Q$ para agua, las cuales serán corregidas.
- b) Viscosidad cinemática del líquido en S.S.U. y gravedad específica del líquido.

Nomenclatura de variables.

Q_N = Gasto leído de la curva H - Q para agua en el punto de máxima eficiencia de la bomba en G.P.M.

Q_W = Gasto corregido por los factores 0.6, 0.8, 1.0, 1.2 del nomograma, parte superior de la figura 31, en G.P.M.

H_W = Carga leída de la curva H - Q para agua con los valores obtenidos de Q_W en $ft \frac{lb}{lb}$.

E_W = Eficiencia leída de la curva η_B -Q para agua con los valores obtenidos de Q_W , adimensional.

C_Q = Factor de corrección para gasto obtenido del nomograma utilizando el valor de Q_W , la carga H_W y la viscosidad cinemática.

C_H = Factor de corrección para la carga obtenida del nomograma utilizando el valor de Q_W , la carga H_W y la viscosidad cinemática.

C_E = Factor de corrección para eficiencias obtenido del nomograma utilizando el valor de Q_W , la carga H_W y la viscosidad cinemática.

Q_{vis} = $Q_W \times C_Q$; ecuación para obtener el gasto del líquido corregido a otra viscosidad en G.P.M.

H_{vis} = $H_W \times C_H$; ecuación para obtener la carga del líquido corregido a otra viscosidad en $ft \frac{lb}{lb}$.

$E_{vis} = E_w \times C_E$; ecuación para obtener la eficiencia de la bomba a otra viscosidad, adimensional.

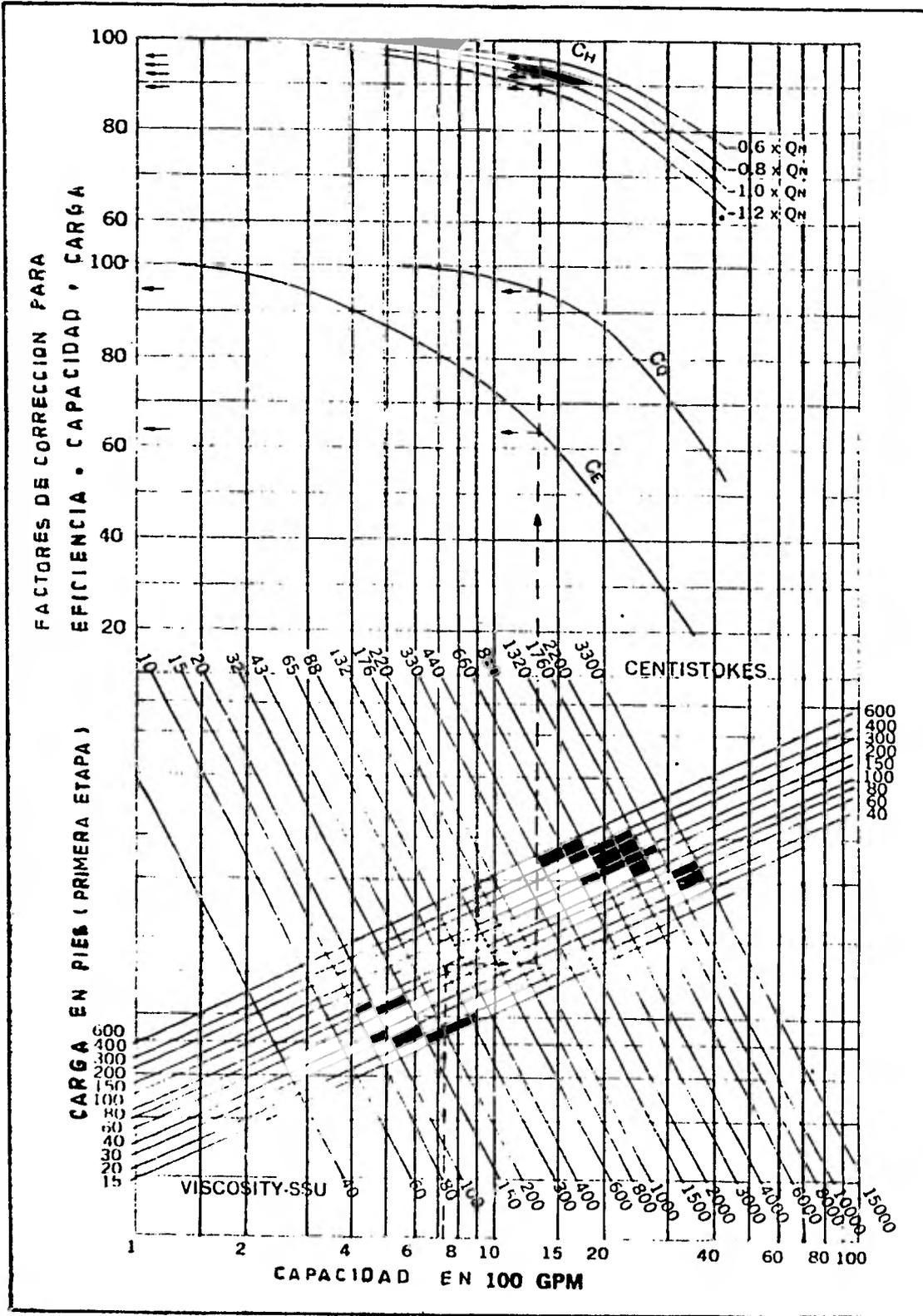


FIGURA 31

Datos supuestos para la ilustración.

a) Curvas H - Q, BHP - Q, η_B - Q mostrados en la figura 32.

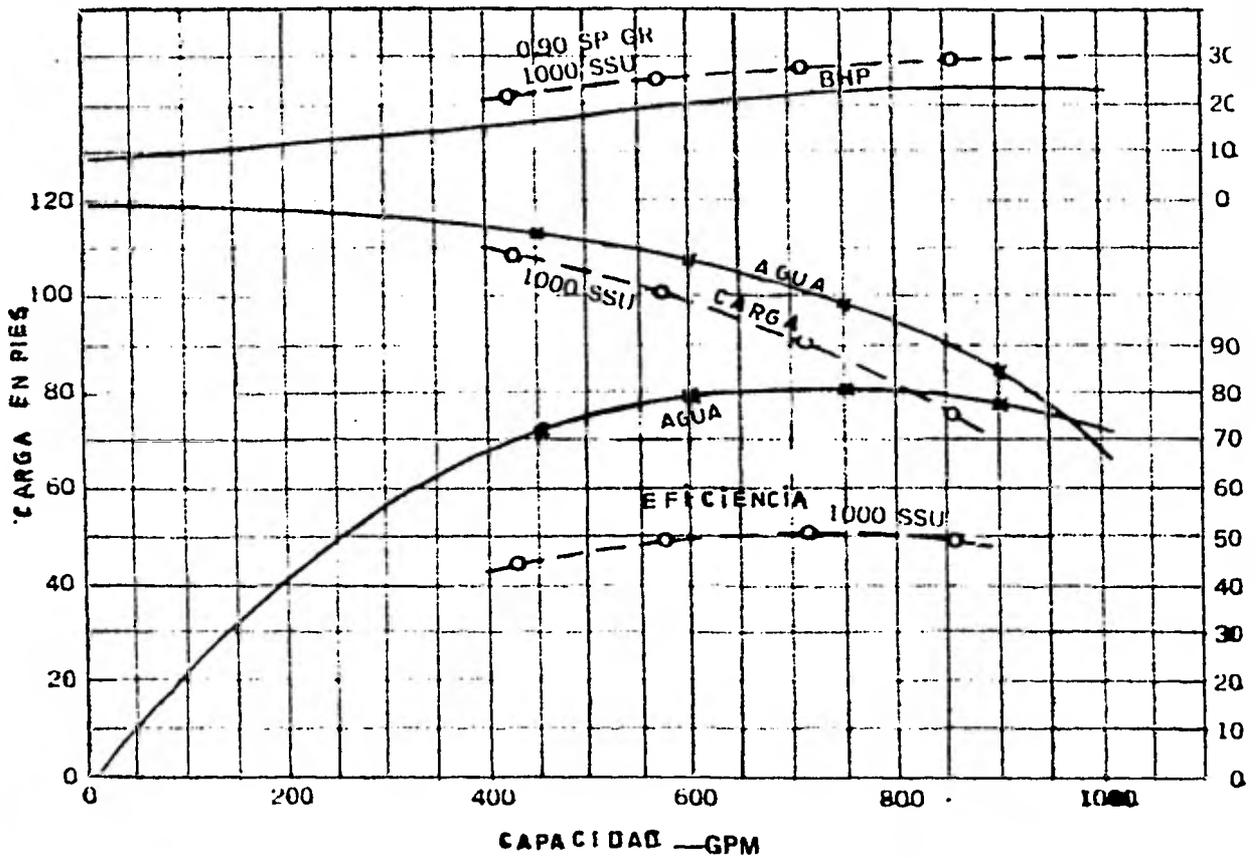


FIGURA 32

b) Viscosidad cinemática $\nu = 1,000$ SSU y gravedad específica de 0.9.

Procedimiento.- De la curva H - Q para agua - leer la capacidad Q_N en G.P.M. para el punto de máxima eficiencia de la bomba, obtener la

Capacidad Q_W , con los factores de 0.60, 0.8, 1.0 y 1.2; con los valores obtenidos leer las cargas y eficiencias en las curvas $H - Q$, $\eta_B - Q$ para así obtener los valores de H_W y E_W .

Valor leído para $Q_N = 750$ G.P.M.

	$0.6 \times Q_N$	$0.8 \times Q_N$	$1.0 \times Q_N$	$1.2 \times Q_N$
Capacidad Q_W	450	600	750	900
Carga H_W	114	108	100	86
Eficiencia E_W	72.5	80	82	79.5

A continuación se presenta la tabulación para las variables C_Q , C_H y C_E obtenidas del nomograma, utilizando las variables Q_W , H_W y la viscosidad cinemática.

C_Q	0.95	0.95	0.95	0.95
C_H	0.96	0.94	0.92	0.89
C_E	0.635	0.635	0.635	0.635

Se construye la tabulación para las variables Q_{vis} , H_{vis} y E_{vis} .

$Q_{vis} = Q_W \times C_Q$	427	570	712	855
$H_{vis} = H_W \times C_H$	109.5	101.5	92	76.5
$E_{vis} = E_W \times C_E$	46	50.8	52.1	50.5

Estos valores están graficados en la figura 32.

Se presenta ahora la tabulación para las variables C_Q , C_H y C_E obtenidas del nomograma, utilizadas en por ciento, para determinar la potencia al freno B.H.P., a partir de la siguiente ecuación.

$$(BHP)_{vis} = \frac{Q_{vis} \times H_{vis} \times \int r}{3,960 \times E_{vis}}$$

C_Q	95	95	95	95
C_H	96	94	92	89
C_E	63.5	63.5	63.5	63.5
$Q(vis) = Q_W \times C_Q$	42,750	57,000	71,850	85,500
$H(vis) = H_W \times C_H$	10,944	10,152	9,200	7,654
$E(vis) = E_W \times C_E$	4,603	5,080	5,207	5,048
$(BHP)_{vis}$	23.10	25.88	28.61	29.46

Estos valores están graficados en la figura 32.

Se puede concluir que al aumentar la viscosidad del líquido bombeado decrecen las curvas $H - Q$, $\eta_B - Q$ y aumenta la curva B.H.P- Q .

S E G U N D A P A R T E

ESTUDIO Y ACTIVIDAD EXPERIMENTAL
QUE FUNDAMENTAN LOS DISEÑOS DE LAS
PRACTICAS

COLOCACION DE LAS REFERENCIAS CITADAS EN LA SEGUNDA PARTE.

La página 4 cita a la página 5 del Diseño de la práctica con bombas centrífugas.

La página 4 cita a la página 104 de Conclusiones.

La página 4 cita a las páginas 48 y 53 del Estudio y actividad experimental que fundamentan los diseños de las prácticas.

La página 5 cita a la página 6 del Diseño de la práctica con bombas centrífugas.

La página 5 cita a la página 104 de Conclusiones.

La página 5 cita a las páginas 48 y 53 del Estudio y actividad experimental que fundamentan los diseños de las prácticas.

La página 6 cita a las páginas 13 y 49 del Diseño de la práctica con bombas centrífugas.

La página 12 cita a la página 49 del Diseño de la práctica con bombas centrífugas.

la página 15 cita a las páginas 10,13 y 49 del Diseño de la práctica con bombas centrífugas.

ESTUDIO Y ACTIVIDAD EXPERIMENTAL

Cuando se desarrolló el presente trabajo fué necesario controlar, medir y operar simultáneamente a las variables eléctricas, mecánicas e hidráulicas de la manera más práctica y eficiente en el sistema de bombeo. Para lograrlo se solicitó asesoría técnica para dar interpretación al funcionamiento del equipo eléctrico existente en el sistema, interpretar los datos de placa de un motor y calcular la eficiencia de éste cuando está acoplado a la bomba para diferentes condiciones de operación requeridas en el desarrollo de la práctica. También fué necesario interrelacionar a las principales variables mecánicas que intervienen en el acoplamiento motor-bomba, por último se modificó al equipo de bombeo existente para operarlo en serie y paralelo, acondicionándole:

- 1 válvula de globo de 1" de diámetro nominal
- 1 campana de 1" a 1 1/2" de diámetro nominal
- 1 codo a 90° de 1" de diámetro nominal
- 1 codo a 90° de 1 1/2" de diámetro nominal
- 1 te de 1" de diámetro nominal
- 1 te de 1 1/2" de diámetro nominal
- 1 manómetro tipo bourdon con su respectivo amortiguador de caídas de presión
- 1 vacuómetro tipo bourdon
- tubo recto de 1" y 1 1/2" de diámetro nominal.

Como antecedentes experimentales se utilizaron las experiencias de la práctica de bombas reportada en la página 125 del Manual de Prácticas del Laboratorio de Momentum y Calor, editado en la Facultad de Química de

la Universidad Nacional Autónoma de México, segunda edición 1979, de los autores:

- M. C. Antonio Valiente Barderas
- I.Q. Angel M. González Herrera
- I.Q. Lucila C. Méndez Chávez
- I.Q. Genovevo Silva Pichardo
- I.Q. Irma Beltrán Fiesco
- I.Q. Héctor G. Méndez Fregoso
- I.Q. Bertha Contreras Navarro
- I.Q. Jesús Tapia Pérez.

EXPOSICION DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

A. Información necesaria antes de la experimentación.

1. Condiciones de operación.

1.1. Para el agua

Temperatura de bombeo $T_B = 17^\circ\text{C}$

$$\text{Densidad a } T_B, \rho = 0.9988029 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = 998.8029 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Densidad relativa, Spgr

$$= \frac{0.9988029 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}}{0.9990499 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}} = 0.9997528$$

a 15.555°C de referencia

$$\text{Presión de vapor a } T_B, P^\circ = 0.01974 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} = 197.4 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Viscosidad absoluta a } T_B, \mu = 1.125 \text{ c.p.} = 0.01125 \frac{\text{gr}}{\text{cm seg}} =$$

$$0.001125 \frac{\text{Kg}}{\text{m seg}}$$

$$\text{Viscosidad cinemática a } T_B, \nu = 0.01126 \frac{\text{cm}^2}{\text{seg}} = 0.00001126 \frac{\text{m}^2}{\text{seg}}$$

$$= 1.126 \text{ centistokes} = 30.6 \text{ S.S.U.}$$

1.2 Para el medio ambiente atmosférico:

Presión atmosférica en el D.F.

a 2,240 m de altitud

$$= 0.7967 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} = 7,967 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} =$$

= 58.6 cm Hg.

2.- Curvas características de las bombas necesarias para el desarrollo de la práctica

2.1. Para la bomba 1C N-152, de simple impulsor.

CONDICIONES DEL FABRICANTE (WORTHINGTON DE MEXICO S.A.)

N = 2,900 R.P.M. y D.I. = 4 7/8" (0.123825 m) (ver la página No. 5).

Q(G.P.M.)	H(ft $\frac{1\vec{b}}{1\vec{b}}$)	B.H.P.(H.P.)	N.P.S.H.R(ft $\frac{1\vec{b}}{1\vec{b}}$)
0.000	66.000	0.500	- - -
10.000	65.000	0.700	- - -
16.000	64.000	0.800	4.00
20.000	63.000	0.900	4.20
30.000	61.000	1.000	4.80
40.000	57.000	1.100	5.50
50.000	52.000	1.300	6.50
60.000	45.000	1.350	8.00
62.000	43.000	1.450	8.50

CONDICIONES REQUERIDAS EN LA EXPERIMENTACION, OBTENIDAS A PARTIR DE LOS DATOS DEL FABRICANTE (ya que estos valores serán comparados en la página No.104). Ver pags. 48 y 53.

N = 3,475 R.P.M. y D.I = 4 7/8" (0.123825 m)

Q $\frac{1}{\text{seg}}$	H m $\frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$	B.H.P.(H.P)	H.P.S.H.R (m $\frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$)
0.000	28.885	0.860	- - -
0.756	28.447	1.204	- - -
1.209	28.010	1.376	1.751
1.512	27.572	1.549	1.838
2.268	26.697	1.721	2.101
3.025	24.946	1.893	2.407
3.780	22.758	2.237	2.845
4.535	19.694	2.323	3.501
4.687	18.810	2.495	3.720

2.2. Para la bomba C C N-62, de doble impulsor

CONDICIONES DEL FABRICANTE (WORTHINGTON DE MEXICO S.A.)

N = 3,500 R.P.M. y D.I = 5 3/8" (0.136525 m) (ver la página No. 6)

Q (G.P.M.)	H(ft $\frac{1\vec{b}}{1\vec{b}}$)	B.H.P.(H.P.)	N.P.S.H.R(ft $\frac{1\vec{b}}{1\vec{b}}$)
0.000	250.00	3.50	- - -
12.500	240.00	4.00	- - -
16.250	238.00	4.40	3.00
25.000	234.00	4.90	3.50
37.500	218.00	5.50	4.10
50.000	190.00	6.00	5.00
62.500	160.00	6.20	6.00
75.000	115.00	6.50	7.50
81.250	80.00	6.60	8.00

CONDICIONES REQUERIDAS EN LA EXPERIMENTACION, OBTENIDAS A PARTIR DE LOS DATOS DEL FABRICANTE (ya que estos valores serán comparados en la página No.104). Ver pags.48 y 53

N = 3,540 R.P.M. y D.I = 5 3/8" (0.136525 m)

Q($\frac{1}{\text{seg}}$)	H(m $\frac{Kg}{Kg}$)	B.H.P.(H.P.)	N.P.S.H.R(m $\frac{Kg}{Kg}$)
0.000	77.952	3.621	- - -
0.798	74.834	4.319	- - -
1.037	71.210	4.553	0.935
1.595	72.963	5.070	1.091
2.393	67.974	5.691	1.278
3.190	59.243	6.208	1.559
3.988	49.889	6.415	1.871
4.785	35.858	6.725	2.339
5.184	24.945	6.829	2.494

3. Potencias, R.P.M y voltaje reportadas en cada una de las placas de los motores trifásicos.

3.1 El motor de estilo 3-112-021 y serie 1603036 proporciona una potencia de 1 H.P con 3,475 R.P.M cuando se le aplica un voltaje de 220 volts.

3.2 El motor de estilo 9-112-041 y serie 3601025 proporciona una potencia de 2 HP con 3,500 RPM cuando se le aplica un voltaje de 220 volts.

3.3 El motor de estilo 5-11-051 y serie 3601001 proporciona una potencia de 3 HP con 3,475 RPM cuando se le aplica un voltaje de 220 volts.

3.4 El motor de estilo 2-112-06 y serie 3609029 proporciona una potencia de 5 CP con 3,540 RPM cuando se le aplica un voltaje de 220 volts.

4. Disposición geométrica del equipo de bombeo.

4.1 Carga estática de succión 0.30 m

4.2 Carga estática de descarga 3.00 m

4.3 Carga estática total 2.70 m

5. Accesorios y tuberías de acero comercial cédula 40, dispuestos en el equipo de bombeo. Ver págs 13 y 49.

5.1 Hasta antes del haz de tubos para la bomba de simple impulsor.

Accesorios	Diámetro nominal	Número	longitud(m)
Tubo recto	2"		10.595
Tubo recto	1 1/2"		0.190
Tubo recto	1"		0.505
Te con flujo normal	1"	1	
Te con flujo	" 2"	1	

(cont)

Te operando como codo	2"	3
Te operando como codo	1"	1
Codo a 90°	2"	1
Codo a 90°	1 1/2"	1
Válvula de globo	1"	1
Válvula de compuerta	1 1/2"	1
Válvula de retención	2"	1
Contracción súbita a	2"	1
Expansión de	1" a 2"	1
Medidor de orificio		1
Medidor vénturi		1

5.2 Hasta antes del haz de tubos para la bomba de doble impulsor.

Accesorios	Diámetro nominal	número	longitud(m)
Tubo recto	2"		10.535
Tubo recto	1 1/2"		0.460
Tubo recto	1"		0.850
Te con flujo normal	2"	1	
Te operando como codo	2"	1	
Te operando como codo	1 1/2"	1	
Codo a 90°	2"	1	
Codo a 90°	1 1/2"	1	
Codo a 90°	1"	2	
Válvula de globo	1"	1	
Válvula de compuerta	1 1/2"	1	
Válvula de retención	2"	1	
Contracción súbita a	2"	1	
Expansión de	1" a 2"	1	
Medidor de orificio		1	
Medidor vénturi		1	

5.3 Hasta antes del haz de tubos operando la bomba en serie.

accesorios	diámetro nominal	número	longitud(m)
tubo recto	2"		10.535
tubo recto	1 1/2"		0.580
tubo recto	1"		1.240
te con flujo normal	2"	1	
te operando como codo	2"	2	
te operando como codo	1 1/2"	1	
te operando como codo	1"	1	
codo a 90°	2"	1	
codo a 90°	1 1/2"	2	
codo a 90°	1"	3	
válvula de globo	1"	2	
válvula de compuerta	1 1/2"	1	
válvula de retención	2"	1	
contracción súbita a	2	1	
campana 1"	1" a 1 1/2"	1	
expansión	1" a 2"	1	
medidor de orificio		1	
medidor venturi		1	

5.4 Hasta antes del haz de tubos operando la bomba en paralelo.

accesorios	diámetro nominal	número	longitud(m)
tubo recto	2"		10.535
tubo recto	1 1/2"		0.575
tubo recto	1"		1.265
te operando como codo	2"	3	
te operando como codo	1 1/2"	1	
te operando como codo	1"	1	
te con flujo normal	2"	1	
te con flujo normal	1"	1	

codo a 90°	2"	1
codo a 90°	1 1/2"	2
codo a 90°	1"	2
válvula de globo	1"	2
válvula de compuerta	1 1/2"	2
válvula de retención	2"	1
contracción súbita a	2"	1
expansión de	1" a 2"	1
medidor de orificio		1
medidor vénturi		1

5.5. Hasta antes del haz de tubos operando las bombas en serie y despreciando los accesorios que las conectan entre los manómetros 2 a 3.

accesorios	diámetro nomi. nal.	número	longitud(m)
tubo recto	2"		10.535
tubo recto	1 1/2"		0.190
tubo recto	1"		0.990
te operando como codo	2"	2	
codo a 90°	2"	1	
codo a 90°	1 1/2"	1	
codo a 90°	1"	2	
válvula de globo	1"	1	
válvula de compuerta	1 1/2"	1	
válvula de retención	2"	1	
contracción súbita a	2"	1	
expansión de	1" a 2"	1	
medidor de orificio		1	
medidor vénturi		1	

5.6 Hasta antes del haz de tubos operando las bombas en paralelo y despreciando los accesorios y tuberías que las conectan entre los manómetros 1 a 6.

accesorios	diámetro nominal	número	longitud(m)
tubo recto	2"		10.425
válvula de retención	2"	1	
contracción súbita a te operando como codo	2"	1	
medidor de orificios		1	
medidor venturi		1	

5.7 En el haz de tubos para operar el sistema con la bomba de un impulsor, de doble impulsor, en serie o en paralelo.

5.7.1. Para el tubo dispuesto en el haz de tubos de 2"

accesorios	diámetro nominal	número	longitud(m)
tubo recto	2"		8.05
te operando como codo	2"	1	
te con flujo normal	2"	4	
cruz operando como codo	2"	1	
codo a 90°	2"	2	
válvula de globo	2"	1	

5.7.2 Para un tubo dispuesto en el haz de tubos de 1 1/2"

accesorios	diámetro nominal	número	longitud(m)
tubo recto	2"		1.20
tubo recto	1 1/2"		6.25
te operando como codo	2"	3	
te con flujo normal	2"	2	
cruz operando como codo	2"	1	
válvula de globo	1 1/2"	1	

5.7.3 Para el tubo dispuesto en el haz de tubos de 1"

accesorios	diámetro nominal.	número	longitud(m)
tubo recto	2"		0.60
tubo recto	1"		6.25
te operando como codo	2"	3	
cruz operando como codo	2"	1	
válvula de globo	1"	1	

5.7.4 Para el tubo dispuesto en el haz de tubos de 3/4"

accesorios	diámetro nominal	número	longitud(m)
tubo recto	3/4"		6.25
cruz operando como codo	2"	2	

5.7.5 Para el tubo dispuesto en el haz de tubos de 1/2"

tubo recto	2"		0.60
tubo recto	1/2"		6.25
te operando como codo	2"	3	
cruz operando como codo	2"	1	
válvula de globo	1/2"	1	

5.8 Después del haz de tubos para operar al sistema con la bomba de un impulsor, de doble impulsor, en serie o en paralelo.

accesorios	diámetro nominal	número	longitud(m)
tubo recto	2"		3.505
te con flujo normal	2"	2	
codo a 90°	2"	3	
válvula de compuerta	2"	1	
expansión súbita		1	

6. Diferencias de alturas entre la base de las carátulas de los manómetros 2 a 5 y los ejes centrales de las bombas.

Nº de manómetro	Diferencias de alturas en m
2	0.00
3	0.00
4	0.62
5	0.70

Ver la página 49 .

7. Disposición geométrica del equipo de bombeo para calcular el N.P.S.H.D., para regimen intermitente.

La distancia de la parte superior del tanque de alimentación a los ejes centrales de las bombas es de 1.50 m, la distancia de la parte inferior del tanque de alimentación a los ejes centrales de las bombas es de 0.30 m, el diámetro del tanque de alimentación es de 1.20 m. Los datos anteriores señalan a los puntos de 0.30 m a 1.50 m como límites de operación en el sistema intermitente.

8. Accesorios y tuberías de acero comercial cédula 40, dispuestos en el equipo de bombeo para calcular el N.P.S.H.D.

8.1 Hasta antes de la brida de succión de la bomba de simple impulsor.

accesorios	diámetro nominal	número	longitud(m)
tubo recto	2"		3.775
tubo recto	1 1/2"		0.190
contracción súbita a	2"	1	
codo a 90°	2"	1	
operando como codo	2"	1	

te con flujo normal	2"	1
válvula de retención	2"	1
codo a 90°	1 1/2"	1
válvula de compuerta	1 1/2"	1

8.2 Hasta antes de la brida de succión de la bomba de doble impulsor.

accesorios	diámetro nominal	número	longitud(m)
tubo recto	2"		3.775
tubo recto	1 1/2"		0.460
contracción súbita a	2"	1	
codo a 90°	2"	1	
te con flujo normal	2"	1	
válvula de retención	2"	1	
válvula de compuerta	1 1/2"	1	
codo a 90°	1 1/2"	1	
te operando como codo	1 1/2"	1	

8.3 Hasta antes de la brida de succión de la bomba de simple impulsor para cuando se operan en serie.

San los mismos valores reportados en el punto 8.1 pasado.

8.4 Hasta la te de bifurcación para cuando se operan en paralelo

accesorios	diámetro nominal	número	longitud(m)
tubo recto	2"		3.775
contracción súbita		1	
codo a 90°	2"	1	
válvula de retención	2"	1	
te de bifurcación	2"	1	
te con flujo normal	2"	1	

9. Diámetro y área de la tubería dispuesta en el equipo de bombeo, para acero comercial cédula 40.

diámetro nominal	diámetro interno	area transversal interna
1/4"	0.925cm	0.00006716 m ²
3/8"	1.252cm	0.00012323 m ²
1/2"	1.580cm	0.00019613 m ²
3/4"	2.093 cm	0.00034387 m ²
1"	2.654 cm	0.00055742 m ²
1 1/2"	4.089 cm	0.00131355 m ²
2"	5.250 cm	0.00216451 m ²

10. Valores experimentales promedio de K para diferentes accesorios.

<u>accesorios</u>	<u>valores experimentales</u>
válvula de globo	10.00
válvula de retención	1.5-2.5
válvula de compuerta	0.20
te que opera como codo	1.80
te con flujo normal	0.10
codo a 90°	0.90
codo a 45°	0.40
cruz con flujo a 90°	1.80
campana de 1" a 1 1/2"	0.34
contracción súbita de diámetro grande a diámetro pequeño	0.50
expansión súbita de diámetro pequeño a diámetro grande	1.00
campana de 1" a 2"	0.56

B. INFORMACION OBTENIDA EN LA EXPERIMENTACION

1. Cuando se acoplan el motor de 1 H.P y la bomba de simple impulsor, utilizándose los manómetros 2 y 4, conectadas las líneas azules P₂ en una relación de escala para 10 amperes. en los transformadores T-1 y T-2, (Ver las págs. 10 , 13 y 49).

V	Ps	P _D	t	I
000 l	1.5 psig	41.5 psig	00 seg	3.20 amp
100 "	0.5 "	38.0 "	88 seg	4.18 "
100 "	-1.5 pulg.Hg	35.0 psig	63 seg	4.40 "
100 "	-3.0 " "	32.0 psig	48 seg	4.50 "
100 "	-4.0 " "	30.0 psig	45 seg	4.65 "
100 "	-6.0 " "	27.5 psig	40 seg	4.80 "

%W	- ΔP _O (ORIFICIO)	- ΔP _V (VENTURI)
15.00	0.0 cm Hg	0.0 cm Hg
19.00	3.0 " "	7.0 " "
20.00	5.4 " "	12.5 " "
21.75	7.5 " "	18.8 " "
22.30	9.0 " "	22.8 " "
23.30	11.0 " "	27.8 " "

2. Cuando se acoplan el motor de 5 C.P y la bomba de doble impulsor, utilizándose los manómetros 3 y 5, conectadas las líneas azules P₂ en una relación de escala para 10 amperes en los transformadores T -1 y T-2.

V	Ps	P _D	t
000 l	0.5 psig	7.2 Kg/cm ²	00 seg
100 "	-1.0 pulg Hg	6.8 " "	95 "
100 "	-4.0 " "	6.0 " "	52 "
100 "	-7.0 " "	5.5 " "	43 "
100 "	-9.0 " "	5.0 " "	37 "
100 "	-11.0 " "	4.4 " "	33 "
100 "	-15.0 " "	3.7 " "	30 "

I	% W	$-\Delta P_o$ (ORIFICIO)	$-\Delta P_v$ (VENTURI)
8.5 amp	41	0.0 cm Hg	0.0 cm Hg
10.4 "	49	2.8 " "	6.4 " "
11.5 "	56	8.3 " "	20.9 " "
12.4 "	61	12.5 " "	32.8 " "
13.0 "	63	15.0 " "	38.8 " "
13.7 "	66	20.0 " "	51.0 " "
14.5 "	70	26.8 " "	67.5 " "

3. Cuando se acoplan los motores de 1 H.P y 5 C.P. a las bombas de simple y doble impulsor en serie, utilizándose los manómetros 2 y 5, conectadas las líneas azules P_2 en una relación de escala para 10 amperes en los transformadores T-1 y T-2.

V	P_s	P_D	t	% W
000 l	1 psig	10 Kg/cm ²	00 seg	55
100 "	0 "	9 " "	89 "	69
100 "	-2 pulg Hg	8 " "	58 "	76
100 "	-5 " "	7 " "	45 "	81
100 "	-8 " "	6 " "	39 "	85
100 "	-9 " "	5 " "	34 "	89
100 "	-12 " "	4 " "	32 "	93
100 "	-12.5 " "	3 " "	31 "	95

$-\Delta P_o$ (ORIFICIO)	$-\Delta P_v$ (VENTURI)
0.0 cm Hg	0.0 cm Hg
2.8 " "	7.0 " "
6.8 " "	17.0 " "
10.4 " "	27.0 " "
14.2 " "	36.8 " "
18.0 " "	46.5 " "
21.5 " "	55.0 " "
22.0 " "	55.2 " "

4. Cuando se acoplan los motores de 1 H.P y 5 C.P. a las bombas de simple y doble impulsor, en paralelo, utilizándose los manómetros 1 y 6, conectadas las líneas azules P_2 en una relación de escala para 10 amperes en los transformadores T-1 y T-2.

V	Ps	P_D	t
000 l	2.0 psig	67.5 psig	000 seg
100 "	1.5 "	60.0 "	134 "
100 "	0.5 "	52.0 "	75 "
100 "	0.0 "	45.0 "	47 "
100 "	-2.0 pulg Hg	40.0 "	40 "
100 "	-7.5 " "	35.0 "	31 "
100 "	-10.0 " "	30.0 "	24 "
100 "	-13.0 " "	26.0 "	21 "

% W	$-\Delta P_o$ (ORIFICIO)	$-\Delta P_v$ (VENTURI)
73	0.0 cm Hg	0.0 cm Hg
74	0.3 " "	0.5 " "
75	3.9 " "	9.5 " "
76	7.4 " "	18.5 " "
79	13.5 " "	35.0 " "
82	21.0 " "	54.0 " "
85	35.0 " "	85.0 " "
86	50.0 " "	115.0 " "

C. RESULTADOS OBTENIDOS DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

1. Cuando se acoplan el motor de 1 H.P y la bomba de simple impulsor, utilizándose los manómetros 2 y 4, conectadas las líneas azules P_2 a una relación de escala para 10 amperes en los transformadores T-1 y T-2.

1.1 Datos para graficar la curva carga total-capacidad.

Hc	Q
28.771 m $\frac{\vec{Kg}}{Kg}$	0.000 $\frac{l}{seg}$
27.142 " "	1.136 " "
26.015 " "	1.587 " "
24.522 " "	2.083 " "
23.571 " "	2.222 " "
22.614 " "	2.500 " "

Cálculos que indican el procedimiento para obtener (como ilustración) el tercer valor reportado en las columnas anteriores.

La capacidad Q

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{100 l}{63 \text{seg}} = 1.587 \frac{l}{seg}$$

La carga total corregida Hc

$$P_D = 35 \text{ psig} \times \frac{1 \text{ atm}}{14.7 \text{ psig}} \times \frac{10,333 \frac{\vec{Kg}}{m^2}}{1 \text{ atm}} = 24,602.381 \frac{\vec{Kg}}{m^2}$$

$$P_s = -1.5 \text{ pulg.Hg} \times \frac{1 \text{ atm}}{29.921 \text{ pulg.Hg}} \times \frac{10,333 \frac{\vec{Kg}}{m^2}}{1 \text{ atm}} = -518.014 \frac{\vec{Kg}}{m^2}$$

$$H = \frac{P_D - P_s}{\rho} = \frac{(24,602.381 + 518.014) \frac{\vec{Kg}}{m^2}}{998.8029 \frac{Kg}{m^3}} = 25.151 \text{ m} \frac{\vec{Kg}}{Kg}$$

cálculo de pérdidas de carga por fricciones

$$H_{fs} = 82.7 \times \left(\frac{Q}{130}\right)^{1.852} \times d^{-4.87} \times L$$

donde:

$$Q = 1.587 \frac{l}{seg} \times \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} = 95.22 \frac{l}{min} \text{ (gasto manejado)}$$

d = 2.664 cm (valor del diámetro interno de la tubería, ver inciso A-9)

$L = 0.62 \text{ m}$ (valor de la longitud de tubería, ver inciso A-6)

$$H_{fs} = 82.7 \times \left(\frac{95.22}{130}\right)^{1.852} \times (2.664)^{-4.87} \times 0.62 = 0.244 \text{ m } \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$$

cálculo de pérdidas de carga por fricción y por altura

$$\Delta P = (Z_2) \text{ g/g}_c + \sum_1^2 H_{fs}$$

donde:

$$(Z_2) \text{ g/g}_c = 0.62 \text{ m} \times \frac{9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2} \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}} = 0.62 \text{ m } \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$$

$$\frac{\Delta P}{\rho} = (0.62 + 0.244) \text{ m } \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}} = 0.864 \text{ m } \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$$

por lo tanto, la carga total corregida será:

$$H_c = (25.151 + 0.864) \text{ m } \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}} = 26.015 \text{ m } \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$$

1.2 Datos para graficar las curvas eficiencia del motor-potencia (en kilovatios), potencial al freno-gasto, eficiencia de la bomba-gasto.

η_m	W	B.H.P.	η_B	Q
0.716	0.600 Kw	0.565 H.P.	0.000	0.000 l/seg
0.720	0.760 "	0.722 "	0.551	1.136 "
0.721	0.800 "	0.762 "	0.700	1.587 "
0.732	0.870 "	0.859 "	0.788	2.083 "
0.733	0.892 "	0.865 "	0.789	2.222 "
0.735	0.932 "	0.906 "	0.808	2.500 "

Cálculos que indican el procedimiento para obtener los valores reportados en las columnas anteriores.

La capacidad Q

$$- - - 0.000 \text{ l/seg}$$

$$\frac{100}{88} = 1.136 \quad "$$

$$\frac{100}{65} = 1.587 \quad "$$

$$\frac{100}{48} = 2.083 \quad "$$

$$\frac{100}{45} = 2.222 \quad "$$

$$\frac{100}{40} = 2.500 \quad "$$

La potencia W, la eficiencia del motor η_M , la eficiencia de la bomba η_B y la potencia al freno B.H.P.

Datos previos que permanecen constantes :Ver pags.120,121 y 122.

Resistencia de los devanados internos del motor, $R_o' = 10.5 \Omega$.

Potencia consumida por el motor trabajando al vacío, $W_o = 5.5 \times 20 = 110$ vatios.

Corriente consumida por el motor trabajando al vacío, $I_o = 1.30$ amperes.

Resistencia de una fase del motor de 1 H.P , $R_o = \frac{R_o'}{2} =$

$$\frac{10.5}{2} = 5.25 \Omega.$$

Revoluciones por minuto del motor de 1 H.P , $N = 3,475$ R.P.M.

Pérdidas por efecto joule en el motor trabajando en vacío,
 $P_{e \text{ EJV}} = I_o^2 R_o = 1.3^2 \times 5.25 = 8.873$ vatios.

Pérdidas mecánicas y magnéticas en el motor trabajando en vacío

$$P_{e \text{ MM}} = W_o - P_{e \text{ EJV}} = 110 - 8.873 = 101.128 \text{ vatios}$$

Ecuaciones necesarias para los cálculos:

Pérdidas por efecto joule con carga

$$P_{E J C} = I^2 R_o.$$

Pérdidas totales en el estator

$$P_{T E} = P_{M M} + P_{E J C}.$$

Potencia comunicada al rotor

$$P_{C R} = W - P_{T E}.$$

Porcentaje de deslizamiento

$$S \% = \frac{\text{Velocidad de sincronismo} - \text{Vel. de operación}}{\text{velocidad de sincronismo}} \times 100.$$

Pérdidas por deslizamiento del rotor

$$P_{D R} = P_{C R} \times S\%.$$

Potencia útil en la flecha del motor

$$P_{U F M} = P_{C R} - P_{D R}.$$

Eficiencia del motor

$$\eta_M = \frac{P_{U F M}}{W}.$$

Potencia eléctrica.

$$e.H.P = \frac{\text{vatios}}{745.7}.$$

Potencia hidráulica, deducción de la ecuación práctica

$$\rho_r = \frac{\rho_L}{\rho_{H_2O} \text{ a } 15.555^\circ C} = \frac{\rho_L}{999.0499 \frac{Kg}{m^3}}$$

$$W.H.P = Q \times \rho_L \times H$$

donde:

$$W.H.P = Q \left(\frac{l}{\text{seg}} \right) \left(\frac{1 \text{ m}^3}{1000 l} \right) \times \rho_r \times 999.0499 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times$$

$$H \left(\text{m} \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}} \right) \times \frac{1 \text{ H.P.}}{76.040 \text{ m} \frac{\text{Kg}}{\text{seg}}}$$

por lo tanto

$$W.H.P = \frac{Q \left(\frac{l}{\text{seg}} \right) \times \rho_r \times H \left(\text{m} \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}} \right)}{76.112.} \quad \text{ECUACION PRACTICA.}$$

Potencia al freno.

$$B.H.P = e.H.P. \times \eta_M.$$

$$E.H.P = \frac{W.H.P}{\eta_a}.$$

Eficiencia del motor- bomba .

$$\eta_{M3} = \eta_M \times \eta_a.$$

$$\eta_{M3} = \frac{W.H.P}{e.H.P}.$$

Cálculos:

Permaneciendo constante

$$R_o = 5.25 \Omega, \quad W_o = 110 \text{ vatios}, \quad I_o = 1.3 \text{ amp.}$$

$$P_e \text{ E J V} = 8.873 \text{ vatios}, \quad P_e M M = 101.128 \text{ vatios}$$

I	W	Pe E J C
3.20 amp	15.00x40=600 vatios	53.760 vatios
4.18 "	19.00x40=760 "	91.730 "
4.40 "	20.00x40=800 "	101.640 "
4.55 "	21.75x40=870 "	108.688 "
4.65 "	22.30x40=892 "	113.518 "
4.80 "	23.30x40=932 "	120.960 "

PeTE	P C R	S %
154.888 vatios	445.112 vatios	3.472
192.858 "	567.142 "	3.472
202.768 "	597.232 "	3.472
209.816 "	660.184 "	3.472
214.646 "	677.354 "	3.472
222.088 "	709.912 "	3.472

PeDR	PUFM	η_M
15.454 vatios	429.658 vatios	0.716
19.691 "	547.451 "	0.720
20.736 "	576.496 "	0.721
22.922 "	637.262 "	0.732
23.518 "	653.836 "	0.733
24.648 "	685.264 "	0.735

Q	$\frac{L}{seg}$	e.H.P. = $\frac{Vatios}{745.7}$	Hc	W.H.P
0.000		0.305 H.P.	23.771 $\frac{Kg}{Kg}$	0.000 H.P.
1.136	"	1.019 "	27.142 "	0.405 "
1.587	"	1.073 "	26.015 "	0.542 "
2.083	"	1.167 "	24.582 "	0.673 "
2.222	"	1.196 "	23.571 "	0.691 "
2.500	"	1.250 "	22.614 "	0.743 "

$$\eta_{MB} = \frac{W.H.P.}{e.H.P.}$$

0.000
0.397
0.505
0.577
0.578
0.594

$$\eta_B = \frac{\eta_{MB}}{\eta_M}$$

0.000
0.551
0.700
0.788
0.789
0.808

$$B.H.P. = e.H.P. \times \eta_M$$

0.576 H.P
0.734 "
0.774 "
0.854 "
0.977 "
0.919 "

$$B.H.P. = \frac{W.H.P.}{\eta_B}$$

- - - H.P
0.735 "
0.774 "
0.854 "
0.876 "
0.920 "

1.3 Datos para graficar la curva carga neta positiva de succión requerida- gasto.

Q	N.P.S.H.R.
0.000 l/seg	- - - m $\frac{Kg}{Kg}$
1.136 "	- - - "
1.209 "	1.751 "
1.587 "	1.850 "
2.083 "	2.000 "
2.222 "	2.200 "
2.500 "	2.500 "

Los datos anteriores fueron obtenidos de la lectura de una gráfica construída a partir de la información del punto A-2.1, para los datos del gasto obtenido experimentalmente.

1.4 Datos para graficar las curvas de velocidad específica de succión-gasto, velocidad específica-gasto y momento de torsión-gasto.

Q	Q	N.P.S.H.R	N.P.S.H.R
0.000 $\frac{\text{L}}{\text{seg}}$	00.000 gal/min	- - - m $\frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$	- - - - ft $\frac{\text{lb}}{\text{lb}}$
1.136	18.008 "	- - - "	- - - "
1.209 "	19.165 "	1.751 "	5.745 "
1.587 "	25.157 "	1.850 "	6.070 "
2.083 "	33.020 "	2.000 "	6.562 "
2.222 "	35.223 "	2.200 "	7.218 "
2.500 "	39.630 "	2.300 "	7.546 "

Hc	Hc	B.H.P
28.771 m $\frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$	94.393 ft $\frac{\text{lb}}{\text{lb}}$	0.576 H.P
27.142 "	89.049 "	0.735 "
- - - "	- - - "	- - - "
26.015 "	85.351 "	0.774 "
24.582 "	80.650 "	0.854 "
23.571 "	77.333 "	0.876 "
22.614 "	74.193 "	0.920 "

$\frac{S}{\left(\frac{\text{ft } \frac{\text{lb}}{\text{lb}}}{\text{R.P.M(GPM)}^{0.5}}\right)^{0.75}}$	Ns	$\frac{T}{\left(\frac{\text{ft } \frac{\text{lb}}{\text{lb}}}{\text{R.P.M(GPM)}^{0.5}}\right)^{0.75}}$	T
- - -	000.000	- - -	0.120 $\frac{\text{Kg-m}}{\text{Kg-m}}$
- - -	508.705	"	0.154 "
4099.602 "	- - -	"	- - - "
4507.054 "	620.694	"	0.162 "
4870.117 "	741.976	"	0.178 "
4683.336 "	790.350	"	0.183 "
4804.843 "	865.356	"	0.192 "

Cálculos que indican el procedimiento para obtener el cuarto valor reportado para S, Ns y T:

$$S = \frac{N \sqrt{Q}}{(\text{NPSHR})^{3/4}} = \frac{3,475 \text{ RPM} \sqrt{25.157 \text{ GPM}}}{(6.070 \text{ ft} \frac{\text{lb}}{\text{lb}})^{0.75}} = 4,507.054 \frac{\text{RPM}(\text{GPM})^{0.5}}{(\text{ft} \frac{\text{lb}}{\text{lb}})^{0.75}}$$

$$N_s = \frac{N \sqrt{Q}}{(H)^{3/4}} = \frac{3,475 \text{ RPM} \sqrt{25.157 \text{ GPM}}}{(85.351 \text{ ft} \frac{\text{lb}}{\text{lb}})^{0.75}} = 620.694 \frac{\text{RPM}(\text{GPM})^{0.5}}{(\text{ft} \frac{\text{lb}}{\text{lb}})^{0.75}}$$

$$T = \frac{726.129 \times \text{B.H.P.}}{N} = \frac{726.129 \times 0.774 \text{ HP}}{3,475} = 0.162 \text{ Kg-m}$$

1.5 Datos para graficar la carga neta positiva de succión disponible-gasto

Para Q = 0.000 l/seg

Para Q = 1.136 l/seg

(ΔZ) g/g _c	N.P.S.H.D	(ΔZ) g/g _c	N.P.S.H.D
1.5 m $\frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$	9.279 m $\frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$	1.5 m $\frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$	9.122 m $\frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$
1.3 "	9.079 "	1.3 "	8.922 "
1.1 "	8.879 "	1.1 "	8.722 "
0.9 "	8.679 "	0.9 "	8.522 "
0.7 "	8.479 "	0.7 "	8.322 "
0.5 "	8.279 "	0.5 "	8.122 "
0.3 "	8.079 "	0.3 "	7.922 "

Para Q = 1.587 l /seg

$(\Delta Z) \frac{g}{g_c}$	N.P.S.H.D
1.5 $m \frac{Kg}{Kg}$	8.974 $m \frac{Kg}{Kg}$
1.3 "	8.774 "
1.1 "	8.574 "
0.9 "	8.374 "
0.7 "	8.174 "
0.5 "	7.974 "
0.3 "	7.774 "

Para Q = 2.083 l /seg

$(\Delta Z) \frac{g}{g_c}$	N.P.S.H.D
1.5 $m \frac{Kg}{Kg}$	8.759 $m \frac{Kg}{Kg}$
1.3 "	8.559 "
1.1 "	8.359 "
0.9 "	8.159 "
0.7 "	7.959 "
0.5 "	7.759 "
0.3 "	7.559 "

Para Q = 2.222 l /seg

$(\Delta Z) \frac{g}{g_c}$	N.P.S.H.D
1.5 $m \frac{Kg}{Kg}$	8.689 $m \frac{Kg}{Kg}$
1.3 "	8.489 "
1.1 "	8.289 "
0.9 "	8.089 "
0.7 "	7.889 "
0.5 "	7.689 "
0.3 "	7.489 "

Para Q = 2.500 l /seg

$(\Delta Z) \frac{g}{g_c}$	N.P.S.H.D.
1.5 $m \frac{Kg}{Kg}$	8.533 $m \frac{Kg}{Kg}$
1.3 "	8.333 "
1.1 "	8.133 "
0.9 "	7.933 "
0.7 "	7.733 "
0.5 "	7.533 "
0.3 "	7.333 "

Cálculos que indican el procedimiento para obtener el primer valor de las columnas $(\Delta Z) \frac{g}{g_c}$ y N.P.S.H.D cuando permanece constante el gasto $Q = 0.000$ l /seg.

Ecuaciones necesarias:

$$\text{N.P.S.H.D} = \frac{P_1 - P^0}{\rho} + (\Delta Z) \frac{g}{g_c} - \sum_1^s Hfs$$

$$Hfs = \frac{K v^2}{2 g_c}$$

$$v = \frac{Q}{S}$$

$$Hfs = 82.7 \times \left(\frac{Q}{130}\right)^{1.852} \times d^{-4.87} \times L$$

También se requiere ver la información reportada en los incisos A-7, A-8.1, A-9 y A-10.

Si permanece constante $Q = 0.000$ l/seg, entonces:

$$\frac{P_1 - P^o}{\rho} = \frac{(7,967 - 197.4) \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}}{998.8029 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} = 7.779 \text{ m} \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$$

$$(\Delta Z) g/g_c = 1.5 \text{ m} \times \frac{9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}} = 1.5 \text{ m} \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$$

(Las cargas por alturas en el sistema intermitente, son aquellas que corresponden al diámetro del tanque de alimentación, es decir, el nivel del agua varía de 1.5 a 0.3m)

Hfs para tubo recto con diámetro nominal de 2".

$$Q = 0.000 \text{ l/seg} \times \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} = 0.00 \text{ l/min}$$

$$d = 5.25 \text{ cm}$$

$$L = 3.775 \text{ m}$$

$$Hfs = 82.7 \times \left(\frac{0}{130}\right)^{1.852} \times (5.25)^{-4.87} \times 3.775 = 0.0 \text{ m} \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$$

Hfs para el tubo recto, con diámetro nominal de 1 1/2".

$$Q = 0.000 \text{ l/min}$$

$$d = 4.089 \text{ cm}$$

$$L = 0.19 \text{ m}$$

$$Hfs = 82.7 \times \left(\frac{0}{130}\right)^{1.852} \times (4.089)^{-4.87} \times 0.19 = 0.00 \frac{m \cdot Kg}{Kg}$$

Hfs para una contracción súbita de la salida del tanque de alimentación al tubo de diámetro nominal de 2" .

$$K = 0.5$$

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{0.00 \text{ l/seg} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}}}{0.00216451 \text{ m}^2} = 0.00 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

$$Hfs = \frac{K v^2}{2 g_c} = \frac{0.5 \times 0.00 \frac{\text{m}^2}{\text{seg}^2}}{2 \times 9.81 \frac{\text{m} \cdot Kg}{\text{seg}^2 \cdot Kg}} = 0.00 \frac{m \cdot Kg}{Kg}$$

Hfs para un codo a 90°, con diámetro nominal de 2" .

$$K = 0.9$$

$$v = 0.00 \text{ m/seg}$$

$$Hfs = \frac{K v^2}{2 g_c} = \frac{0.9 \times 0.000 \frac{\text{m}^2}{\text{seg}^2}}{2 \times 9.81 \frac{\text{m} \cdot Kg}{\text{seg}^2 \cdot Kg}} = 0.00 \frac{m \cdot Kg}{Kg}$$

Hfs para una te operando como codo con diámetro nominal de 2" .

$$K = 0.180$$

$$v = 0.00 \text{ m/seg}$$

$$Hfs = \frac{K v^2}{2 g_c} = \frac{0.180 \times 0.00 \frac{\text{m}^2}{\text{seg}^2}}{2 \times 9.81 \frac{\text{m} \cdot Kg}{\text{seg}^2 \cdot Kg}} = 0.00 \frac{m \cdot Kg}{Kg}$$

Hfs para una te con flujo normal, con diámetro nominal de 2".

$$K = 0.10$$

$$v = 0.00 \text{ m/seg}$$

$$Hfs = \frac{Kv^2}{2g_c} = \frac{0.10 \times 0.00 \frac{\text{m}^2}{\text{seg}^2}}{2 \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2} \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}} = 0.00 \text{ m} \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$$

Hfs para una válvula de retención, con diámetro nominal de 2".

$$K = 2.5$$

$$v = 0.00 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

$$Hfs = \frac{K v^2}{2g_c} = \frac{2.5 \times 0.00 \frac{\text{m}^2}{\text{seg}^2}}{2 \times 9.81 \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}} \times \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}} = 0.00 \text{ m} \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$$

Hfs para un codo a 90° con diámetro nominal de 1 1/2".

$$K = 0.9$$

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{0.00 \frac{l}{seg} \times 1 \frac{m^3}{1000l}}{0.00131355 m^2} = 0.00 \frac{m}{seg}$$

$$Hfs = \frac{K v^2}{2 g_c} = \frac{0.9 \times 0.00 \frac{m^2}{seg^2}}{2 \times 9.81 \frac{m \cdot Kg}{seg^2 \cdot Kg}} = 0.00 m \frac{Kg}{Kg}$$

Hfs para una válvula de compuerta, con diámetro nominal de 1 1/2".

$$K = 0.20$$

$$v = 0.00 m/seg$$

$$Hfs = \frac{K v^2}{2 g_c} = \frac{0.20 \times 0.00 \frac{m^2}{seg^2}}{2 \times 9.81 \frac{m \cdot Kg}{seg^2 \cdot Kg}} = 0.00 m \frac{Kg}{Kg}$$

por lo tanto

$$\sum_1^5 Hfs = 0.00 m \frac{Kg}{Kg}$$

La carga neta total disponible será:

$$N.P.S.H.D. = (7.770 + 1.500 - 0.000) m \frac{Kg}{Kg} = 9.279 m \frac{Kg}{Kg}$$

1.6 Datos para graficar las curvas H-Q, B.H.P -Q y η_B -Q, cuando se varía el diámetro del impulsor de la bomba con los valores de 4 7/8" (valor del diámetro del impulsor que actualmente está funcionando en la bomba), 4 5/8", 5 1/8", 5 3/8" y 5 5/8"; permaneciendo constante las 3,475 R.P.M.

$$D.I = 4 \frac{7}{8}'' = 0.124 \text{ m.}$$

Q	Hc	B.H.P	η_B
0.000 $\frac{l}{\text{seg}}$	28.771 $m \frac{Kg}{Kg}$	0.576 H.P	0.000
1.136 "	27.142 "	0.735 "	0.551
1.587 "	26.015 "	0.774 "	0.700
2.083 "	24.582 "	0.854 "	0.788
2.222 "	23.571 "	0.876 "	0.789
2.500 "	22.614 "	0.920 "	0.808

$$D.I. = 4 \frac{5}{8}'' = 0.117 \text{ m.}$$

Q	Hc	B.H.P.	η_B
0.000 l/seg	25.614 $m \frac{Kg}{Kg}$	0.484 H.P.	0.000
1.072 "	24.724 "	0.617 "	0.551
1.497 "	23.161 "	0.650 "	0.700
1.965 "	21.885 "	0.717 "	0.788
2.097 "	20.985 "	0.736 "	0.789
2.359 "	20.133 "	0.773 "	0.808

$$D.I. = 5 \frac{1}{8}'' = 0.130m$$

Q	Hc	B.H.P	η_B
0.000 l/seg	31.623 $m \frac{Kg}{Kg}$	0.664 H.P	0.000
1.191 "	29.832 "	0.847 "	0.551
1.664 "	28.593 "	0.892 "	0.700
2.184 "	27.018 "	0.984 "	0.788
2.330 "	25.907 "	1.009 "	0.789
2.621 "	24.855 "	0.060 "	0.808

$$D.I. = 5 \frac{3}{8}'' = 0.137 m$$

Q	Hc	B.H.P	η_B
0.000 $\frac{l}{seg}$	35.120 $m \frac{Kg}{Kg}$	0.777 HP	0.000
1.255 "	33.131 "	0.991 "	0.551
1.753 "	31.756 "	1.044 "	0.700
2.301 "	30.006 "	1.152 "	0.788
2.455 "	28.772 "	1.181 "	0.789
2.762 "	27.604 "	1.241 "	0.808

$$D.I. = 5 \frac{5}{8}'' = 0.143 \text{ m.}$$

Q	Hc	B.H.P.	η_B
0.000 l/seg	38.263 m $\frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$	0.883 H.P.	0.000
1.310 "	36.097 "	1.127 "	0.551
1.830 "	34.598 "	1.187 "	0.700
2.402 "	32.692 "	1.310 "	0.788
2.562 "	31.348 "	1.344 "	0.789
2.883 "	30.075 "	1.411 "	0.808

Cálculos que indican el procedimiento para obtener el primer valor de las columnas Q, Hc, B.H.P., y η_B para un D.I = $4 \frac{5}{8}'' = 0.117 \text{ m.}$

Ecuaciones necesarias:

$$Q_2 = Q_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)$$

$$H_2 = H_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2$$

$$B.H.P._2 = B.H.P._1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^3$$

$$\eta_B = \frac{W.H.P.}{B.H.P.} = \frac{Q_2 \rho H_2}{B.H.P._2} = \frac{Q_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right) \rho H_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2}{B.H.P._1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^3}$$

es decir, al variar el diámetro del impulsor de la bomba la relación de eficiencia permanece constante.

$$Q_2 = 0.00 \left(\frac{0.117}{0.124} \right) = 0.000 \text{ l/seg}$$

$$H_2 = 28.771 \left(\frac{0.117}{0.124} \right)^2 = 25.164 \text{ m } \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$$

$$B.H.P._2 = 0.576 \left(\frac{0.117}{0.124} \right)^3 = 0.484 \text{ H.P.}$$

1.7 Datos para graficar las curvas H-Q, B.H.P-Q y η_B -Q, cuando varían las R.P.M del impulsor de la bomba para los valores de 3,475 R.P.M (valor para el cual fueron determinadas todas las lecturas obtenidas para esta bomba), 1450 R.P.M. y 2,900 R.P.M permaneciendo constante el diámetro del impulsor de 4 7/8".

N = 3,475 R.P.M.

Q	Hc	B.H.P.	η_B
0.000 l/seg	28.771 $\frac{m \cdot Kg}{Kg}$	0.576 H.P.	0.000
1.136 "	27.142 "	0.735 "	0.551
1.587 "	26.015 "	0.774 "	0.700
2.083 "	24.582 "	0.854 "	0.788
2.222 "	23.571 "	0.876 "	0.789
2.500 "	22.614 "	0.920 "	0.808

N = 1450 R.P.M.

Q	Hc	B.H.P.	η_B
0.000 l/seg	5.009 $\frac{m \cdot Kg}{Kg}$	0.042 H.P.	0.000
0.474 "	4.726 "	0.053 "	0.551
0.662 "	4.529 "	0.056 "	0.700
0.869 "	4.280 "	0.062 "	0.788
0.927 "	4.104 "	0.064 "	0.789
1.043 "	3.937 "	0.067 "	0.808

N = 2,900 R.P.M.

Q	Hc	B.H.P.	η_B
0.000 l/seg	20.037 $\frac{m \cdot Kg}{Kg}$	0.335 H.P.	0.000
0.948 "	18.903 "	0.427 "	0.551
1.324 "	18.118 "	0.450 "	0.700
1.738 "	17.120 "	0.496 "	0.788
1.854 "	16.416 "	0.509 "	0.789
2.086 "	15.749 "	0.535 "	0.808

1.8 Datos para graficar las curvas H-Q, η_B -Q y W_o -Q las cuales determinan el punto de operación más eficiente al utilizar el tubo de 2" dispuesto en el has de tubos.

Q	Hc	W_o	η_B
0.000 l/seg	28.771 $\frac{m \cdot Kg}{Kg}$	2.700 $\frac{m \cdot Kg}{Kg}$	0.000
1.136 "	27.142 "	7.730 "	0.551
1.587 "	26.015 "	12.220 "	0.700
2.083 "	24.582 "	17.811 "	0.788
2.222 "	23.571 "	20.855 "	0.789
2.500 "	22.614 "	25.454 "	0.808

Cálculos que indican el procedimiento para obtener el segundo valor de la columna W_o .

Ecuaciones necesarias (ya dimensionadas en los incisos anteriores).

$$W_o = Z_2(g/g_c) + \sum_1^2 Hfs$$

$$Hfs = - \frac{\Delta P}{\rho} = - \frac{(P_2 - P_1)}{\rho} = \frac{P_1 - P_2}{\rho}$$

$$Hfs = \frac{Kv^2}{2 g_c}$$

$$v = \frac{Q}{S}$$

$$Hfs = 82.7 \times \left(\frac{Q}{150}\right)^{1.852} \times d^{-4.87} \times L$$

También se requiere de la información reportada en los incisos: A-4.3, A-5.1, A-5.7.1., A-5.8, A-9, A-10 y B-1 (para las caídas de presión del orificio y vénturi), por lo tanto:

$$\sum_1^2 Hfs = 5.030 \frac{m \cdot Kg}{Kg}$$

$$W_o = 2.7 \text{ m} \frac{9.81 \text{ m/seg}^2}{9.81 \frac{m}{\text{seg}^2} \frac{Kg}{Kg}} + 5.030 \text{ m} \frac{Kg}{Kg} = 7.75 \text{ m} \frac{Kg}{Kg}$$

NOTA: EL VALOR DE $5.030 \text{ m} \frac{Kg}{Kg}$ SE OBTIENE SUMANDO LAS FRICIONES TOTALES.

2. Cuando se acoplan el motor de 5 C.P. y la bomba de doble impulsor, utilizándose los manómetros 3 y 5, conectadas las líneas azules P_2 a una relación de escala para 10 amperes en los transformadores T-1 y T-2.

2.1 Datos para graficar la curva carga total-capacidad.

Hc	Q
72.434 $\frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$	0.000 ℓ/seg
69.256 "	1.053 "
62.545 "	1.923 "
58.741 "	2.326 "
54.614 "	2.703 "
49.461 "	2.030 "
44.009 "	3.333 "

Los datos anteriores fueron obtenidos utilizando la información de los incisos A-6, A-9 y el procedimiento postulado en C-1.1 .

2.2 Datos para graficar las curvas eficiencia del motor - potencia (en kilovatios), potencia al freno- gasto, eficiencia de la bomba gasto.

Datos previos que permanecen constantes:

Resistencia de los devanados internos del motor, $R'_0 = 1.85 \Omega$.

Potencia consumida por el motor trabajando al vacío,

$$W_0 = 7 \times 20 = 140 \text{ vatios.}$$

Corriente consumida por el motor trabajando al vacío, $I_0 = 3.7$ amperes.

Resistencia de una fase del motor de 5 C.P , $R_o = \frac{R'_o}{2}$

$$\frac{1.85}{2} = 0.925 \text{ } \Omega .$$

Revoluciones por minuto del motor de 5 C.P , $N = 3,540 \text{ R.P.M.}$

Pérdidas por efecto joule en el motor trabajando en vacío,

$$P_e \text{ EJV} = I_o^2 R_o = 3.7^2 \times 0.925 = 12.663 \text{ vatios.}$$

Pérdidas mecánicas y magnéticas en el motor trabajando en vacío,

$$P_e \text{ MM} = W_o - P_e \text{ EJV} = 140 - 12.663 = 127.337 \text{ vatios.}$$

η_M	W	B.H.P.	η_B	Q
0.867	1.640 Kv	1.907 H.P.	0.000	0.000 l/seg
0.869	1.960 "	2.284 "	0.420	1.053 "
0.874	2.240 "	2.625 "	0.602	1.923 "
0.875	2.440 "	2.863 "	0.627	2.326 "
0.872	2.520 "	2.946 "	0.658	2.703 "
0.871	2.640 "	3.083 "	0.638	3.030 "
0.870	2.800 "	3.267 "	0.590	3.333 "

2.3 Datos para graficar la curva carga neta positiva de succión requerida- gasto.

Q	N.P.S.H.R
0.000 l/seg	- - - - m $\frac{Kg}{Kg}$
1.037 "	0.935 "
1.053 "	0.937 "
1.923 "	1.100 "
2.326 "	1.250 "
2.703 "	1.400 "
3.030 "	1.530 "
3.333 "	1.680 "

Los datos anteriores fueron obtenidos de la lectura de una gráfica construída a partir de la información del punto A-2.2, para los datos del gasto obtenido experimentalmente.

2.4 Datos para graficar las curvas de velocidad específica de succión-gasto, velocidad específica-gasto y momento de torsión-gasto.

Q	Q	N.P.S.H.R.	N.P.S.H.R.
0.000 l/seg	0.000 gal/min	- - - m $\frac{Kg}{Kg}$	- - - ft $\frac{lb}{lb}$
1.057 "	16.439 "	0.935 "	3.068 "
1.053 "	16.692 "	0.937 "	3.074 "
1.925 "	30.483 "	1.100 "	3.609 "
2.326 "	36.872 "	1.250 "	4.101 "
2.703 "	42.848 "	1.400 "	4.593 "
3.030 "	48.032 "	1.530 "	5.020 "
3.333 "	52.835 "	1.680 "	5.512 "

Hc	Hc	B. H.P.
72.434 m $\frac{Kg}{Kg}$	237.644 ft $\frac{lb}{lb}$	1.907 H.P.
- - - "	- - - "	- - - "
69.256 "	227.218 "	2.284 "
62.545 "	205.200 "	2.625 "
58.741 "	192.720 "	2.863 "
54.614 "	179.180 "	2.946 "
49.461 "	162.274 "	3.083 "
44.009 "	144.386 "	3.267 "

S		Ns	
	$\frac{\text{R.P.M. (G.P.M)}^{0.5}}{\left(\text{ft} \frac{\vec{1b}}{1b}\right)^{0.75}}$	000.000	$\frac{\text{R.P.M. (G.P.M.)}^{0.5}}{\left(\text{ft} \frac{\vec{1b}}{1b}\right)^{0.75}}$
6,191.551	"	- - -	"
6,229.878	"	415.621	"
7,464.349	"	606.278	"
7,459.063	"	698.922	"
7,385.777	"	795.745	"
7,315.446	"	907.516	"
7,152.901	"	1,038.946	"

T	
0.391	$\vec{\text{Kg-m}}$
- - -	"
0.468	"
0.538	"
0.587	"
0.604	"
0.632	"
0.670	"

Para obtener la columna de la velocidad específica tipo, se utilizó la siguiente expresión:

$$N_s = \frac{\text{R.P.M.} \sqrt{Q}}{\left(\frac{H}{2}\right)^{3/4}}$$

Ya que el fabricante reporta este valor en base a una undad mecánica de un paso con simple admisión.

2.5 Datos para graficar la carga neta positiva de succión disponible-gasto

Para Q = 0.000 l/seg

$(\Delta Z)g/g_c$	N.P.S.H.D
1.5 $m \frac{Kg}{Kg}$	9.279 $m \frac{Kg}{Kg}$
1.3 "	9.079 "
1.1 "	8.879 "
0.9 "	8.679 "
0.7 "	8.479 "
0.5 "	8.279 "
0.3 "	8.079 "

Para 1.053 l/seg

$(\Delta Z)g/g_c$	N.P.S.H.D
1.5 $m \frac{Kg}{Kg}$	9.099 $m \frac{Kg}{Kg}$
1.3 "	8.899 "
1.1 "	8.699 "
0.9 "	8.499 "
0.7 "	8.299 "
0.5 "	8.099 "
0.3 "	7.899 "

Para Q = 1.923 l/seg

$(\Delta Z)g/g_c$	N.P.S.H.D.
1.5 $m \frac{Kg}{Kg}$	8.692 $m \frac{Kg}{Kg}$
1.3 "	8.492 "
1.1 "	8.292 "
0.9 "	8.092 "
0.7 "	7.892 "
0.5 "	7.692 "
0.3 "	7.492 "

Para Q = 2.326 l/seg

$(\Delta Z)g/g_c$	N.P.S.H.D.
1.5 $m \frac{Kg}{Kg}$	8.423 $m \frac{Kg}{Kg}$
1.3 "	8.225 "
1.1 "	8.025 "
0.9 "	7.825 "
0.7 "	7.625 "
0.5 "	7.423 "
0.3 "	7.225 "

Para Q = 2.703 l/seg

$(\Delta Z) \frac{g}{g_c}$	N.P.S.H.D
1.5 $m \frac{Kg}{Kg}$	8.128 $m \frac{Kg}{Kg}$
1.3 "	7.928 "
1.1 "	7.728 "
0.9 "	7.528 "
0.7 "	7.328 "
0.5 "	7.128 "
0.3 "	6.928 "

Para Q = 3.03 l/seg

$(\Delta Z) \frac{g}{g_c}$	N.P.S.H.D
1.5 $m \frac{Kg}{Kg}$	7.838 $m \frac{Kg}{Kg}$
1.3 "	7.638 "
1.1 "	7.438 "
0.9 "	7.238 "
0.7 "	7.038 "
0.5 "	6.838 "
0.3 "	6.638 "

Para Q = 3.333 l/seg

$(\Delta Z) \frac{g}{g_c}$	N.P.S.H.D
1.5 $m \frac{Kg}{Kg}$	7.539 $m \frac{Kg}{Kg}$
1.3 "	7.339 "
1.1 "	7.139 "
0.9 "	6.939 "
0.7 "	6.739 "
0.5 "	6.539 "
0.3 "	6.339 "

2.6 Datos para graficar las curvas H-Q, B.H.P -Q y η_B -Q, cuando se varía el diámetro del impulsor de la bomba con los valores de 5 3/8" (valor del diámetro del impulsor que actualmente está funcionando en la bomba) 5", 5 5/8", 5 7/8", y 6 1/8", permanenciando constante las 3,540 RPM.

$$D.I. = 5 \frac{3}{8}'' = 0.157 \text{ m}$$

Q	Hc		B.H.P.	μ_B
0.000 l/seg	72.434	$m \frac{Kg}{Kg}$	1.907 H.P.	0.000
1.053 "	69.256	"	2.284 "	0.420
1.923 "	62.545	"	2.625 "	0.602
2.326 "	58.741	"	2.863 "	0.627
2.703 "	54.614	"	2.946 "	0.658
3.030 "	49.461	"	3.083 "	0.638
3.333 "	44.009	"	3.267 "	0.590

$$D.I. = 5'' = 0.127 \text{ m}$$

Q	Hc		B.H.P.	μ_B
0.000 l/seg	62.246	$m \frac{Kg}{Kg}$	1.519 H.P.	0.000
0.976 "	59.515	"	1.819 "	0.420
1.783 "	53.748	"	2.091 "	0.602
2.156 "	50.479	"	2.281 "	0.627
2.506 "	46.932	"	2.347 "	0.658
2.809 "	42.504	"	2.456 "	0.658
3.090 "	37.819	"	2.603 "	0.590

$$D.I. = 5 \frac{5}{8}'' = 0.143 \text{ m}$$

Q	Hc		B.H.P.	μ_B
0.000 l/seg	78.918	$m \frac{Kg}{Kg}$	2.169 H.P.	0.000
1.099 "	75.455	"	2.597 "	0.420
2.007 "	68.143	"	2.985 "	0.602
2.423 "	63.999	"	3.256 "	0.627
2.821 "	59.502	"	3.350 "	0.658
3.163 "	53.888	"	3.506 "	0.638
3.479 "	47.948	"	3.715 "	0.590

$$D.I. = 5 \frac{7}{8}'' = 0.149 \text{ m}$$

Q	Hc		B.H.P.	η_B
0.000 l/seg	85.679	$m \frac{Kg}{Kg}$	2.453 H.P.	0.000
1.145 "	81.920	"	2.938 "	0.420
2.091 "	73.982	"	3.377 "	0.602
2.530 "	69.482	"	3.683 "	0.627
2.940 "	64.600	"	3.790 "	0.658
3.295 "	58.505	"	3.966 "	0.638
3.625 "	"	"	4.203 "	0.590

$$D.I. = 6 \frac{1}{8}'' = 0.156 \text{ m}$$

Q	Hc		B.H.P	η_3
0.000 l/seg	93.918	$m \frac{Kg}{Kg}$	2.816 H.P.	0.000
1.199 "	89.798	"	3.372 "	0.420
2.190 "	81.096	"	3.876 "	0.602
2.649 "	76.164	"	4.227 "	0.627
3.078 "	70.813	"	4.350 "	0.658
3.450 "	64.131	"	4.552 "	0.638
3.795 "	57.062	"	4.823 "	0.590

2.7 Datos para graficar las curvas H-Q, B.H.P-Q y

η_B - Q, cuando se varían las R.P.M. del impulsor de la bomba para los valores de 3,450 R.P.M (valor para el cual fueron determinados todas las lecturas obtenidas para esta bomba), 2,900 R.P.M permaneciendo constante el diámetro del impulsor de 5 3/8".

N = 3,540 R.P.M.

Q	Hc	B.H.P.	η_B
0.000 l/seg	72.434 $\frac{m \cdot Kg}{Kg}$	1.907 H.P.	0.000
1.053 "	69.256 "	2.284 "	0.420
1.923 "	62.545 "	2.625 "	0.602
2.326 "	58.741 "	2.863 "	0.627
2.703 "	54.614 "	2.946 "	0.658
3.030 "	49.461 "	3.083 "	0.638
3.333 "	44.009 "	3.267 "	0.590

N = 2,900 R.P.M.

Q	Hc	B.H.P.	η_B
0.000 l/seg	48.611 $\frac{m \cdot Kg}{Kg}$	1.048 H.P.	0.000
0.863 "	46.478 "	1.256 "	0.420
1.575 "	41.974 "	1.443 "	0.602
1.905 "	39.421 "	1.574 "	0.627
2.214 "	36.652 "	1.620 "	0.658
2.482 "	33.193 "	1.695 "	0.638
2.730 "	29.535 "	1.796 "	0.590

2.8 Datos para graficar las curvas H-Q, η_B -Q y W_o -Q las cuales determinan el punto de operación más eficiente al utilizar el tubo de 1" dispuesto en el has de tubos.

Q	Hc	W _o	μ _B
0.000 l/seg	72.434 m $\frac{Kg}{Kg}$	2.700 m $\frac{Kg}{Kg}$	0.000
1.053 "	69.256 "	9.644 "	0.420
1.923 "	62.545 "	25.230 "	0.602
2.326 "	58.741 "	35.839 "	0.627
2.703 "	54.614 "	46.255 "	0.658
3.030 "	49.461 "	57.728 "	0.638
3.333 "	44.009 "	70.273 "	0.590

Cálculos que indican el procedimiento para obtener el segundo valor de la columna W_o.

Ecuaciones necesarias (ya dimensionadas en los incisos anteriores).

$$W_o = Z_2 g/g_c + \sum_1^2 Hfs$$

$$Hfs = \frac{-\Delta P}{\rho} = \frac{-(P_2 - P_1)}{\rho} = \frac{P_1 - P_2}{\rho}$$

$$Hfs = \frac{K v^2}{2 g_c}$$

$$v = \frac{Q}{S}$$

$$Hfs = 82.7 \times \left(\frac{Q}{130}\right)^2 \times d^{-4.87} \times L$$

También se requiere de la información reportada en los incisos A-4.3, A-5.2, A-5.7.3, A-5.8, A-9, A-10 y B-2 (para las caídas de presión del orificio y vénturi) por lo tanto:

$$\sum_1^2 Hfs = 6.944 \text{ m } \frac{Kg}{Kg} \text{ (SUMA TOTAL DE FRICCIONES)}$$

$$W_o = 2.7 \text{ m } \frac{9.81 \frac{m}{seg^2} \cdot \frac{Kg}{Kg}}{9.81 \frac{m}{seg^2} \cdot \frac{Kg}{Kg}} + 6.944 \text{ m } \frac{Kg}{Kg} = 9.644 \text{ m } \frac{Kg}{Kg}$$

3. Operación en serie; cuando se acoplan el motor de 1 H.P. y la bomba de simple impulsor, el motor de 5C.P y la bomba de doble impulsor, utilizándose los manómetros 2 y 5 , conectadas las líneas azules P₂ a una relación de escala para 10 amperes en los transformadores T-1 y T-2.

3.1 Datos para graficar la curva carga total-capacidad

Hc	→ Kg Kg	Q
100.116 m		0.000 ℓ/seg
90.953 "		0.124 "
81.808 "		1.724 "
73.026 "		2.222 "
64.207 "		2.564 "
54.735 "		2.941 "
45.863 "		3.125 "
36.082 "		3.225 "

Los datos anteriores fueron obtenidos utilizando la información de los incisos A-6, A-9 y el procedimiento postulado en C-1.1.

3.2 Datos para graficar la curva H-Q en serie experimental y las curvas H-Q experimentales para cada bomba, las cuales serán sumadas gráficamente en serie y posteriormente comparadas con la experimental.

Datos del inciso C-3.1

Hc	Q
100.116 m $\frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$	0.000 m $\frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$
90.953 "	1.124 "
81.898 "	1.724 "
73.026 "	2.222 "
64.207 "	2.564 "
54.735 "	2.941 "
45.863 "	3.125 "
36.082 "	3.225 "

Datos del inciso C-1.1

Datos del inciso C-2.1

Hc	Q	Hc	Q
28.771 m $\frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$	0.000 l/seg	72.434 m $\frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$	0.000 l/seg
27.142 "	1.136 "	69.256 "	1.053 "
26.015 "	1.587 "	62.545 "	1.923 "
24.582 "	2.083 "	58.741 "	2.326 "
23.571 "	2.222 "	54.614 "	2.703 "
22.614 "	2.500 "	49.461 "	3.030 "
		44.009 "	3.333 "

3.2.1. Datos para graficar las curvas H-Q de cada bomba proporcionadas por el fabricante , los cuales serán comparados con los datos graficados anteriores experimentales bajo las mismas R.P.M de operación.

Datos del inciso A-2.1

Datos del inciso A-2.2

H	Q	H	Q
28.885 m $\frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$	0.000 l/seg	77.952 m $\frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$	0.000 l/seg
28.447 "	0.756 "	74.834 "	0.798 "
28.010 "	1.209 "	74.210 "	1.037 "
27.572 "	1.512 "	72.963 "	1.595 "
26.697 "	2.268 "	67.974 "	2.393 "
24.946 "	3.024 "	59.243 "	3.190 "
22.758 "	3.780 "	49.889 "	3.988 "
19.694 "	4.535 "	35.858 "	4.785 "
18.819 "	4.687 "	24.945 "	5.184 "

3.3 Datos para graficar la curva $\eta_{M3} - Q$

Q	η_{M3}
000 l/seg	0.000
1.124 "	0.363
1.724 "	0.455
2.222 "	0.490
2.564 "	0.474
2.941 "	0.443
3.125 "	0.377
3.225 "	0.300

Cálculos que indican el procedimiento para obtener el segundo valor de la columna η_{M3}

Ecuaciones necesarias:

$$E.H.P. = \frac{\text{vatios}}{745.7}$$

$$W.H.P. = \frac{Q \left(\frac{l}{\text{seg}} \right) \times \rho_r \times H \left(\frac{m \frac{Kg}{l}}{Kg} \right)}{76.112}$$

$$\eta_{M B} = \frac{W.H.P.}{E.P.H.}$$

Información previa:

% W = 69 (valor leído del vatímetro)

W = 69 x 40 = 2,760 vatios (el número 40 indica la relación de escala utilizada en el vatímetro)

Cálculos:

$$E.H.P. = \frac{2,760}{745.7} = 3.701 \text{ H.P.}$$

$$W.H.P. = \frac{1.124 \text{ l/seg} \times 0.9997528 \times 90.953 \frac{m \frac{Kg}{l}}{Kg}}{76.112} = 1.343 \text{ H.P.}$$

$$\eta_{M B} = \frac{1.343 \text{ H.P.}}{3.701 \text{ H.P.}} = 0.363$$

3.4 Datos para graficar las curvas H-Q, $\eta_{M B}^{-Q}$, y W_0^{-Q} las cuales determinan el punto de operación más eficiente al utilizar el tubo de 1" diámetro puesto en el HAZ DE TUBOS.

Q	Hc	W _o	η_{MB}
0.000 1/seg	100.116 m $\frac{Kg}{Kg}$	2.700 m $\frac{Kg}{Kg}$	0.000
1.124 "	90.953 "	13.446 "	0.363
1.724 "	81.808 "	27.872 "	0.455
2.222 "	73.026 "	43.956 "	0.490
2.564 "	64.207 "	57.645 "	0.474
2.941 "	54.735 "	74.438 "	0.443
3.125 "	45.863 "	84.087 "	0.377
3.225 "	36.082 "	88.740 "	0.300

4. Operación en paralelo; cuando se acoplan el motor de 1 H.P. y la bomba de simple impulsor, el motor de 5 c.p y la bomba de doble impulsor, utilizándose los manómetros 1 y 6, conectadas las líneas azules P₂ a una relación de escala para 10 amperes en los transformadores T-1 y T-2.

4.1 Datos para graficar la curva carga total-capacidad.

H	Q
46.097 m $\frac{Kg}{Kg}$	0.000 1/seg
41.170 "	0.746 "
36.244 "	1.333 "
31.670 "	2.128 "
28.842 "	2.500 "
27.225 "	3.226 "
24.571 "	4.167 "
22.793 "	4.762 "

Cálculos que indican el procedimiento para obtener el segundo valor de las columnas H y Q, a partir de la información de los incisos A-1.1 y B-4

Ecuaciones:

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{y} \quad H = \frac{P_D - P_S}{\rho}$$

cálculos:

$$Q = \frac{100 \text{ l}}{134 \text{ seg}} = 0.746 \text{ l/seg}$$

$$P_D = 60 \text{ psig} \times \frac{1 \text{ atm}}{14.7 \text{ psig}} \times \frac{10,333 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}}{1 \text{ atm}} = 42,175.510 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

$$P_S = 1.5 \text{ psig} \times \frac{1 \text{ atm}}{14.7 \text{ psig}} \times \frac{10,333 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}}{1 \text{ atm}} = 1,054.388 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

$$\rho = 998.8029 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$H = \frac{(42,175.510 - 1,054.388) \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}}{998.8029 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} = 41,170 \text{ m} \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$$

4.2 Datos para graficar la curva H-Q en paralelo experimental y las curvas H-Q experimentales para cada bomba, las cuales serán sumadas gráficamente en paralelo y posteriormente comparadas con la experimental.

Datos del inciso C-4.1

H	Q
46.097 $\frac{\text{Kg}}{\text{mKg}}$	0.000 ℓ/seg
41.170 "	0.746 "
36.244 "	1.333 "
31.670 "	2.128 "
28.842 "	2.500 "
27.225 "	3.226 "
24.571 "	4.167 "
22.793 "	4.762 "

Datos del inciso C-1.1

Hc	Q
28.771 $\frac{\text{mKg}}{\text{Kg}}$	0.000 ℓ/seg
27.142 "	1.136 "
26.015 "	1.587 "
24.582 "	2.083 "
23.571 "	2.222 "
22.614 "	2.500 "

Datos del inciso C-2.1

Hc	Q
72.434 $\frac{\text{mKg}}{\text{Kg}}$	0.000 ℓ/seg
69.256 "	1.053 "
62.545 "	1.923 "
58.741 "	2.326 "
54.614 "	2.703 "
49.461 "	3.030 "
44.009 "	3.333 "

4.2.1 Datos para graficar las curvas H-Q de cada bomba proporcionadas por el fabricante, las cuales serán comparadas con los datos graficados anteriores experimentales bajo las mismas R.P.M. de operación.

Datos del inciso A-2.1

Datos del inciso A-2.2

H	Q	H	Q
28.885 $m \frac{Kg}{Kg}$	0.000 l/seg	77.952 $m \frac{Kg}{Kg}$	0.000 l/seg
28.447 "	0.756 "	74.834 "	0.798 "
28.010 "	1.209 "	74.210 "	1.037 "
27.572 "	1.512 "	72.963 "	1.595 "
26.697 "	2.268 "	67.974 "	2.393 "
24.946 "	3.024 "	59.243 "	3.190 "
22.758 "	3.780 "	49.869 "	3.988 "
19.694 "	4.535 "	35.858 "	4.785 "
18.819 "	4.687 "	24.945 "	5.184 "

4.3 Datos para graficar la curva $\eta_{M3} - Q$

Q	$\eta_{M B}$
0.000 l/seg	0.000
0.746 "	0.102
1.333 "	0.158
2.128 "	0.217
2.500 "	0.223
3.226 "	0.262
4.167 "	0.295
4.762 "	0.309

4.4 Datos para graficar las curvas H-Q, $\eta_{M B} - Q$, y $W_o - Q$, las cuales determinan el punto de operación más eficiente al utilizar el tubo de 2" dispuesto en el has de tubos.

Q	H	W_o	$\eta_{M B}$
0.000 l/seg	46.097 $m \frac{Kg}{Kg}$	2.700 $m \frac{Kg}{Kg}$	0.000
0.746 "	41.170 "	3.065 "	0.102
1.333 "	36.244 "	5.627 "	0.158

Q	H	W _o	μ M B
2.128 l/seg	31.670 $m \frac{\vec{K}g}{Kg}$	8.130 $m \frac{\vec{K}g}{Kg}$	0.217
2.500 "	28.842 "	14.134 "	0.223
3.226 "	27.225 "	17.237 "	0.262
4.167 "	24.571 "	26.200 "	0.295
4.762 "	22.793 "	34.492 "	0.309

PLANTA <u>LAB. DE ING. QUIMICA</u>	CONTRATO N°	HOJA	DE
LOCALIZACION <u>U. N. A. M.</u>	REQUISICION N°	FECHA	
CLAVE	FECHA POR	APROBADA POR	
N° UNIDADES <u>1 UNA</u>			

B O M B A S C E N T R I F U G A S

2	SERVICIO <u>PARA PRACTICAS DE LABORATORIO CON BOMBAS EN SERIE Y PARALELO</u>			
3	EN LÍNEA CONTINUO		ACCIONADOR	
4	DE RELEVOS <u>FUNCION INTERMITENTE</u>		ACCIONADOR <u>MOTOR ELECTRICO</u>	
5	FABRICANTE BOMBA <u>GOULDS PUMPS</u>		TAMANO Y TIPO <u>1 X 1.5 (PULG.) - DOS PASOS.</u>	
6	CONDICIONES DE OPERACION			
7	LIQUIDO A GUA CLARA: 45.178 GPM a T.B. NORM. 17°C		10%+	
8	P. DESCARGA Kg/cm ² man 4.7			
9	TEMP BOMBEO (T.B.) °C 17°C		P. SUC. Kg/cm ² man MAX 345	
10	DENS. REL (ρ p/ρ) a T.B. 0.9997528		P. DIF Kg/cm ² 2.045	
11	P. VAPOR a T.B. Kg/cm ² ABS 0.01924		COLUMNA DIF m 2.70	
12	VISCOSIDAD a T.B. cp 1.125		NPSH DISP a PT m 8.7	
13	CORR. ERO. (CAUSADA POR X)		POTENCIA HIDRAULICA 1.89 H.P.	
14	CONSTRUCCION Y MATERIALES			
15	CARCAZA - MONTAJE (EJE) (BASE X) (MENSULA) (VERTICAL)			
16	- TAPA (AXIAL) (RADIAL X)			
17	- TIPO (VOLUTA SIMPLE) (DOBLE VOLUTA) (DIFUSOR X)			
18	- BARRENOS (RECAMBIO) (VEN'EO) (DRENE) (MANOMETR)			
19	BOQUILLAS	DIAM	CLASIF. ASA	CARA POSICION
20	SUCCION	1.5"		REALZADA HOR./VER.
21	DESCARGA			
22	IMPULSOR T PC	DIAM DISEÑO	MAX	
23	BALEROS No	RADIAL X	AXIAL	
24	COPE Y GUARDA		PLACA DE BASE	
25	EMPAQUE			
26	SELLO MECANICO	CODIGO	FABR. GOULDS	
27	CLAVE DE LOS	CARCAZA	MATERIA L.	
28	MATERIALES	PARTES INTERNAS		
29	IMPULSOR			
30	INTERIORES (CARCAZA)			
31	CAMISA (EMPAQUADA)			
32	CAMISA (DE SELLO)			
33	PARTES DESGASTABLES			
34	LECHA			
35				
36				
37				
38				
39	MOTOR POR	TURBINA POR		
40	CLAVE <u>6</u>	MONTADA POR	CLAVE	MONTADA POR
41	HP <u>5</u>	RPM <u>3540</u>	HP	RPM
42	MARCA <u>LEM WESTINGHOUSE</u>		MARCA	TIPO
43	TIPO <u>1</u>	ASLAMIENTO	VAPOR ENT Kg/cm ² man	
44	ENVOLT	ELEV TEMP <u>40</u> °C	ESCAPE Kg/cm ² man	
45	VOLT/PSI. CICLOS <u>220/3/60</u>		CONSUMO DE VAPOR	Kg/BHP/h
46	BALEROS	LUBR	BALEROS	LUBR
47	IMP PLEGA CARGA <u>1.3</u>		BOQUILLAS DIAM	CLASIF. ASA
48			ENTRADA	POSIC
49			SALIDA	
50	REGIDA POR CODIGO (M. G.) SI NO SE ESTABLECI OTRA COSA			
	EXCEPCIONES (ESPECIFICAR)			

FORM-A-11A-C

T E R C E R A P A R T E

CLASIFICACION Y TEORIA DE LA BOMBA
CENTRIFUGA

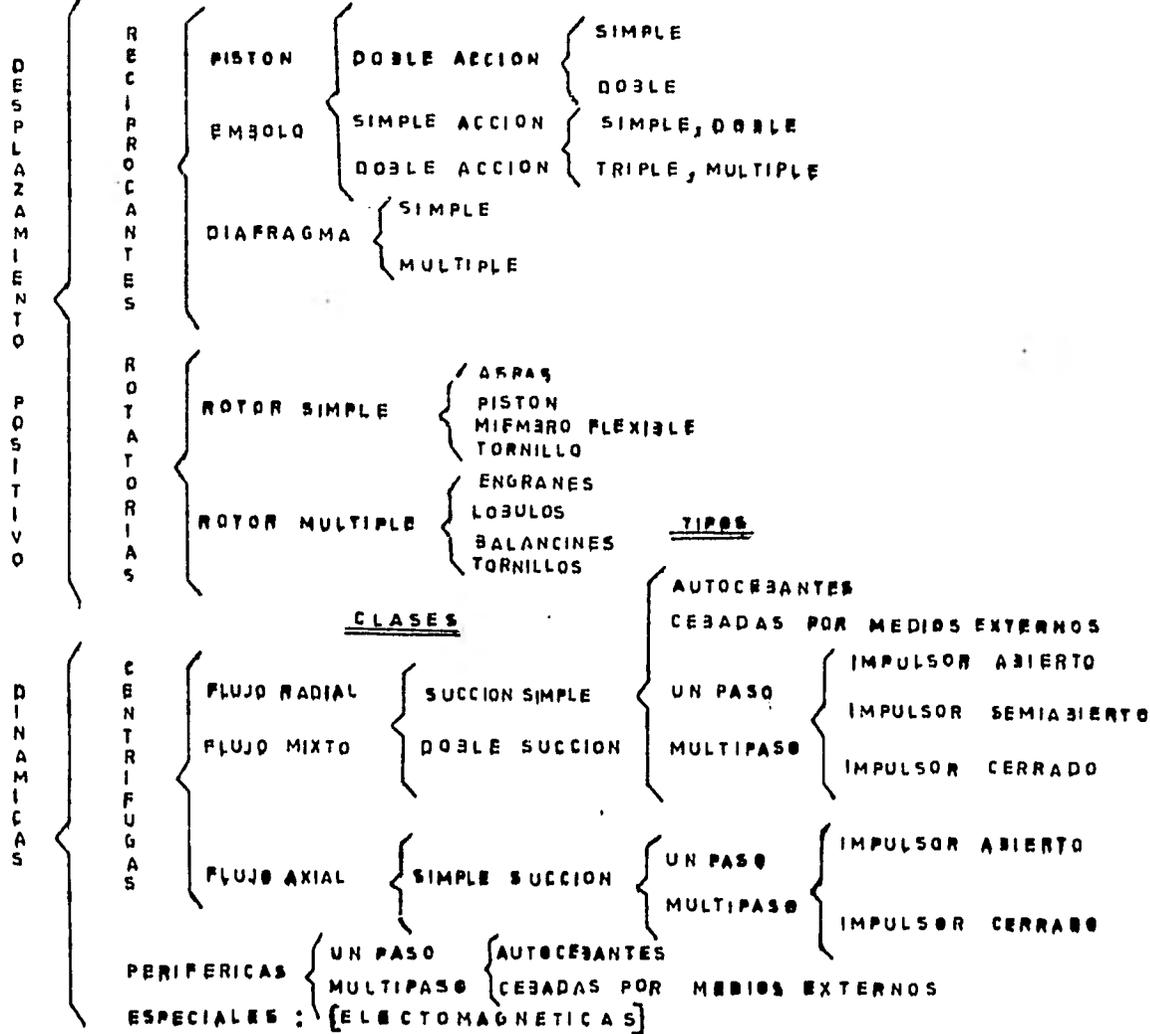
Clasificación y teoría de la bomba centrífuga.

1.- Definición de bomba centrífuga.- Es una máquina que -- sirve para transportar líquidos y consiste de una pieza rotatoria llamada impulsor dispuesto dentro de una carcaza, el cual imparte energía al fluido por la fuerza centrífuga. Despojada de todos los refinamientos, una bomba centrífuga consta de dos elementos principales: (1) un elemento giratorio incluyendo un impulsor y una flecha y (2) un elemento estacionario compuesto por una carcaza, estopero y chumaceras.

2.- Clasificación de las bombas.- Siendo tan variadas las bombas que existen, diversos autores les han dado clasificación personal y variada, no proporcionando una ubicación adecuada. La clasificación más completa es la del Instituto de Hidráulica en su 13a edición que es reproducida en parte, faltando subdivisiones en lo que respecta a las bombas de desplazamiento positivo ya que carece de enfoque para este propósito.

Para una amplia descripción de las bombas dinámicas -- centrífugas consultar las referencias de la bibliografía propuesta No. 5, 6, 18 y 20; donde se describe la división de las tres clases según su flujo (radial, -- mixto y axial), así como la división de los dos tipos -- según el número de pasos (un paso y paso múltiple).

BOMBAS



3.- Teoría de la bomba centrífuga.- Esta teoría comprende el estudio de los componentes de la velocidad del flujo, el cual se hace más explícito cuando se recurre a un procedimiento gráfico en el que se usan vectores. La forma de tal diagrama vectorial es triangular y se conoce como triángulo de velocidad, estos se pueden trazar para cualquier punto de la trayectoria de flujo a través del impulsor pero usualmente sólo se hacen para la entrada y salida del mismo.

Los tres lados vectores del triángulo son:

U : Velocidad periférica tangencial del impulsor de la bomba.

W : Velocidad relativa del fluido para un observador situado en el impulsor (en movimiento).

C : Velocidad absoluta del fluido para un observador situado en la carcasa (esta última es siempre igual a la suma vectorial de la periférica tangencial y la relativa).

En la figura 1 se muestran los vectores en el impulsor así como los triángulos de entrada y salida.

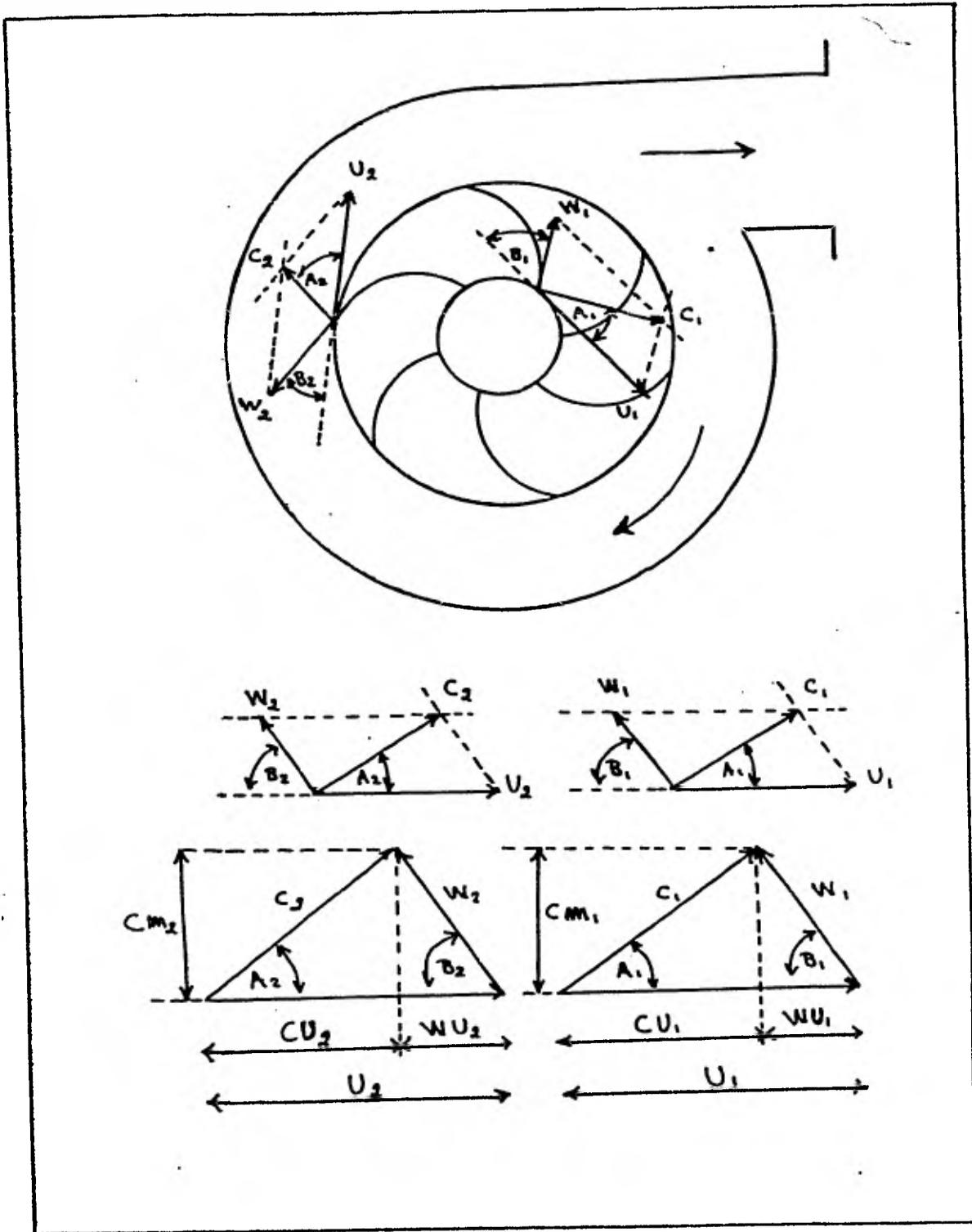


FIGURA 1

Los componentes de la velocidad absoluta normales a la velocidad periférica tangencial son designados como cm_1 y cm_2 para los diagramas de entrada y salida. Esta componente es radial o axial, según sea el impulsor, en general se llamará meridional y llevará la letra m . Todas las velocidades se considerarán velocidades promedio para representar el triángulo de velocidades.

Carga teórica de una bomba centrífuga.

Consideremos una masa líquida que llene completamente el espacio entre dos aspas del impulsor ver figura 2. En un instante ($t = 0$) su posición es $a b c d$ y después de un intervalo de tiempo (dt) su posición ha cambiado $a, e f g h$.

Al salir una capa de espesor diferencial $a b e f$, entra otra masa líquida igual, en un intervalo de tiempo (dt) representada por $c d g h$.

La parte $a b g h$ de líquido contenido entre las aspas, no cambia su momentum hidráulico. Por lo tanto, el cambio del momentum hidráulico del contenido total considerado está dado por el cambio de momentum de la masa (dm) que entra al impulsor y la masa (dm) que sale.

Este cambio de momentum hidráulico es igual al momentum de todas las fuerzas externas aplicadas al líquido contenido entre las dos aspas.

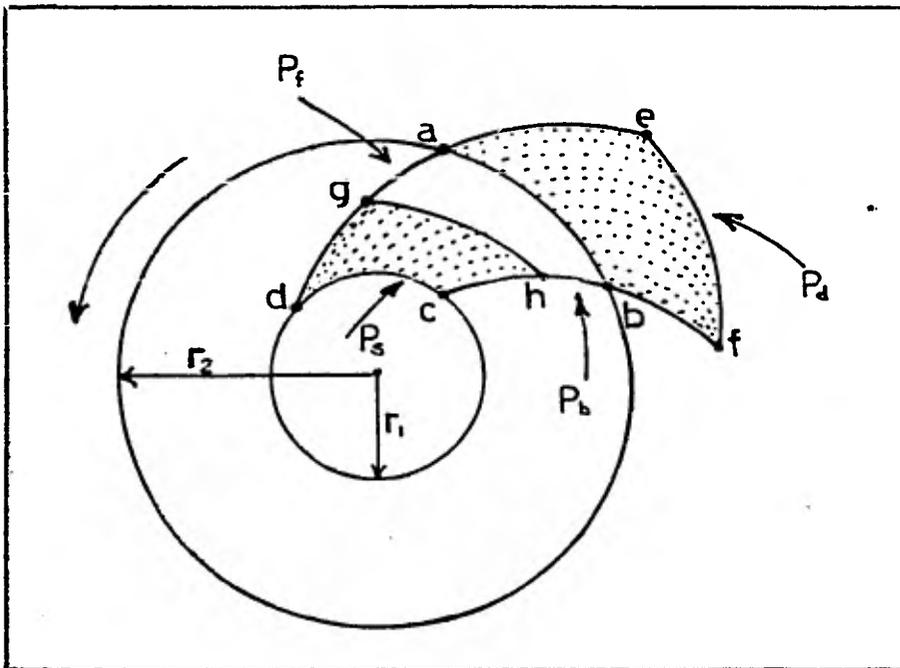


FIGURA 2

Deducción de la expresión

En un cierto tiempo dt entra al impulsor un volumen dV cuya masa es:

$$dM = \rho dV \quad \dots (1)$$

su impulso hidráulico valdrá:

(se sabe que impulso = masa x velocidad)

$$I_1 = d M C_1 \quad \dots (2)$$

$$I_2 = d M C_2 \quad \dots (3)$$

Los momentums angulares hidráulicos de entrada y salida serán:

(se sabe que momentum angular = masa x radio x velocidad)

$$Mh_1 = dM r_1 C_1 \cos A_1 \quad \dots(4)$$

$$Mh_2 = dM r_2 C_2 \cos A_2 \quad \dots(5)$$

El par o torque angular por unidad de tiempo, suministrado por el impulsor será:

(se sabe que torque angular = variación del momentum angular/variación de tiempo)

$$T = \frac{\Delta Mh}{d t} = \frac{(d M r_2 C_2 \cos A_2 - d M r_1 C_1 \cos A_1)}{d t}$$

$$T = \frac{\Delta Mh}{d t} = \frac{d M}{d t} (r_2 C_2 \cos A_2 - r_1 C_1 \cos A_1) \dots(6)$$

Ahora bien, las fuerzas externas aplicadas al líquido contenido entre las aspas son: a) Las presiones P_f y P_b sobre los lados ga y hb , b) Las presiones P_d y P_s sobre los lados ab y dc , c) Las fuerzas de fricción hidráulica que se oponen al flujo relativo.

Todos estos valores son muy pequeños en comparación a los considerados anteriormente por lo que serán despreciados en este análisis.

La potencia suministrada al impulsor de la bomba por el motor con movimiento circular será:

$$P = T \times w \quad \dots(7)$$

Donde T es el torque angular y w la velocidad angular.

Por otro lado, la potencia obtenida por la bomba a 100% de eficiencia es:

$$P = Q \int H \times 9.806 \quad \dots(8)$$

La ecuación anterior fue multiplicada por el factor de $1 \text{ Kg } \frac{\text{m}}{\text{seg}} = 9.806$ vatios para obtener unidades iguales a la ecuación (7).

Si multiplicamos la ecuación (6) por W tendremos:

$$T W = P = \frac{dM}{dt} w (r_2 C_2 \cos A_2 - r_1 C_1 \cos A_1) \quad \dots(9)$$

Qué es la potencia hidráulica aplicada al líquido por las aspas del impulsor.

Si la potencia suministrada al impulsor es igual a la potencia proporcionada por la bomba, entonces la ecuación (8) es igual a la ecuación (9).

$$9.806 Q \int H = \frac{dM}{dt} w (r_2 C_2 \cos A_2 - r_1 C_1 \cos A_1) \quad \dots(10)$$

Se sabe que (velocidad lineal = velocidad angular x radio), así que las velocidades lineales tangenciales de entrada y salida en el impulsor de la bomba será la siguiente:

$$U_1 = w r_1 \quad \dots(11)$$

$$U_2 = w r_2 \quad \dots(12)$$

De los triángulos de velocidades de la figura 1 tenemos:

$$C U_1 = C_1 \cos A_1 \quad \dots(13)$$

$$C U_2 = C_2 \cos A_2 \quad \dots(14)$$

Además:

$$Q = \frac{dv}{dt} \quad \dots(15)$$

Sustituyendo (1) y (15) en (10) obtendremos:

$$9.806 \frac{dv}{dt} \int H = \int \frac{dv}{dt} w (r_2 C_2 \cos A_2 - r_1 C_1 \cos A_1)$$

Sustituyendo (11) y (12), (13) y (14) en la ecuación anterior se tendrá:

$$H = \frac{U_2 C U_2 - U_1 C U_1}{9.806} \quad \dots(16)$$

Esta ecuación debe ser dividida por el factor g_c para obtener unidades de carga hidráulica $m \text{ Kg}^{\frac{1}{2}} / \text{Kg}$, por lo tanto:

$$H = \frac{U_2 C U_2 - U_1 C U_1}{9.806 g_c} \quad \dots(17)$$

Para poder reducir esta ecuación es necesario definir lo siguiente:

Flujo radial.- Es la trayectoria de una partícula de líquido la cual está fluyendo a través de una posición en el impulsor con un plano perpendicular al eje de rotación.

Flujo axial o paralelo.- Es la trayectoria de una partícula de líquido la cual permanece a una distancia

constante del eje de rotación del impulsor.

Flujo mixto.- Se presenta cuando una partícula de líquido entra al impulsor radialmente y esta es descargada axialmente o viceversa.

De la ecuación (17) se deduce que para obtener la máxima carga, el líquido debe penetrar radialmente en el impulsor, con lo cual $CU_1=0$ y debe salir formando un ángulo lo más pequeño posible para que CU_2 tienda a 1.

Es decir, por la definición de flujo radial

$$\cos 90^\circ = 0 \text{ por lo que}$$

$$C U_1 = C_1 \cos 90^\circ = 0$$

y por la definición de flujo axial

$$\cos 0^\circ = 1 \text{ por lo que}$$

$$C U_2 = C_2 \cos 0^\circ = C_2; \text{ como valor máximo,}$$

por lo tanto la ecuación (17) se reduce a

$$H = \frac{U_2 CU_2}{9.806 g_c} \quad \dots(18)$$

La ecuación anterior representa la operación teórica máxima de una bomba, es decir, la válvula de descarga cerrada, la bomba llena de líquido sin escurrimiento a través de ella, girando el impulsor a velocidad óptima y penetrando el líquido en el impulsor radialmente.

La ecuación número (17) también puede tomar la forma

siguiente:

Aplicando la ley de los cosenos de la figura 3 a los triángulos de velocidades de la figura 1, tendremos:

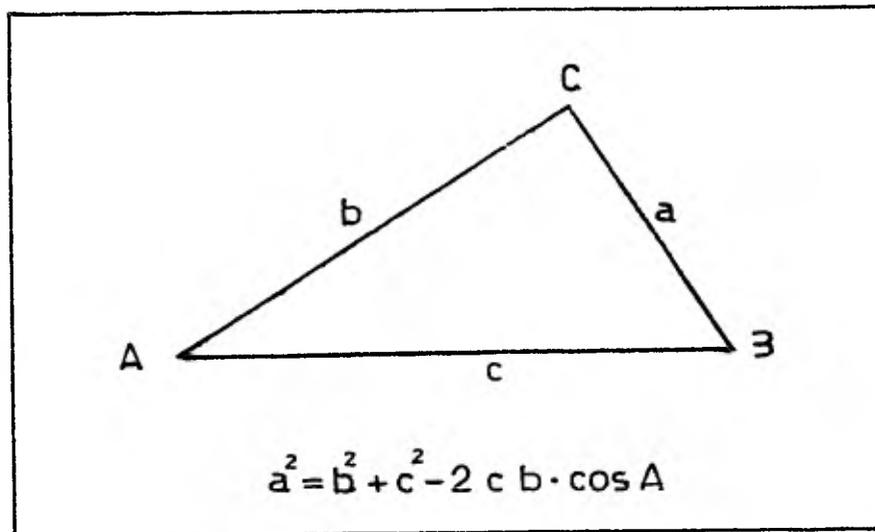


FIGURA 3

$$W_1^2 = C_1^2 + U_1^2 - 2 U_1 C_1 \cos A_1 \quad \dots(19)$$

$$W_2^2 = C_2^2 + U_2^2 - 2 U_2 C_2 \cos A_2 \quad \dots(20)$$

Sustituyendo las ecuaciones (13), (14) en (19), (20).

$$W_1^2 = C_1^2 + U_1^2 - 2 U_1 C U_1 \quad \dots(21)$$

$$W_2^2 = C_2^2 + U_2^2 - 2 U_2 C U_2 \quad \dots(22)$$

Donde:

$$U_1 \text{ CU}_1 = \frac{C_1^2 + U_1^2 - W_1^2}{2} \quad \dots(22)$$

$$U_2 \text{ CU}_2 = \frac{C_2^2 + U_2^2 - W_2^2}{2} \quad \dots(23)$$

Sustituyendo (22 y 23) en (17) se obtendrá:

$$H = \frac{C_2^2 + U_2^2 - W_2^2 - C_1^2 - U_1^2 + W_1^2}{2xg_c \times 9.806} \quad \dots(24)$$

O también:

$$H = \frac{U_2^2 - U_1^2}{2xg_c \times 9.806} + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2xg_c \times 9.806} + \frac{W_1^2 - W_2^2}{2xg_c \times 9.806} \quad \dots(25)$$

Sustituyendo (25) en (18) tendremos

$$H = \frac{C_2^2 + U_2^2 - W_1^2}{2xg_c \times 9.806} \quad \dots(26)$$

Las ecuaciones anteriores se conocen como ecuaciones de Euler; la (25) representa la suma de cambios de energía cinética debido a la acción de la fuerza centrífuga ejercida por el impulsor sobre la masa del líquido al pasar del diámetro D_1 al diámetro D_2 . La (26) representa el valor máximo de energía cinética debido a la acción de la fuerza centrífuga que el impulsor puede proporcionar a la masa del líquido.

Determinación de la curva teórica (carga-capacidad) de una bomba centrífuga.

La ecuación (17) representa la suma de cambios de carga que se le proporciona a la masa del líquido, de aquí que puede separarse en dos partes:

De la ecuación (17)

$$H = H_2 - H_1 \quad \dots(27)$$

$$H_2 = \frac{U_2 CU_2}{9.806 g_c} \quad \dots(28)$$

$$H_1 = \frac{U_1 UC_1}{9.806 g_c} \quad \dots(29)$$

De los triángulos de velocidad de la figura 1 se pueden obtener las siguientes identidades trigonométricas.

$$\tan B_2 = \frac{C m_2}{W U_2} \quad \dots(30)$$

$$CU_2 = U_2 - WU_2 \quad \dots(31)$$

Sustituyendo (30) en (31)

$$CU_2 = U_2 - \frac{C m_2}{\tan B_2} \quad \dots(32)$$

De igual manera se puede tener:

$$CU_1 = U_1 - \frac{C m_1}{\tan B_1} \quad \dots(33)$$

Los componentes meridionales de las ecuaciones (32) y (33) son proporcionales a las capacidades volumétricas manejadas por el impulsor de la bomba, es decir, si multiplicamos $C m_1$ por A_1 que es el área de sección transversal de las venas hidráulicas en la entrada al

impulsor obtendremos:

$$Q = A_1 C m_1 \quad \dots(34)$$

y si multiplicamos a $C m_2$ por A_2 que es el área de sección transversal de las venas hidráulicas en la salida del impulsor se obtendrá:

$$Q = A_2 C m_2 \quad \dots(35)$$

Por lo que de las ecuaciones (32) y (33) puede obtenerse sus "equivalentes proporcionales".

$$C U_2 = U_2 - \frac{0}{\tan B_2} \quad \dots(36)$$

$$C U_1 = U_1 - \frac{0}{\tan B_1} \quad \dots(37)$$

Si las dos ecuaciones anteriores se sustituyen en (28) y (29) se obtienen dos ecuaciones que representan dos líneas rectas respectivamente.

$$H_2 = \frac{U_2^2}{9.806 g_c} - \frac{U_2 Q}{9.806 g_c \tan B_2} \quad \dots(38)$$

$$H_1 = \frac{U_1^2}{9.806 g_c} - \frac{U_1 Q}{9.806 g_c \tan B_1} \quad \dots(39)$$

Si restamos la ecuación (39) de (38) se obtendrá la ecuación explícita de la carga-capacidad para una bomba centrífuga teórica, es decir:

$$H = H_2 - H_1 = \left(\frac{U_2^2}{9.806g_c} - \frac{U_2 Q}{9.806g_c \tan B_2} \right) - \left(\frac{U_1^2}{9.806g_c} - \frac{U_1 Q}{9.806g_c \tan B_1} \right) \dots (40)$$

La figura 4 representa las posibles variaciones de las ecuaciones (38) y (39).

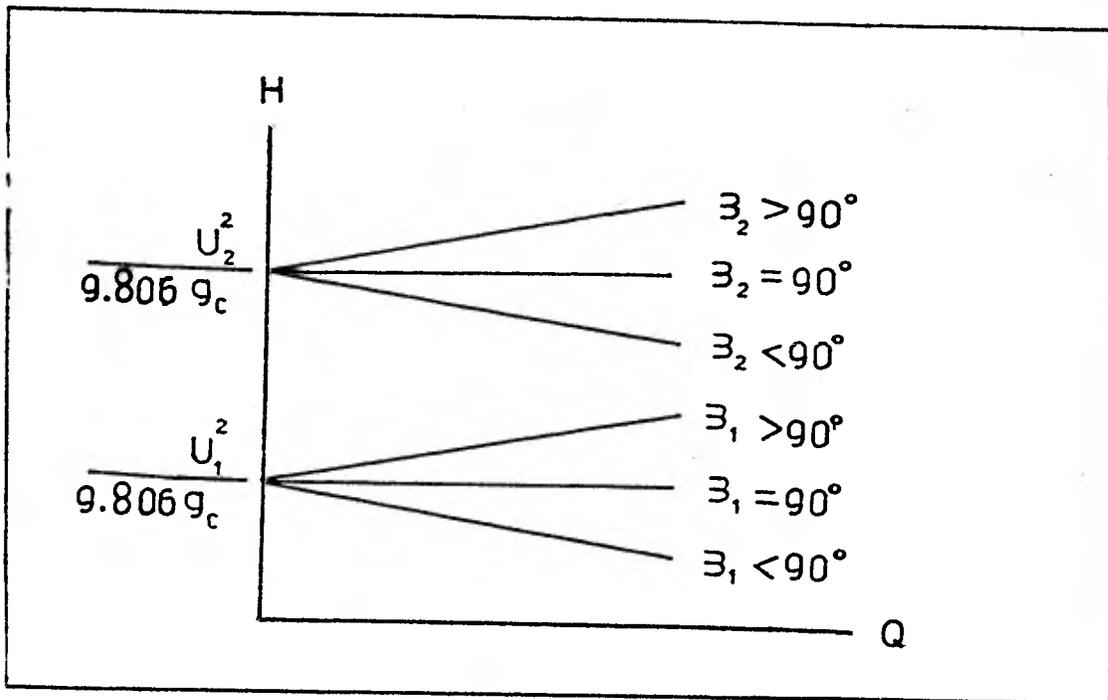


FIGURA 4

La pendiente de estas dos rectas depende del ángulo B , es decir cuando:

Angulo B	$-\frac{U}{g_c \times \tan B \times 9.806}$	Conclusiones
$B > 90^\circ$	positivo	Es una recta con pendiente positiva.
$B = 90^\circ$	tiende a cero	Es una recta paralela a Q
$B < 90^\circ$	negativo	Es una recta con pendiente negativa.

El primer caso propone que a medida que aumenta el gasto la carga también aumenta, el segundo propone que a medida que aumenta el gasto la carga permanece constante; ambos en la realidad no son posibles de obtener ya que en el primero y en el segundo se estaría creando energía en la bomba, el tercero es el que representa las condiciones reales de trabajo, es decir, hay pérdidas de energía (por recirculación, por fricciones y por roce mecánico de las piezas en movimiento a medida que aumenta el gasto). Si restamos las cargas de salida menos las cargas de entrada representadas por las rectas del tercer caso cuando $B < 90^\circ$, se obtiene la curva teórica para carga-capacidad de una bomba centrífuga representada en la figura 5

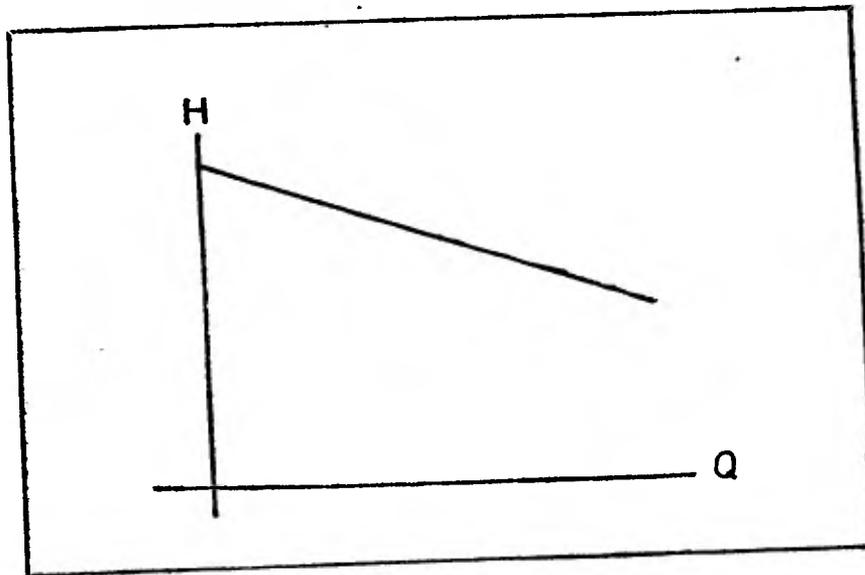


FIGURA 5

Símbolos y Unidades utilizados en la tercera parte.

C = Velocidad absoluta en $\frac{m}{seg.}$

Cm = Velocidad absoluta meridional en $\frac{m}{seg.}$

CU = Componente de velocidad en el triángulo de velocidades en $\frac{m}{seg.}$

D = Diámetro del impulsor en m.

F = Fuerza ejercida sobre la placa inferior en \vec{Kg} .

$g_c =$ Factor de transformación de Newton, $9.8 \frac{Newton}{\vec{Kg}}$ o
 $9.8 \frac{m}{seg^2} \frac{Kg}{\vec{Kg}}$

H = Carga total desarrollada por el impulsor de la bomba en $\frac{m \vec{Kg}}{Kg}$.

$H_1, H_2 =$ Cargas parciales en el impulsor de la bomba en $\frac{m \vec{Kg}}{Kg}$.

I = Impulso hidráulico en Newton x seg. ó $\frac{Kg m}{seg^2} x seg.$

M = Masa de líquido en Kg.

Mh = Momentum angular hidráulico en $\frac{Kg m^2}{seg.}$

$$P = N \times m \times \frac{\text{rad.}}{\text{seg.}} \text{ ó } \frac{\text{Joules}}{\text{seg.}} \times \text{rad.} \text{ ó } \text{Vatios} \times \text{rad.}$$

r = radio del impulsor en m.

$$T = \text{Par o torque angular en Newton} \times m \text{ ó } \frac{\text{Kg} \cdot m}{\text{seg}^2} \times m \text{ ó} \\ \text{joules.}$$

t = Tiempo en seg.

$$U = \text{Velocidad periférica tangencial en } \frac{m}{\text{seg.}}$$

V = Volumen de líquido en m^3 para la ecuación (1).

$$W = \text{Velocidad relativa del fluido en } \frac{m}{\text{seg.}}$$

$$WU = \text{Componente de velocidad en el triángulo de velocidades en } \frac{m}{\text{seg.}}$$

$$\mu = \text{Viscosidad absoluta o factor de proporcionalidad en } \frac{\text{Kg}}{m \cdot \text{seg.}} \\ \text{ó en } \frac{\text{Kg} \cdot \text{seg}}{m^2}$$

$$\rho = \text{Densidad del líquido en } \frac{\text{Kg}}{m^3}$$

$$w = \text{Velocidad angular en } \frac{\text{radianes}}{\text{seg.}}$$

1, 2 = Puntos de entrada (en el ojo del impulsor) y salida (periferia del impulsor).

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES DE LA PRACTICA

Esta práctica se aplicó a ocho grupos experimentales de -- alumnos en el Laboratorio de Ingeniería Química, obtenien-- do los siguientes resultados:

- 1.- Los objetivos planteados en la práctica fueron logra-- dos por siete de los cuatro grupos, ya que el restante lo constituyeron tres alumnos que no terminaron de rea-- lizar los cálculos y las cartas pedidas.
- 2.- Dos de los ocho grupos manifestaron no haber compendi-- do totalmente la parte eléctrica ya que todavía no cur-- saban las materias correspondientes.
- 3.- Dos de los ocho grupos manifestaron que la práctica es-- taba constituida por un número de hojas fuera de lo -- normal a las que se encontraban reportados en el libro de Prácticas de Laboratorio de Momentum y Calor, por -- lo que tendrían que dedicarle más tiempo para estudi-- arla.
- 4.- Cinco de los ocho grupos manifestaron que la práctica-- al estarla preparando les quedaba clara la idea de las variables que intervienen en el sistema de bombeo, su operación y los objetivos pedidos.
- 5.- Cuatro grupos manifestaron que esta práctica involucra demasiados cálculos al hacer intervenir experimental-- mente a las principales variables eléctricas, mecáni-- cas e hidráulicas, pidiendo un margen de tiempo mayor-- para entregar el reporte correspondiente tanto para la primera y segunda sesión.

6.- Cuatro alumnos de un grupo dijeron que la mayor parte de la teoría que conforma esta práctica no se estudió en el curso de Ingeniería Química III, en su caso se estudiaron las ecuaciones siguientes de conservación en mecánica de fluidos:

- a) De conservación de la masa
- b) De conservación del momentum
- c) De conservación del momento del momentum
- d) De conservación de la energía
- e) Las ecuaciones de estado
- f) Las ecuaciones consecutivas
- g) Las ecuaciones de estado energéticos
- h) Las ecuaciones de transformación de calor

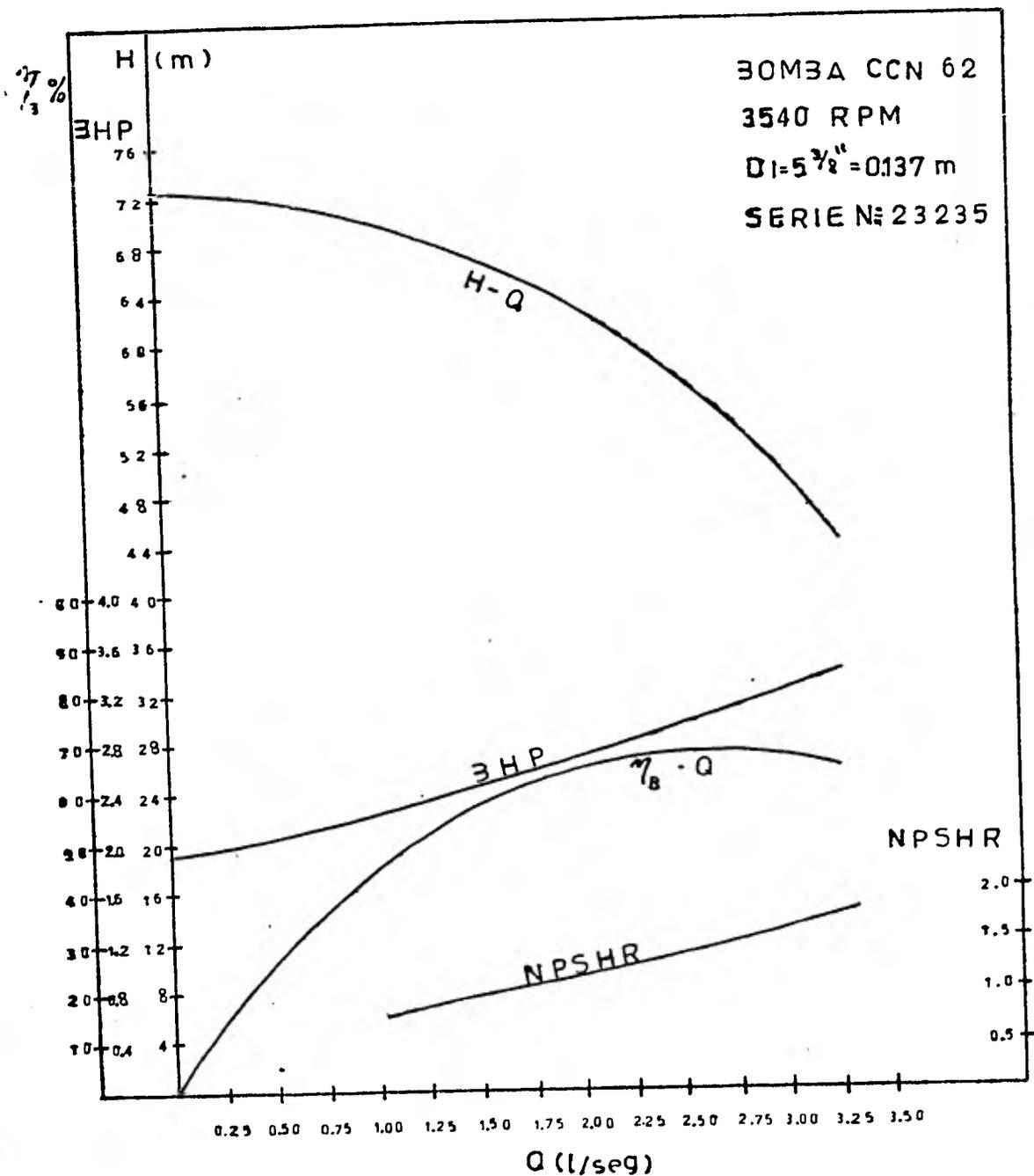
Y al entregar su reporte informaron que ahora entendían mejor las ecuaciones anteriores.

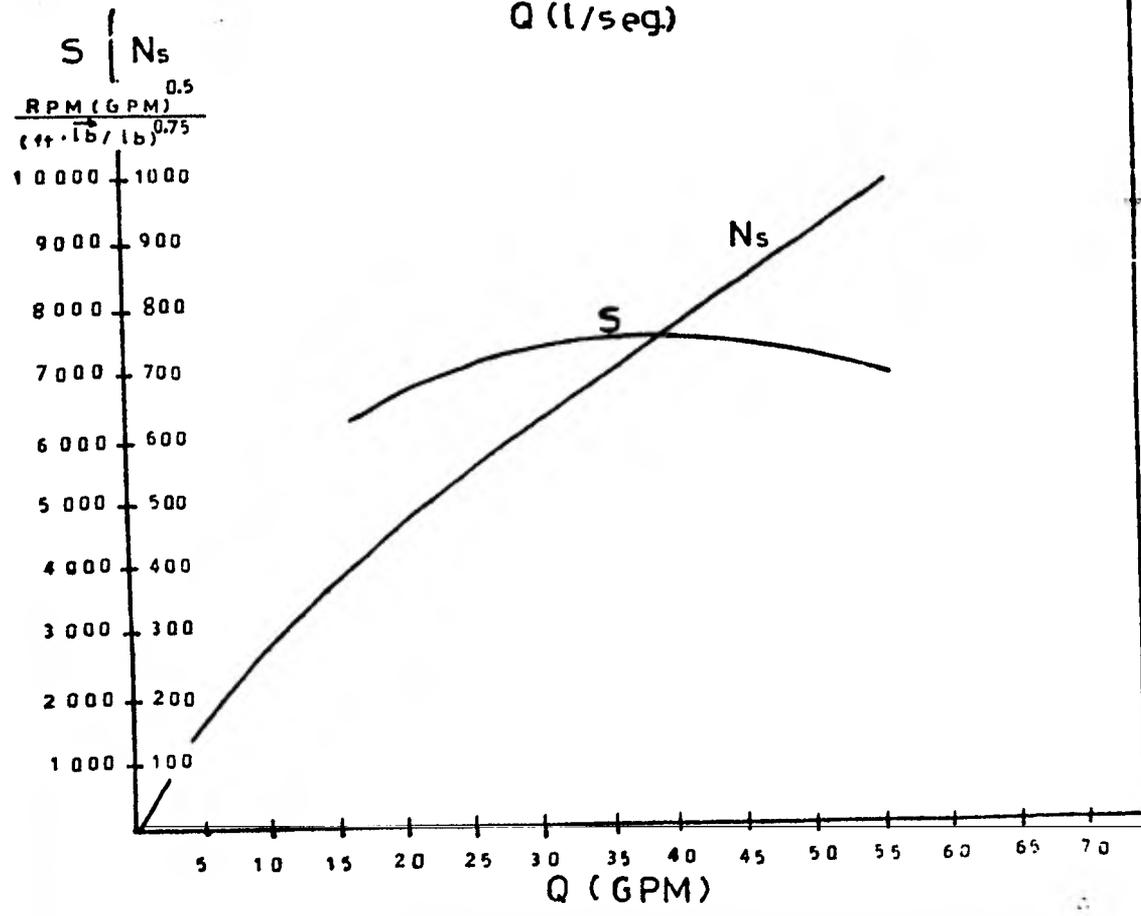
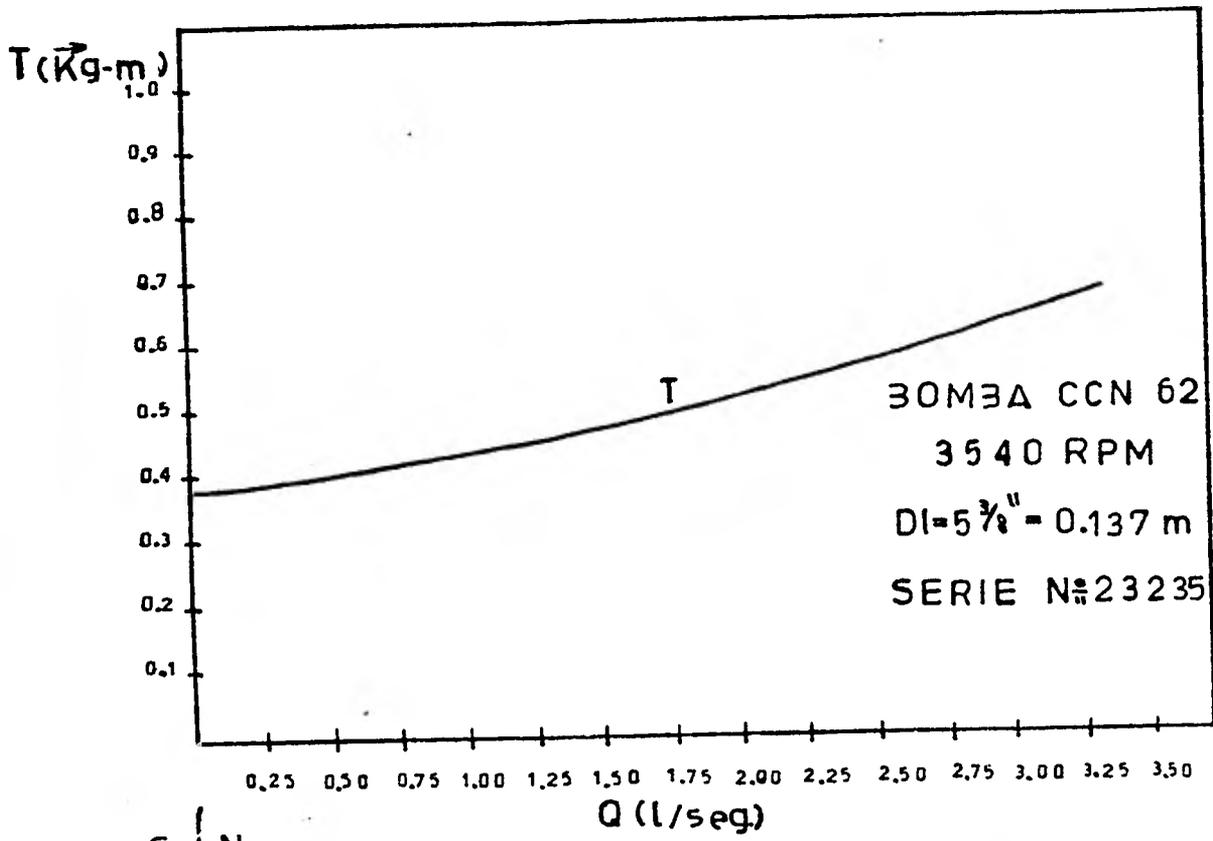
7.- Tres grupos propusieron realizar las operaciones programando su calculador y reportar el programa, los resultados y las gráficas; informándoles que esto es lo más adecuado para las exigencias actuales de la facultad.

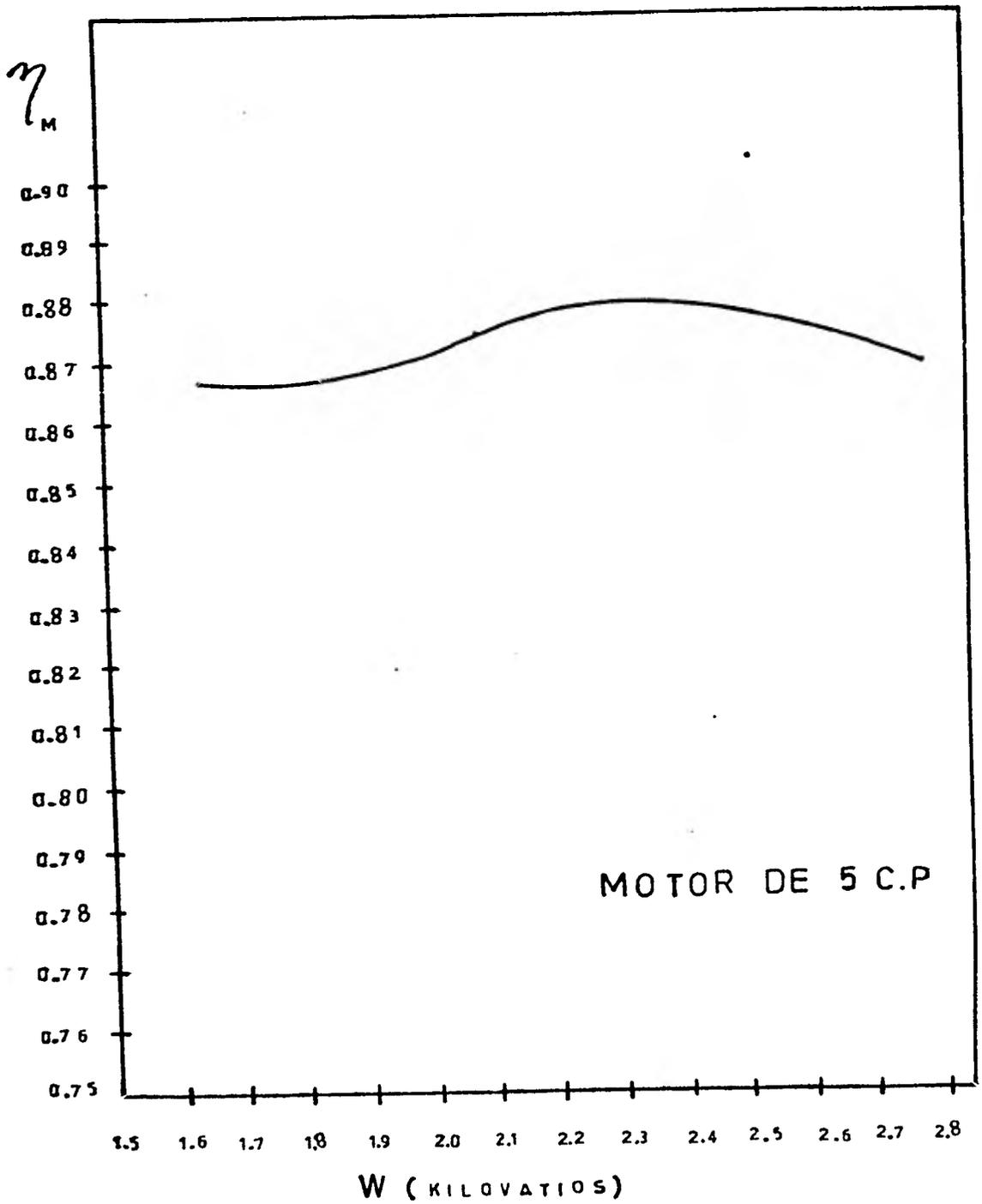
8.- Sólo tres grupos presentaron las hojas tituladas con las variables y sus unidades antes de empezar las prácticas.

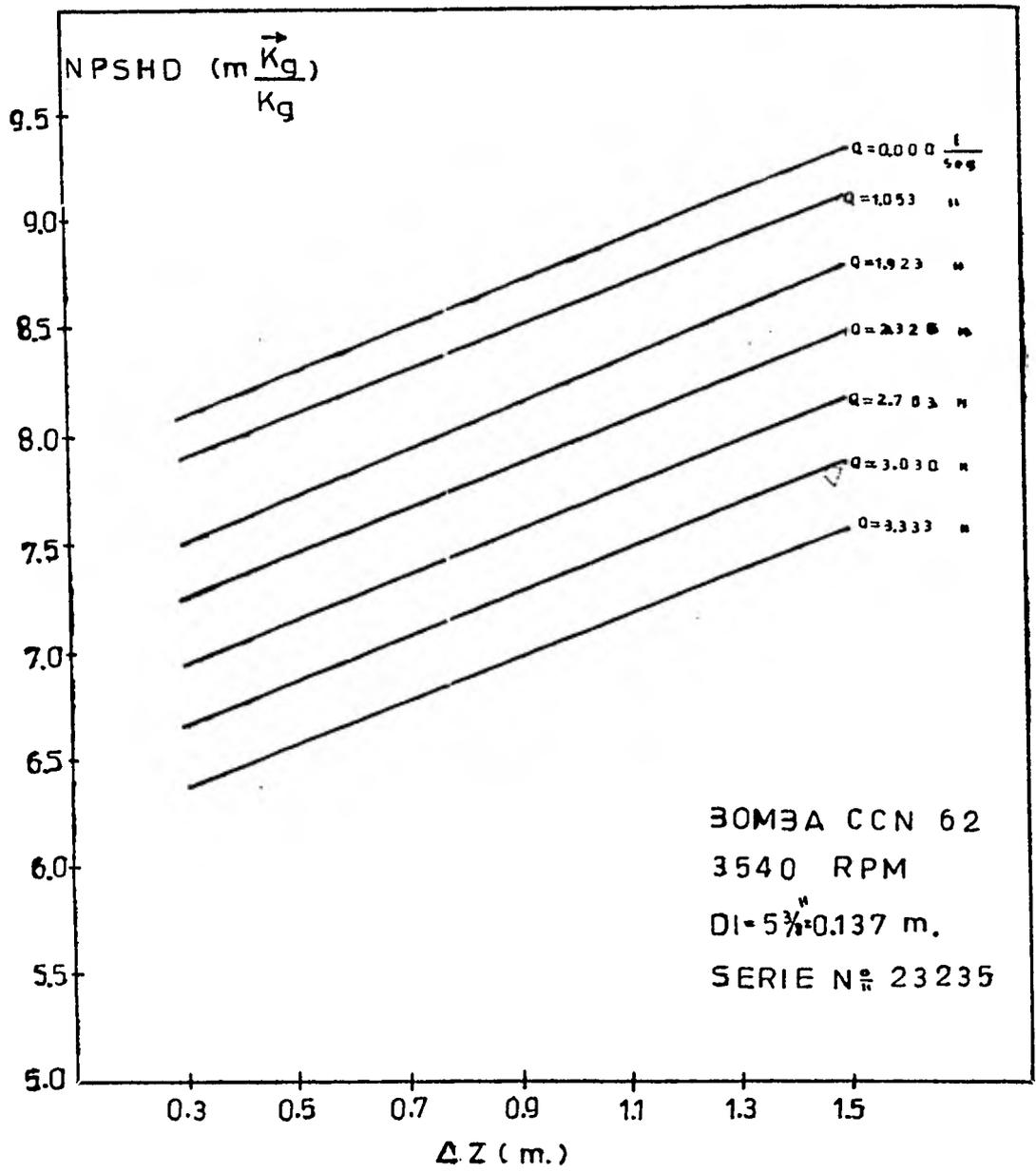
De acuerdo a la información anterior postulo que:

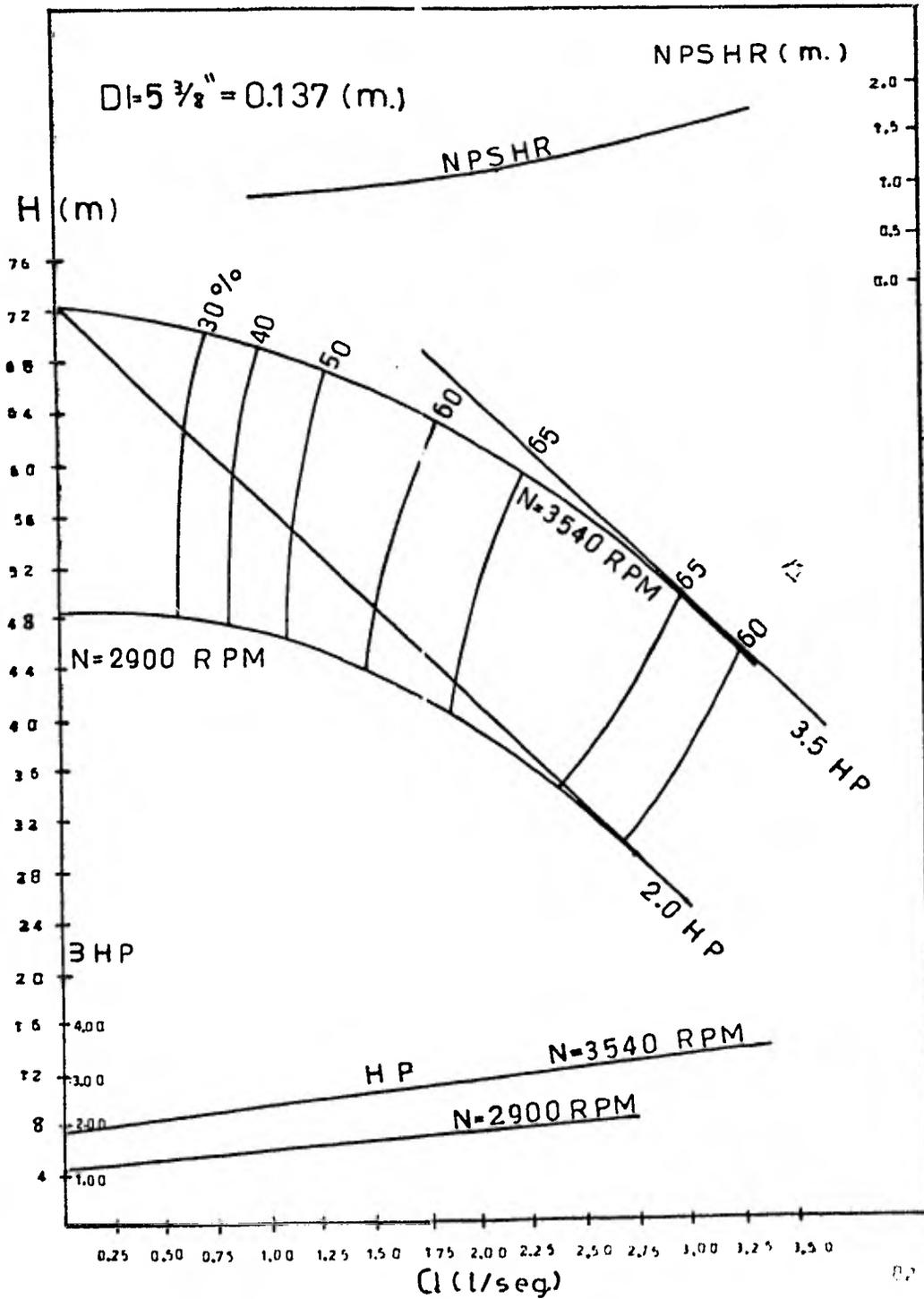
- a. Los resultados experimentales proporcionados por el - - alumno con relación a los reportes recibidos, caen dentro del criterio normal con respecto a los reportados - en este trabajo.
- b. El alumno interpretó las gráficas experimentales obteni das en la primera y segunda sesión.
- c. El trabajo reportado sí logra el objetivo planteado en las dos sesiones en las que se realizan las prácticas.
- d. Es necesario que el Laboratorio de Ingeniería Química -
cuenta con un microcomputador para que los alumnos:
 - Reporten sus resultados utilizando el microcomputa---
dor.
 - Ahorren tiempo en realizar sus cálculos cuando sean -
demasiados (como es el caso de la presente práctica).
 - Y simulen las prácticas para comparar los resultados-
con los obtenidos por el equipo operado en condicio--
nes reales.

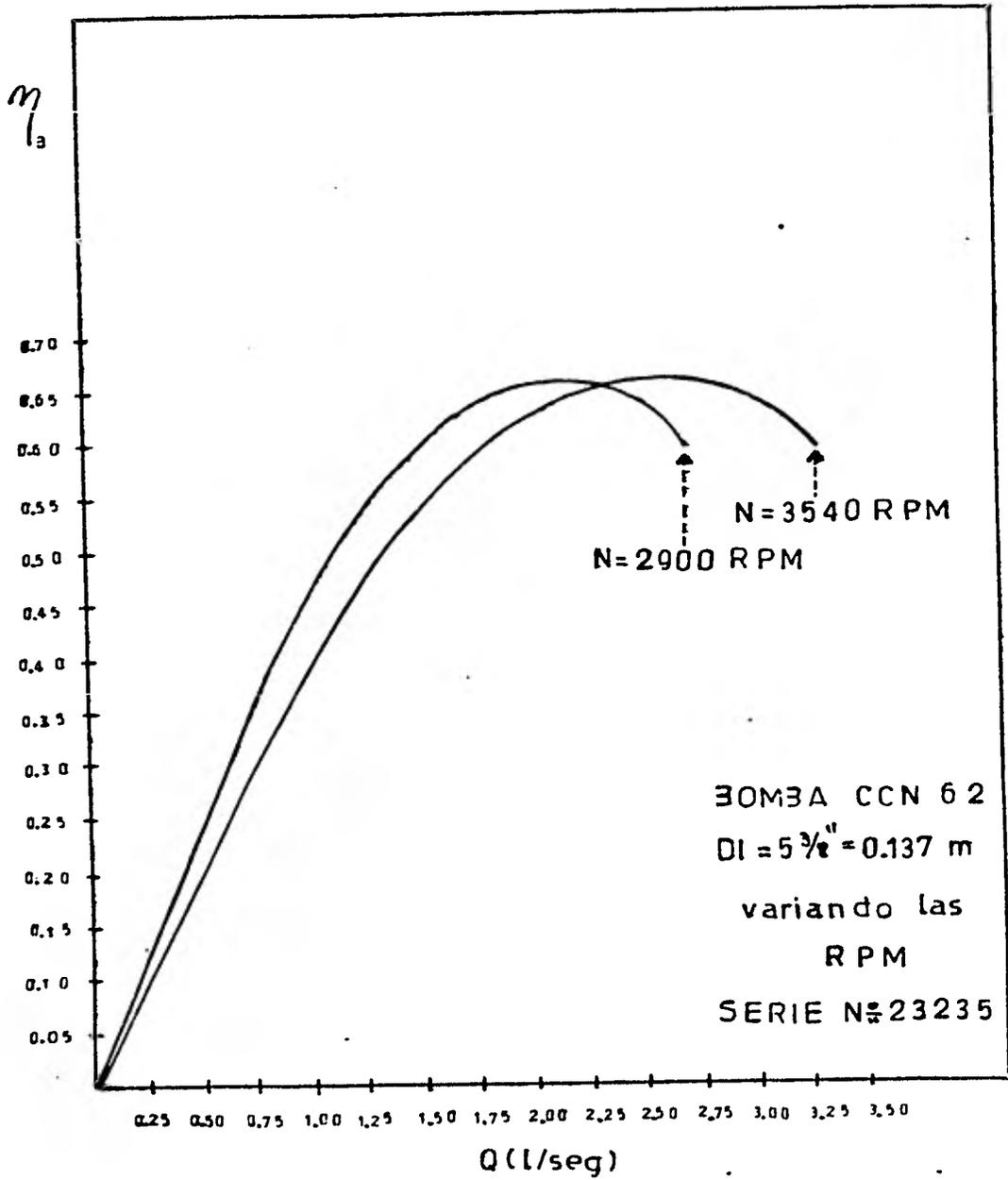


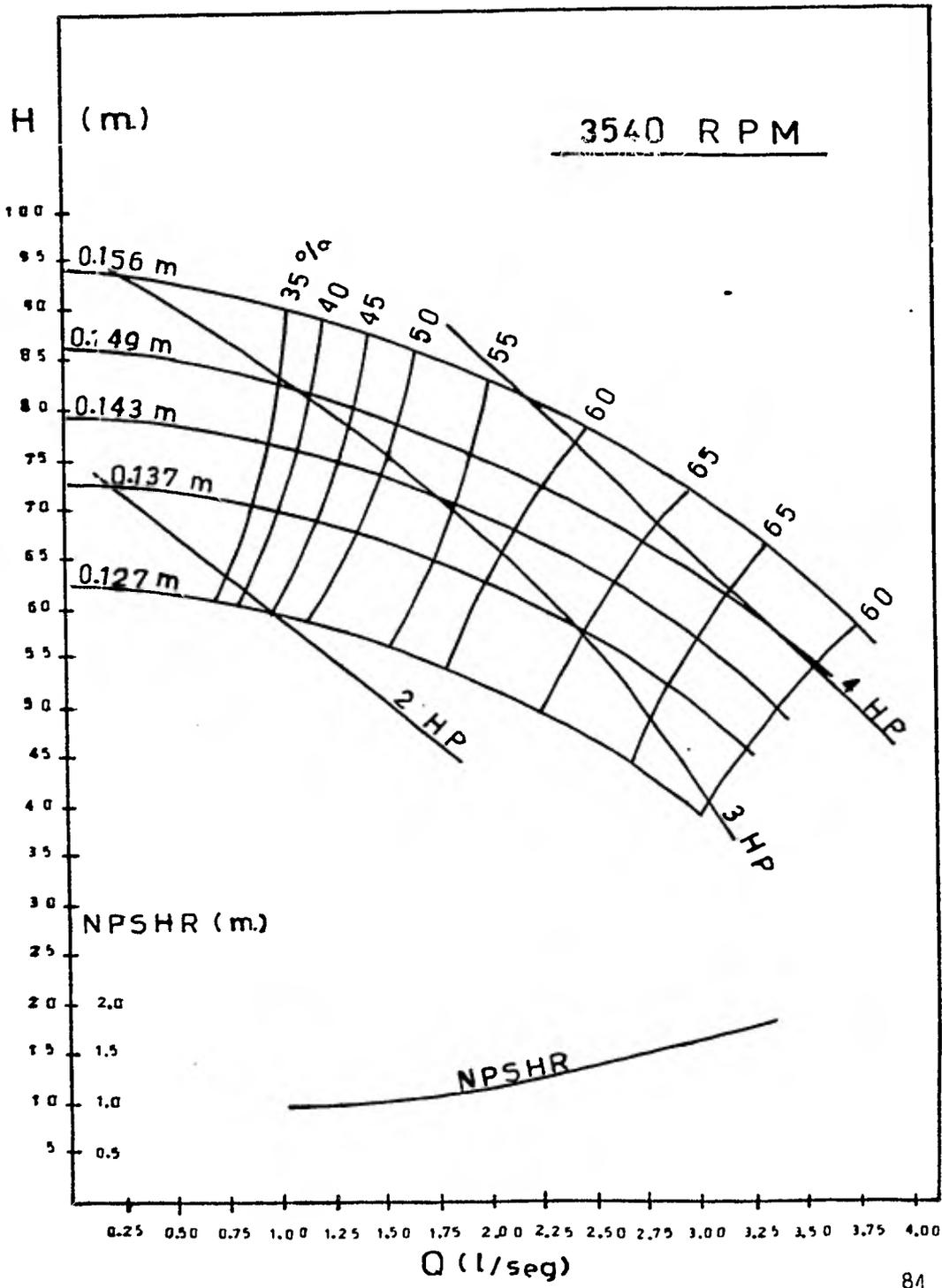










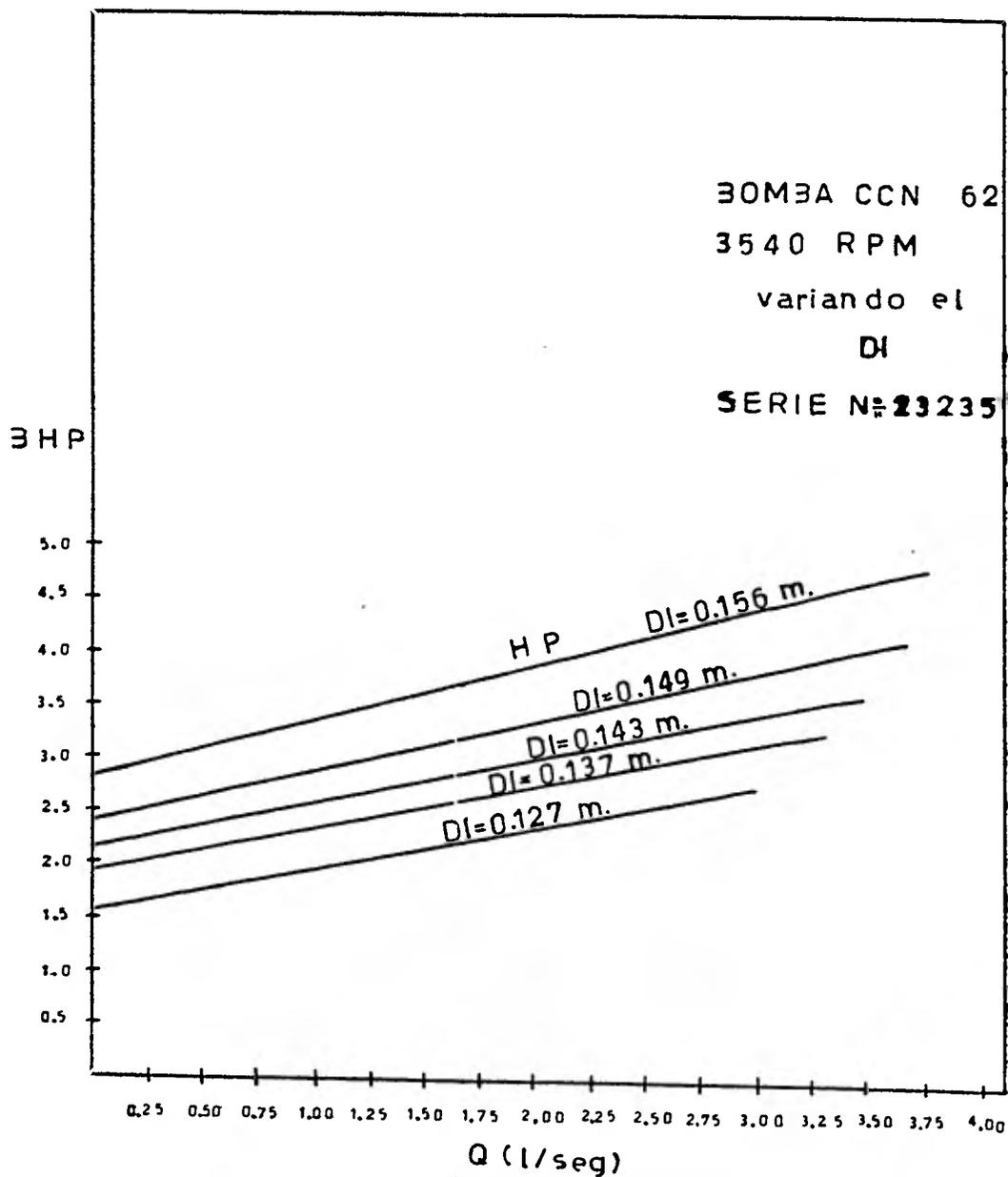


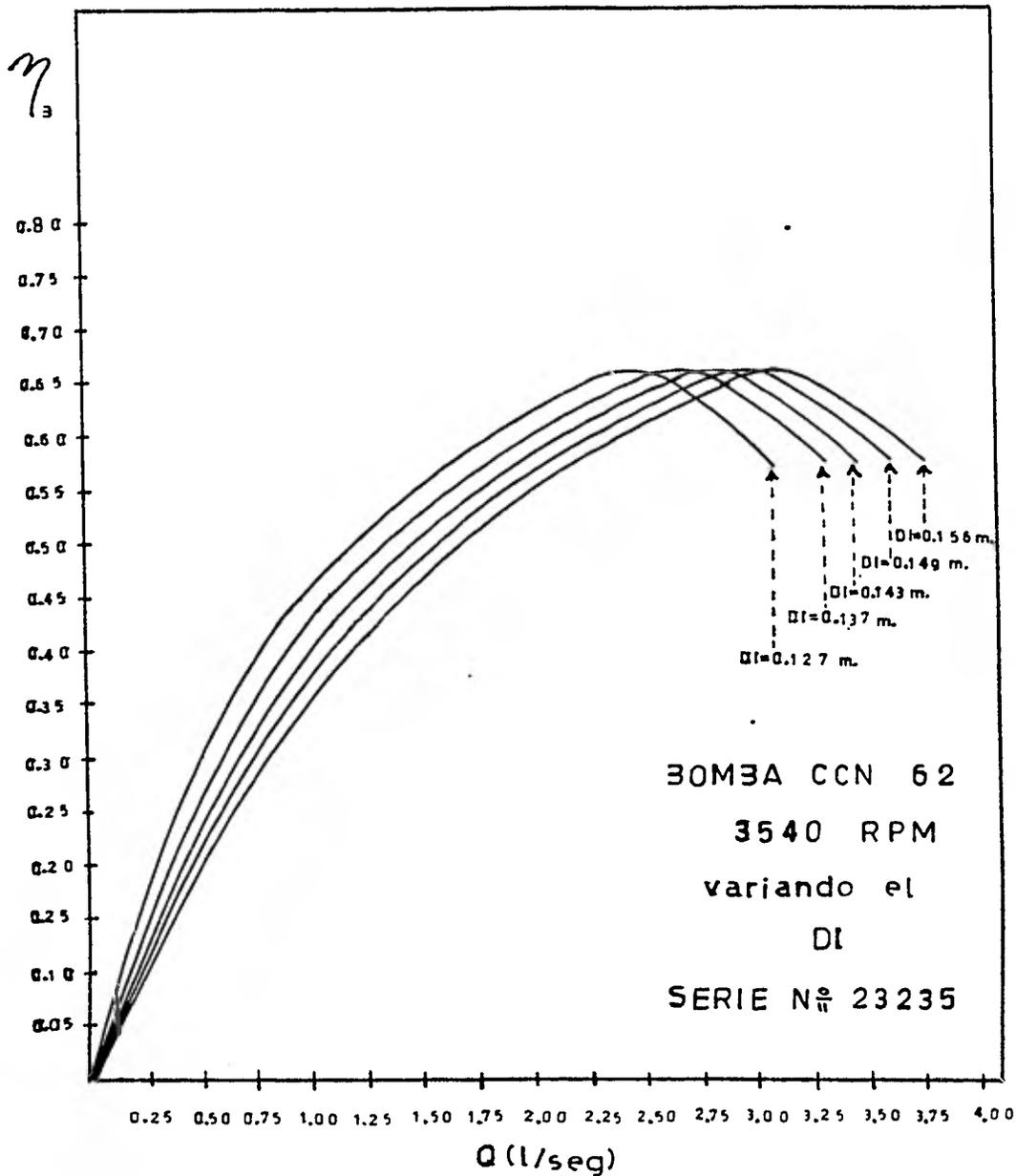
BOMBA CCN 62

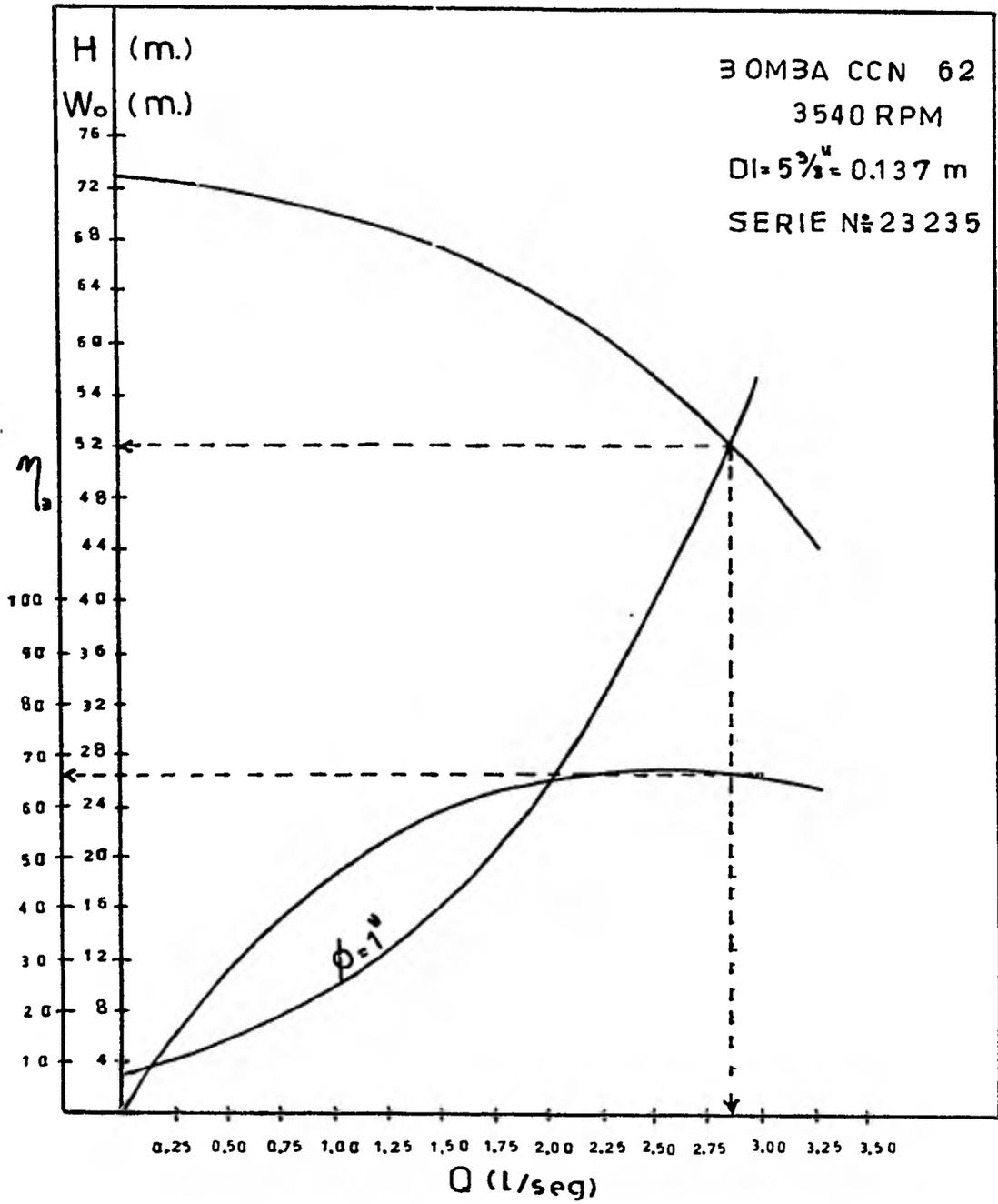
3540 RPM

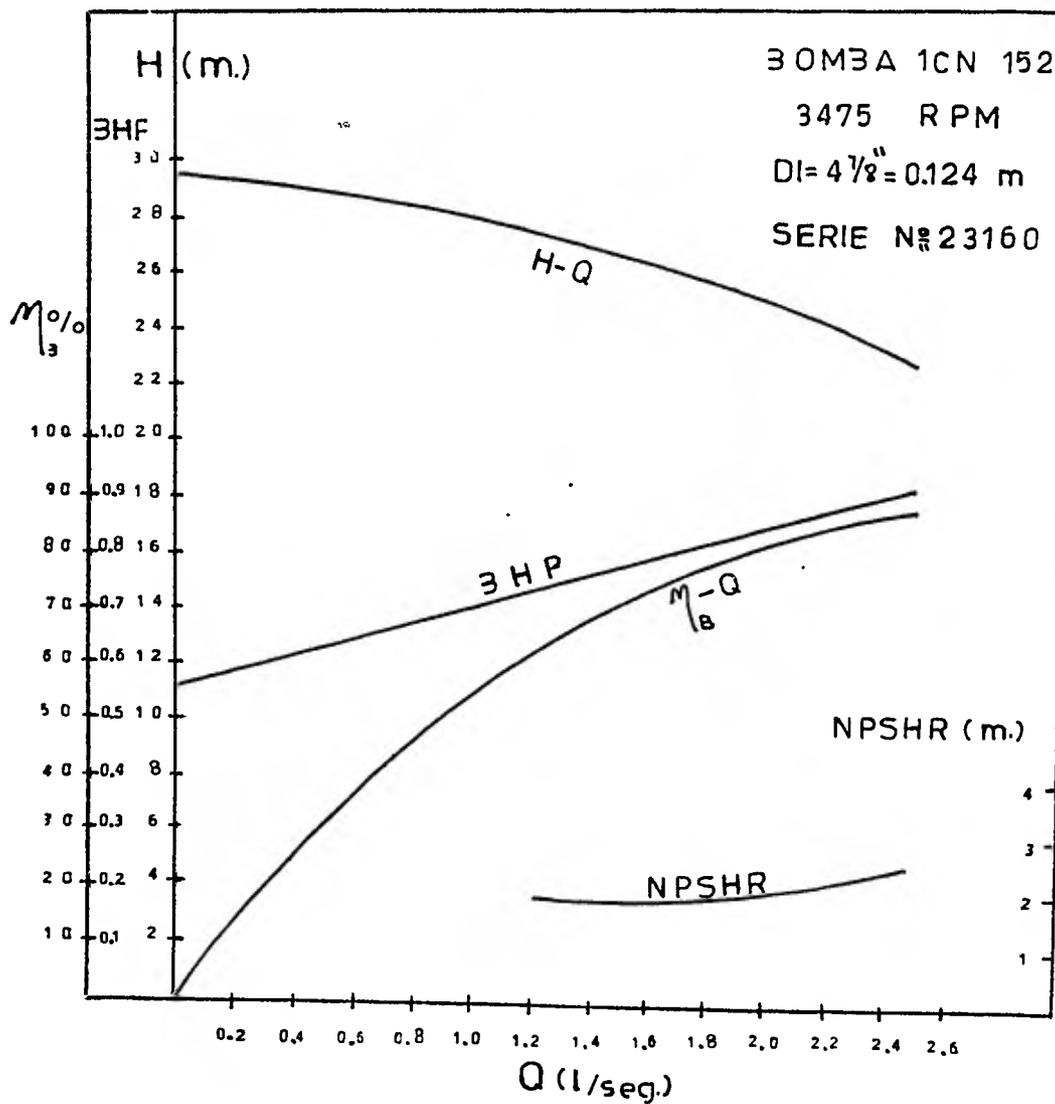
variando el
DI

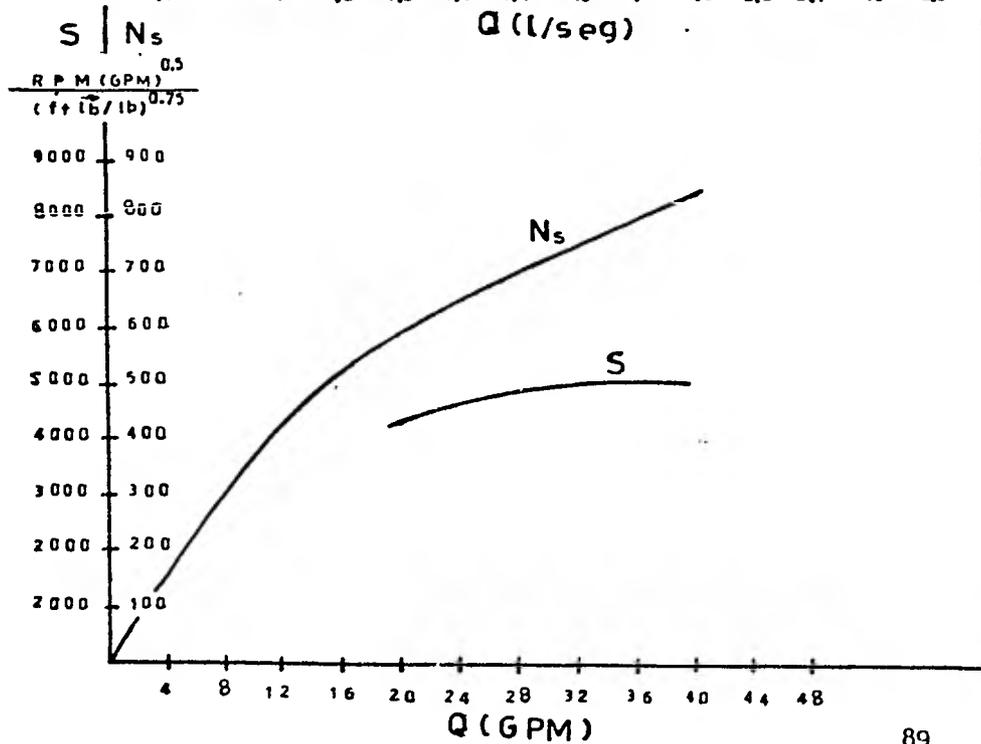
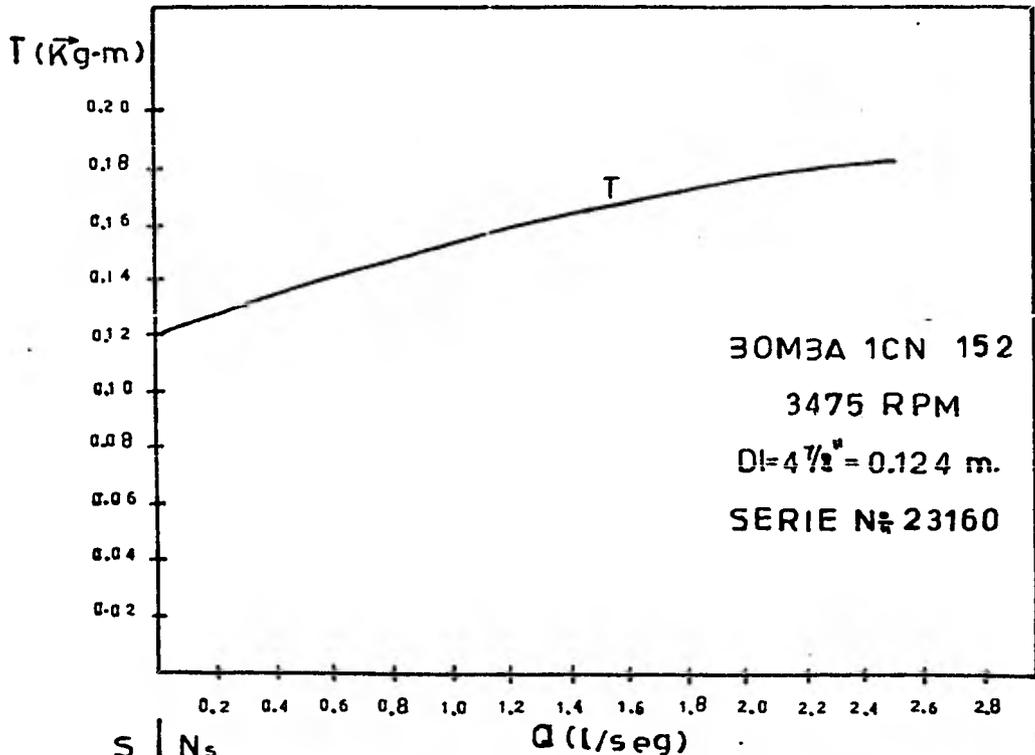
SERIE N° 23235

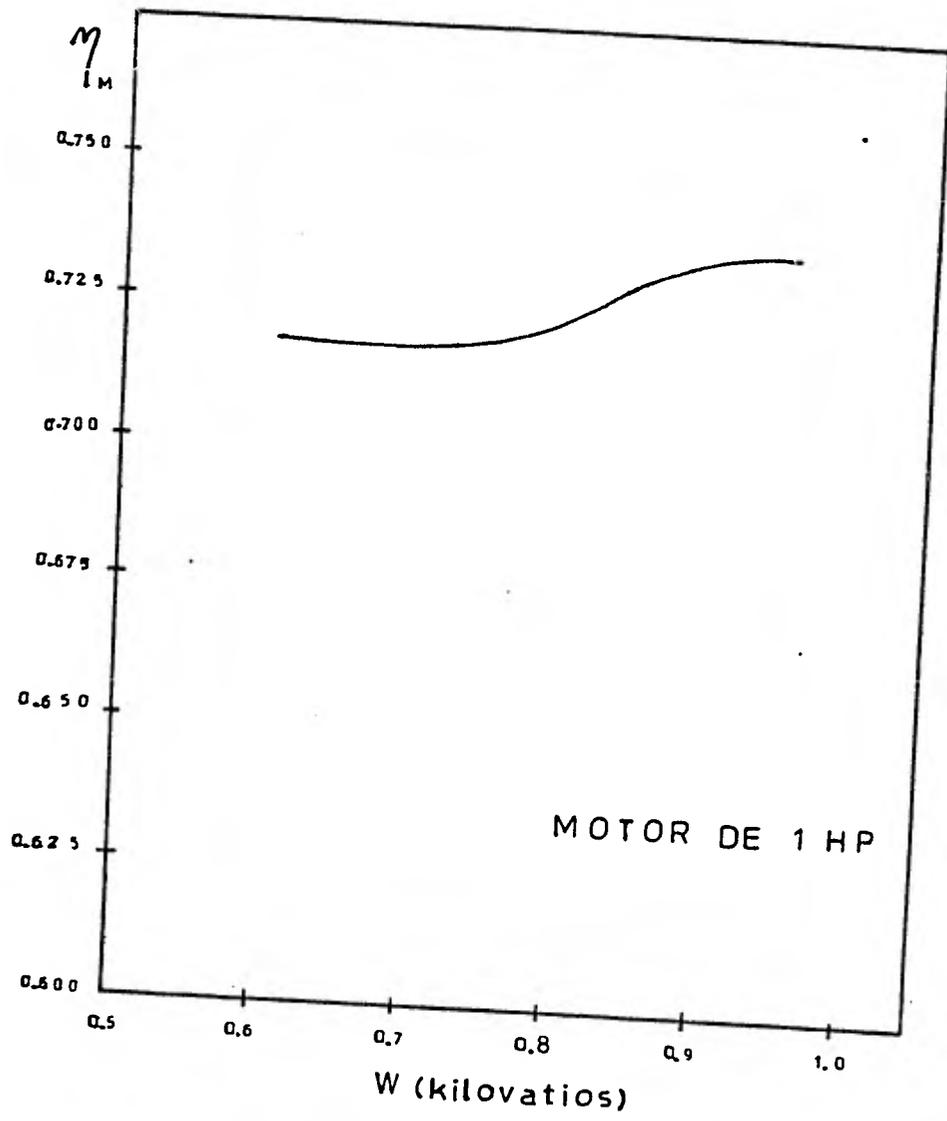


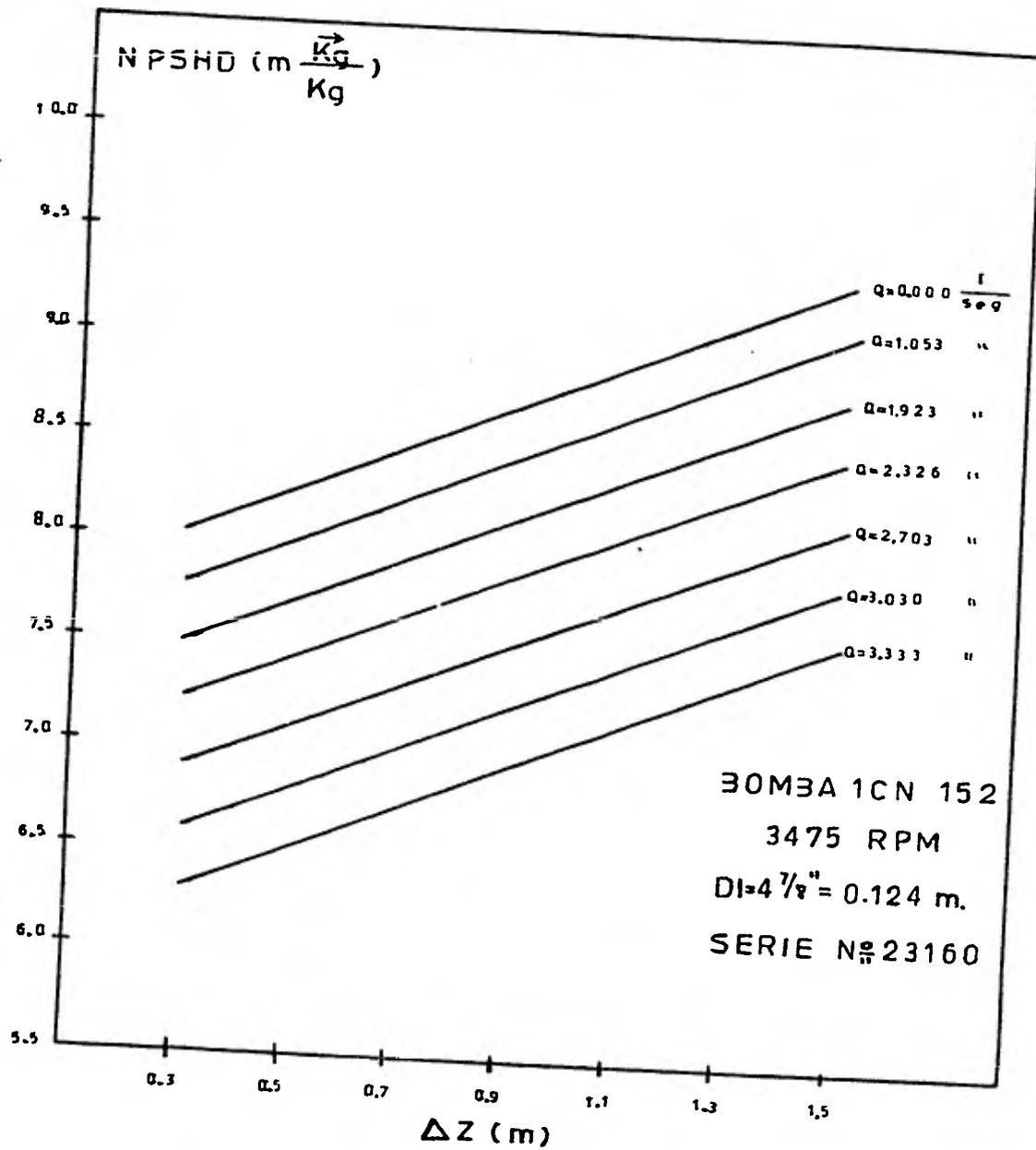


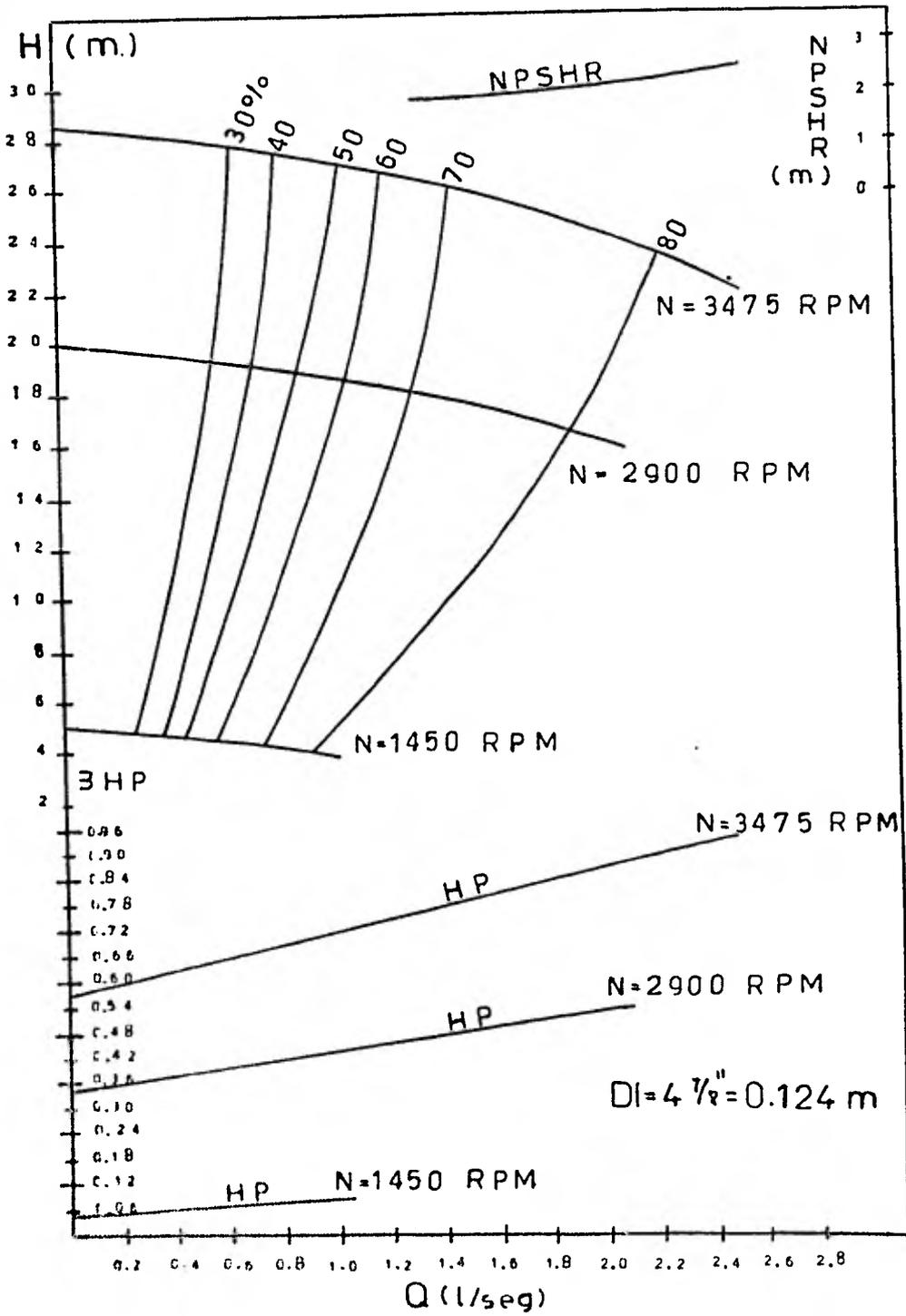


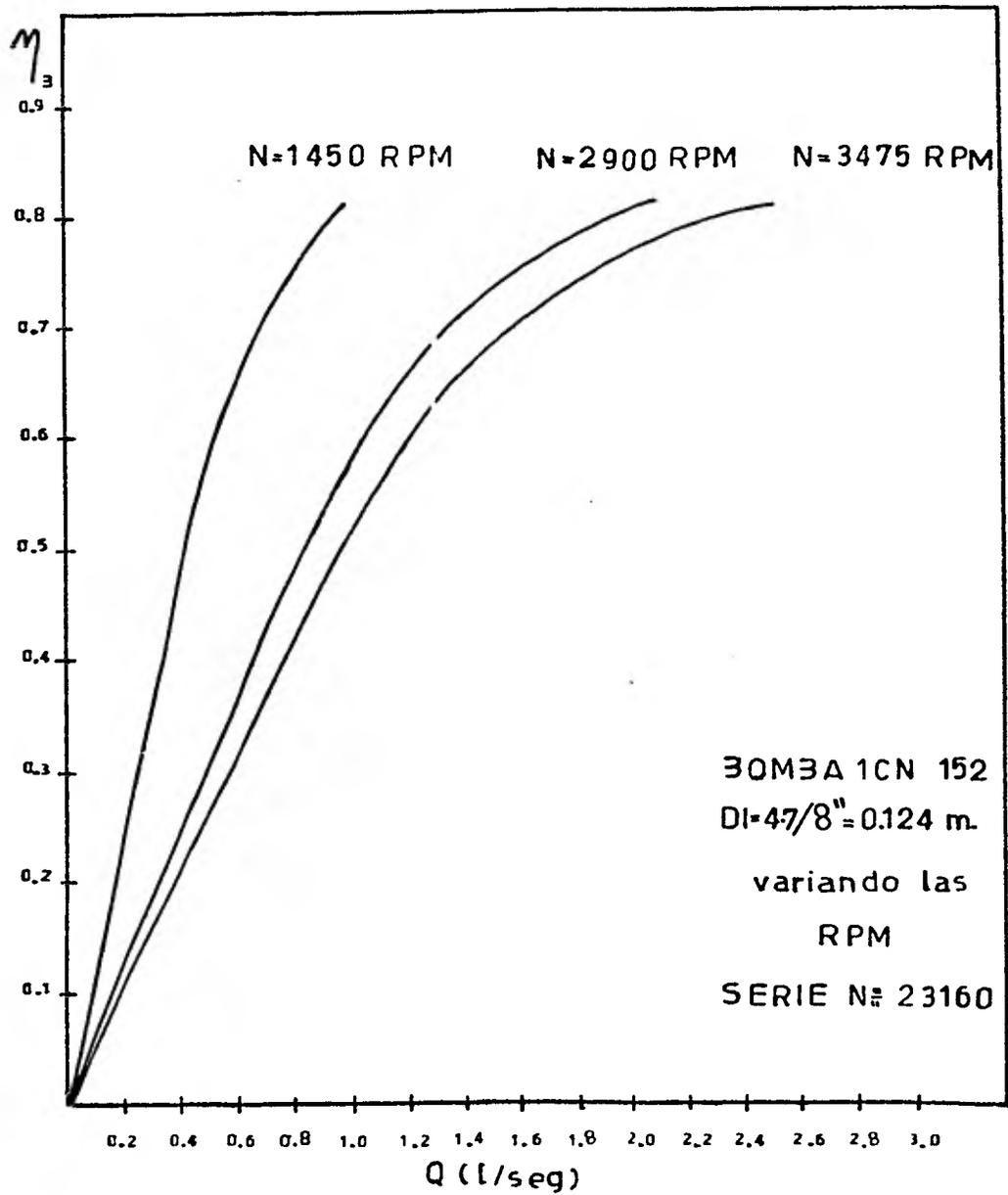


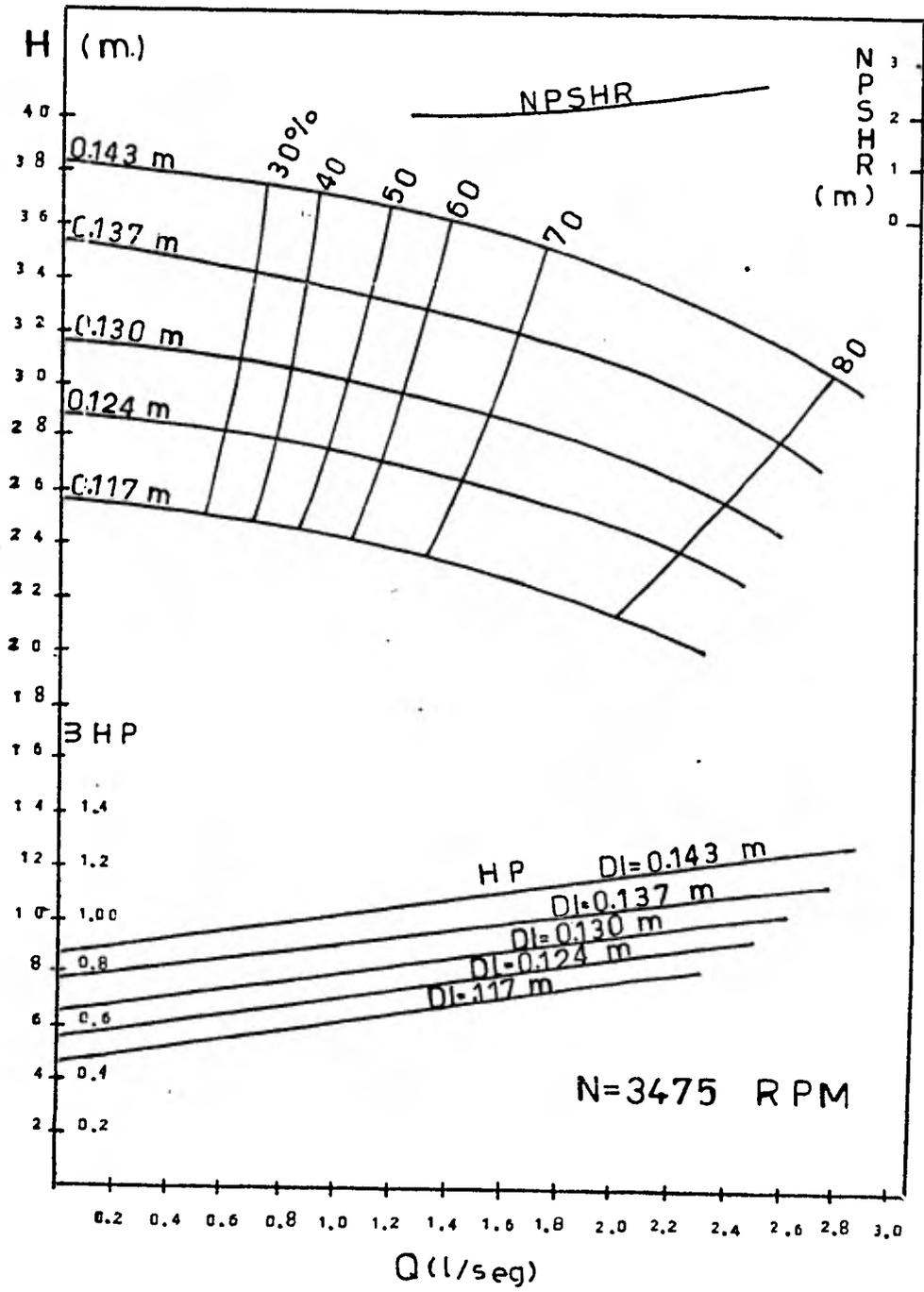


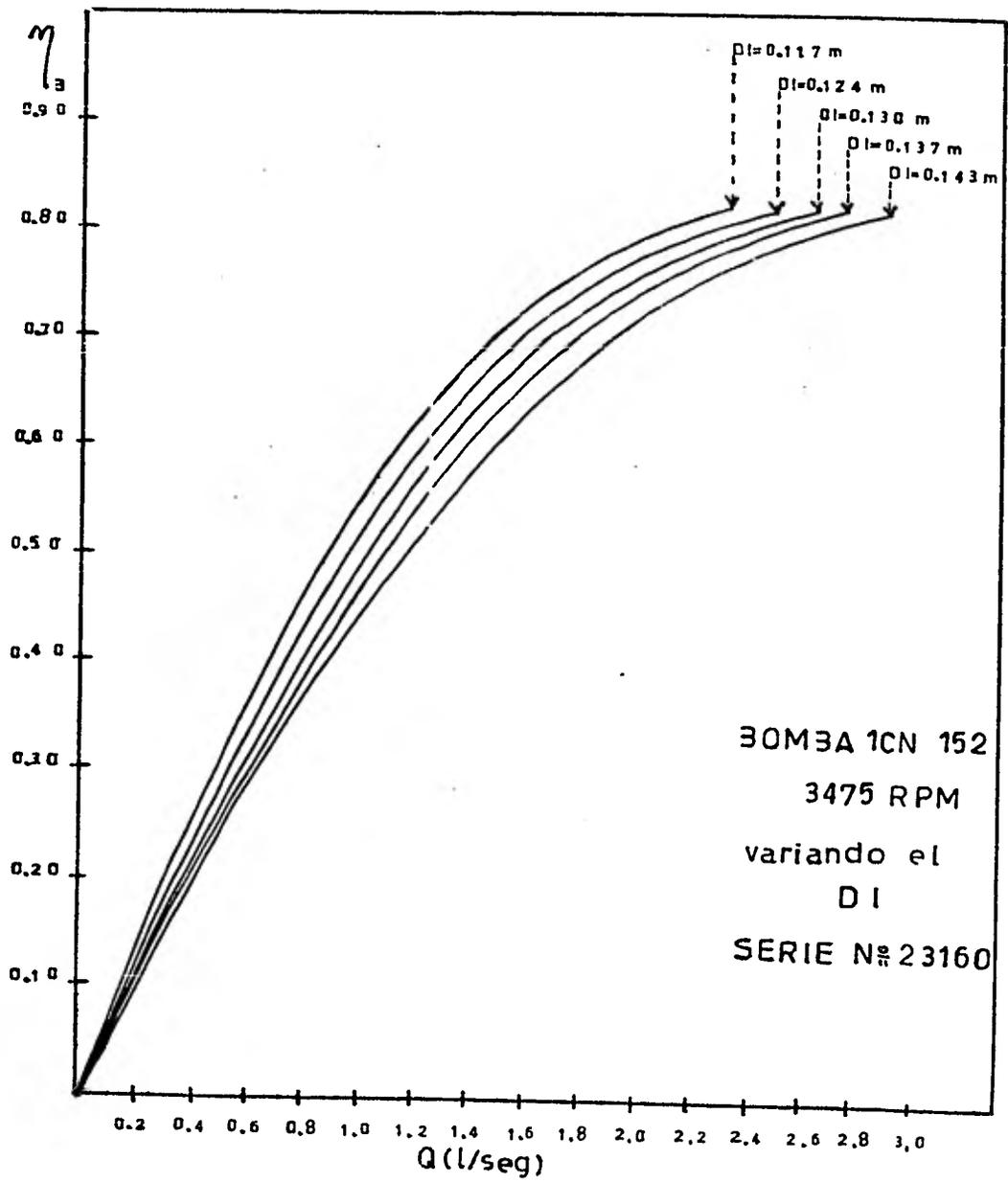


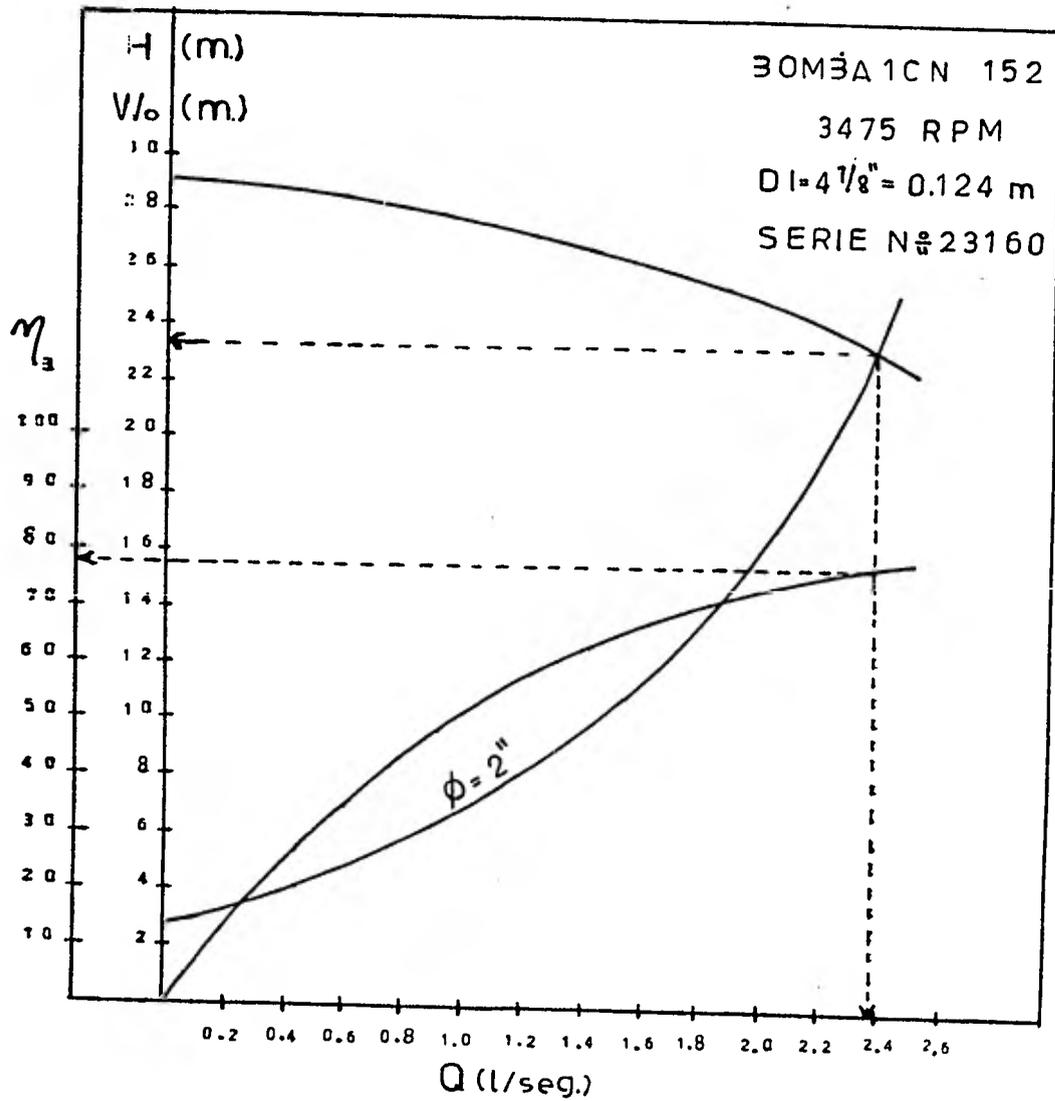












CONCLUSIONES PARA EL INCISO d (de los objetivos de la primera sesión).

a.1. Al comparar los datos de la segunda parte de este trabajo, incisos A-2.1 y A-2.2 (pags. 4 y 5) con las gráficas obtenidas experimentalmente H-Q, B.H.P-Q, η_B -Q y N.P.S.H.R-Q ; se concluye que no se pueden detectar éstas en toda su amplitud debido a que el conjunto de tubos y accesorios en el sistema de bombeo después de las descargas de las bombas, actúan como si imaginariamente existiera una válvula semiabierta en la salida de éstas, impidiendo por efecto de fricciones proporcionar sus cargas, gastos, potencia, eficiencias y N.P.S.H.R. en forma total.

a.2. Para la gráfica de la bomba 1CN-152, el momento de torsión mínimo es de $0.120 \text{ Kg} \cdot \text{m}$ y el máximo de $0.192 \text{ Kg} \cdot \text{m}$ equivalente a 0.576 B.H.P y 0.919 B.H.P respectivamente

El valor de la velocidad específica tipo es de 865.356 R.P.M. X min X gal^{1/2} / $(\text{Ft} \frac{\text{lb}}{\text{lb}})^{3/4}$, para un gasto de 39.63 G.P.M. ó 2.5 l/seg. y una carga de $74.193 \text{ Ft} \frac{\text{lb}}{\text{lb}}$ ó $22.614 \text{ m} \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$, (valores reportados para el punto de máxima eficiencia de la bomba $\eta_B = 0.808$), concluyendo que esta es de velocidad específica baja.

Respecto al valor de la velocidad específica de succión tipo es de 4,804.843 R.P.M. X min. X $\frac{\text{gal}^{1/2}}{(\text{Ft} \frac{\text{lb}}{\text{lb}})^{3/4}}$ para un gasto de 39.63 G.P.M. ó 2.5 l/seg y una carga de $74.193 \text{ Ft} \frac{\text{lb}}{\text{lb}}$ ó $22.614 \text{ m} \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$, (valores reportados para el punto

de máxima eficiencia de la bomba $\eta_B = 0.808$.

Para la gráfica de la bomba CCN-62, el momento de succión mínimo es de $0.391 \frac{\text{Kg}}{\text{m}}$ y el máximo de $0.670 \frac{\text{Kg}}{\text{m}}$ equivalente a 1.907 H.P y 3.267 H.P respectivamente.

de la velocidad específica tipo es de $795.745 \text{ R.P.M.} \times \min \times \frac{\text{gal}^{1/2}}{\text{Ft}(\frac{\text{lb}}{\text{lb}})^{3/4}}$ para un gasto de 42.848 G.P.M. ó $2.703 \frac{1}{\text{seg}}$ y una carga de $179.180 \text{ Ft} \frac{\text{lb}}{\text{lb}}$ ó sea $54.614 \text{ m} \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$, concluyendo que esta bomba es de velocidad específica baja.

Respecto a la velocidad específica de succión tipo es de $7,385.777 \text{ R.P.M.} \times \min \times \frac{\text{gal}^{1/2}}{\text{Ft}(\frac{\text{lb}}{\text{lb}})^{3/4}}$, para un gasto de 42.848 G.P.M. ó $2.703 \frac{1}{\text{seg}}$ y una carga de $179.180 \text{ Ft} \frac{\text{lb}}{\text{lb}}$ ó $54.614 \text{ m} \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$.

a.3. La eficiencia de operación máxima para el motor de 1 H.P es de 73.5% para un gasto proporcionado por la bomba de $2.5 \frac{1}{\text{seg}}$. La eficiencia de operación máxima para el motor de 5 C.P. es de 87.5% para un gasto proporcionado por la bomba de $2.326 \frac{1}{\text{seg}}$.

a.4. No habrá cavitación cuando funcionen las bombas, ya que el N.P.S.H.D. es mayor que el N.P.S.H.R. para cualquier condición de operación del sistema de bombeo.

b. Estas cartas representan las condiciones reales de trabajo de cada bomba cuando se varían las R.P.M. permaneciendo constante el diámetro del impulsor, o se varía el diámetro

del impulsor permaneciendo constante las R.P.M.

c.- El diámetro dispuesto en el haz de tubo que hace más eficiente el sistema de bombeo cuando se opera la bomba 1CN-152 es el de 2 pulgadas, obteniéndose en este punto de operación:

Una eficiencia de la bomba de $\eta_B = 79.2\%$.

Una eficiencia del motor de $\eta_M = 73.4\%$.

Una eficiencia del motor - bomba $\eta_{MB} = 79.2\% \times 73.4\% = 58.13\%$.

Una carga $H = 23.3 \text{ m } \frac{\text{Kg}^+}{\text{Kg}}$.

Un gasto $Q = 2.38 \frac{1}{\text{seg}}$

Un N.P.S.H.D = $8.45 \text{ m } \frac{\text{Kg}^+}{\text{Kg}}$ (cuando el tanque alimentador está a su máxima capacidad).

Un N.P.S.H.R = $2.4 \text{ m } \frac{\text{Kg}^+}{\text{Kg}}$.

Un momento de torsión de $0.184 \text{ Kg}^+ \cdot \text{m}$ ó 0.881 B.H.P.

El diámetro dispuesto en el haz de tubo que hace más eficiente el sistema de bombeo cuando se opera la bomba CCN-62 es el de 1 pulgada, obteniéndose en este punto de operación:

Una eficiencia de la bomba de $\eta_B = 65.5\%$

Una eficiencia del motor de $\eta_M = 87.30\%$

Una eficiencia motor - bomba de $\eta_{MB} = 65.5\% \times 87.30\% = 57.18\%$

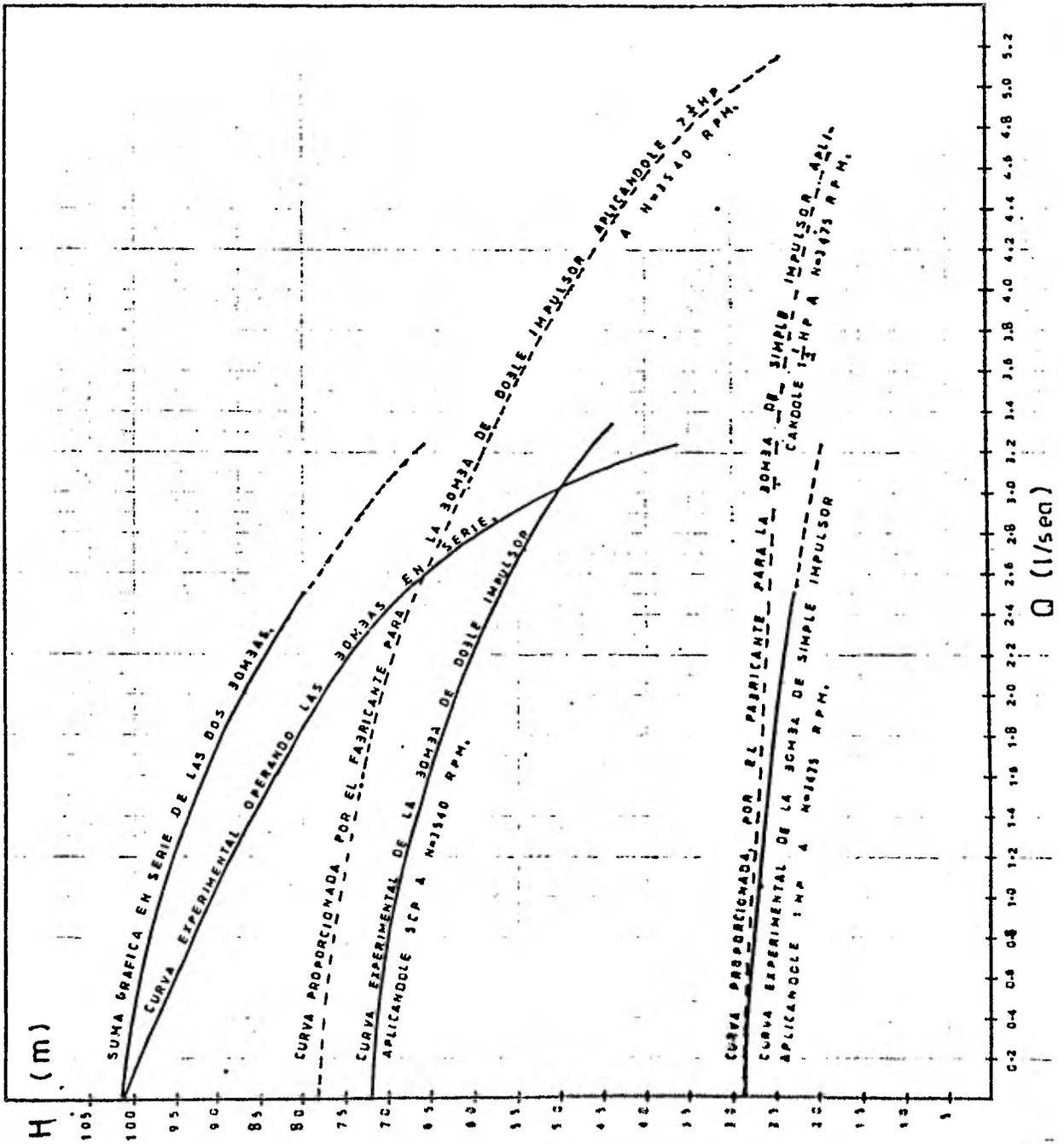
Una carga $H = 52 \text{ m } \frac{\text{Kg}^+}{\text{Kg}}$.

Un gasto $Q = 2.85 \frac{1}{\text{seg}}$.

Un N.P.S.H.D. = $8.00 \text{ m} \frac{\text{Kg} \rightarrow}{\text{Kg}}$ (cuando el tanque alimentador está a su máxima capacidad).

Un N.P.S.H.R = $1.50 \text{ m} \frac{\text{Kg} \rightarrow}{\text{Kg}}$.

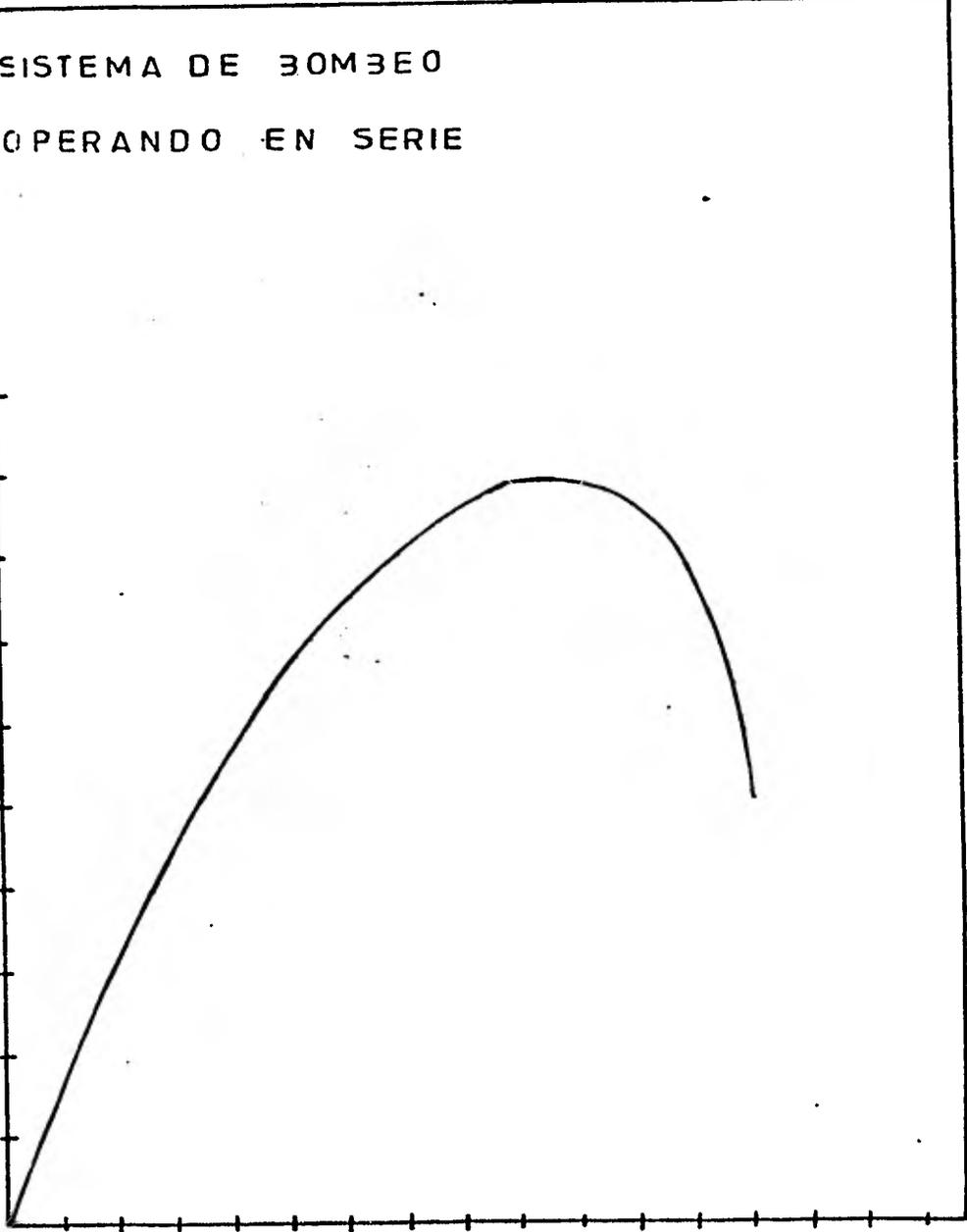
Un momento de torsión de $0.62 \text{ Kg-m} \rightarrow$ ó 3.023 B.H.P



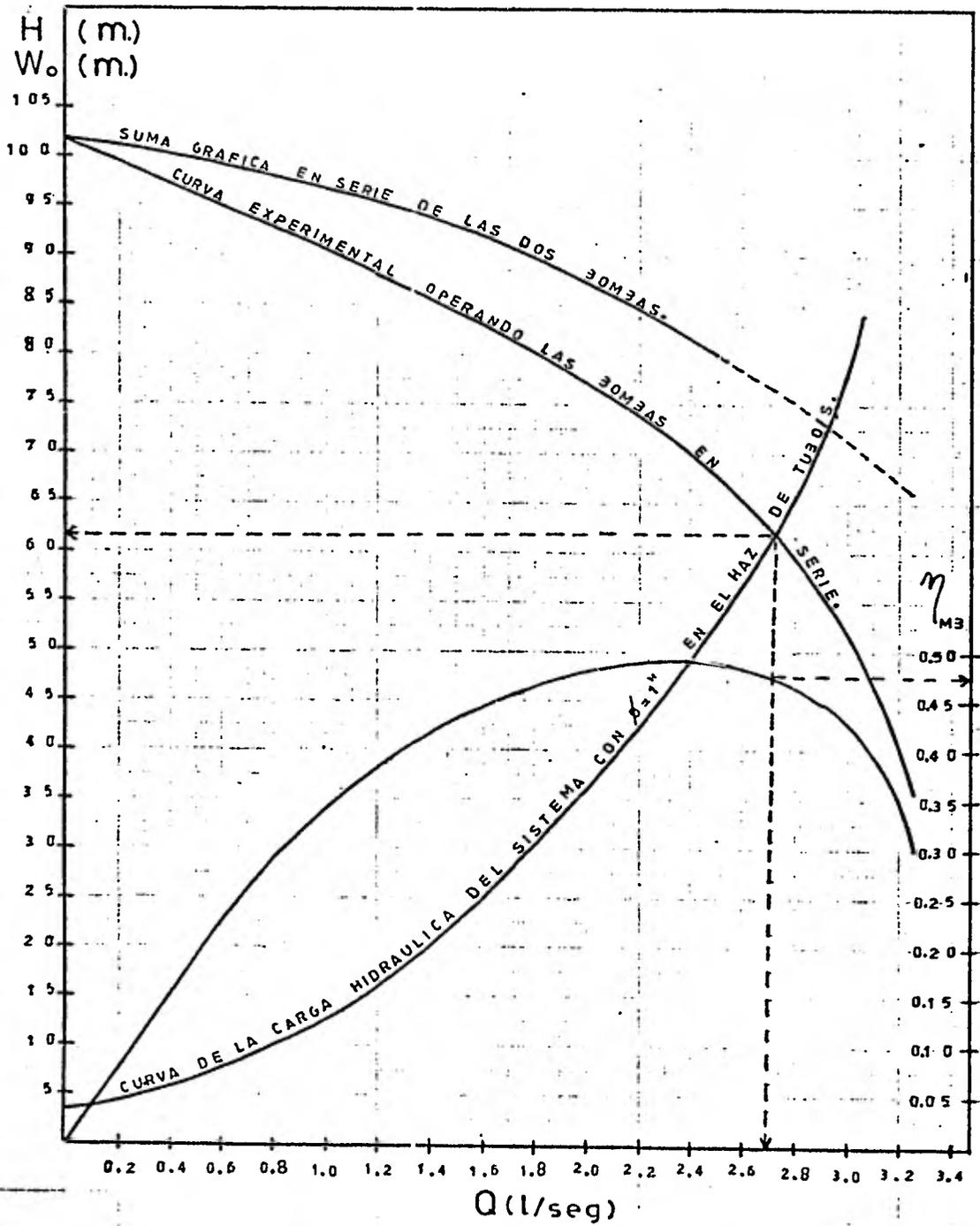
SISTEMA DE BOMBEO
OPERANDO EN SERIE

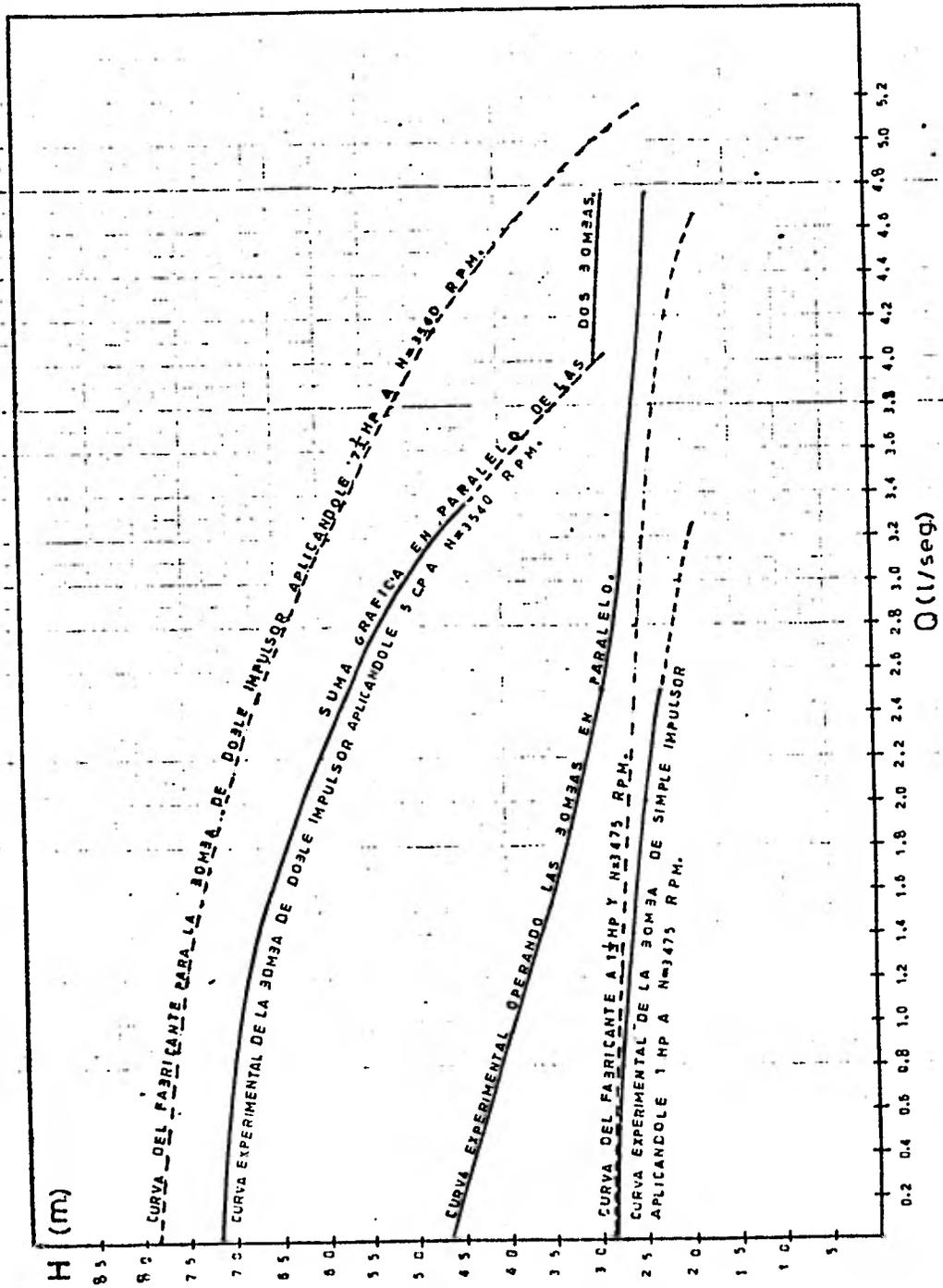
η
M3

0.55
0.50
0.45
0.40
0.35
0.30
0.25
0.20
0.15
0.10

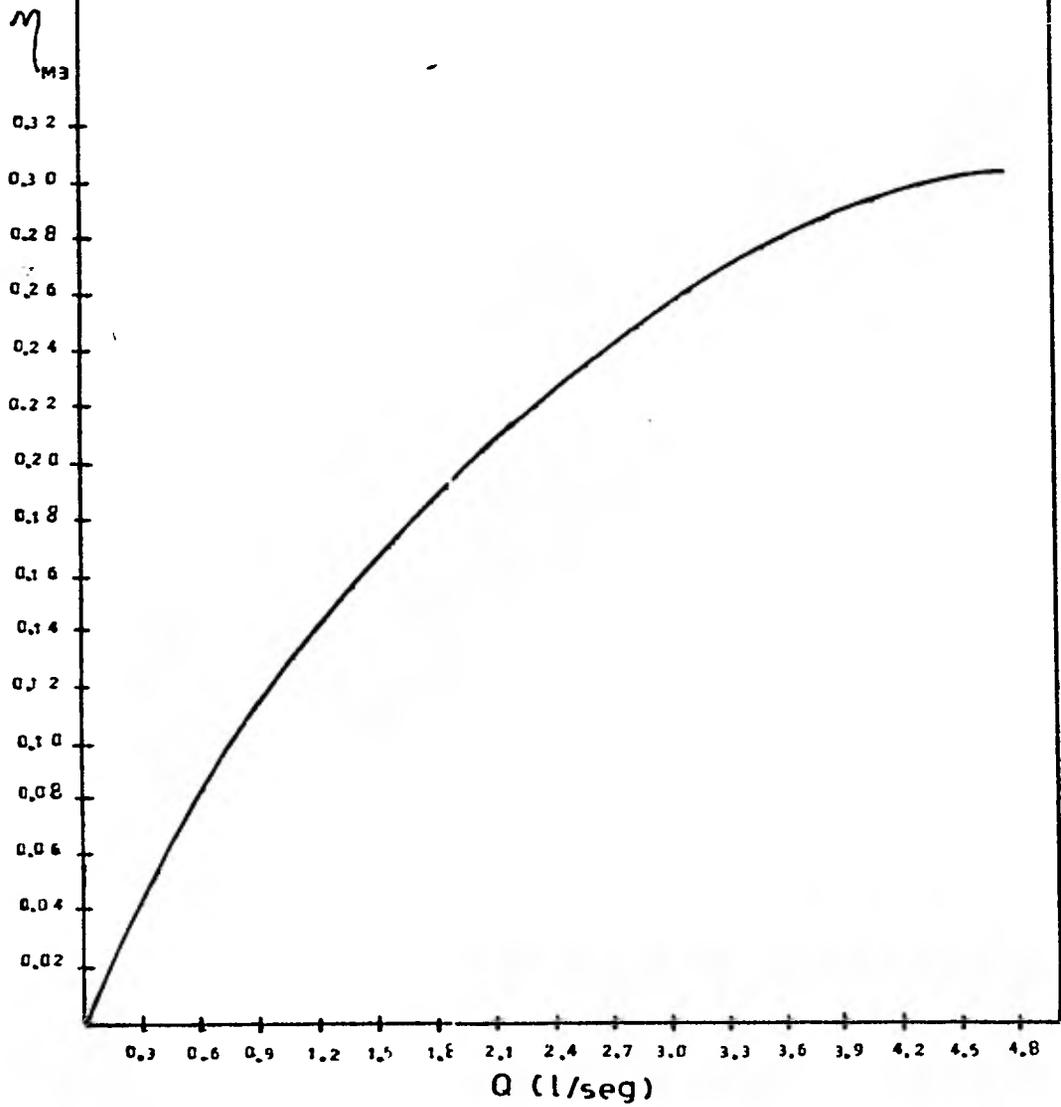


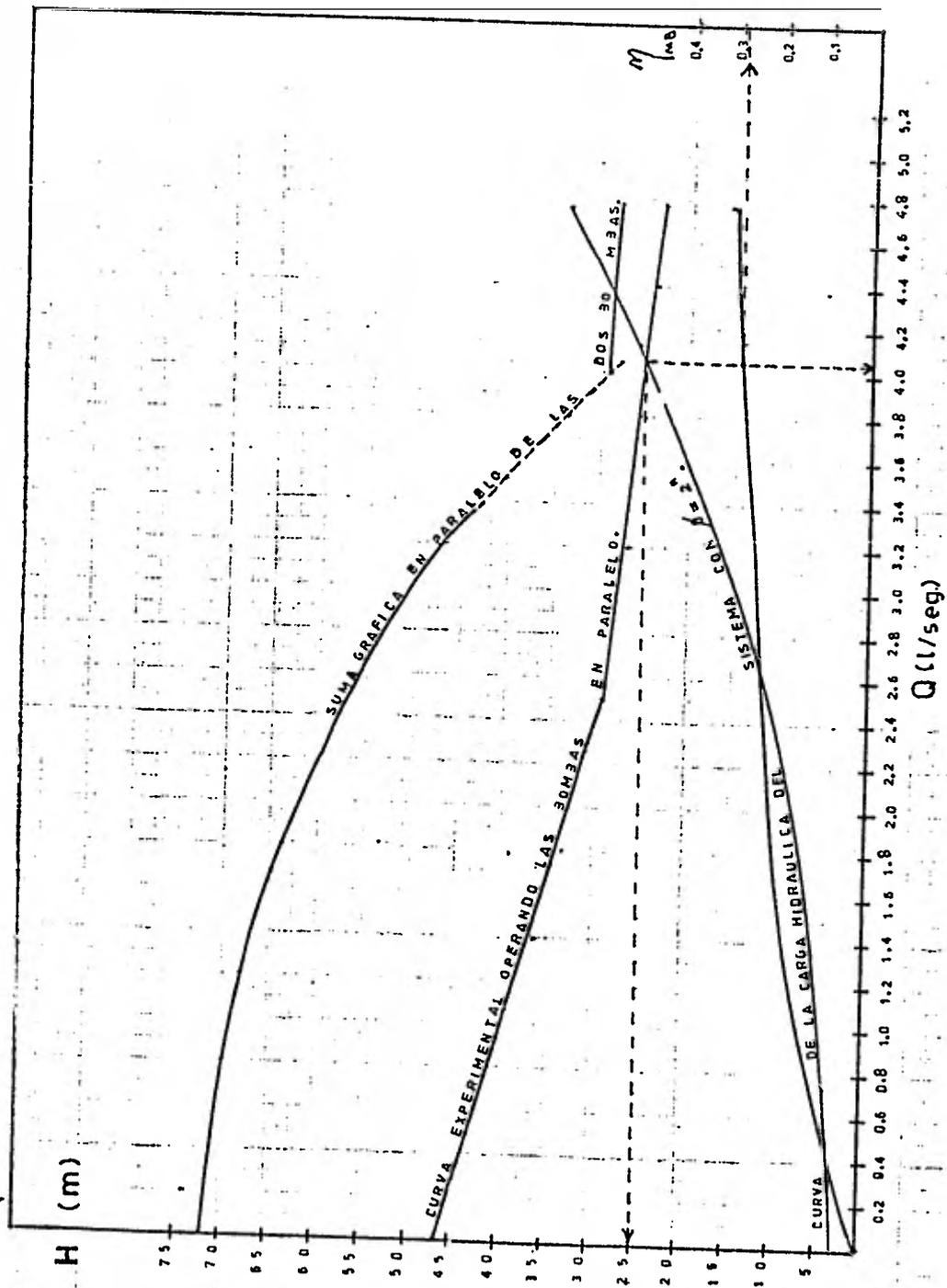
0.25 0.50 0.75 1.00 1.25 1.50 1.75 2.00 2.25 2.50 2.75 3.00 3.25 3.50 3.75 4.00
Q (l/seg)

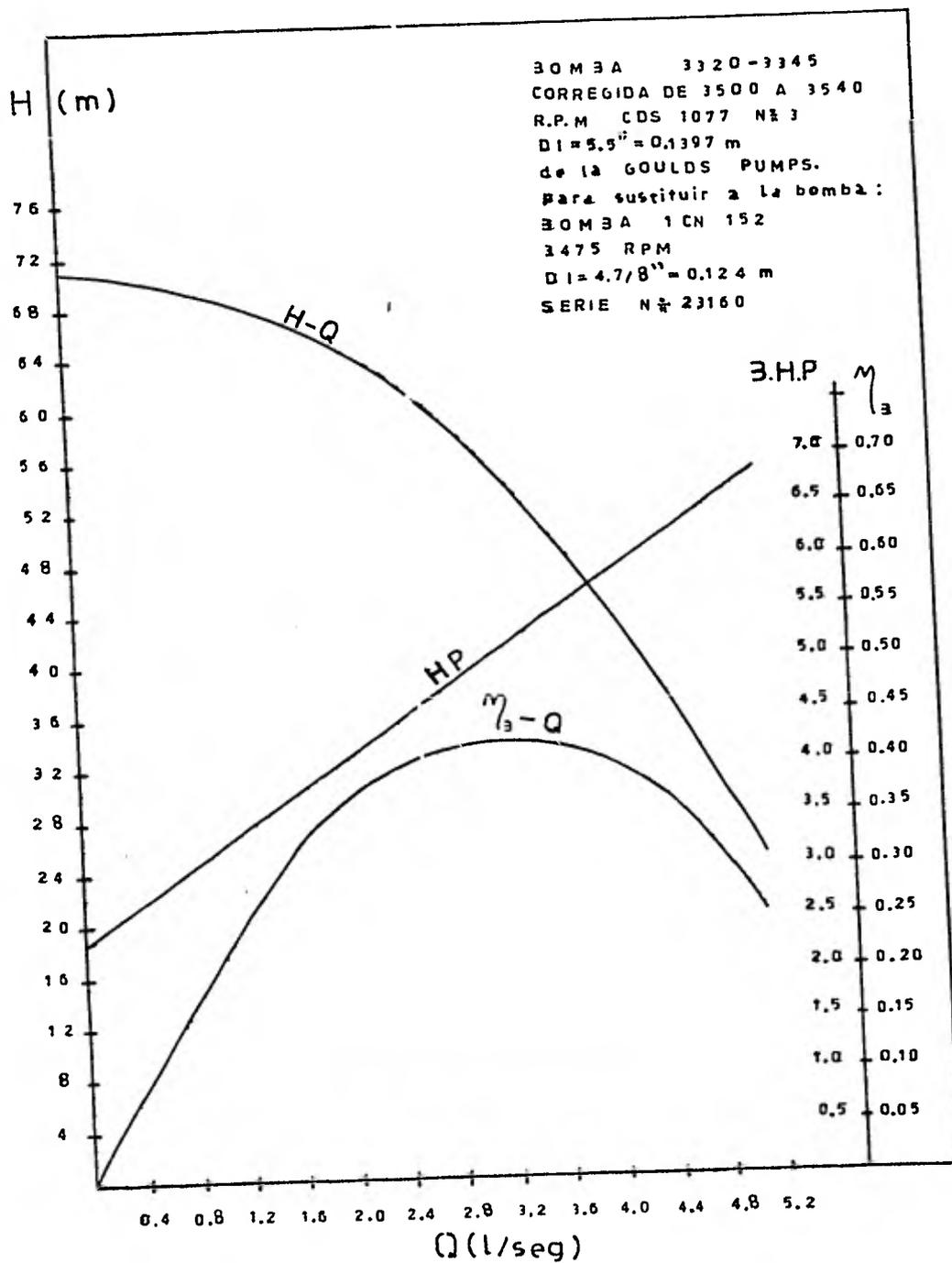


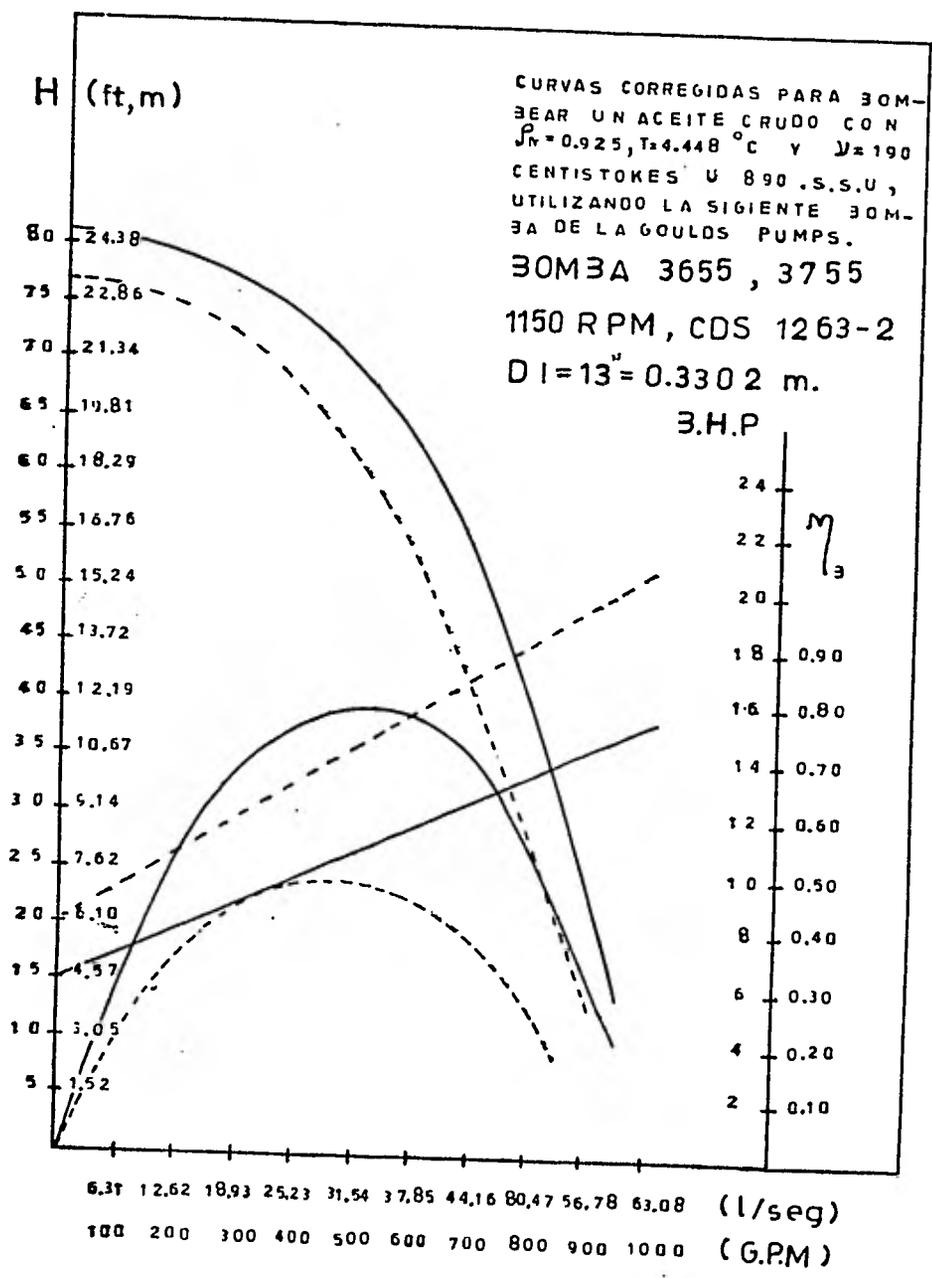


SISTEMA DE BOMBEO
OPERANDO EN PARALELO









CONCLUSIONES PARA EL INCISO j (de los objetivos de la segunda sesión).

- a) Anteriormente se analizó que las curvas H-Q de cada bomba no pueden ser detectadas en toda su amplitud, para ilustrar este hecho se grafican simultáneamente los datos de la segunda parte de este trabajo (incisos A-2.1 y A-2.2), observando que en la bomba de doble impulsor el fabricante aplica 7 1/2 H.P en vez de 5 C.P y en la de simple impulsor le aplica 1 1/2 H.P en vez de 1 H.P, hecho visible en el desplazamiento de las curvas H-Q.
- b) Esta carta muestra que la eficiencia máxima de los dos motores acoplados a las dos bombas operando en serie es $\eta_{MB}=49\%$ cuando proporcionan una carga $H=73.026 \text{ m } \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$ y un gasto $Q=2.222 \frac{1}{\text{seg.}}$.
- c) El diámetro dispuesto en el haz de tubo que hace más eficiente al sistema en serie es el de 1 pulgada, proporcionando a una eficiencia de $\eta_{MB}=47.5\%$ $Q=2.7 \frac{1}{\text{seg.}}$ y una carga $H=62.0 \text{ m } \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$.
- d) Al observar la curva experimental obtenida al operar el sistema en paralelo, ésta termina con un valor de carga $H=22.793 \text{ m } \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$ y de gasto $Q=4.762 \frac{1}{\text{seg.}}$; indicando que la bomba de doble impulsor amplía su gasto de

3.333 a $4.04 \frac{1}{\text{seg.}}$, ya que gráficamente para una carga constante $H=27.9 \text{ m } \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$ operando al sistema en paralelo se tendrán que sumar 0.722 y $4.04 \frac{1}{\text{seg.}}$ para obtener $4.762 \frac{1}{\text{seg.}}$ (pues el gasto proporcionado por la primera bomba se tendrá que sumar al proporcionado por la segunda, permaneciendo constante la carga). Esto se debe a que las presiones de descarga y succión del sistema en paralelo indicadas en los manómetros 1 y 6 amplían el rango de presiones de succión y descarga particulares en la bomba de doble impulsor ($H = \frac{P_D - P_S}{f}$), hecho registrado por los manómetros 3 y 5, obteniéndose así una ampliación en la carga y gasto (ya que una bomba no puede abandonar su curva de operación). En la carga se han representado las aplicaciones en la curva experimental de la bomba de doble impulsor utilizando líneas punteadas.

- e) Esta carta muestra que la eficiencia máxima de los dos motores acoplados a las dos bombas operando en paralelo es de $\eta_{MB}=30.9\%$ cuando proporcionnn una carga $H=22.793 \text{ m } \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$ y un gasto $Q=4.762 \frac{1}{\text{seg.}}$
- f) El diámetro dispuesto en el haz de tubos que hace más eficiente al sistema en paralelo es el de 2 pulgadas, proporcionando a una eficiencia de $\eta_{MB}=29.3\%$ un gasto $Q=4.04 \frac{1}{\text{seg.}}$ y una carga $H=25 \text{ m } \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$.

g) Esta bomba fue seleccionada del catálogo de la Goulds Pumps para sustituir a la bomba de simple impulsor 1CN-152, con $N=3.475$ R.P.M. y con diámetro de impulsor de 0.124 m.

í) Del mismo catálogo fue seleccionada esta bomba para cuando se desee bombear un aceite crudo de una densidad relativa $\rho_r=0.925$, una viscosidad cinemática $\nu=190$ centistokes u 890 S.S.U., a una temperatura $T=4.448^\circ\text{C}$. Se observa que la potencia requerida por la bomba aumenta, su eficiencia, su carga y gasto disminuyen.

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

- 1.- P. ROBERJOT
"Electrotecnica aplicada y ensayo de las máquinas eléctricas".
Edit. Gustavo Gili, S.A. Págs. 55-125.
- 2.- ROBERT ROSENBERG
"Preparación de motores eléctricos".
Edit. Gustavo Gili, S.A. 3a edición. Tomo I Págs. 116-159, Tomo II. Págs. 62-102.
- 3.- Catálogo A.S.E.A. Compañía A.S.E.A. De México, S.A.
"Fundamento de control para motores de la SCUARE. D. de México, S.A."
Edit. Cía. A.S.E.A. De México, S.A. Págs. 1-175
- 4.- Catálogo del Comité Consultivo Nacional de Normalización de la Industria Eléctrica.
"Normas de calidad, funcionamiento y métodos de prueba, en motores de inducción de corriente alterna del tipo de rotor en corto circuito o jaula de ardilla".
Dirección; Mariano Escobedo 724-4° piso, México 5 D.F.
Págs. 1-56.
- 5.- LANE K. BRANSON
"Mecánica para estudiantes de ingeniería".
Edit. Fondo Educativo Interamericano 1973. Págs. 203-224, 250-262, 300-319 y 322-344.
- 6.- Hydraulic Institute Standrs for Centrifugal and Reciprocating Pumps. Thirteenth Edition 1975. Págs. 1-120.
- 7.- TYLER AND HICKS
"Bombas su selección y operación".
Edit. C.E.C.S.A. 1970. Págs. 19-46, 89-444.
- 8.- IGOR J. KARASSICK Y ROY CARTER
"Bombas Centrífugas, selección, operación y mantenimiento".
Edit. C.E.C.S.A. 1980. Págs. 11-197, 211-267, 297-369, 505-527.

- 9.- VICTOR L. STREETER
"Mecánica de los fluidos" 4a edición.
Edit. Mc Graw-Hill, 1976 Págs. 286-290, 523-527,
537-541.
- 10.- Catálogo para bombas centrífugas de la Compañía Goulds
Pumps.
- 11.- Worthington de México, S.A.
"Instrucciones para la instalación, operación y mante-
nimiento y lista de partes para bombas D-1000.
- 12.- Worthington de México, S.A.
"Bombas centrífugas, instrucciones para instalación,
operación y mantenimiento.
- 13.- Worthington de México, S.A.
"Instructivo para la instalación, operación, manteni-
miento y lista de partes de bombas centrífugas tipo L-R".
- 14.- THURLOW, C.
"Centrifugal Pumps".
Chem. Engineering, Oct. 11, 1971, Pág. 29.
- 15.- CAPLAN E.
"Finding Requiered Centrifugal Pump Flow".
Plant Engineering, April 2 1970, Pág. 44
- 16.- ISI IMPIANTI GENOVA
Manual del curso didáctico para ingenieros. 1980.
- 17.- JOSE L. DE PARRES
"Maquinas hidráulicas" 3a edición.
Edit. Magazine 1961. Págs. 60-130.
- 18.- Organización Panamericana de la Salud.
Apuntes del curso Intensivo para bombas de agua potable.
Colocación en la División de Estudios Superiores, U.N.A.M.
621.6-S. Págs. 10-85.
- 19.- A.J. STEPANOFF, Ph. D.
"Centrifugal and axial flow pumps, design and aplication".
Edit. John Wiley and Sons. Inc. Pág. 19 y siguientes.

20.- MANUEL VIEJO ZUBICARAY

"Bombas, teoría diseño y aplicación"

Edit. Limusa-Wiley. México 1970. Págs. 1-120.

21.- Prácticas de Laboratorio de Momentum y Calor.

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de
Química. 1979.

Págs. 125-150.

De los Autores:

M. en C. Antonio Valiente Barderas

I.Q. Angel M. González Herrera

I.Q. Lucila C. Méndez Chávez

I.Q. Genovevo Silva Pichardo

I.Q. Irma Beltrán Fiesco

I.Q. Héctor G. Méndez Fregoso

I.Q. Bertha Contreras Navarro

I.Q. Jesús Tapia Pérez.

22.- CLAUDIO MATAIX

"Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas"

Edit. Harper and Row Publishers inc. 1981.

pags. 343-391

INDICE ALFABETICO

C: Conclusiones.

Pp: Primera parte.

Sp: Segunda parte.

Tp: Tercera parte.

Pppa: Primera parte primer anexo.

Ppsa: Primera parte segundo anexo.

A

ACCESORIOS Y TUBERIAS DISPUESTAS EN EL EQUIPO DE BOMBEO

HASTA ANTES DEL NAZ DE TUBOS OPERANDO:

la bomba de simple impulsor, 6 Sp.

la bomba de doble impulsor, 7 Sp.

las bombas en serie, 8 y 9 Sp.

las bombas en paralelo, 8 y 10 Sp.

EN EL NAZ DE TUBOS C.A.:

la bomba de simple impulsor, 10 Sp.

la bomba de doble impulsor, 10 Sp.

las bombas en serie, 10 Sp.

las bombas en paralelo, 10 Sp.

DESPUES DEL NAZ DE TUBOS C.A.:

la bomba de simple impulsor, 11 Sp.

la bomba de doble impulsor, 11 Sp.

las bombas en serie, 11 Sp.

las bombas en paralelo, 11 Sp.

ACCESORIOS Y TUBERIAS DISPUESTOS EN EL EQUIPO DE BOMBEO PARA CALCULAR EL

A.P.S.H.D.

HASTA ANTES DE:

la brida de succión de la bomba de simple impulsor, 12 Sp.

la brida de succión de la bomba de doble impulsor, 13 Sp.

la brida de succión para operar al sistema en serie, 13 Sp.

la te de bifurcación para operar al sistema en paralelo, 13 Sp.

B

Bomba centrífuga, definición, 57 Tp.

Bomba centrífuga, teoría de la, 59 Tp.

Bomba centrífuga, carga teórica de una, 61 Tp.

Bombas centrífugas, práctica, 1 Pp.

Bombas centrífugas en serie y paralelo, práctica, 1 Pp.

Bombas centrífugas, hojas de especificación, 26 Pp y 56 Sp.

Bombas centrífugas, efecto de la densidad en las, 1 Ppsa.

Bombas centrífugas, efecto de la viscosidad en las, 1 Ppsa.

C

Cargas estáticas en el sistema de bombeo, 6 Sp.

Clasificación de las bombas centrífugas, 57 Tp.

Conclusiones de las prácticas presentadas en forma gráfica, 78 C.

Conclusiones de la tesis, 75 C.

Condiciones del fabricante para la:

bomba de simple impulsor, 4 Sp.

bomba de doble impulsor, 5 Sp.

D

Descripción del sistema de bombeo por el:

equipo eléctrico, 8 Pp.

equipo mecánico, 11 Pp.

equipo hidráulico, 12 Pp.

Diámetros y áreas de las tuberías en el equipo de bombeo, 14 Sp.

Diferencias de alturas entre las bases de:

las carátulas de los manómetros 2 a 5 y los ejes centrales de las bombas, 12 Sp.

E

Ecuaciones de DLR, 63 Tp.

Exposición del trabajo experimental, 3 Sp.

F

Flujo axial, radial y mixto, 65 f.p.

I

INFORMACION OBTENIDA EN LA EXPERIMENTACION PARA:

el motor de 1 H.P. y la bomba de simple impulsor, 15 Sp.

el motor de 5 C.P. y la bomba de doble impulsor, 15 Sp.

el sistema en serie, 16 Sp.

el sistema en paralelo, 17 Sp.

P

Potencias, H.P. in. y Voltojes por cada motor, Sp.

R

RESULTADOS OBTENIDOS EN EL TRABAJO EXPERIMENTAL CUANDO SE ACOPLA:

el motor de 1 H.P. y la bomba de simple impulsor, 17 Sp.

el motor de 5 C.P. y la bomba de doble impulsor, 37 Sp.

el sistema en serie, 47 Sp.

el sistema en paralelo, 51 Sp.

T

Trabajo a desarrollar en la práctica de bombas centrífugas, 41 p.

Trabajo a desarrollar en la práctica de bombas centrífugas en serie y paralelo, 11 p.

Teoría relacionada con el sistema de bombeo en la práctica de bombas centrífugas,
1 Pppa.

Teoría relacionada con el sistema de bombeo en la práctica de bombas centrífugas,
en serie y paralelo, 8 p.

Técnica para operar el sistema de bombeo. 48 p.

Técnica para operar el sistema de bombeo en serie y paralelo, 23 p.