

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA



**SELECCION DE BOMBAS CENTRIFUGAS Y SU
APLICACION AL MANEJO DE LIQUIDOS
CORROSIVOS.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A

EDUARDO NORIEGA GUTIERREZ

CIUDAD UNIVERSITARIA

1973

M-165607



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.

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE

PRESIDENTE: PROF. LEOPOLDO RODRIGUEZ SANCHEZ

VOCAL : PROF. VLADIMIR ESTIVILL RIERA

SECRETARIO: PROF. RUDY STIVALET CORRAL

1er. SUPLENTE: PROF. GERARDO RODRIGUEZ ALONSO

2do. SUPLENTE: PROF. MIGUEL A. PARRODI ARROYO

S U S T E N T A N T E: EDUARDO NORIEGA GUTIERREZ

ASESOR DEL TEMA: I. Q. VLADIMIR ESTIVILL RIERA

**A LA MEMORIA DE MI PADRE
(Q.E.P.D.)**

**A MI MADRE CON CARÍÑO
Y AGRADECIMIENTO.**

**A PATRICIA POR SU CONFIANZA
Y APOYO.**

A MIS HERMANOS.

A MIS AMIGOS!

**A MIS MAESTROS Y
A MIS ESCUELAS.**

I N D I C E

	PAG.
INTRODUCCION.	1
CAPITULO 1 BOMBAS CENTRIFUGAS.	
1.1) Clasificación general	3
1.2) Funcionamiento	12
1.3) Conceptos:	
a) Propiedades de los flúidos	16
b) Características de operación	22
c) Operación del sistema	50
1.4) Partes de una bomba:	
a) Partes mecánicas	65
b) Accionadores	86
1.5) Tipos de bombas	93
CAPITULO 2 TEORIA DE LA CORROSION.	
2.1) Que es la corrosión	97
2.2) Tipos de corrosión	103
2.3) Mecanismo de la corrosión	108
2.4) Causas de corrosión:	
a) Variación en la clase de metal	115
b) Variación en la clase de electrolito	118
c) Condiciones de la superficie del metal	121
d) Presencia de materiales extraños en el metal	122
2.5) Prevención de corrosión	123

	PAG.
CAPITULO 3	BOMBAS CENTRIFUGAS PARA LIQUIDOS CORROSIVOS.
3.1)	Corrosión en bombas centrífugas
a) " pH "	129
b) Corrosión galvánica	132
3.2)	Partes afectadas
	135
3.3)	Materiales de construcción
	140
CAPITULO 4	SELECCION DE BOMBAS CENTRIFUGAS PARA LIQUIDOS CORROSIVOS.
4.1)	Tipo conveniente
	146
4.2)	Materiales aconsejados
	154
4.3)	Selección y proposición
	177
CAPITULO 5	BREVE DISCUSION Y EJEMPLO SOBRE LA SELECCION DE UNA BOMBA CENTRIFUGA PARA UN LIQUIDO PROBLEMA.
	184
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.
	197
	APENDICE.
	199
	BIBLIOGRAFIA.
	214

INTRODUCCION.

Para muchas personas, la aplicación de bombas es un tema complicado, rodeado por una abundancia de información miscelánea que es difícil de relacionar con un problema dado.

Aun cuando muchos fabricantes dedican una parte de sus catálogos a la parte técnica de aplicación de bombas, rara vez tienen suficiente espacio para presentar más que una tabulación de datos adecuados y delinear un ejemplo típico para la elección de una bomba.

Esto es lamentable, debido a que el máximo problema con el que se encuentran muchos ingenieros hoy en día es el de como elegir y aplicar la mejor bomba para una combinación dada de condiciones. Es indudable la importancia que tiene el hacer una buena selección de una bomba, ya que de ~~de~~ esto depende el buen funcionamiento y además la buena inversión.

El presente trabajo trata de darnos una idea de como llevar a la práctica esa serie de datos y de información variada, para tener una selección adecuada.

Al seleccionar el tipo más conveniente de bomba centrífuga para una determinada aplicación, se deben de tomar en cuenta un conjunto de factores, tales como: presión de vapor, gravedad específica, viscosidad, pH, presión de succión, presión de descarga, diferencia de niveles, pérdida por fricción, etc., etc.

Además, cuando no se hace una buena selección respecto a la carga neta positiva de succión (N.P.S.H.), es decir cuando la disponible es menor que la requerida, se pueden llegar a crear problemas de cavitación, lo cual acarrea una destrucción mecánica de la unidad.

En cuanto a los materiales de construcción, se requiere un estudio de lo más consciente, puesto que aparte de no haber un material que no se deteriore por causas corrosivas, se debe elegir en tal forma que el deterioramiento o destrucción que vaya a sufrir o mejor dicho a permitirse, esté en relación al costo del mismo y al tiempo de duración del mismo.

Existen dos tipos de corrosión. La corrosión química que es la tendencia de los metales a reaccionar con el medio ambiente que lo rodea y la corrosión electroquímica que se produce si se usan dos metales diferentes en estrecha proximidad en una bomba que maneje un líquido electrolítico (pero separados en la tabla electromotriz). En este caso se produce un flujo de pequeñas partículas metálicas de un metal al otro. En las bombas centrífugas, estas partículas pueden depositarse en el segundo metal, o ser arrastradas, dependiendo de la velocidad del flujo.

Existen varias formas para disminuir la acción corrosiva en los materiales de construcción y los más usados en el campo de las bombas centrífugas son: construcción metálica adecuada o bien, construcción metálica común y corriente con recubrimientos protectores de materiales metálicos o no metálicos que resistan la acción corrosiva del líquido manejado.

C A P I T U L O I

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

1.1) CLASIFICACION GENERAL.:

Las bombas pueden ser clasificadas en dos grupos --- principales ; Bombas de Desplazamiento Positivo y Bombas Centrifugas. Las Bombas de Desplazamiento Positivo pueden ser del tipo reciprocante o del tipo rotatorio. Su principal característica es que entrega una cantidad definida de líquido por cada carrera de pistón o revolución de la pieza movible principal. Solamente el tamaño de la bomba, su diseño y las condiciones de succión influirán en la cantidad de líquido que entregará.

Por otra parte, una Bomba Centrifuga, puede entregar un volumen variable de fluido con diferente carga, para una -- velocidad constante.

Bombas De Desplazamiento Positivo :

a) Bombas Reciprocantes : Este tipo de bomba, adiciona energía al sistema fluido, por medio de un pistón que actúa contra un líquido confinado. El pistón puede ser accionado ya sea por una máquina de vapor o por un motor eléctrico. Por cada carrera del pistón, la bomba descarga una cantidad fija de fluido. La cantidad de fluido, dependerá solamente del volumen del cilindro y del número de veces que se mueve el pistón a través del cilindro.

En una Bomba Reciprocante, mientras el pistón es re tirado en el cilindro, (entrada del líquido), cesa la descarga de fluido. Por consiguiente, el líquido se descarga con -- flujo pulsatorio.

Las Bombas Reciprocantes son particularmente úti--- les para bombear fluidos viscosos, debido a que la alta pro-- porción de esfuerzo cortante que actúa sobre las paredes del cilindro sirve como un "empaque" adicional.

Los líquidos que contienen sólidos abrasivos, no -- deben ser bombeados con una Bomba Reciprocante, debido al co-- rrespondiente daño que sufren las superficies maquinadas.

La capacidad de flujo de una Bomba Reciprocante, va ría directamente con la velocidad. Las unidades usuales inclu-- yen diseños entre 20 y aproximadamente 200 carreras del pis-- tón por minuto. Un maquinado y un mantenimiento cuidadoso, -- pueden proporcionar a esta clase de bombas una buena eficien-- cia. Algunas desventajas son ; su tamaño y su alto costo ini-- cial y de mantenimiento. Este tipo de bombas se encuentra dis ponible en varios diseños, en tal forma que puede hacerse una amplia selección.

b) Bombas Rotatorias : Son las que pueden manejar casi - cualquier líquido libre de abrasivos, y son especialmente in-- dicadas para fluidos de alta viscosidad. Cierta acción lubri-- cante del fluido disminuye el desgaste. Estas bombas constan de una parte no dentada de los engranes, a la entrada de la - bomba, que proporciona un espacio para ser llenado por el lí-- quido.

Cuando el engrane gira, el líquido es atrapado en--

tre el diente y el cuerpo de la bomba y posteriormente liberado en la línea de descarga.

b.1) Bombas de Engranés : Este tipo de bombas, es el -- más simple que existe dentro de las Bombas Rotatorias.

Las Bombas Rotatorias son capaces de entregar una - capacidad aproximadamente constante, contra cualquier presión dentro de los límites del diseño de la bomba.

El flujo de descarga varía directamente con la velocidad. La descarga está casi libre de pulsaciones, particularmente para las Bombas de Engranés.

Las Bombas Rotatorias encuentran una gama muy amplia de aplicación. Son capaces de bombear fluidos de cualquier viscosidad, con la única restricción de que los fluidos estén libres de materiales abrasivos, pues esto dañaría el ajuste de las partes maquinadas.

El presente trabajo se refiere a las Bombas de Desplazamiento Cinético y en particular a las Centrífugas.

Las Bombas de Desplazamiento Cinético son aquellas que a diferencia de las de Desplazamiento Positivo, comunican la presión al líquido indirectamente, no se encuentra confinado y la impulsión proporcionada, disminuye gradualmente.

Las Bombas Centrífugas, son las que están formadas de un grupo de álabes rotatorios encerrados dentro de una --- carcasa. Estas bombas operan en tal forma que al principio -- incrementan grandemente la velocidad al líquido, es decir, se aumenta la energía cinética y posteriormente parte de esta energía se transforma en presión, o sea, energía potencial.

La forma dada a una Bomba Centrífuga, está encami--

nada a hacer la conversión anterior sin pérdidas de energía, reduciendo a un mínimo la fricción del impulsor por causa de la rotación y equilibrando los empujes desarrollados en el -- eje.

De acuerdo a la trayectoria que sigue el líquido en el impulsor de la bomba, se tienen ; Bombas Centrifugas de -- Flujo Radial, de Flujo Mixto y de Flujo Axial.

Las Bombas de Flujo Radial, son en las que la energía se desarrolla casi totalmente por la acción de la fuerza centrífuga. En estas bombas, cuando se tienen impulsores de -- simple succión, su Velocidad Específica (Ns) varía hasta 4200 y con impulsores de doble succión, su Ns varía hasta 6000. En éstas, el líquido entra axialmente al impulsor y fluye radialmente hacia la periferia. (Ver Figura 1) .

Las Bombas de Flujo Mixto, son aquellas Centrifugas en las que la carga se desarrolla por la acción del golpe del impulsor y de la fuerza centrífuga. Estas solo tienen impulsores de simple succión con el flujo entrando axialmente, y descargándolo entre una dirección axial y radial. Su Ns varía de 4200 a 9000 . (Ver Figura 2) .

Las Bombas de Flujo Axial, son aquellas en las que la carga desarrollada, se debe en su totalidad a la acción impulsora de los álabes. Tienen impulsores de simple succión en los que el flujo entra axialmente y se descarga casi axialmente. Su Ns es superior a 9000 . (Ver Figura 3) .

Bombas de Doble Succión, son aquellas en las que se tiene succión en ambos lados del impulsor.

Flujo Radial :

En las bombas de éste tipo, la presión se desarrolla principalmente por la acción de la fuerza centrífuga. Estas bombas con una sola entrada hacia los impulsores, tienen una velocidad específica menor de 4200, y las de doble succión menor de 6000.

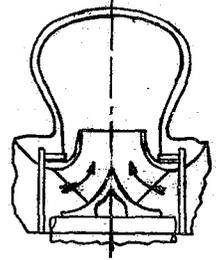


Fig. 1

Flujo Mixto :

Son bombas en donde la carga se desarrolla por ; la fuerza centrífuga, y el empuje hacia arriba de las venas sobre el líquido. Este tipo de bomba, tiene un impulsor de simple succión en donde el flujo entra axialmente y descarga en dirección axial y radial. Su velocidad específica usual, es de 4200 a 9000.

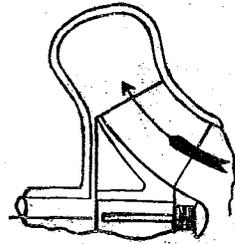


Fig. 2

Flujo Axial :

Las Bombas de Flujo Axial, llamadas también Bombas de Propela, desarrollan la mayor parte de su carga mediante la acción de succión o de empuje hacia arriba del líquido a través de las venas.

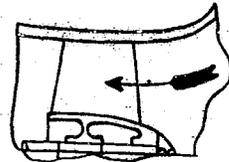


Fig. 3

Este tipo de bomba, tiene un impulsor de simple succión, con el flujo entrando axialmente y descargando casi axialmente. Su velocidad específica es mayor de 9000.

Bombas Autocebantes : Son las que están diseñadas en tal forma que hacen circular el aire con el fin de expulsarlo hacia el exterior, y en consecuencia se ceban por sí solas.

Bombas No Autocebantes : Son las que cuentan con accesorios exteriores a la bomba para llevar al cabo el cebado, como son por ejemplo; eyectores, válvulas de retención -- (check) etc.

Bombas de un Solo Paso : Son las que desarrollan la carga entregada, mediante la acción de un sólo impulsor.

Bombas de Varios Pasos : Son las que su operación la efectúan mediante la acción de dos o más impulsores conectados en serie, paralelo o serie paralelo.

Bombas de Impulsor Abierto : Son aquellas en las que el o los impulsores se asemejan a una rueda con paletas, estando sujetas a una cara de la misma.

Bombas de Impulsor Semi Abierto : Son aquellas en las que el o los impulsores tienen una placa sujeta a uno de los lados de los álabes.

Bombas de Impulsor Cerrado : Son aquellas en las que el o los impulsores tienen una placa sujeta en cada uno de los lados laterales del impulsor.

Bombas con Motor Enlatado : Estas bombas son adecuadas para bombear agua radioactiva, la cual llena la cavidad del motor pero queda aislada del rotor y el estator por medio de una cubierta en el espacio magnético.

Monta Acidos : Es una bomba muy sencilla y económica que no incluye partes movibles, recibe también el nombre de Monta Jugos. Se basa en el desplazamiento de un fluido por otro. El líquido se alimenta dentro de un tanque por gravedad y es forzado hacia afuera del tanque por medio de aire comprimido. La operación puede ser continua usando varios Monta Acidos, en tal forma que uno de ellos se encuentra siempre descargando mientras los otros se llenan. Su fabricación puede llevarse a cabo, con materiales resistentes a la corrosión.

Las Bombas Centrífugas, tienen una zona de aplicación muy amplia, pero en algunos casos no se pueden utilizar, por ejemplo; donde se requieran grandes presiones y gastos -- muy chicos, y por el contrario se aplican con gran eficiencia en grandes gastos y bajas presiones. En este último campo, se tienen bombas hasta de 20,000 m³/hr. y presión de 13.5 kg/cm².

Las Bombas Centrífugas, presentan las siguientes -- ventajas :

- a) Son aparatos giratorios .
- b) No tienen órganos articulados, y los mecanismos de acoplamiento son muy sencillos.
- c) La impulsión del accionador es bastante sencilla.
- d) El gasto puede ser constante, sin requerir regulador.
- e) Se adaptan con facilidad a muchas circunstancias.
- f) El costo es relativamente bajo.
- g) El espacio requerido es pequeño, comparado con el -- de otras.
- h) El peso es pequeño, y por lo tanto la cimentación --

también.

- i) Su mantenimiento se reduce a renovar aceite de chumaceras, empaques del prensa estopas y el número de refacciones a cambiar, es pequeño.

Las Bombas Centrífugas, presentan las siguientes --
desventajas :

- a) Baja eficiencia a gastos pequeños y grandes cargas.
- b) Las bombas con pequeña descarga sólo pueden manejar líquidos sin sólidos en suspensión.
- c) Problemas de cebado.

1.2) FUNCIONAMIENTO :

Por medio de un dispositivo como el mostrado en la figura 4 y con la ayuda de piezómetros, es posible dar una explicación más clara del modo de actuar de las Bombas Centrífugas. Este dispositivo puede considerarse una Bomba Centrífuga, cuyo impulsor está formado por dos canales rectos y opuestos diametralmente, formado esencialmente por un tubo ABC en forma de T, que puede girar libremente alrededor de un eje vertical EE' .

Se supondrá además que la rama horizontal AB, tiene una serie de tubos piezométricos en los puntos 0, 1, 2, ...etc. tal como se ve en la figura 4; que sus extremos descargan libremente en una armadura en forma de voluta, exactamente igual a la de una Bomba Centrífuga, y por último, que por la extremidad C, de la rama vertical, puede entrar el agua que existe en un pozo o en un depósito cualquiera.

Un dispositivo tal como el que acaba de describirse, sin considerar los tubos piezométricos, no es otra cosa que una Bomba Centrífuga, (Ver figura 5), cuyo impulsor está formado por solo dos canales rectos diametralmente opuestos, por lo cual y en lo sucesivo, el dispositivo que acaba de describirse lo consideraremos como si fuera una Bomba Centrífuga.

Se supone que el dispositivo de que se ha estado tratando se encuentra en reposo y que el agua ha entrado en él, la línea que defina los niveles piezométricos será una horizontal, tal como acb que nos indica la existencia de una carga de presión O_c , sobre el eje AB de la rama horizontal; pero si ahora se hace que el impulsor gire con un cierto

número de revoluciones por minuto, el perfil piezométrico como es bien sabido, tomará la forma de una parábola tal como - la a1 l , c 1 , b 1 , mostrando que la carga de presión en O ha disminuido a O c 1, mientras que en los puntos 3 y 3' ha aumentado hasta ser igual a 3 b 1, si se hace crecer la velocidad de rotación, el perfil piezométrico afectará la forma a 2 O b 2 que indica ahora una carga nula en O y una carga de presión mayor aún de la que inmediatamente antes existía en los puntos 3 y 3' ; aumentando todavía más la velocidad de rotación, el perfil piezométrico se transformará - en la parábola a 3, c 3, b 3, que indica la existencia de una carga negativa o de succión en O y una carga de presión mucho mayor aún, en los puntos 3 y 3' o sea en los extremos de salida de los canales del impulsor.

Generalizando, se puede concluir diciendo que entre mayor sea el número de revoluciones por minuto con que gire - el impulsor, mayor será la carga negativa o de succión en el Ojo de la Bomba y mayor será también la carga de presión que obre en las extremidades de salida de los canales del impulsor o sea también en la Armadura de la Centrífuga.

La carga negativa o de succión hará que el agua, pasando por el tubo de succión, venciendo la altura de succión y las pérdidas a que haya lugar, sea absorbida del pozo y entre al impulsor por el Ojo de la Centrífuga; mientras que la carga de presión en la extremidad de salida de los canales -- del impulsor o sea en la "boca" del mismo, será aprovechada para vencer la altura de descarga más las pérdidas que por -- fricción, codos etc, tengan lugar en la tubería de descarga.

De lo anterior se deduce que con una Bomba Centrífuga

ga dada, podrá hacerse crecer dentro de ciertos límites, la -
altura de descarga, aumentando la velocidad de rotación de la
Centrífuga.

1.3) CONCEPTOS :

a) Propiedades de Fluidos :

Gravedad Específica .- Es la relación de la densidad de una sustancia, a la densidad del agua pura.

La gravedad específica de un líquido, puede estar dada en datos de gravedad específica directamente o, en grados Baume, grados API (para aceites) o grados Brix (para azúcares) etc. En el apéndice se muestran algunas tablas de conversión de estos grados a gravedad específica directamente.

Viscosidad .- Es la resistencia a la fluidez de un líquido. Esta resistencia, se expresa como un coeficiente de viscosidad absoluta.

La viscosidad, se puede expresar de dos formas: Viscosidad Absoluta o Dinámica (μ) y Viscosidad Cinemática (ν).

1 .- Las Unidades de la Viscosidad absoluta en el sistema métrico son :

$$\frac{\text{dina} - \text{segundo}}{\text{cm}^2}$$

Esta unidad es llamada un poise.

$$1 \text{ poise} = \frac{\text{dina} - \text{segundo}}{\text{cm}^2}$$

En el sistema Inglés la unidad de viscosidad absoluta, no tiene ningún nombre, pero se mide en :

$$\frac{\text{lb} - \text{seg.}}{\text{ft}^2}$$

También se puede expresar en :

$$\frac{\text{slugs}}{\text{foot} - \text{seg}}$$

Para convertir de un sistema a otro :

$$100 \text{ centipoises} = 1 \text{ poise} = .00209 \frac{\text{lb} - \text{seg}}{\text{ft}^2}$$

2.- La viscosidad cinemática en el sistema métrico, se mide en stokes, sus unidades son :

$$\frac{\text{cm}^2}{\text{seg}}$$

En el sistema Inglés, las unidades son :

$$\frac{\text{ft}^2}{\text{seg}}$$

Para convertir :

$$100 \text{ centistokes} = 1 \text{ stoke} = .00108 \text{ ft}^2 / \text{seg}.$$

Las dos expresiones anteriores están referidas para cualquier líquido, porque la viscosidad cinemática es la relación de la viscosidad absoluta y la densidad.

De donde la viscosidad cinemática es igual a :

$$\frac{\mu}{\rho}$$

Cuando el sistema Inglés es usado, se recomienda que la viscosidad cinemática (ft^2/seg) se determine dividiendo

la viscosidad absoluta (lb seg/ft²) por la densidad expresada como : $\frac{w}{g}$ (lbs / ft³ dividida entre 32.2 ft/seg²)

Es preferible usar centistokes, porque así se reducen los errores aritméticos, ya que se trabaja con números -- enteros.

Viscosidad SSU :

En muchas tablas y diagramas, la viscosidad cinemática está expresada en Segundo Saybolt -- Universal (SSU) directamente. En otras la viscosidad cinemática (ν) está expresada en : $\frac{ft^2}{seg}$

La relación entre las dos está mostrada en la figura 6y7 del apéndice.

Se puede calcular aproximadamente como sigue :

$$\nu \left(\frac{ft^2}{seg} \right) = 0.000002433 \text{ SSU} - \frac{0.00210}{SSU}$$

Los SSU en esta ecuación deben de ser 100 o menos.

$$\nu \left(\frac{ft^2}{seg} \right) = 0.000002368 \text{ SSU} - \frac{0.00145}{SSU}$$

Los SSU en esta ecuación deben de ser mayores que 100.

Para convertir de SSU, Saybolt, Furol, Redwood, Engler, Barbey y Centistokes a : $\frac{ft^2}{seg}$ vease la tabla --

V .4. Apéndice.

Presión de Vaporización :

La presión de vapor de un líquido a cierta temperatura, es aquella presión a la que se vaporiza rápidamente si

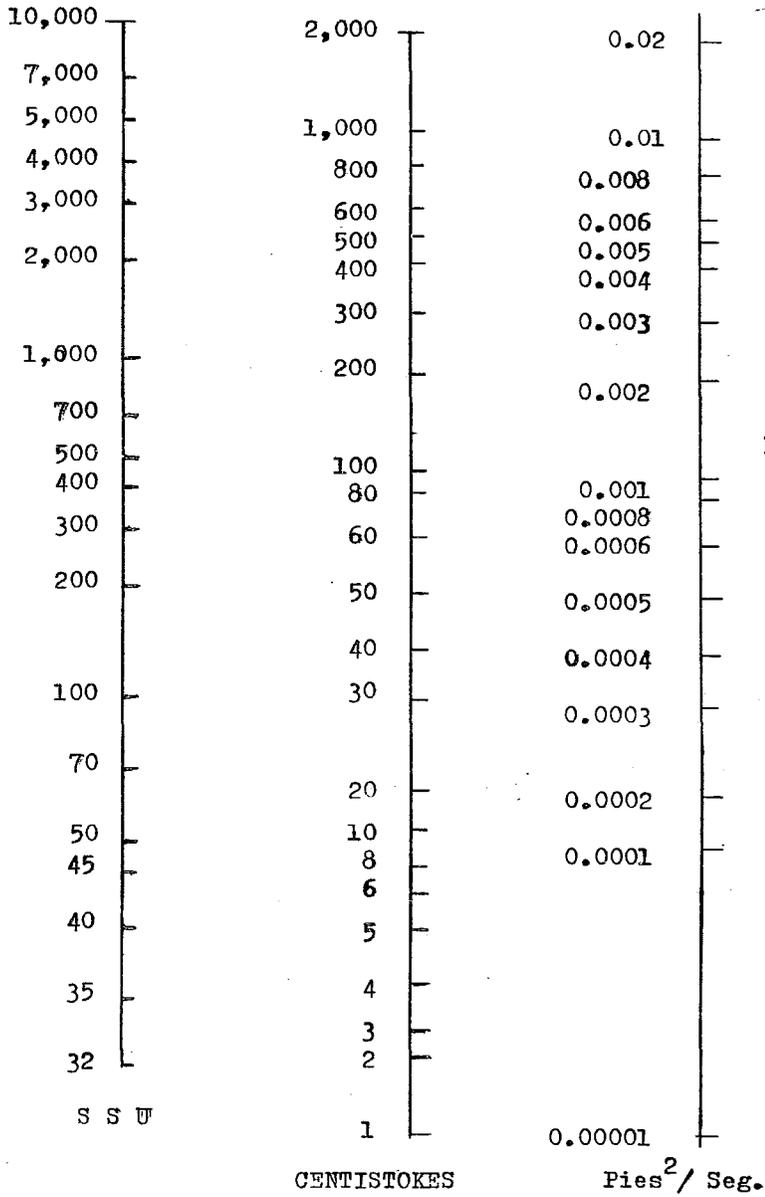
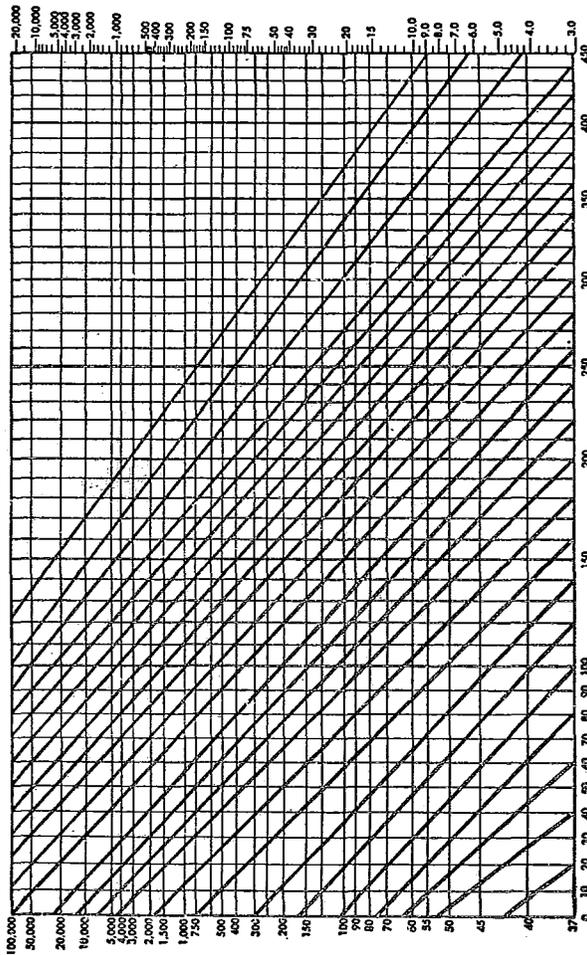


Fig. 6



SEGUNDOS SAYBOLT UNIVERSAL

TEMPERATURA GRADOS FAHRENHEIT

Fig.7

se agrega calor al líquido o, al contrario, la presión a la -- cual el vapor a una temperatura dada se condensa a líquido si se le quita calor.

Para líquidos homogéneos o de un solo componente, co mo el agua, la presión de vapor tiene un valor muy definido a cualquier temperatura fijada, y se tienen tablas que dan la -- presión de vapor de éstos líquidos en una gran variedad de tem- peraturas. (Ver Tablas IV y VI) .

Sin embargo, ciertos líquidos mezclados, como la ga- solina, que están constituidos por varios componentes, cada uno de los cuales tiene su propia presión de vapor, y la vaporiza- ción parcial puede verificarse a distintas presiones y tempera- turas.

Al calcular las cargas hidráulicas para las bombas, es importante que las presiones expresadas en Kg/cm² o lb/in² u otras unidades de presión, se conviertan a metros o pies del líquido a la temperatura de bombeo. Se debe tener cuidado de - no usar factores de conversión que se apliquen a otras tempera- turas cuando se hacen las conversiones.

Por ejemplo: La presión de vapor de agua a 100 °C. es 1.029 kg/cm² (presión barométrica normal a nivel del mar). La altura de elevación equivalente en metros de agua, es de 10.339 m. de agua a 16.7 °C. Como el agua a 100 °C. tiene un peso es- pecífico de 0.959 comparado con una densidad de 1.0 para el a- gua a 16.7 °C. su altura de elevación equivalente sería :

$$\frac{10.339}{0.959} = 10.797$$

Temperatura de Ebullición :

Se dice cuando la presión de vapor de un líqui -

do cualquiera se iguala a la presión atmosférica o a la presión del sistema es la temperatura de ebullición.

b) Características de Operación :

Gasto : El gasto se puede definir como el volumen de fluido que pasa por la bomba en una unidad de tiempo. Las unidades usadas para gasto de una bomba, dependen de su aplicación y del lugar de diseño de la misma y por lo tanto, se tiene lo siguiente : galones por minuto en Estados Unidos, galones imperiales por minuto en la comunidad Británica y metros cúbicos por hora en los países que usan el sistema métrico.

También se usan millones de galones por día, pies cúbicos por segundo, galones por hora, barriles por día, barriles por hora, libras por hora y acre pies por día.

Es un asunto sencillo el convertir las distintas unidades a galones por minuto (gpm) (litros por minuto en México) . Los equivalentes para la mayoría de las unidades forman parte de la figura 8 .

La capacidad de la bomba requerida por una instalación deberá darse en litros por minuto a la temperatura de bombeo. La temperatura del líquido bombeado es un factor muy importante, ya que se debe conocer cualquier variación grande de ésta, por que afectará el peso específico y la gama de viscosidad del líquido manejado. (Ver figura 7) .

Carga : La carga dada por una bomba es la energía proporcionada al líquido para moverlo de un punto a otro.

Esta energía será causa de que el líquido haga trabajo, como fluir por una tubería o elevarse a un nivel más --

alto. Una Bomba Centrífuga transforma energía mecánica de un impulsor giratorio a la energía cinética y potencial requerida. Aún cuando la fuerza centrífuga desarrollada depende tanto de la velocidad periférica del impulsor como de la densidad del fluido, la cantidad de energía impartida por kilogramos de fluido es independiente de fluido en sí. Por lo tanto, para determinada máquina operando a cierta velocidad y manejando un volumen definido, la energía mecánica aplicada y transferida al fluido en kilográmetros por kilogramo de fluido - es la misma para cualquier fluido, cualquiera que sea su densidad.

La carga hidráulica de la bomba, o energía en kilográmetros por kilogramo, se expresará, por lo tanto en metros. Sin tomar en cuenta los efectos de viscosidad, la altura de elevación generada por una bomba determinada a cierta velocidad y capacidad, permanecerá constante para todos los fluidos. Por ello es natural hablar de alturas de elevación en Bombas Centrífugas en terminos de metros de líquido.

Antes de pasar a los distintos términos de altura de elevación incluidos en sistemas de bombeo se deberá mencionar que :

1 .- Las alturas de elevación pueden medirse en varias unidades, como metros de líquido, kg/cm^2 de presión, cm. de mercurio y otras dependiendo de las aplicaciones y de las unidades de medida del país.

2 .- Las lecturas de presión y de altura de elevación pueden ser en unidades manométricas o absolutas.

3 .- La diferencia entre las unidades manométricas y absolutas está afectada por la presión atmosférica existente

y, por lo tanto por la altitud.

4 .- La presión en cualquier punto en un sistema -- que maneja líquidos, nunca debe reducirse abajo de la presión de vapor del líquido.

Conversión de presiones a metros de líquido :

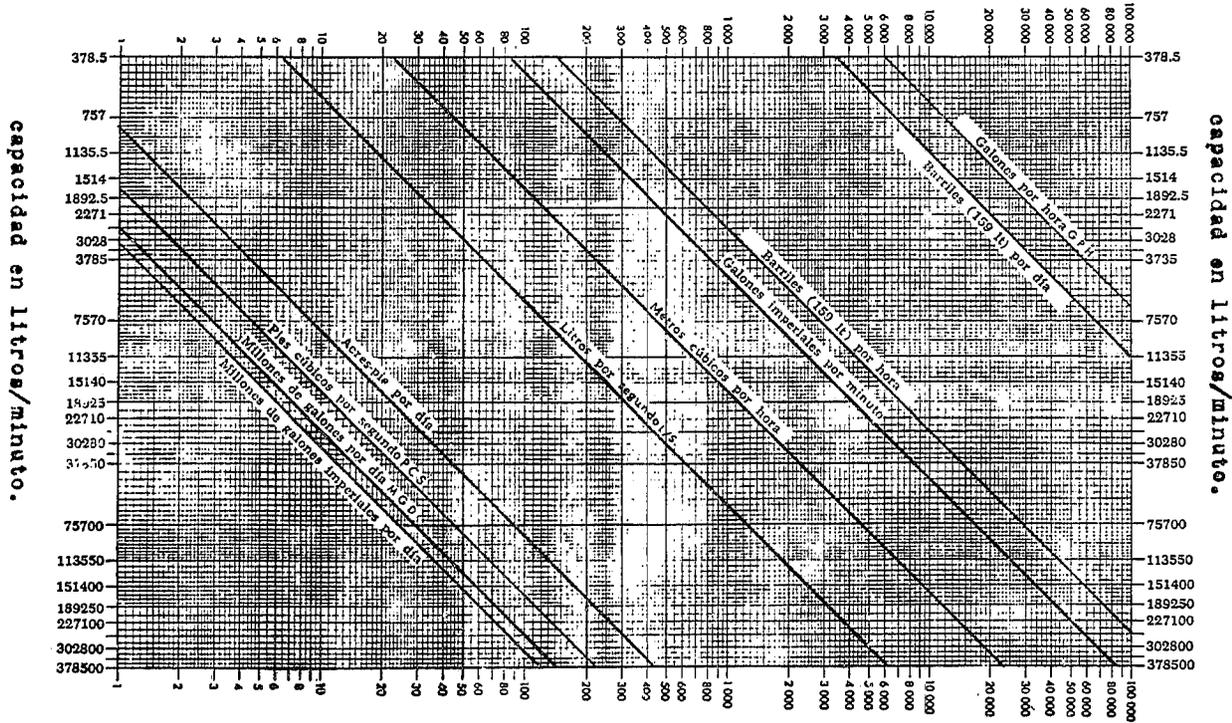
Una columna de agua de 0.704 m. de altura aproximadamente producirá una presión de ; 0.07 kg/cm^2 en su base. Así para agua a temperaturas ordinarias cualquier presión calculada en -- kg/cm^2 puede convertirse a una presión equivalente en metros - de agua multiplicando por 10. Para líquidos que no sean agua - la columna del líquido equivalente a 0.07 kg/cm^2 puede calcu-- larse dividiendo 10 entre el peso específico del líquido.

Las presiones y sus alturas de elevación correspon-- dientes pueden expresarse ya sea en unidades absolutas ó manométricas. En las lecturas manométricas, la presión se dá solamente en relación con la presión atmosférica, mientras que la presión absoluta son las lecturas manométricas más la presión atmosférica existente. En otras palabras, la presión está refe-- rida a un vacío absoluto.

Para bombas instaladas a elevaciones arriba del ni-- vel del mar, se debe recordar que hay una disminución de la presión atmosférica de 1 cm de mercurio por cada 120 m. de elevación. A una elevación de ; 1200 m. por lo tanto, la presión at-- mosférica es 10 cm. de mercurio o cerca de 1.35 m. de agua, me-- nos que al nivel del mar. La carga total de un sistema contra la cual debe operar una bomba está compuesta de los siguientes componentes :

1 .- Carga estática.

capacidad en unidades que no sean litros/minuto.



CONVERSIONES DE CAPACIDAD.

capacidad en litros/minuto.

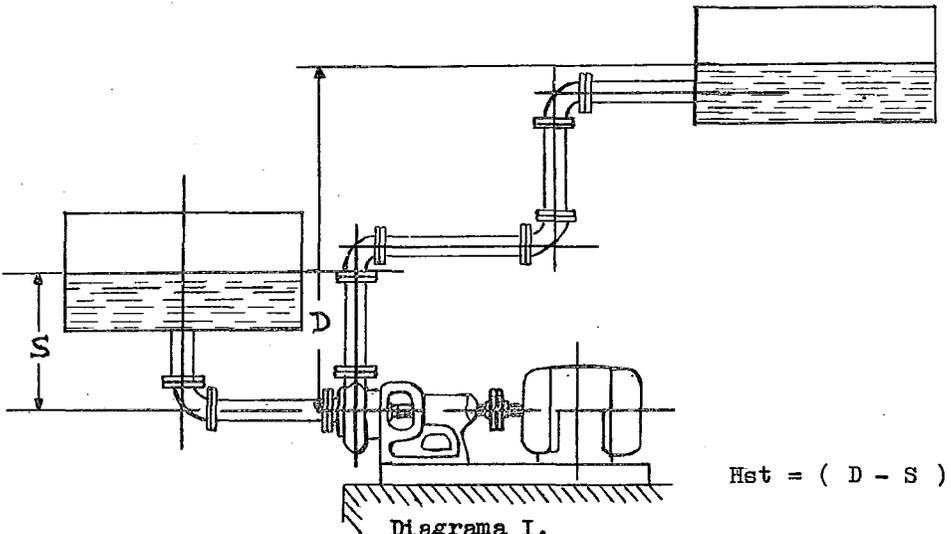
capacidad en unidades que no sean litros/minuto.

Fig. 8

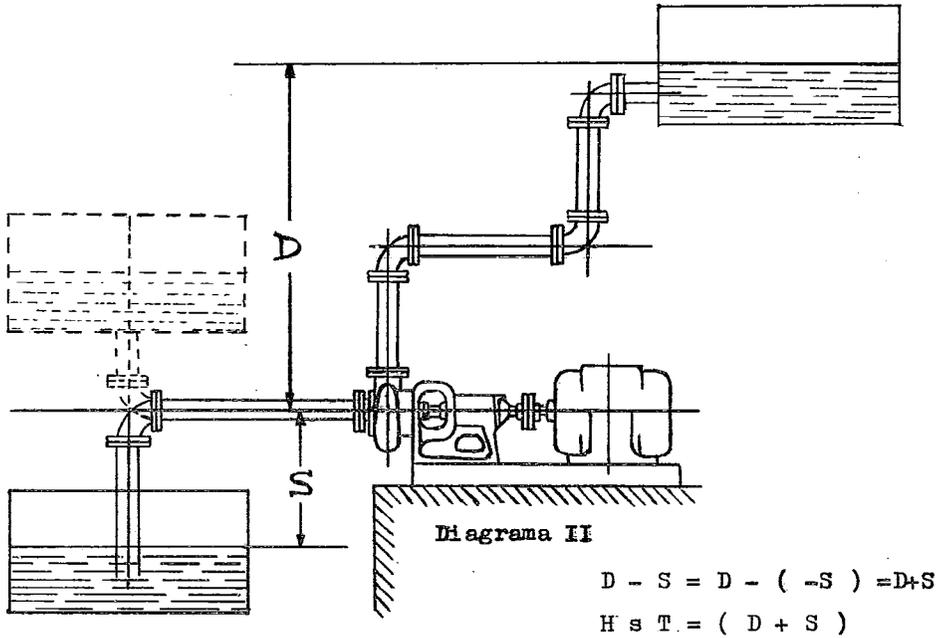
- 2 .- Diferencia de presiones que existen en el líquido.
- 3 .- Carga de fricción.
- 4 .- Pérdidas de entrada y salida.
- 5 .- Elevación correspondiente a la velocidad.

La carga estática se refiere a la diferencia de elevación. Así, la carga estática total de un sistema es la diferencia de elevación entre el nivel del líquido de descarga y el nivel del líquido de succión.

En el siguiente diagrama se muestra la carga estática de la bomba :



Cuando el nivel del líquido de succión se encuentra debajo de los centros de línea de la bomba, entonces se le considera negativo al término S.



En la práctica los términos más usuales son :

- 1 .- Carga Estática .
- 2 .- Diferencia de Presiones .

Los siguientes ejemplos mostrarán más claramente como se calcula la carga total o carga dinámica total :

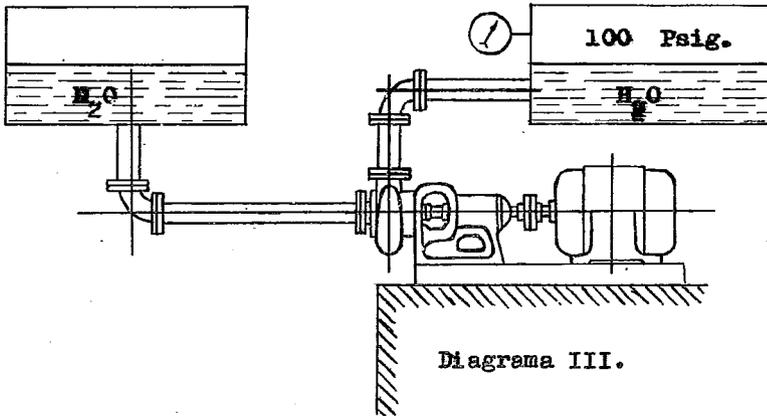
Ejemplo 1 .-

Datos :

$$H s T = 0$$

$$\Delta P = 100 \text{ psig}$$

$$Spgr. = 1$$

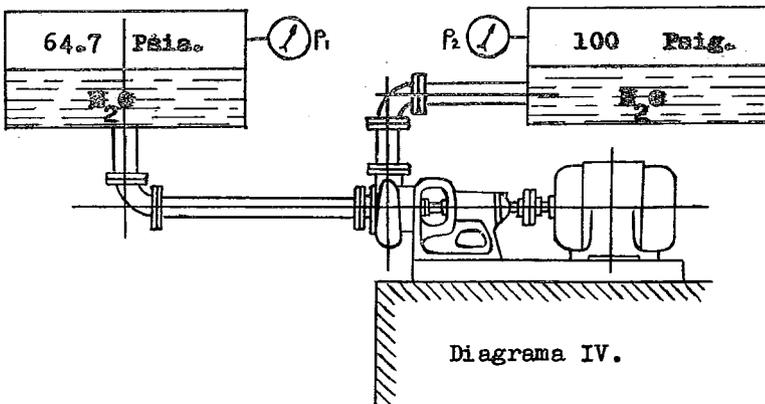


$$C.D.T. = H_{st} + \frac{\Delta p \times 2.31}{Sp \text{ gr.}}$$

$$C.D.T. = 0 + 100 \times 2.31 = 231$$

$$C.D.T. = 231'$$

Ejemplo 2 :



$$C.D.T. = HsT + \frac{\Delta P \times 2.31}{Sp \text{ gr.}}$$

$$HsT = 0$$

$$\Delta P = \frac{64.7 \text{ psia.} - 14.7 \text{ psia.}}{50.0 \text{ psig.}} \leftarrow P. \text{ Atmosférica.}$$

Porque :

$$P. \text{ Absoluta} = P. \text{ Atmosférica} + P. \text{ Manométrica.}$$

Unidades	:	kg/cm ²	kg/cm ² - (g) gage
		Psia.	psig - lb/in ²
		Atm.	

Y despejando : P. Manométrica = P. Absoluta - P. Atmosférica.

$$C.D.T. = \frac{50 \text{ psig.} - 100 \text{ psig} \times 2.31}{1}$$

$$C.D.T. = \frac{50 \text{ psig} \times 2.31}{1} = 116$$

$$C.D.T. = 116'$$

Ejemplo 3 :

$$C.D.T. = HsT + \frac{\Delta P \times 2.31}{Sp \text{ gr.}}$$

$$C.D.T. = D - S$$

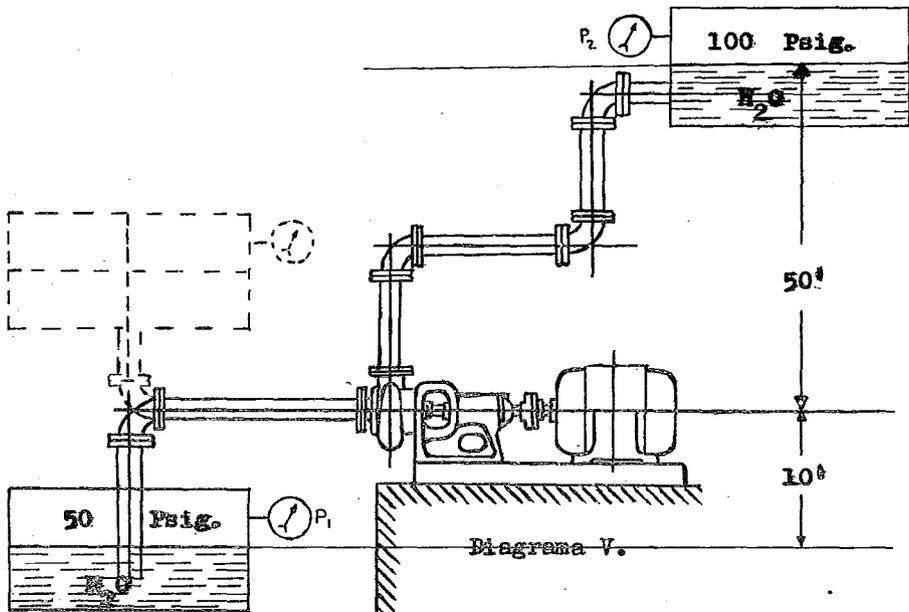
$$C.D.T. = 50 - (-10) = 60$$

$$C.D.T. = 60 + \frac{(50 \text{ psig} - 100 \text{ psig}) \times 2.31}{1}$$

$$C.D.T. = 60 + 50 \times 2.31$$

$$C.D.T. = 60 + 115.5 = 175.5'$$

$$C.D.T. = 175.5'$$



Eficiencia : Es la relación de la potencia a la salida de la bomba (Potencia Hidráulica) con la potencia a la entrada de la misma, (potencia en cople de unión de la flecha del accionador con la de la bomba).

W H P : Potencia Hidráulica.

B H P : Potencia en el cople, unión de la flecha - accionador con la de la bomba.

$$\text{Eficiencia} = \frac{W H P}{B H P}$$

Potencia Al Freno (B H P) : El trabajo útil — hecho por una bomba es el peso de líquido bombeado en un periodo de tiempo multiplicado por la carga desarrollada por la bomba y, generalmente, se expresa en términos de caballos de fuerza de agua (W H P), sería más correcto caballos de fuerza de líquido. Puede determinarse por la relación :

$$W H P = \frac{Q H \text{ sp gr.}}{4570}$$

En la cual :

W H P = Caballos de fuerza de agua.

Q = Capacidad de la bomba en Lt/min.

H = Carga total en metros.

La fuerza requerida para mover la bomba, generalmente se determina en caballos de fuerza y se llama energía recibida por la bomba en B H P .

La relación entre B H P , capacidad, carga y eficiencia, es por lo tanto :

$$B H P = \frac{Q \times H \times Sp \text{ gr.}}{4570 \text{ eficiencia.}}$$

η = Eficiencia.

En el sistema Inglés :

$$B H P = \frac{Q \times H \times Sp \text{ gr.}}{3960 \times \eta}$$

Carga Neta Positiva De Succión (N.P.S.H) : Estas siglas son para representar la " Net Positive Suction Head " cuya traducción es : Carga Neta Positiva De Succión .

Se puede definir como la energía con que cuenta el líquido al llegar al ojo del impulsor de la bomba, menos la presión de vaporización del líquido a la temperatura de bombeo. O de otra forma; es la carga neta positiva de succión arriba de la presión de vapor del líquido.

En el bombeo de líquidos, la presión en cualquier punto en la línea de succión nunca deberá reducirse a la presión de vapor del líquido. La energía disponible que puede utilizarse para pasar el líquido por la tubería de succión y la vía de agua de succión de la bomba dentro del impulsor, es la carga total de succión menos la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo.

Tanto la carga de succión como la presión de vapor, deberán expresarse en metros o pies del líquido que se está manejando, y ambos deben expresarse ya sea en unidades manométricas o absolutas.

Se puede expresar de la siguiente manera :

$$\text{N.P.S.H.} = \frac{(\text{P. sist} - \text{P. vap.}) 2.31}{\text{Sp gr.}} + h - hf$$

Sp gr.

En donde :

- P. sist. = Presión del sistema.
- P. vap. = Presión de vaporización.
- 2.31 = Factor para transformar psi. a pies de agua.
- Sp gr = Gravedad Específica.
- h = Separación vertical entre la superficie del líquido y la línea de centros de la bomba.
- hf = Pérdidas en la tubería y accesorios.

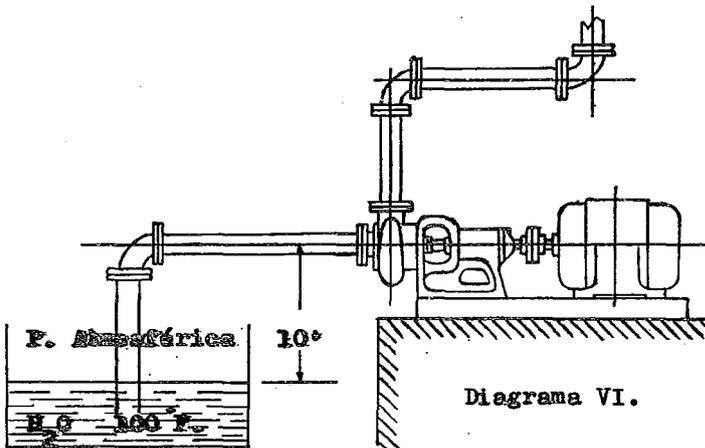
La forma de interpretar la igualdad de N.P.S.H. es elástica ya que depende de las condiciones del sistema.

Para un sistema y determinadas condiciones de bombeo, se tienen N.P.S.H. requerido y N.P.S.H. disponible.

El N.P.S.H. disponible es el valor que se obtiene de acuerdo con las condiciones de la instalación de bombeo. En los siguientes ejemplos se verá más claramente este concepto :

Ejemplo 1 :

$$\begin{aligned}
 h_f &= 1.5' \\
 P. \text{ sist.} &= 14.7 \text{ psia.} \\
 \text{N.P.S.H. disponible.} &= \frac{(P_s - P_v) 2.31}{Sp \text{ gr.}} + h - h_f
 \end{aligned}$$



P. vapor H₂O a 100 °F = .95 psia (ver tabla IV y VI)

P. Atmosférica a nivel

del mar . = 14.7 psia (ver tabla VII)

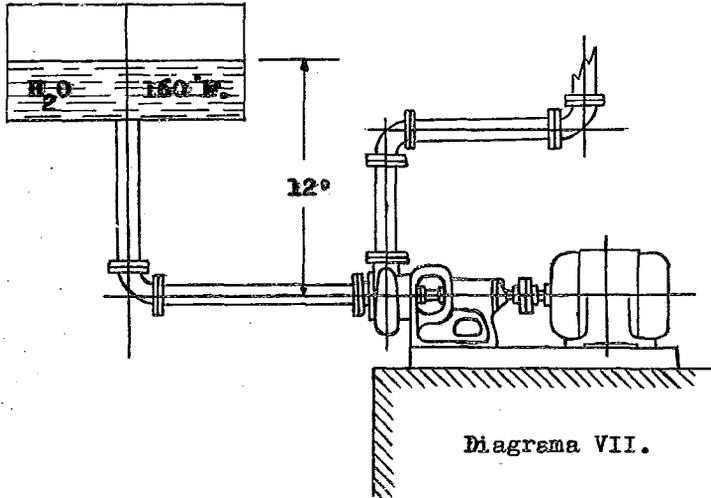
Sp gr. del H₂O a 100 °F = .993 (ver tabla IV)

$$\text{N.P.S.H. Disponible} = \frac{(14.7 \text{ psia} - .95 \text{ psia})}{.99} 2.31 + (-10') - 1.5'$$

$$\text{N.P.S.H.} \quad " \quad = 32' - 10' - 1.5' = 20.5'$$

$$\text{N.P.S.H.} \quad " \quad = 20.5'$$

Ejemplo 2 :



$$h_f = 2'$$

La bomba trabaja a 5000' sobre el nivel del mar.

P. Atmosférica a 5000' o 1524 m. es de : 12.2 psia. (Ver tabla VII).

P. de Vapor del H₂O a 160 °F = 4.74 psia. (Ver tabla IV y VI).

Sp gr. del H₂O a 160 °F = .977 (ver tabla IV)

$$\text{N.P.S.H. Disponible} = \frac{(12.2 - 4.74) \cdot 2.31}{.977} + 12' - 2'$$

$$\text{N.P.S.H.} \quad " \quad = 17.8 + 12' - 2'$$

$$\text{N.P.S.H.} \quad " \quad = 27.8'$$

Ejemplo 3 :

La bomba trabaja a 4000' sobre el nivel del mar.

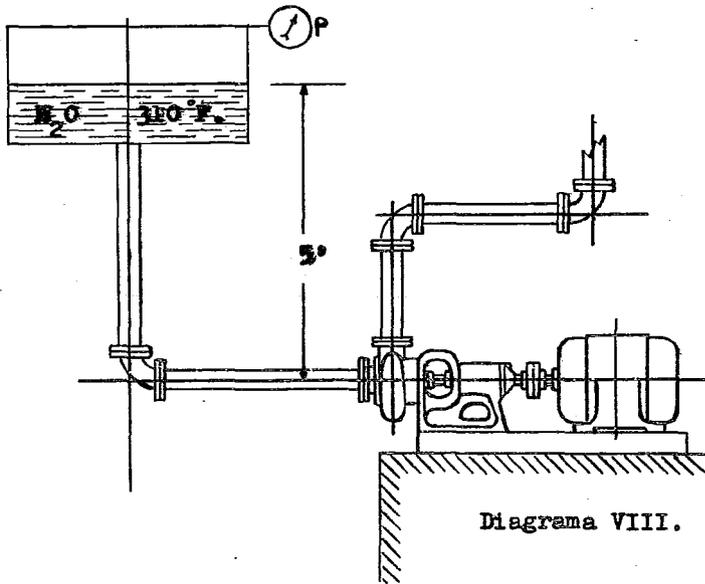


Diagrama VIII.

P. Manométrica = 70 psig.
 P. Atmosférica = 12.69 psia. (Ver tabla VII).
 P. Vapor a 310 °F = 77.68 psia. (Ver tablas VI y IV).
 Sp gr del H2O a
 310 °F. = 0.914 (Ver tabla IV).
 h f = 0.1'

P. Absoluta = P. Atmosférica + P. Manométrica.
 P. Absoluta = 12.69 + 70
 P. Absoluta = 82.69 psia.

N.P.S.H. Disponi-
 ble. = $\frac{(82.69 - 77.68) 2.31}{.914} + 5 - 0.1$

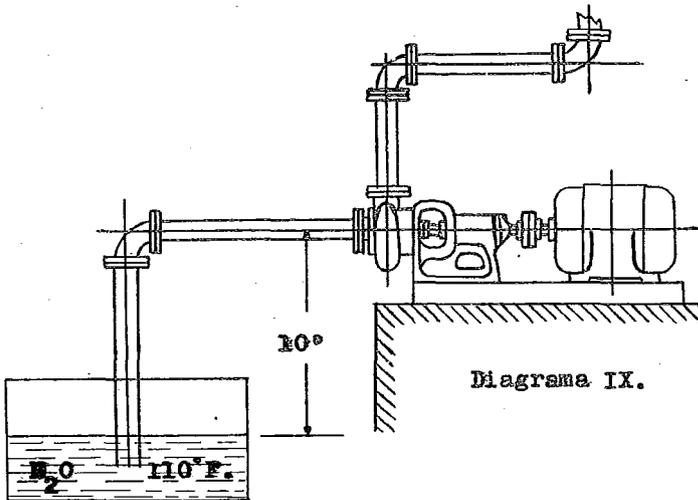
N.P.S.H. Disponible = 17.40"

El N.P.S.H. requerido es función del diseño de la bomba, y depende de los siguientes factores :

- 1 .- Diametro del ojo del impulsor.
- 2 .- Forma y número de aspas del impulsor.
- 3 .- Area entre las aspas.
- 4 .- Diámetro de la flecha, y del cubo del impulsor.
- 5 .- Velocidad específica del impulsor.
- 6 .- Forma de succión.

Posteriormente se verá como se relacionan todos estos factores.

El siguiente ejemplo muestra la relación que existe entre el N.P.S.H. disponible y requerido.



Una bomba trabajando a 7500' sobre el nivel del mar. Se supone que el N.P.S.H. requerido por la bomba es de 7' y la pregunta es : ¿ trabajará la bomba ?.

Presión de vapor del H ₂ O a 110 °F	=	1.27 psia.	(tablas IV y VI)
Presión atmosférica a 7500 '	=	11.1 psia.	(tabla VII)
hf = 0, Sp gr. del H ₂ O a 110 °F	=	.99	(tabla IV)
N.P.S.H. disponible	=	$\frac{(11.1 - 1.27) 2.31 - 10 - 0}{.99}$	
N.P.S.H. disponible	=	22.86 - 10	= 12.86'
N.P.S.H. disponible	=	12.86'	
N.P.S.H. requerido	=	7'	

Como el N.P.S.H. requerido, es menor que el disponible, no hay problema, y sí puede trabajar la bomba. En cambio cuando el N.P.S.H. requerido excede al disponible, ocurre una vaporización parcial del líquido en el interior de la bomba con la consecuente cavitación que trae como consecuencia vibraciones, pérdidas de carga y erosión severa del impulsor y superficie de la carcasa.

En muchos casos resulta muy costoso elevar el nivel de la fuente de suministro para aumentar el N.P.S.H. disponible utilizándose en éstos casos bombas con velocidades bajas y de succión doble que reduce el N.P.S.H. requerido de la bomba.

Un valor recomendable para el buen funcionamiento de una Bomba Centrífuga, es la operación con un N.P.S.H. disponible mínimo de 1.5 pies por arriba del N.P.S.H. requerido.

Si una bomba produce un ruido de crepitación, el motivo de la falla probablemente se encuentra en la succión de la bomba. Este tipo de ruido generalmente se asocia con la cavitación.

ción - la condición que se presenta cuando la presión en cualquier punto es menor que la presión de vapor del líquido a la temperatura predominante.

Algo del líquido se transforma en vapor y las burbujas de vapor son acarreadas con el líquido.

Si esto sucede en el área de succión de una Bomba -- Centrífuga o dentro de la entrada del impulsor, las burbujas a carreadas al interior del impulsor sufren un aumento de presión, y por lo tanto; se condensan. Este proceso va acompañado de un colapso violento de las burbujas, posible picadura y erosión de los álabes del impulsor y un ruido definido de crepitación. Por supuesto, la presencia de vapor dentro del líquido - bombeado, causa una reducción de la capacidad de la bomba. La cavitación, por lo tanto, es un resultado directo de presión - insuficiente en la succión de la bomba - operación con carga - neta positiva de succión (N.P.S.H.) insuficiente.

Posteriormente se verá como se calcula la carga neta positiva de succión requerida (N.P.S.H. requerida).

Carga De Succión (N.P.S.H. Negativo) :

Obviamente debe de existir una relación entre ; el N.P.S.H. y la carga de succión máxima permisible. No existe una verdadera traducción acerca de éste concepto, pero se podría decir que - es un N.P.S.H. negativo.

Es la diferencia entre la Presión Atmosférica y el - N.P.S.H. requerido.

Carga de succión = P. Atmosférica - N.P.S.H. requerido.
(En condiciones ideales).

A continuación se mostrará como se determina la carga de succión de una manera completamente empírica por medio de unas tablas.

Ejemplo :

Determinar la carga de succión (suction lift) permisible de una bomba de succión sencilla con las siguientes características :

Líquido : Agua

Capacidad : 800 gpm. (galones por minuto)

Velocidad : 1750 rpm. (revoluciones por minuto)

Area del ojo del impulsor : 16 pulgadas².

Altura sobre el nivel del mar : 6,000 pies.

Temperatura del líquido : 120 °F.

Velocidad de succión en el ojo del impulsor :

$$v = \frac{\text{gpm} \times 0.321}{A} \quad A = \text{Area del ojo del impulsor.}$$

$$v = \frac{800 \times 0.321}{16 \text{ in}^2} = 16 \text{ ft/seg.}$$

Tambien se puede utilizar la **Figura numero 9** directamente.

Velocidad Periférica Del Líquido :

$$U = \frac{\text{rpm} \sqrt{A}}{176} \quad \text{.- Para impulsor de succión sencilla.}$$

$$U = \frac{\text{rpm} \sqrt{A}}{249} \quad \text{.- Para impulsor de succión doble.}$$

En este caso es de succión sencilla :

$$U = \frac{\text{rpm} \sqrt{A}}{176} = \frac{1750 \sqrt{16}}{176} = \frac{1750 (4)}{176} = 40 \text{ ft/seg}$$

O en su defecto, utilizar las Figuras 10 y 11

Posteriormente se hará la lectura de la carga de succión (suction lift) permisible en pies, para agua a temp. ambiente y al nivel del mar. Utilizar la Figura 12.

Se lee directamente 19.5'

En este caso existen unas correcciones por la altitud y por la temperatura.

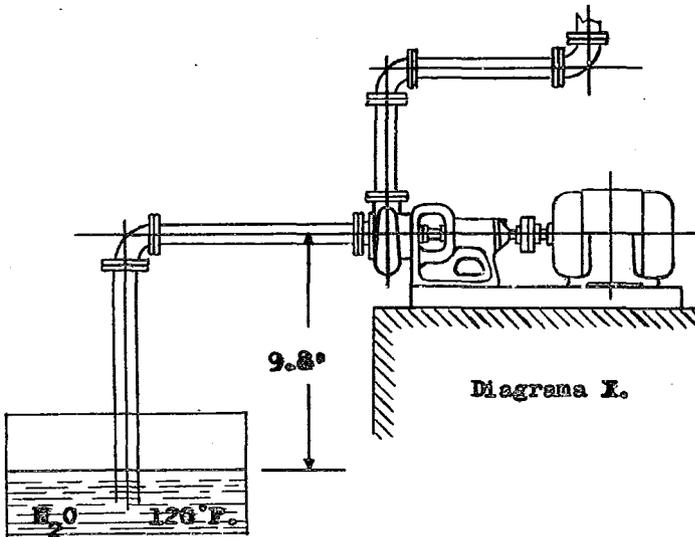
Corrección por la temperatura : 3 °F. (ver
Figura 13)

Corrección por altitud 6.8 "

Ver Figura 14.

Carga de succión permisible : (Suction lift permisible) 19.5' - 3.0' - 6.8' = 9.8'

La bomba entregará 800 gpm sin problemas, si su carga de succión no rebaza los 9.8'



Calculo De La Carga Neta Positiva De Succión
Requerida :

Determinar la carga neta positiva de succión requeri
da en pies arriba de la presión de vapor, para una bomba de do
ble succión que va a manejar agua a su punto de ebullición.

Datos :

Capacidad : 800 gpm.

Velocidad : 3600 rpm .

Area del ojo del impulsor : 13.6 in²

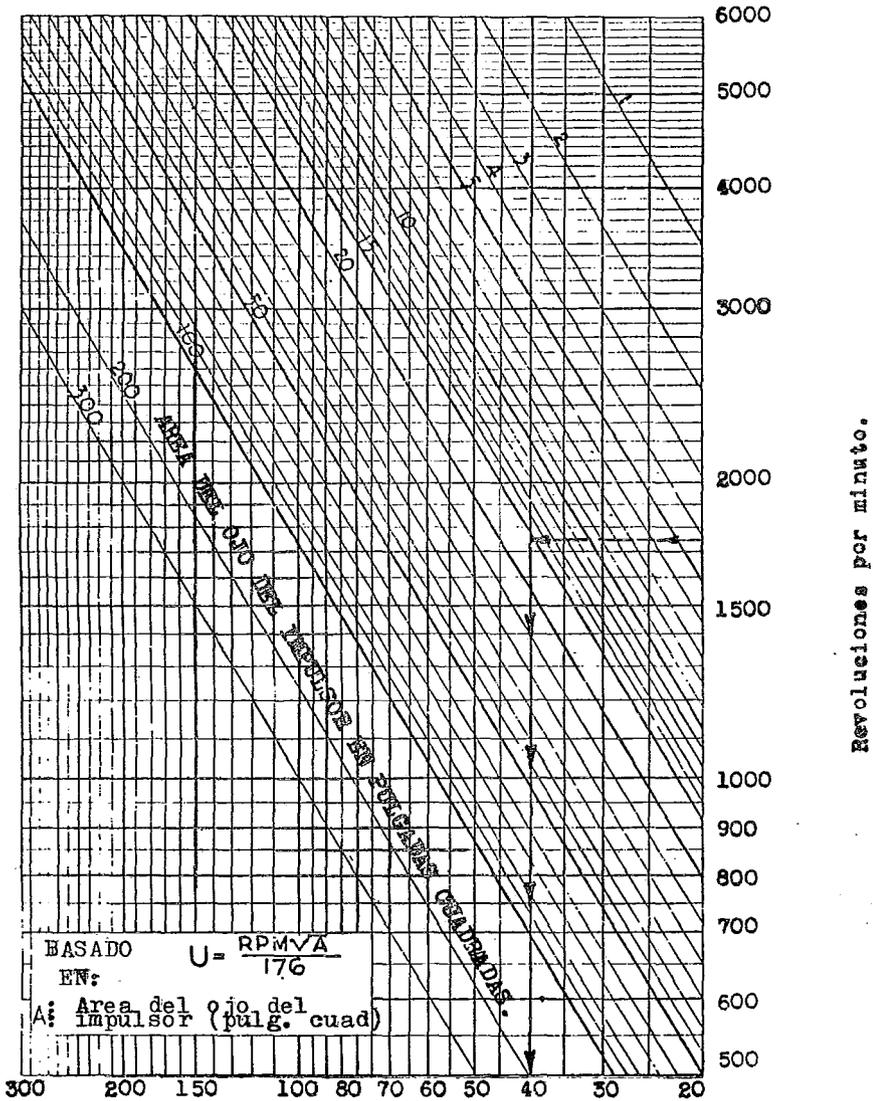
Velocidad de succión : 18.8 ft/seg (ver Figura 9)

Velocidad periférica del líquido : 53 ft/seg (ver

Figura 11)

Carga neta positiva de succión requerida en pies, arriba de la
presión de vapor del agua : 20.5 (ver Figura 12)

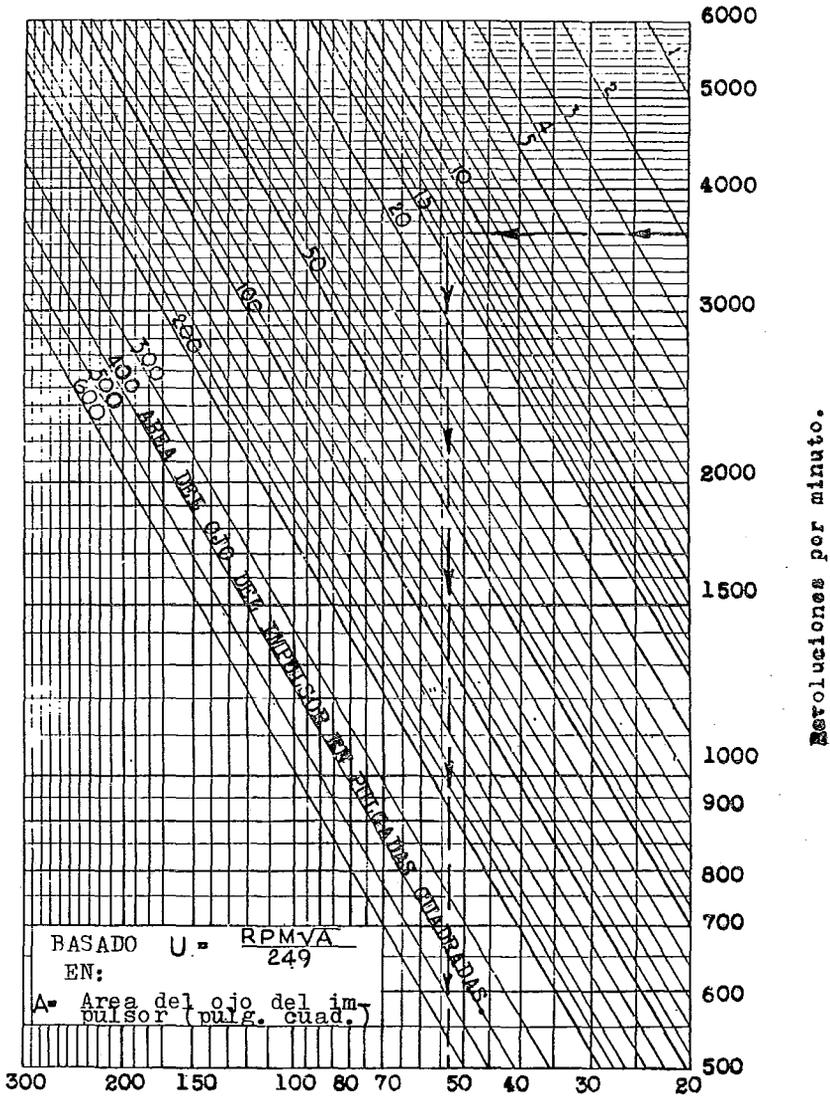
IMPULSOR DE SIMPLE SUCCION.



U: Velocidad Periférica (pies/segundo)

Fig. 10

IMPULSOR DE DOBLE SUCCION.



U: Velocidad Periférica (pies/segundo)

Fig. 11

V: Velocidad de succión en el ojo del impulsor.
(pies/segundo)

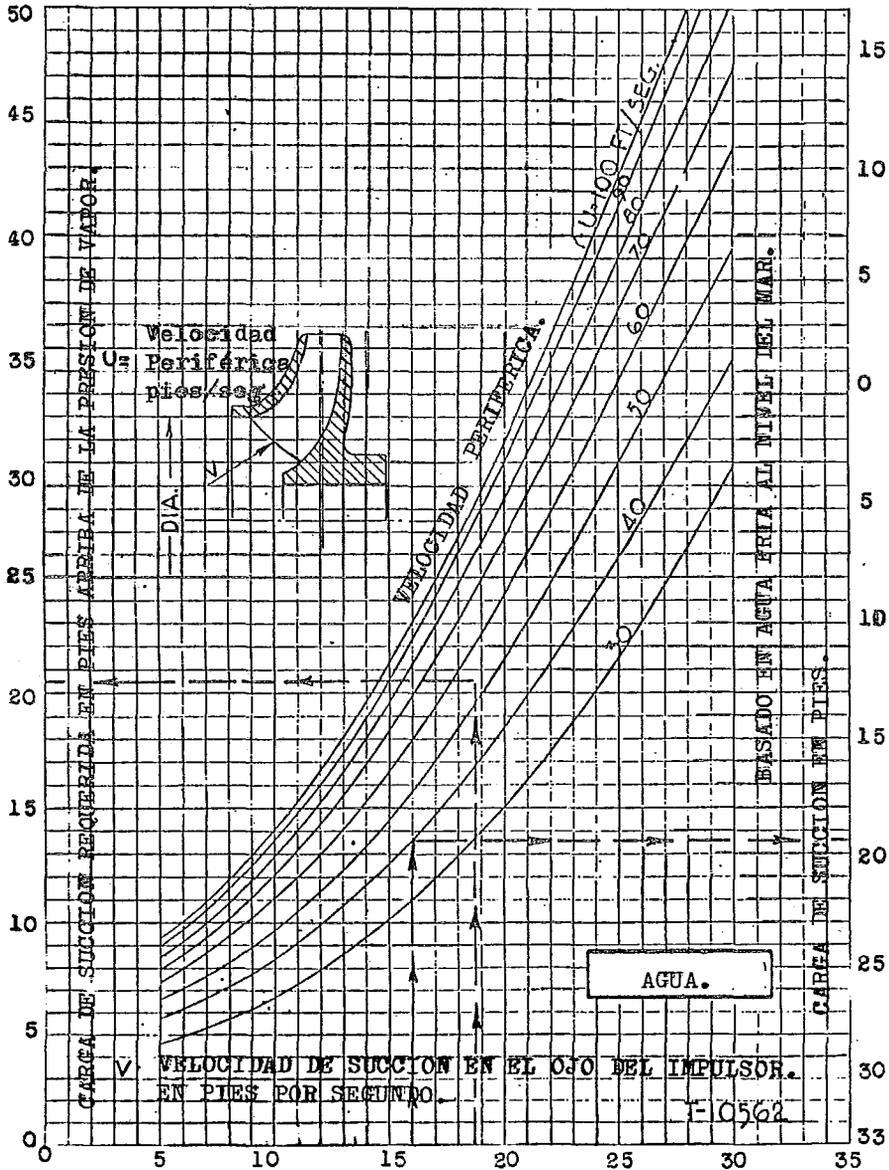


Fig. 12

CORRECCION DE CARGA DE SUCCION POR TEMPERATURA DEL AGUA.

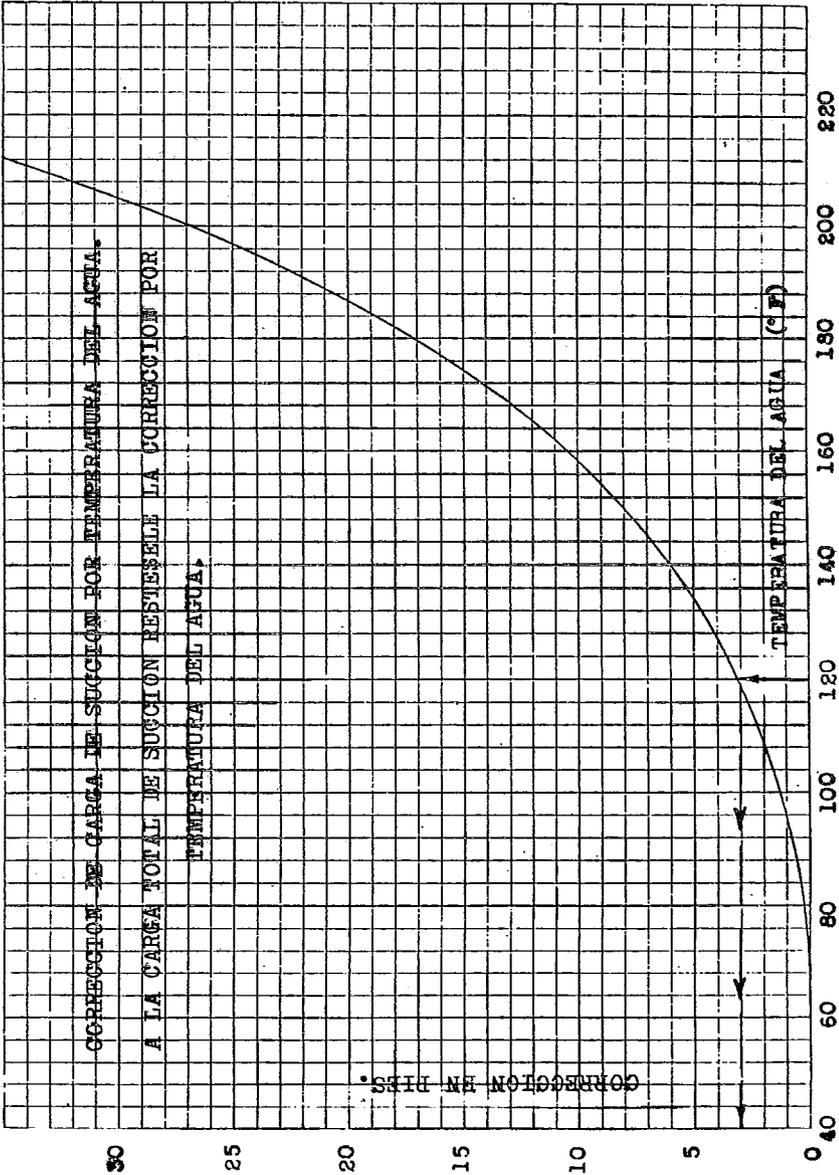


Fig. 13

CORRECCION DE CARGA DE SUCCION POR ELEVACION.

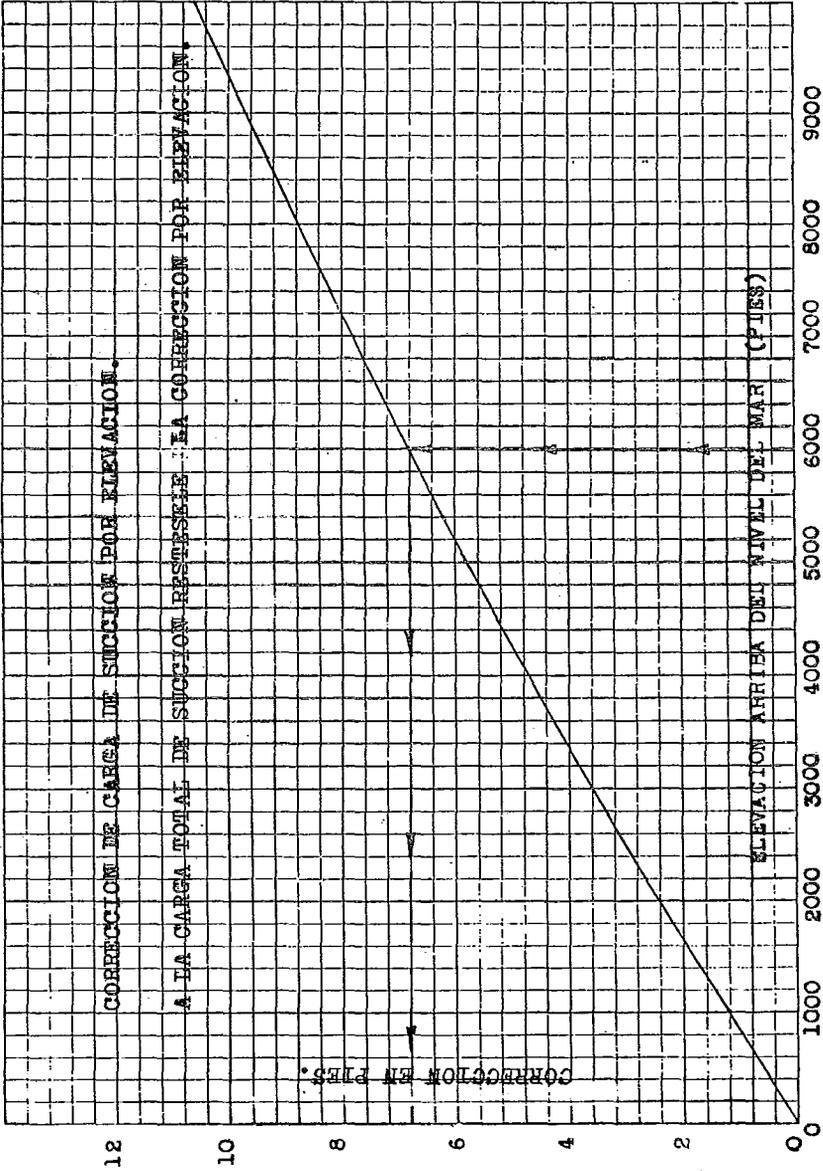


Fig. 14

Velocidad Específica :

Es un número adimensional que relaciona los tres factores principales en el funcionamiento de una Bomba Centrífuga y son :

Carga : H

Gasto : Q

Velocidad : N

Es numéricamente igual a la velocidad rotativa a la cual un impulsor geométricamente similar tendría que girar para proporcionar una descarga de un galón por minuto contra una carga de un pie.

Se expresa de la siguiente forma :

$$N_s = \frac{N Q^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{3}{4}}} = \frac{N \sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}}$$

En dónde :

N .- Velocidad en rpm.

Q .- Gasto en gpm. (En impulsores de doble succión se toma la mitad).

H .- Carga (carga por paso).

Estos factores se verificarán al punto de operación de máxima eficiencia.

La N_s es un número indicativo de la forma y características de un impulsor.

En un impulsor de simple succión, su N_s varía entre 500 y 1500.

La velocidad específica de una bomba determinada es

un índice que nos indica la forma de las curvas característi--
cas de la misma, y por lo tanto, algunas variaciones en la for
ma de estas curvas, se puede obtener mediante cambios en el di
seño del impulsor y la carcasa.

La siguiente figura, nos indica las variaciones de -
los impulsores con respecto a la N_s .

VALORES DE VELOCIDAD ESPECIFICA.

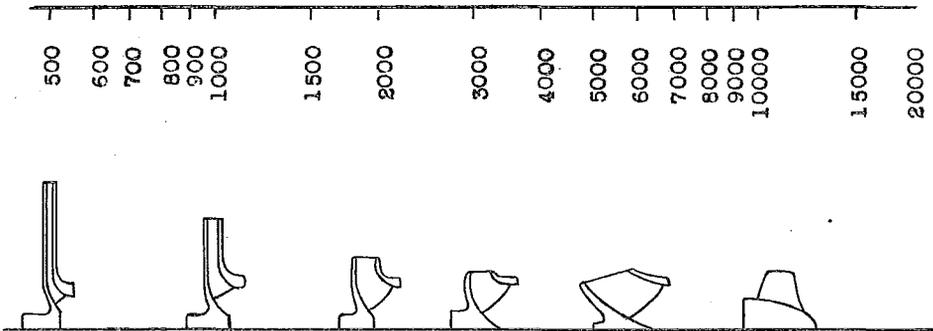


Fig. 15

Velocidad Específica De Succión :

Es un número indicativo de las características de succión de -
un determinado impulsor, se expresa de la siguiente manera :

$$S = \frac{N \cdot Q^{\frac{1}{2}}}{(\overline{N.P.S.H.})^{\frac{3}{4}}} = \frac{N \sqrt{Q}}{(\overline{N.P.S.H.})^{\frac{3}{4}}} \quad \text{Succión sencilla}$$

$$S = \frac{N \cdot \frac{Q}{2}}{(\overline{N.P.S.H.})^{\frac{3}{4}}} = \frac{N \sqrt{\frac{Q}{2}}}{(\overline{N.P.S.H.})^{\frac{3}{4}}} \quad \text{Doble succión.}$$

Se puede definir como las revoluciones por minuto a las que giraría el impulsor de una bomba operando con un gasto de un galón por minuto, con un N.P.S.H. requerido de un pie.

c) Operación Del Sistema :

Curvas Características ; La carga desarrollada - por una Bomba Centrífuga, depende del gasto manejado por la misma, teniendo un valor máximo cuando el gasto es cero, y toma - valores perfectamente definidos para cada gasto manejado ; la forma de la curva de carga - gasto depende del diseño del impulsor y de la forma de la carcasa, es generalmente proporcionada por el fabricante. La mayor parte de las bombas presentan - curvas características con pendientes negativas en todos los - rangos de operación, pudiendo ser estas pendientes de mayor o menor pronunciación, lo que determina el mayor o menor efecto de la capacidad en la carga desarrollada.

Las interrelaciones de capacidad, carga, fuerza y eficiencia se denominan características de la bomba.

Estas interrelaciones se muestran mejor gráficamente, y la gráfica obtenida se llama gráfica de las curvas características de la bomba.

La carga, fuerza o BHP y la eficiencia, se trazan contra la capacidad a velocidad constante; como se muestra en la figura 16

Quando se usan impulsores de velocidad variable, se incluye un quinto componente, la velocidad de operación de la bomba expresada en rpm.

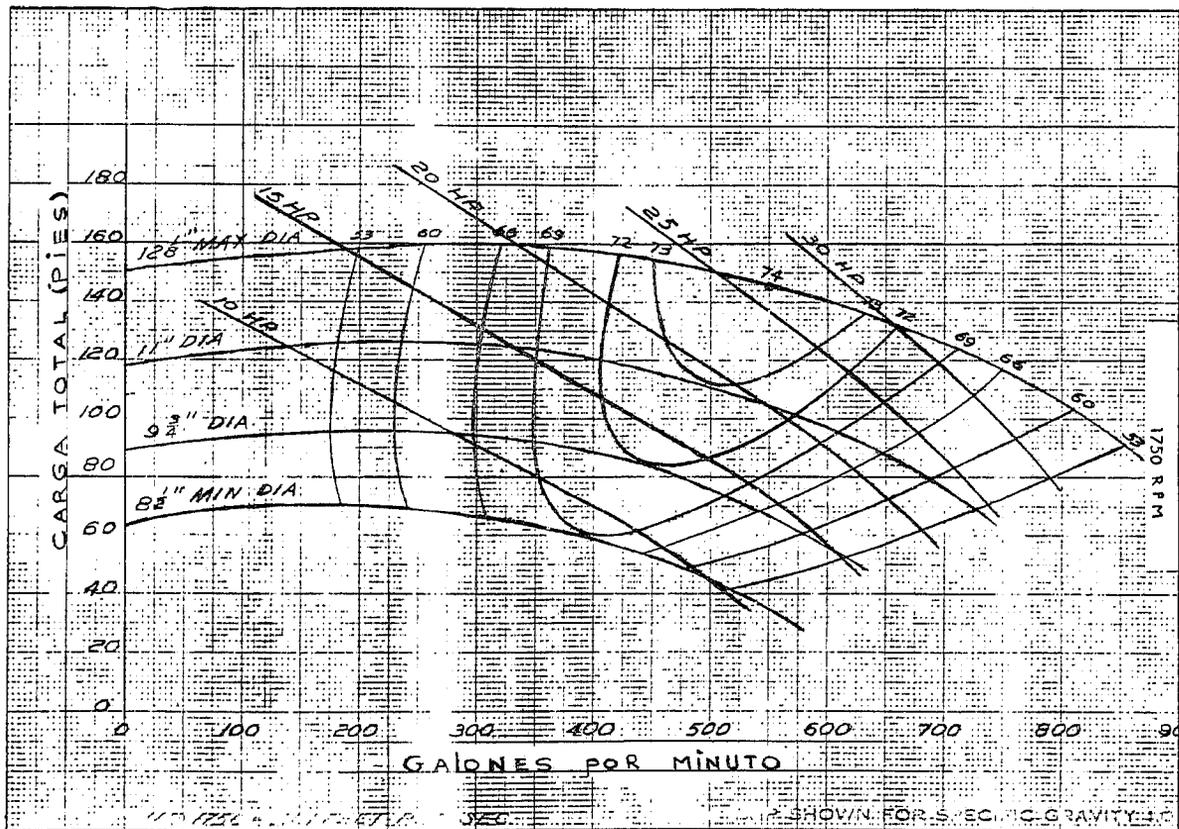


Fig. 16

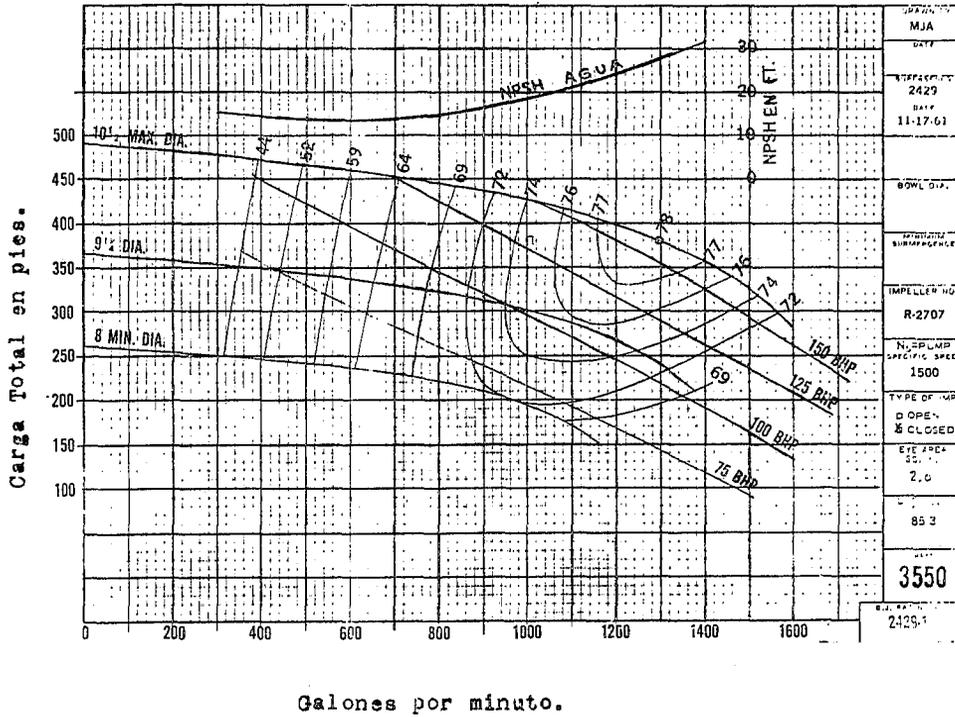
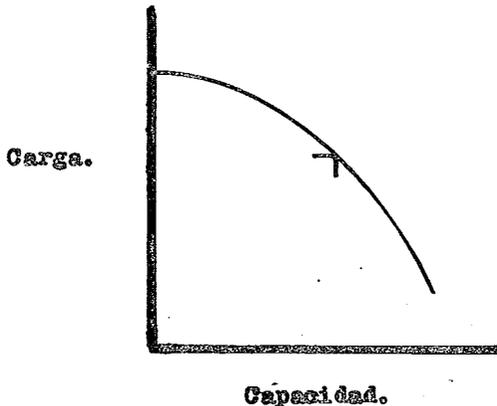


Fig. 17

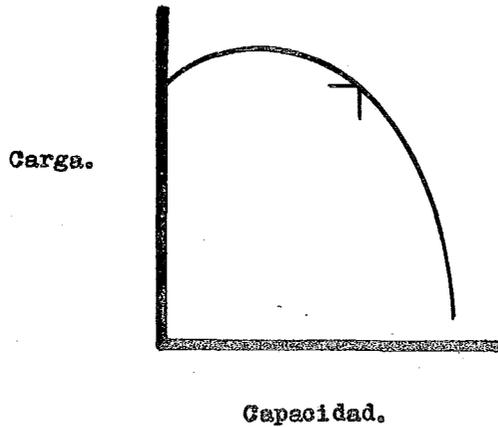
Cuando las condiciones de succión pueden ser críticas la curva límite de elevación de succión - capacidad, o la curva de requerimiento de N.P.S.H. capacidad es la que se muestra con frecuencia. Figura 17.

Las curvas de carga - capacidad de las bombas comúnmente se clasifican como sigue :

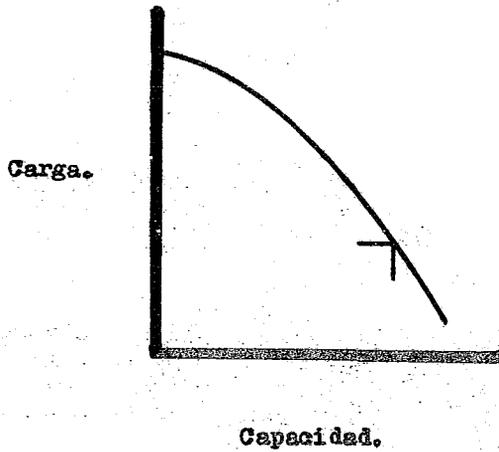
1.- Característica creciente .- O característica - creciente de carga - capacidad, significa una curva en la que la carga aumenta continuamente, mientras la capacidad disminuye.



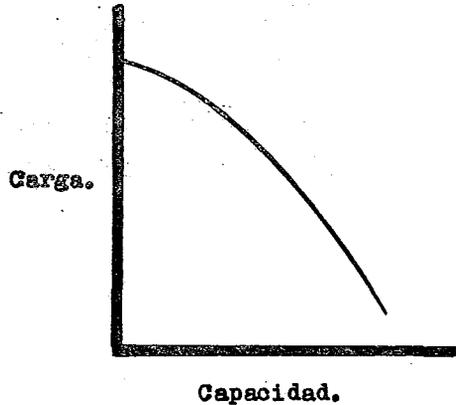
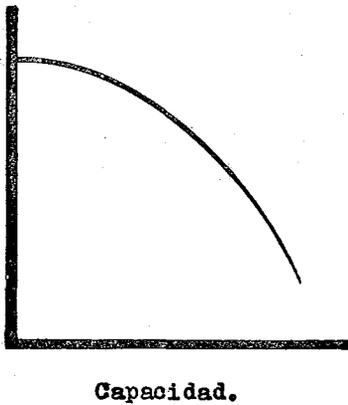
2.- Característica descendente .- O característica de carga capacidad descendente, que indica casos en los que la carga capacidad desarrollada al cierre es menos de la desarrollada a algunas otras capacidades. Esta también se conoce - como curva de compensación.



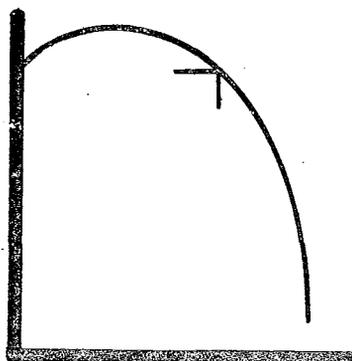
3.- Característica de inclinación pronunciada .--
Una característica ascendente de carga - capacidad en la que hay un gran aumento de carga entre la desarrollada a la capacidad de diseño y la desarrollada al cierre. Algunas veces se aplica a una porción limitada de la curva ; por ejemplo, una bomba - puede tener una característica de inclinación pronunciada entre el 100 y el 50 % de la capacidad de diseño.



4.- Característica estable .- Una característica de carga - capacidad en la cual sólo se puede obtener una capacidad con cualquier carga. Básicamente ésta tiene que ser una característica ascendente.

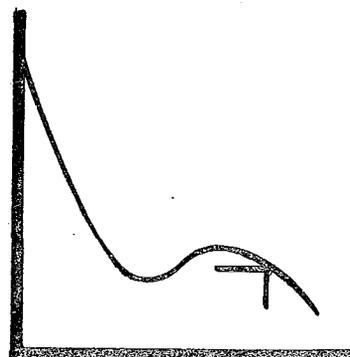


5.- Característica inestable.- Una característica de carga - capacidad, en la cual se desarrolla la misma carga a dos o más capacidades.



Capacidad.

Carga.



Capacidad.

La mayoría de los sistemas de bombeo, permiten el uso de bombas con características moderadamente inestables.

Sistemas De Bombeo : Frecuentemente, cuando la demanda es excesivamente variable, pueden operarse dos o más bombas en serie o en paralelo, para satisfacer la demanda alta, usando una bomba para las demandas bajas.

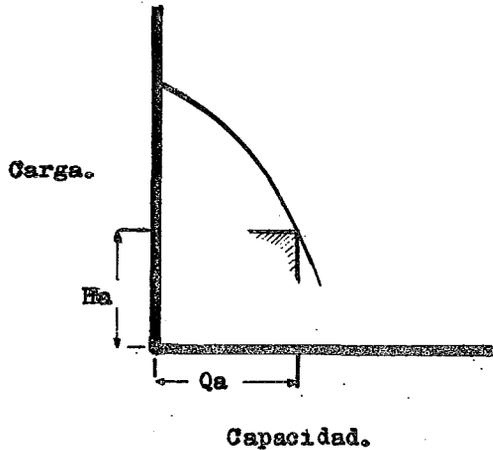
Para especificar correctamente las bombas y juzgar su comportamiento bajo varias condiciones, debe usarse la curva del sistema en unión de las curvas de comportamiento de las bombas compuestas.

Para bombas en serie el comportamiento se obtiene a-

gregando las cargas a la misma capacidad. Cuando las bombas operan en paralelo, el comportamiento se obtiene agregando las capacidades para la misma carga.

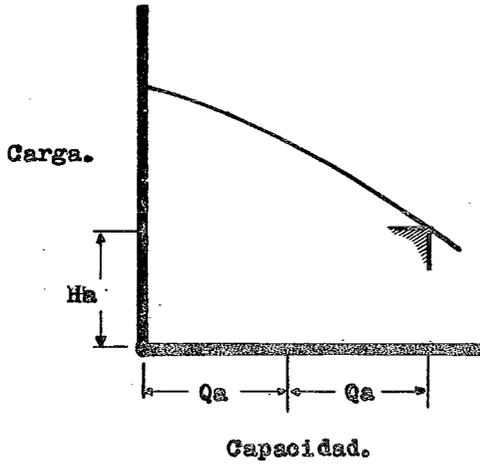
El superponer la curva de carga del sistema sobre la de comportamiento de la bomba, indica claramente los gastos que pueden esperarse y las cargas a que operará cada bomba.

Operación De Una Sola Bomba :

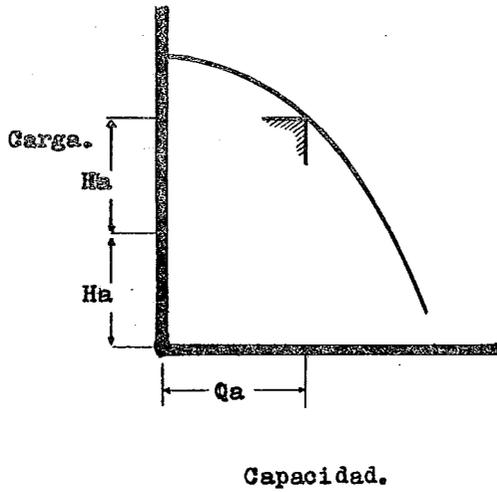


Operación De Dos Bombas

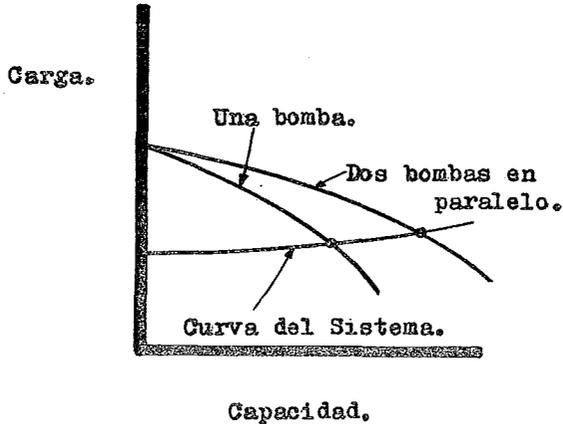
En Paralelo:



Operación De Dos Bombas
En Serie :



Operación De Dos Bombas
En Paralelo :



Ley De Afinidad : Existen ciertas relaciones que permiten que el funcionamiento de una Bomba Centrífuga se pueda predecir para una velocidad que no sea aquella para la cual se conoce la característica de la bomba.

Existen también ciertas características que permiten predecir el comportamiento de la bomba si se reduce el diámetro del impulsor (dentro de un límite que depende del diseño del impulsor) de las características obtenidas con el diámetro más grande.

Cuando se cambia la velocidad :

(1) La capacidad para un punto dado en las características de la bomba, varía como la velocidad y al mismo tiempo (2) la carga varía como el cuadrado de la velocidad y (3) la potencia (bhp) varía como el cubo de la velocidad.

Estas relaciones toman la forma de ecuaciones como -
sigue :

$$\begin{aligned} Q &= Q_1 \left(\frac{n}{n_1} \right) \\ H &= H_1 \left(\frac{n}{n_1} \right)^2 \\ \text{BHP} &= \text{BHP}_1 \left(\frac{n}{n_1} \right)^3 \end{aligned}$$

O de la siguiente forma :

$$\frac{n}{n_1} = \frac{Q}{Q_1} = \sqrt[2]{\frac{H}{H_1}} = \sqrt[3]{\frac{\text{BHP}}{\text{BHP}_1}}$$

En las cuales :

- n .- Nueva velocidad deseada, en r.p.m.
- Q .- Capacidad en litros por minuto o galones por minuto a la velocidad deseada n .
- H .- Carga en metros o pies a la velocidad deseada n para la capacidad Q .
- BHP .- Caballos de fuerza al freno a la velocidad deseada n con H y Q .
- n_1 .- Una velocidad, en r.p.m. cuyas características se conocen.
- Q_1 .- Una capacidad, a la velocidad n_1 .
- H_1 .- Carga, a la capacidad Q_1 a la velocidad n_1 .
- BHP_1 .- Caballos de fuerza al freno a la velocidad n_1 con H_1 y Q_1 .

Por ejemplo ; una bomba se prueba a 1800 r.p.m. y dá los siguientes resultados :

Capacidad (Lt/min)	Carga (m)	Potencia (BHP)	Eficiencia (%)
-----------------------	--------------	-------------------	-------------------

15140	47.88	189.5	83.7
13247	55.96	185	87.6
11355	61.15	174.5	87.0
7570	67.40	142.3	78.4
3785	69.69	107	54.0
0	70.15	76.5	0

Para obtener el funcionamiento de esta bomba a 1600 r.p.m. el primer conjunto de valores se corrige a esa velocidad, como sigue :

$$\begin{aligned}
 Q &= 15140 \left(\frac{1600}{1800} \right) = 13459 \text{ Lt/min.} \\
 H &= 47.88 \left(\frac{1600}{1800} \right)^2 = 37.82 \text{ m} \\
 \text{BHP} &= 189.5 \left(\frac{1600}{1800} \right)^3 = 133.1
 \end{aligned}$$

Cambiando los otros conjuntos de valores se obtiene lo siguiente :

Capacidad (Lt/min)	Carga (m)	Potencia (BHP)
13459	37.82	133.1
11771	44.22	129.9
10094	48.28	122.5
6726	53.25	100
3368	55.08	75.2
0	55.44	53.7

NOTA : Las cifras de capacidad y carga para estos distintos puntos, pueden calcularse en una regla de cálculo en una sola posición.

En este caso 1800 en la escala c se coloca sobre -
1600 en la escala D, y las nuevas capacidades se leerían en la
escala D opuestas a las capacidades de 1800 r.p.m. en la esca-
la c .

Las nuevas cargas se leerían en la escala A opuestas
a las cargas a 1800 r.p.m. en la escala B. Aún cuando es posi-
ble obtener el cubo de una relación en una regla de cálculo, -
con frecuencia se cometen errores en este paso.

Excepto para el cierre (capacidad cero) los bhp pu-
eden calcularse de la nueva carga y capacidad (a 1600 r.p.m.),
usando la misma eficiencia que para las correspondientes carga
- capacidad a 1800 r.p.m.

Así los bhp para el primer punto pueden calcularse -
como :

$$\frac{(13459)}{(4570)} \cdot \frac{(37.82)}{(.837)} = 133.1$$

El caballaje al cierre solo, se puede obtener usando
el cubo de la relación de velocidad ya que tanto la capacidad
como la eficiencia son cero.

Estas relaciones para un cambio de velocidad se pue-
den usar con seguridad para cambios moderados de velocidad. Pu-
eden no ser precisos para cambios grandes de velocidad, espe-
cialmente en incrementos de velocidad.

Recorte De Impulsores : El diámetro de un impul-
sor común se puede rebajar en un torno un 20 % de su valor má-
ximo original sin efectos adversos.

Rebajándolo a menos de 30 %, por lo general resulta-

rá una eficiencia mucho más baja. Si se corta el diámetro de un impulsor, se encuentra que, a la misma velocidad, las características de la bomba tendrán una relación definida con sus características originales.

Estas relaciones son : (1) La capacidad para un punto dado en las características de la bomba, varía como el diámetro del impulsor, y al mismo tiempo (2) la carga varía como el cuadrado del diámetro del impulsor, y (3) la potencia (caballos de fuerza) varía como el cubo del diámetro del impulsor. Expresadas como ecuaciones, éstas son :

$$\begin{aligned} Q &= Q_1 \left(\frac{D}{D_1} \right) \\ H &= H_1 \left(\frac{D}{D_1} \right)^2 \\ \text{BHP} &= \text{BHP}_1 \left(\frac{D}{D_1} \right)^3 \end{aligned}$$

O también puede ser :

$$\frac{D}{D_1} = \frac{Q}{Q_1} = \sqrt[2]{\frac{H}{H_1}} = \sqrt[3]{\frac{\text{BHP}}{\text{BHP}_1}}$$

En las cuáles :

- D₁ .- Diámetro original en cm.
- D .- Diámetro rebajado en cm.
- Q₁ .- Capacidad en el impulsor de D₁ .
- Q .- Capacidad correspondiente con impulsor D .
- H₁ .- Carga con impulsor de D₁ a Q₁ .
- H .- Carga correspondiente con impulsor de D a Q .
- BHP₁ .- Potencia al freno con impulsor de D₁ a Q₁ y H₁ .
- BHP .- Potencia al freno con impulsor de D a Q y H .

Refiriéndose nuevamente a la tabulación de valores de la bomba probada a 1800 r.p.m. (con un diámetro de impulsor de 37.46 cm.) si el impulsor se reduce a 35.56 cm. de diámetro, el conjunto de valores se corrige como sigue:

$$\begin{aligned} Q &= 15140 \left(\frac{35.56}{37.46} \right) = 14371 \text{ Lt/min.} \\ H &= 47.88 \left(\frac{35.56}{37.46} \right)^2 = 43.15 \text{ m.} \\ \text{BHP} &= 189.5 \left(\frac{35.56}{37.46} \right)^3 = 162 \text{ BHP} \end{aligned}$$

$$\text{También puede ser: } \frac{(14371)}{4570} \times \frac{(43.15)}{.837} = 162 \text{ BHP.}$$

Los otros conjuntos de valores, dan los siguientes resultados:

Capacidad (Lt/min)	Carga (m)	Potencia (bhp)	Eficiencia (%)
14371	43.15	162	83.7
12573	50.41	158.2	87.6
10776	55.11	149.2	87.0
7184	60.69	121.6	78.4
3592	62.83	91.5	54.0
0	63.25	65.4	0

Estas relaciones se usan más comunmente para determinar el cambio de velocidad, el cambio de diámetro del impulsor, o la combinación de los dos, que es necesario para producir una curva de Carga - Capacidad que pase por un punto dado.

Por ejemplo, supóngase que una bomba debe ajustarse a la condición de 11355 Lt/min. a 54.90 m. de carga. Como ésta cae abajo de la curva de Carga - Capacidad del impulsor de 37.46 cm. a 1800 r.p.m. la Carga - Capacidad deseada se obtiene reduciendo la velocidad o el diámetro del impulsor.

1.4) PARTES DE UNA BOMBA :

a) Partes Mecánicas : Los elementos básicos de una Bomba Centrífuga son : impulsor, cubierta, flecha, y chumace-
ras, pero hay otras partes necesarias .

Con frecuencia existe confusión entre los diferentes nom
bres dados a una misma parte por los diferentes fabricantes.

Las figuras 18 y 19 muestran la construcción típica de u-
na Bomba Horizontal y de una Bomba Vertical.

Los nombres de las partes recomendados por el Instituto
de Hidráulica, se adjuntan a las figuras correspondientes.

Las figuras 20 y 21 muestran el diseño de una bomba de
varios pasos con sus correspondientes partes.

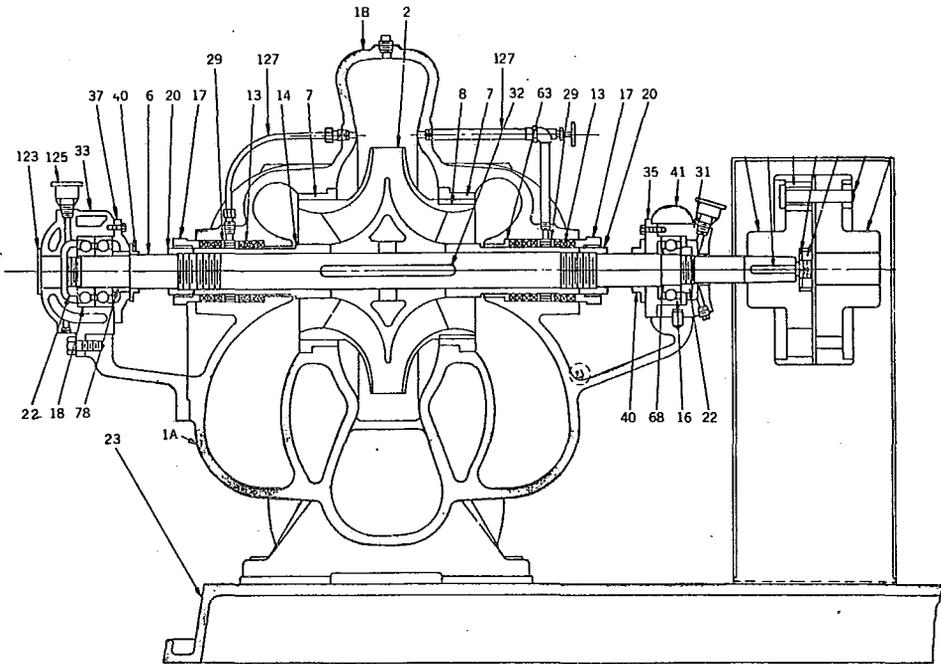
La figura 22 muestra el diseño de una bomba de acoplamiento
en corto (moto bomba). A continuación se hará una descripción
de cada una de las partes más importantes que componen a una bomba.

Cubierta : O caja de la bomba puede presentarse en
dos tipos :

- a) Tipo voluta.
- b) Tipo difusor.

a) Tipo voluta : Recibe su nombre de la envoltura en
forma de espiral que rodea al impulsor. Esta sección de la cubier-
ta recoge el líquido descargado por el impulsor, y convierte la e-
nergía de velocidad en energía potencial.

La voluta de una Bomba Centrífuga aumenta en área de su
punto inicial hasta que circunda los 360 grados alrededor del im--



- 1A Carcasa ó Caja (mitad inferior)
- 1B Carcasa ó Caja (mitad superior)
- 2 Impulsor
- 6 Flecha
- 7 Anillo de la caja
- 8 Anillo del impulsor
- 13 Empaque
- 14 Manga de flecha
- 16 Chumacera interior
- 17 Prensaestopa
- 18 Chumacera (exterior)

Fig. 18

- 20 Tuerca de la manga de flecha
- 22 Contratuerca de chumaceras
- 23 Placa Base
- 29 Anillo linterna
- 31 Caja de chumacera (interior)
- 32 Cufia del impulsor
- 33 Caja de chumacera (interior)
- 35 Cubierta de chumacera (interior)
- 37 Cubierta de chumacera (exterior)
- 40 Deflector
- 41 Copa de chumacera (interior)
- 42 Cople (mitad accionador)
- 44 Cople (mitad bomba)
- 46 Cufia del cople
- 48 Buje del cople
- 50 Contratuerca del cople
- 52 Perno del cople
- 54 Tuerca del cople
- 63 Buje del estopero
- 123 Cubierta del extremo
- 125 Copa de la grasera
- 127 Tuberia del sello
- 131 Guardacople
- 170 Adaptador de chumaceras

pulsor y luego se ensancha a la abertura final de la descarga.

Las bombas con cajas de voluta, se llaman generalmente ; bombas de caracol. Existen bombas de una y de dos volutas, en las primeras actúan sobre el impulsor presiones uniformes o casi uniformes cuando la bomba se opera a su capacidad de diseño. A otras capacidades, las presiones alrededor del impulsor no son uniformes y hay una reacción radial resultante. En cambio en las de doble voluta se neutralizan las fuerzas de reacción a capacidad reducida . Básicamente, el diseño consiste en dos volutas a 180 grados; un paso externo a la segunda, une las dos en una descarga común. Aún -- cuando existe un desequilibrio de presión a capacidad parcial a -- través de cada arco de 180 grados, las fuerzas son aproximadamente iguales y opuestas, por lo que producen, si acaso muy poca fuerza radial sobre la flecha y los cojinetes.

b) Tipo Difusor : En las bombas difusoras el líquido que sale de los impulsores, pasa a través de un anillo de as pas fijas que difunden el líquido controlando el flujo y permitiendo una mayor eficiencia en la transformación de la velocidad en -- presión.

Actualmente, excepto para ciertos diseños de bombas de -- varios pasos de alta presión, la principal aplicación de bombas de álabes difusores es en las de turbina vertical.

Desgraciadamente, el uso de difusores puede perjudicar -- las características hidráulicas de la bomba. El líquido en movimi-- ento rápido del impulsor puede encontrar los álabes fijos del difu-- sor sin choque solo cuando la bomba está operando a una capacidad de diseño, porque sólo entonces corresponde el ángulo de los ála-- bes al ángulo al cual sale el líquido del impulsor. A cualquier o--

tro caudal de flujo, los múltiples álabes originan choque y turbulencia de modo que la bomba puede operar en una condición inestable. Es un hecho que cuando el flujo se reduce de un 5 a 10 % de la capacidad normal, el choque y la turbulencia puede llegar a ser lo bastante severas como para reducir la altura total de elevación generada.

Los fabricantes de bombas han dado varias soluciones, basadas en la selección apropiada de los ángulos de los álabes del impulsor, curvatura de las paletas del impulsor y el diseño cuidadoso de los pasos de los difusores.

Impulsor : Es el corazón de la Bomba Centrífuga. Hace girar la masa de líquido con la velocidad periférica de las extremidades de los álabes, determinando así la altura de elevación producida o la presión de trabajo de la bomba. Con la base en el diseño de la entrada de agua, los impulsores se clasifican en : impulsores de admisión simple o de doble admisión .

En un impulsor de admisión simple, el líquido entra al ojo de succión solo por un lado. Como un impulsor de doble admisión es de hecho, un par de impulsores de admisión simple arreglado uno contra otro en una sola fundición, el líquido entra al impulsor simultáneamente por ambos lados. En los impulsores de doble admisión, los dos conductos de succión de la cubierta están normalmente conectados a un conducto común de succión y a una sola boquilla de succión. Los impulsores, pueden también ser clasificados por la forma y modelado de sus álabes:

- 1 .- Impulsor de álabes derechos.
- 2 .- Impulsor de álabes francis.

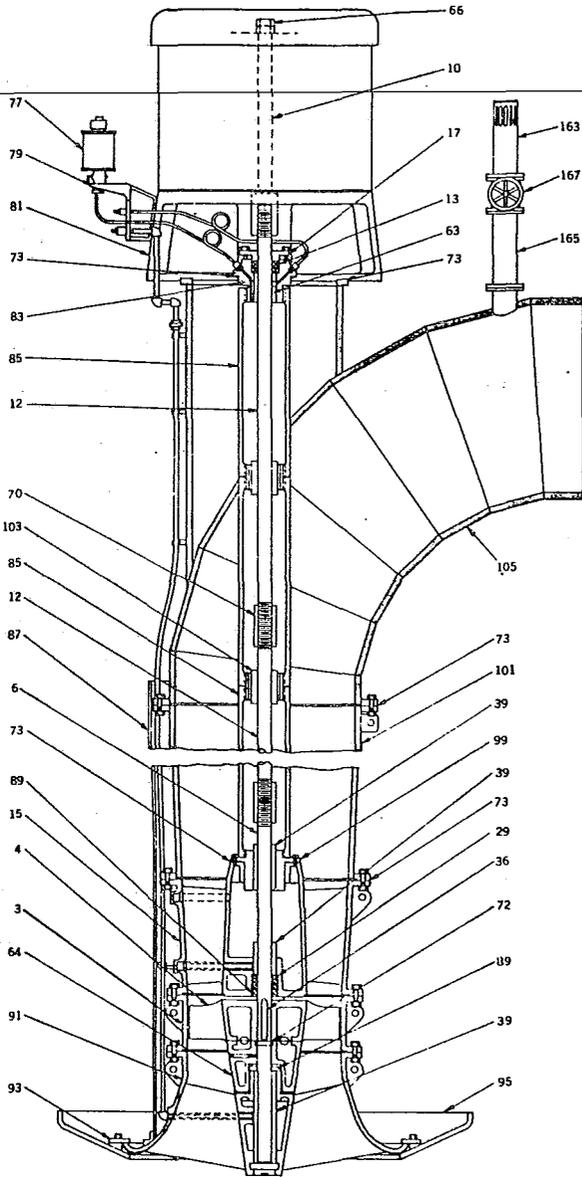
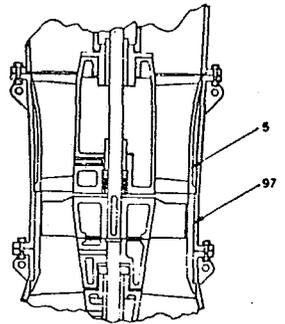


Fig. 19



- 3 Tazón
- 4 Propela

- 5 Difusor
- 6 Flecha (bomba)
- 10 Flecha (motor)
- 12 Flecha (columna)
- 13 Empaques
- 15 Tazón de descarga
- 17 Prensaestopa
- 29 Anillo Linterna
- 36 Cufia de la propela
- 39 Buje de chumacera
- 63 Buje de estopero
- 64 Aro protector
- 66 Tuerca de ajuste de la flecha
- 70 Cople de flecha
- 72 Aro protector
- 73 Junta
- 77 Lubricador
- 79 Soporte del lubricador
- 81 Pedestal del lubricador
- 83 Estopero
- 85 Columna interior ó manga de flecha
- 87 Guarda del tubo de lubricación
- 89 Sello
- 91 Tazón de succión
- 93 Tornillo de la sombrilla
- 95 Sombrilla de succión

- 97 Guia del impulsor en el tazón
 - 99 Caja de chumaceras
-
- 101 Columna exterior
 - 103 Chumacera conectora
 - 105 Codo de descarga
 - 163 Cubierta de la válvula rompe vacío
 - 165 Línea de la válvula rompe vacío
 - 167 Válvula rompe vacío

- 3 .- Impulsor de flujo mixto.
- 4 .- Impulsor de flujo axial o propulsor.

La relación de perfiles de impulsores a velocidad específica, se trató en el inciso de conceptos (velocidad específica).

Muchos impulsores están diseñados para aplicaciones específicas. Por ejemplo, el diseño de impulsor convencional con bordes afilados en los álabes y áreas restringidas no es apropiado para manejar líquidos que contengan trapos, materiales fibrosos y sólidos como el agua de albañal debido a la obstrucción.

Se han desarrollado impulsores especiales que no se obstruyen con bordes romos y vías de agua amplias para esos servicios.

El diseño del impulsor usado, para bombas de pulpa de papel, es totalmente abierto y no se obstruye.

El diseño mecánico, también determina la clasificación de impulsores. De acuerdo con esto los impulsores pueden ser :

(1) Completamente abiertos : Consiste únicamente de álabes que están sujetos a un cubo central para montarse en la flecha.

(2) Semiabiertos : Consiste en una placa sujeta a uno de los lados laterales de los álabes.

(3) Cerrados : Consiste de cubiertas o paredes laterales que encierran totalmente las vías de agua del impulsor desde el ojo de succión hasta la periferia.

Se llama ojo de succión, a la entrada del impulsor precisamente antes de los álabes.

Anillos De Desgaste : Constituyen una junta de escape económico y fácil de renovar entre el impulsor y la cubierta.

Las partes nuevas, no son muy costosas en las bombas pequeñas, especialmente si la cubierta del elemento estacionario es una simple cubierta de succión. De hecho, el costo de un anillo estacionario renovable, diferirá algunas veces, muy poco del de una cubierta de succión totalmente nueva para éstas unidades. Esto no es cierto, para unidades grandes, por supuesto, ni aún si el elemento estacionario es parte de una fundición complicada.

La nomenclatura para la cubierta o la parte estacionaria que forma la superficie de la junta de escurrimiento, varía como sigue : (1) "anillo de la cubierta " (si está montado en la cubierta) ; (2) "anillo de la tapa de succión" o "anillo de la cabeza de succión" (si está montado en una tapa o cabeza de succión) y -- (3) "anillo de la tapa del estopero" o "anillo de la cabeza" (si está montado en la tapa del estopero o en la cabeza).

Algunos ingenieros, gustan de identificar aún más la parte, posponiendo las paralelas "de desgaste" o la palabra "anillo", por ejemplo ; "anillo de desgaste de la cubierta". Una parte renovable para la superficie de desgaste del impulsor se llama : "anillo del impulsor". Se dice que las bombas que tienen anillos tanto estacionarios como giratorios, tienen construcción de "doble anillo".

Flecha : La función básica de la flecha de una bomba, es transmitir los momentos de flexión o torques que se presentan al arrancar y durante la operación mientras está soportado el impulsor y las otras partes giratorias.

Las flechas generalmente están proporcionadas para resistir el esfuerzo que se aplica al arrancar súbitamente una bomba.-- por ejemplo : cuando el motor impulsor está conectado directamente en la línea.

Como la velocidad crítica, es un factor clave para la selección de los diámetros de flecha, se dará un conocimiento general sobre esto.

Cualquier objeto hecho de un material elástico, tiene un periodo de oscilación propia. Cuando el rotor o eje de una bomba gira a cualquier velocidad que corresponda a su frecuencia natural, los pequeños desequilibrios se agigantarán, y como consecuencia se producirán grandes vibraciones.

La velocidad crítica más baja, se llama : primera velocidad crítica ; la siguiente más alta, se llama : la segunda, y así sucesivamente. En la nomenclatura de las Bombas Centrífugas, una flecha rígida, significa una, con una velocidad de operación más baja que su primera velocidad crítica, mientras que una flecha flexible es aquella con una velocidad de operación más alta que su primera velocidad crítica.

El diseñador debe decidir si la bomba operará arriba o a bajo de su primera velocidad crítica. Una vez que se ha pasado la velocidad crítica, la bomba correrá con suavidad hasta que llegue a la segunda velocidad que corresponda a la oscilación propia del rotor, y así hasta la tercera, cuarta y todas las velocidades críticas más altas.

Los diseños calibrados para 1750 r.p.m. (o menos) son -- por lo general del tipo de flecha rígida. Por otro lado las bombas de varios pasos de 3600 r.p.m. (o más) como los de servicios de alimentación de calderas, son generalmente del tipo de flecha flexible.

El diámetro de la flecha, debe ser escalonado varias veces del extremo del acoplamiento a su centro para facilitar el montaje del impulsor.

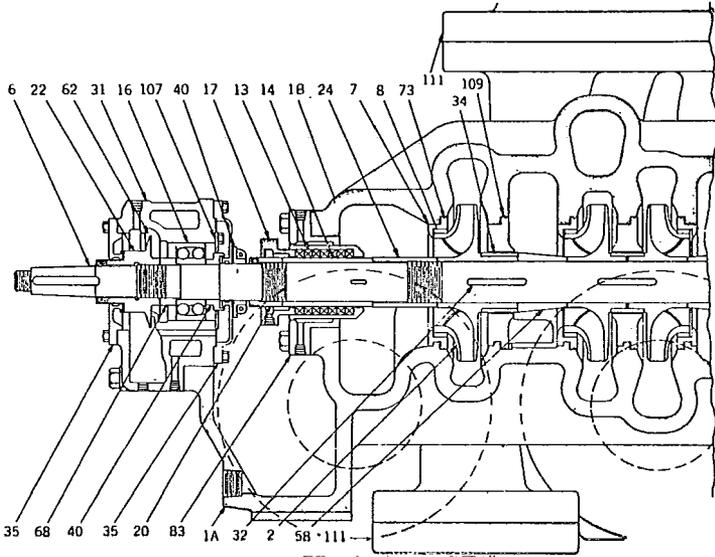


Fig. 20

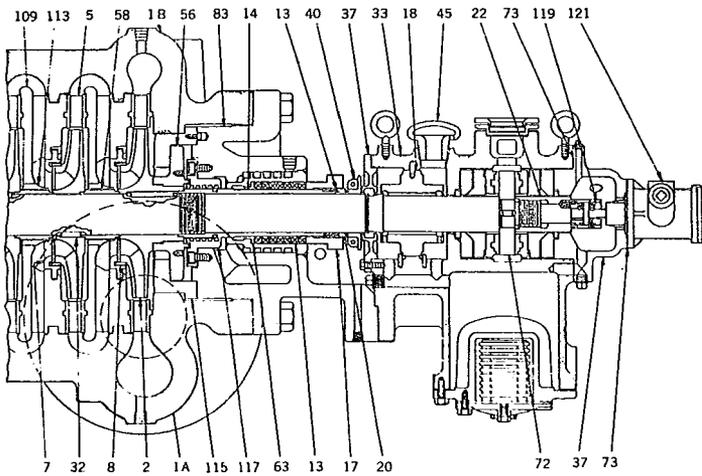


Fig. 21

- 1A Carcasa ó Caja (mitad inferior)
- 1B Carcasa ó Caja (mitad superior)
- 2 Impulsor
- 5 Dirisor
- 6 Flecha (bomba)
- 7 Anillo de la caja
- 8 Anillo del impulsor
- 13 Empaque
- 14 Manga de flecha
- 16 Chumacera (interior)
- 17 Prensaestopa
- 18 Chumacera exterior
- 20 Tuerca de la manga de flecha
- 22 Contratuerca de chumacera
- 24 Tuerca del impulsor
- 31 Caja de chumacera (interior)
- 32 Cufia del impulsor
- 33 Caja de chumacera (interior)
- 34 Manga del mamelón impulsor 1° paso
- 35 Cubierta de chumacera (interior)
- 37 Cubierta de chumacera (exterior)
- 40 Deflector
- 45 Tapa de la copa de lubricación
- 56 Disco de balanceo
- 58 Manga de paso
- 62 Salpicador
- 63 Buje del estopero
- 68 Aro de la flecha
- 72 Aro protector

- 73 Junta
- 83 Estopero
- 107 Retén del anillo de aceite
- 109 Diafragma de paso
- 111 Via superior de paso
- 113 Buje del diafragma de paso
- 115 Anillo de balanceo
- 117 Buje reductor de presión
- 119 Cople de la bomba de aceite
- 121 Bomba de aceite

Empezando con el diámetro máximo, en la montadura del impulsor, posteriormente hay un escalón para la manga de la flecha, otro para la tuerca externa de la flecha, seguidos de varios más para los cojinetes y el acoplamiento.

Manga De La Flecha : Las flechas de las bombas, generalmente se protegen de la erosión, corrosión y desgaste de los estoperos, cojinetes interiores y en las vías de agua con mangas renovables.

La función más común de una manga de flecha, es la de proteger ésta de desgaste en un estopero. Por ello, las mangas que tienen otra función, reciben nombres específicos para indicar su propósito. Por ejemplo ; una manga usada entre dos impulsores de una bomba de varios pasos, se llama manga de entrepasos o separador.

La rotación de la manga se evita con una cuña, generalmente una extensión de la del impulsor. Las mangas hechas de acero al cromo endurecido, son generalmente las más económicas y satisfactorias.

Estopero : Tiene la función principal de proteger la bomba contra escurrimientos en el punto en que la flecha atraviesa la cubierta de la bomba.

Un estopero, generalmente toma la forma de un hueco cilíndrico que aloja varios anillos de empaquetadura alrededor de la flecha o manga de la flecha.

Si se desea sellar el estopero, se usa un anillo farol (anillo de linterna), o jaula de sello que separa los anillos de empaque en secciones aproximadamente iguales. El fondo de la caja del estopero puede estar formado por la propia cubierta de la bomba, un huje de garganta o un anillo de base.

Las altas temperaturas complican el problema de mantener

la empaquetadura de los estoperos. Las bombas en estos servicios - más difíciles, generalmente están provistas con estoperos enchaquetados enfriados con agua. El agua de enfriamiento quita calor al líquido que escurre por el estopero y el calor generado por la fricción en la caja, mejorando así las condiciones de servicio de la empaquetadura.

Hay muchos materiales para empaquetadura de estoperos, - cada uno adaptable a alguna clase especial de servicio. Algunos de los tipos principales son los siguientes :

(1) Empaquetadura de asbesto .- Es el más común para servicios generales a presiones normales.

(2) Empaquetadura metálica .- Compuesta de cordones metálicos o lámina delgada con grafito o aceite lubricante impregnados y con un núcleo de asbesto o plástico. Se utilizan para temperaturas hasta de 232 °C y presiones altas.

La empaquetadura se surte, ya sea con espiral de rollo - continuo o en anillos preformados.

Prensa Estopas del Estopero .- Se clasifican en dos formas :

(1) Sólidos y (2) Divididos.

Los divididos están hechos en mitades de modo que se pueden sacar de la flecha sin desmantelar la bomba, dejando así más espacio libre cuando se están reempacando los estoperos.

Los presaestopas se hacen generalmente de bronce.

Chumaceras : Se le llama también cojinetes, su función en las Bombas Centrífugas, es mantener la flecha o rotor en correcto alineamiento con las partes estacionarias bajo la acción de car

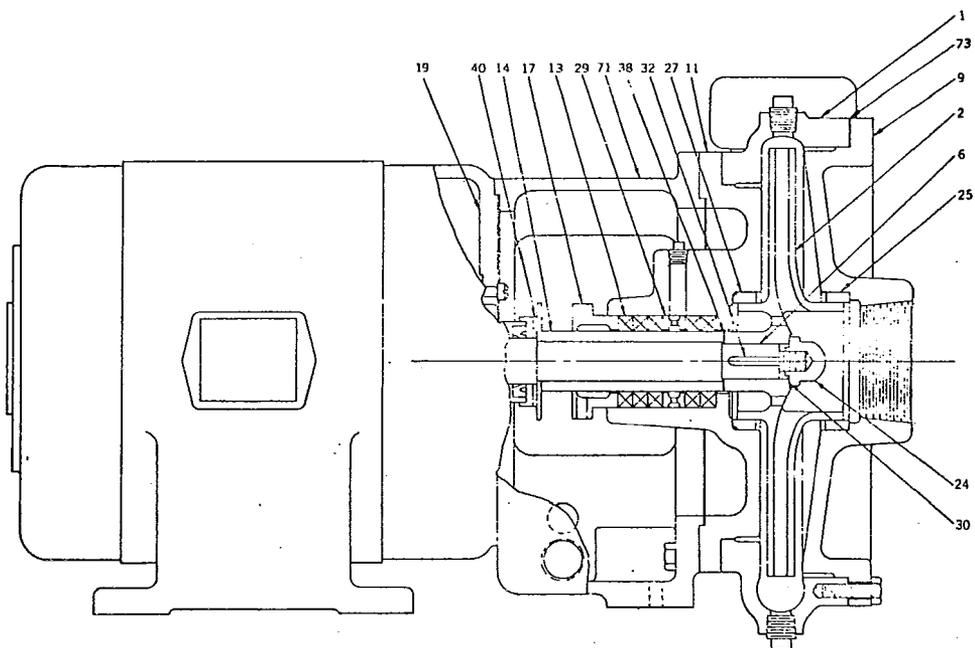


Fig. 22

- 1 Carcasa ó Caja
- 2 Impulsor
- 6 Flecha
- 9 Cubierta de succión
- 11 Cubierta del estopero
- 13 Empaque
- 14 Manga de flecha
- 17 Prensaestopa
- 19 Armazón
- 24 Tuerca del impulsor

- 25 Anillo de la cubierta de succión
- 27 Anillo de la cubierta del estopero
- 29 Anillo linterna
- 30 Junta de la tuerca del impulsor
- 32 Cuña del impulsor
- 38 Junta de la manga de la flecha
- 40 Deflector
- 71 Conector
- 73 Junta

gas radiales y transversales. Aquellos que le dan la colocación radial al rotor, se conocen como chumaceras o cojinetes radiales (alinean), mientras que aquellos que sitúan el rotor axialmente se llaman chumaceras o cojinetes axiales (soportan el empuje). Estos últimos sirven como cojinetes de empuje y de alineación.

El balero de una sola hilera es el más comúnmente usado en Bombas Centrifugas.

El balero de doble hilera, se usa si la carga es mayor de la permitida para un balero de una sola hilera.

Cople : Las Bombas Centrifugas, están conectadas a sus impulsores por medio de acoplamientos o coples de una u otra clase, excepto las unidades conectadas en forma compacta, en las que el impulsor está montado en una extensión de la flecha de la unidad motriz. Los coples pueden ser flexibles o rígidos. Un cople que no permite movimiento relativo axial o radial entre las flechas del impulsor y de la bomba, se llama cople rígido. Conecta las dos flechas sólidamente y, en efecto, las convierte en una sola flecha. El uso de coples rígidos, está principalmente restringido a bombas verticales.

Contra las creencias populares y a pesar del hecho de que los coples flexibles compensan ligeros errores en casos de emergencia, el desenvolvimiento es siempre indeseable, y no deberá tolerarse permanentemente.

Un cople flexible debe permitir algún desplazamiento lateral de las flechas, para que sus dos extremos puedan acercarse o separarse bajo la influencia de la expansión térmica. El cople Lo-vey es un cople flexible típico. Consiste de dos cubos con

bridas montadas en las flechas impulsoras e impulsadas, respectivamente, con patas salientes o mordazos en las bridas. Estos mordazos encajan en un elemento central flexible en forma de araña (generalmente hecha de hule), que absorbe pequeños desalineamientos y vibraciones.

Guardacople : Es una cubierta estacionaria que rodea al cople con la función básica de proteger al operador del posible peligro de ser atrapado por sus revoluciones. Generalmente están hechos de malla o placa de acero, y están sujetos a la base de la bomba o placa del cimiento cuando se tiene la base.

Base : Generalmente se surten las bombas de flecha horizontal acopladas con una base continua que se extiende debajo de la bomba y del accionador.

Aún cuando la base está diseñada para ser bastante rígida, se tuerce si se soporta incorrectamente. Por lo tanto, es necesario soportarla en cimentación que pueda proporcionar la rigidez requerida.

b) **Accionadores :** Como se mencionaba en el inciso (1.2 o b), la mayoría de las Bombas Centrifugas se mueven con motor eléctrico, conectado directamente o ; con engranes, pero con frecuencia, se utilizan también, turbinas de vapor, motores de gasolina, diesel, de gas. Y menos frecuentemente, las turbinas hidráulicas.

Cabe hacer mención en éste inciso, sobre la forma en que la frecuencia y el número de polos de un motor eléctrico afectan los r.p.m. de una Bomba Centrifuga.

La frecuencia es el número de ciclos que ocurren por segundo. Un ciclo es el cambio que ocurre del máximo de la corriente

que fluye en una dirección a cero al máximo en la dirección opuesta a cero y de nuevo al máximo en la primera dirección. La corriente de 60 ciclos, es casi universal actualmente, aún cuando todavía existen algunos sistemas de 25 y 50 ciclos (éste último lo encontramos en Cuernavaca, Toluca y Distrito Federal) así como unas cuantas instalaciones aisladas de 30 ciclos, 40 ciclos, y otras frecuencias.

La velocidad de un motor de corriente alterna, es una función de la frecuencia de alimentación y del número de polos, siempre un número par, porque los polos deben estar en pares.

La velocidad sincrónica de un motor en rotaciones por minuto es :

$$\frac{120 \times \text{frecuencia}}{\text{Número de polos.}}$$

Las velocidades sincrónicas de 25, 30, 40, 50 y 60 ciclos se estipulan en la siguiente tabla :

Polos del Motor.	60 Ciclos	50 Ciclos	40 Ciclos	30 Ciclos	25 Ciclos
2	3600 rpm.	3000 rpm.	2400 rpm.	1800 rpm.	1500 rpm.
4	1800	1500	1200	900	750
6	1200	1000	800	600	500
8	900	750	600	450	375
10	720	600	480	360	300
12	600	500	400	300	250
14	514	428	343	257	214
16	450	375	300	225	187

Polos del Motor.	60 Ciclos	50 Ciclos	40 Ciclos	30 Ciclos	25 Ciclos
18	400	333	267	200	
20	360	300	240		
22	327	272	218		
24	300	250	200		
26	277	231			
28	257	214			
30	240	200			
32	225				
36	200				

Motores De Corriente Directa : El tipo de aplicación general de motor de c - d no es apropiado para mover Bombas Centrífugas, por que la velocidad a plena carga de esos motores puede ser de 5 a 7.5 % arriba o abajo de sus velocidades especificadas. Si la velocidad real del motor está abajo de la especificada, la bomba no producirá sus condiciones especificadas, mientras que si la velocidad real del motor es mayor que la especificada, la -- bomba descargará con exceso de carga o de capacidad con aumento de requerimiento de fuerza, posiblemente imponiendo al motor una sobre carga peligrosa.

Motores De Corriente Alterna : Como ejemplo, tenemos los motores de Jaula de Ardilla polifásicos y sencillos y además los más comúnmente usados para mover Bombas Centrífugas. Si la construcción mecánica lo permite, los motores de jaula de ardilla, pueden moverse en ambas direcciones.

Según su diseño los motores eléctricos se pueden clasificar en :

- (1) Motores a prueba de goteo.
- (2) Motores totalmente cerrados.
- (3) Motores a prueba de explosión.

1 .- A prueba de goteo : Está diseñado para evitar que los líquidos o las partículas que caen a un ángulo de 15 grados de la vertical entren a los devanados.

Tienen una especificación de elevación de temperatura de 40 °C. con aislamiento de clase A o de 60 °C de elevación con aislamiento de clase B (elevación máxima de temperatura con la carga especificada a una temperatura ambiente de 40 °C.

2 .- Totalmente cerrado : Están clasificados por el tipo de enfriamiento y por el diseño de la cubierta. Los motores totalmente cerrados sin ventilación, algunas veces se construyen con potencias de pocos caballos de fuerza, deben tener ventiladores incorporados en el diseño para proporcionar enfriamiento adecuado.

El motor auto ventilado, tiene un ventilador para circular el aire, construido en su interior, mientras que el tipo de ventilación forzada depende de un suministro separado forzado de aire para la ventilación . Los motores de ventilación forzada, deben proveerse de aire suficiente de la fuente exterior de enfriamiento para que operen con una elevación de 40 °C.

Los motores totalmente cerrados, se usan en donde el aire ambiente contiene polvo, vapores corrosivos o gas inflamable o vapores combustibles.

3.- A prueba de explosión : Está diseñado para que si ocurre una explosión dentro del equipo, no dañe al equipo, ni permita que la explosión vaya más allá del interior del equipo. El Código Eléctrico Nacional ha designado las condiciones atmosféricas peligrosas como sigue :

- 1.- Clase I : Riesgos de gases.
 - Grupo A : Acetileno.
 - Grupo B : Hidrógeno o gases y vapores de riesgo equivalente.
 - Grupo C : Vapores de eter etílico.
 - Grupo D : Acetona, alcoholes inflamables, gasolina, nafta, destilados comunes de petróleo, solventes de laca piroxilina, tolueno y gas natural.

- 2.- Clase II : Riesgos de polvos.
 - Grupo E : Polvo metálico
 - Grupo F : Polvo de carbón de piedra o coque.
 - Grupo G : Polvo de granos

En algunas atmósferas calientes, húmedas, polvosas o corrosivas, se pueden usar motores abiertos a prueba de goteo con aislamiento especial.

Los motores usados en los trópicos, requieren una protección especial contra los hongos, los gusanos y el exceso de humedad y calor. Se suministran con tela de alambre en todas las aberturas, y un aislamiento especial contra los hongos, insectos y la corrosión.

Turbinas De Vapor : Existen instalaciones en que las turbinas pueden mejorar el balance del valor de la planta con el uso del vapor de salida. Las plantas de fuerza, refinería, procesos químicos y estaciones de bombeo, son ejemplos de plantas que usan turbinas de vapor para mover Bombas Centrifugas.

Pueden usarse varios tipos diferentes de gobernadores para turbinas de vapor en aplicaciones de bombas : velocidad constante, presión constante y presión diferencial. El gobernador regula la entrada de vapor para dar una velocidad constante.

Las turbinas de vapor se deben aplicar cuando se llenen uno o más de los siguientes requisitos :

- 1 .- Arranque rápido de la bomba, por ejemplo en instalaciones de energía.
- 2 .- En atmósferas explosivas (con accesorios a prueba de chispas).
- 3 .- En áreas húmedas y calientes.
- 4 .- Cuando es necesario un motor de velocidad variable para la bomba.
- 5 .- En bombas de alta velocidad (12000 r.p.m.).

Motores De Combustión Interna : Probablemente el uso más común se encuentra en áreas aisladas en que no se tiene electricidad. Pero las máquinas de combustión interna, también son muy importantes para unidades portátiles de bombeo, grupos de emergencia, servicio de irrigación y pozos petroleros.

Para el movimiento de bombas se usan los motores de diesel, gasolina, doble combustión, gas y aceite de baja compresión. La máquina seleccionada depende de la potencia requerida, tipo de

combustible más fácil de obtener y menor costo, tipo y número de operadores que pueden emplearse.

1.5) TIPOS DE BOMBAS :

Las Bombas Centrífugas pueden ser clasificadas en los siguientes tipos :

Tomando en cuenta :

- Número de pasos : (1) Bombas de un solo paso.
(2) Bombas de varios pasos.
- Tipo de carcasa : (1) Bombas de tipo voluta.
(2) Bombas de carcasa circular.
(3) Bombas de tipo difusor.
- Posición de la flecha : (1) Bombas horizontales.
(2) Bombas verticales.
- Succión : (1) Bombas de simple succión.
(2) Bombas de doble succión.

Además de estos tipos, tenemos ; las bombas de motor sumergido y las bombas para calefacción.

Bombas de un solo paso : Son aquellas en donde tanto el gasto como la carga son correspondientes a un solo impulsor, -- casi siempre emplean carcasas tipo voluta.

Bombas de varios pasos : Dentro de este tipo, cabe catalogar todas aquellas bombas que para su funcionamiento emplean --

dos o más impulsores y éstos pueden estar conectados en serie o en paralelo.

Cuando están en serie el mismo volumen de líquido fluye a través de cada uno de los impulsores y la carga total es igual a la suma de las cargas generadas por cada uno de los impulsores. En la conexión en paralelo, la descarga total es igual a la suma de las descargas de cada uno de los impulsores y la carga total es equivalente a la de un solo impulsor.

Bombas de tipo voluta : Este nombre se deriva de la forma de espiral que tiene la carcasa de la bomba. Esta forma dada a la carcasa interviene para que la energía de velocidad del líquido a la salida del impulsor, se convierta una parte en energía potencial. Cuando se tiene simple voluta, se presentan problemas de empuje radial, y con el fin de reducir este empuje se puede emplear doble voluta.

Bombas tipo difusor : Estas bombas, tienen paletas de difusión y una carcasa concéntrica que persigue la misma función que la voluta de una carcasa. Estos elementos no son usados para altas presiones y su campo de aplicación se concentra a bombas verticales tipo turbina y en bombas del tipo propela de baja carga.

Bombas de carcasa circular : Estas se caracterizan por tener la sección de la carcasa constante dentro de un espacio de 270° empezando desde el cuello y el resto de la carcasa tiene forma de voluta. Con este tipo de carcasa se logra disminuir el empuje radial.

Bombas horizontales : Son aquellas que tienen la flecha en posición horizontal. Presentan la ventaja de un rápido y fácil acceso del interior de la misma y se pueden girar a altas velocidades. La disposición horizontal se emplea generalmente para poca capacidad.

Bombas verticales : , Son aquellas que tienen su flecha en posición vertical. En comparación con las bombas horizontales - presentan las siguientes ventajas : requieren menor espacio para - su instalación por estar el accionador en la parte superior de la bomba y en consecuencia esto disminuye el tamaño y costo de la alimentación para el montaje. Y cuando el nivel del agua en la succión fluctúa considerablemente, el motor puede ser montado en una parte tal que prevenga la inundación del mismo. Además, presenta desventajas tales como construcción más complicada, mayor costo de manufactura, son más difíciles de ensamblar y desmontar.

Bombas de simple succión : Son aquellas en que el líquido entra por un solo lado del impulsor, este tipo de impulsor - presenta las siguientes ventajas: es más fácil de fabricar, tiene - menos costo, requiere menos costo, requieren menos mantenimiento, no requiere extensión de la flecha en el ojo de succión del impulsor, es preferido para el manejo de líquidos con sólidos en suspensión.

Bombas de doble succión : Son aquellas que cuentan - con impulsores de doble succión, estos tipos de impulsores simulan dos impulsores de simple succión colocados opuestos uno al otro, el líquido entra por ambos lados del impulsor. Presentan las siguientes ventajas : se encuentran teóricamente balanceados axialmente ya que

el líquido fluye simétricamente por tener el área de succión mayor comparado a uno de simple succión, permite operar a la bomba con un N.P.S.H. menor para una capacidad dada, la succión y la descarga son localizadas regularmente en la mitad inferior de la carcasa, lo cual hace posible inspeccionar el interior de la bomba sin necesidad de desconectar las tuberías.

Bombas de motor sumergido : Son aquellas en las que el motor está herméticamente cerrado y una porción del líquido es permitido que fluya dentro del mismo, evitándose que tenga contacto con el devanado, aislamiento y nucleos del rotor y estator.

Bombas para calefacción : Son las bombas limitadas a bajas presiones (30 psi máximo). Tienen uso residencial en sistemas de agua caliente.

C A P I T U L O I I

T E O R I A D E L A C O R R O S I O N

2.1) Q U E E S L A C O R R O S I O N :

La corrosión de metales, puede ser definida como la acción química o electroquímica del medio, acarreado como resultado el deterioramiento o destrucción del metal y con lo -- cual tiende a volver a su estado natural más estable bajo de-- terminadas condiciones.

El estado natural de la mayoría de los metales es -- como un óxido o una sal, y para convertirlos a una forma de po der ser utilizados mejor, estas sales deben ser refinadas. En los procesos de refinamiento se aplica energía en forma de ca- lor y el metal final se considera que cuenta con una cierta -- cantidad de energía mayor que la sal original.

En corrosión, el metal al regresar a su estado origi- nal, debe regresar la energía que ha ganado mientras fué refi nado. No es de extrañarse el que se corroan todos los metales, pero su rapidéz de corrosión varía.

Esto hace suponer que mientras más energía es necesi- tada en el refinamiento del metal, la corrosión profundizará - más.

Entonces la corrosión de un metal siempre puede ser relacionada con un regreso de energía.

Ahora veamos lo que sucede cuando se enmohece el hie rro, debe regresar energía y esta puede ser en forma de calor, luz, sonido o electricidad.

No está aún perfectamente esclarecido el mecanismo de la formación de la herrumbre u orín; seguramente no se realiza según un mecanismo único. Tampoco se dá una explicación única : se interpreta como un proceso puramente químico, o bien como resultado de acciones electroquímicas ; estas últimas están más de acuerdo con las observaciones experimentales sobre el modo de reaccionar de las distintas zonas de corrosión, y que depende de las concentraciones en los iones H^+ , OH^- , Fe^{2+} , Fe^{3+} y en O_2 .

Según la explicación electroquímica, en la gota de agua de corrosión (Figura 23) a la interperie, existe una zona anódica o superficie " interior " del hierro alejada del aire, y una zona catódica constituida por la región de contacto entre el hierro, el líquido y el aire; o sea respectivamente el fondo del cráter que va formando la corrosión y la zona periférica de la gota.

La reacción es iniciada por los iones H^+ ó Fe^{3+} del agua y tiene lugar en las diversas zonas, según el esquema siguiente :

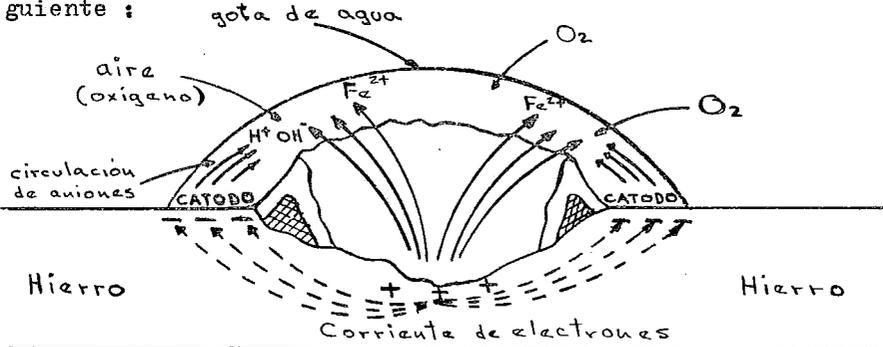


Fig.23 Acción corrosiva de una gota de agua sobre el hierro.

Es obvio por simple observación que tal enmohecimiento no produce luz, calor o sonido, pero sí energía en forma de electricidad.

Al llevarse a cabo el enmohecimiento ya no se invertirá tal reacción, y por lo tanto, la corrosión es continua e irreversible, lo cual supone que la electricidad involucrada es corriente directa y no corriente alterna .

Corrosión Química : Se puede definir como la tendencia de los metales a reaccionar con el medio ambiente que los rodea, se pueden presentar dos casos :

a) Que el compuesto sea insoluble pero adherente y por lo tanto la corrosión continuará.

b) Que el compuesto sea insoluble, adherente e impermeable, por lo que se formará una película que actuará como capa protectora y se detendrá la corrosión.

La acción química directa, sólo se verifica en condiciones extraordinarias como por ejemplo : en ambiente altamente corrosivo, una elevada temperatura o ambas cosas. Podemos apreciarla en metales que están en contacto con ácidos o álcalis, en la formación de óxido de hierro por disociación de agua en contacto con partes calentadas.

Corrosión Electroquímica : Se puede definir como la tendencia del metal a pasar al estado iónico, o sea, la pérdida de uno o varios electrones con aumento de su valencia positiva, este caso se presentará siempre que el metal esté en contacto con una solución acuosa.

La corrosión electroquímica no se presentará a menos

que un líquido esté presente, siendo éste parte del circuito cerrado requerido, para que pueda fluir la corriente eléctrica. Entonces, se requiere de este circuito continuo, conductor eléctricamente, el cual consiste de un metal o metales y un líquido o líquidos. Dentro del líquido, la corriente abandona una cara de la sección metálica del circuito y penetra en la otra cara.

La cara que pierde corriente se corroe, lo cual no sucede con la que la recibe. Al circuito mencionado anteriormente, se le conoce como celda electrolítica.

La celda consta de tres partes principales :

- a) Las superficies metálicas.
- b) Un puente conector.
- c) Un líquido.

(Ver Figuras 24 y)
25

Al fluir la corriente, la cara liberadora de corriente es conocida como ánodo, y la que recibe la corriente es la cara negativa, se le conoce como cátodo.

El líquido a través del cual pasa la electricidad es llamado electrolito.

Hay tres clases de electrolitos : ácidos, bases y sales .

Los ácidos se reconocen por las siguientes características : su reacción con el tornasol, que cambia en su presencia de azul a rojo : el desprendimiento del hidrógeno cuando reacciona con metales activos. Es evidente que un ácido es una substancia que cede un protón (H^+) en disolución.

Una base es toda substancia que contiene el grupo hidróxido y proporciona hidróxidos en las soluciones acuosas.

C E L D A E L E C T R O L I T I C A

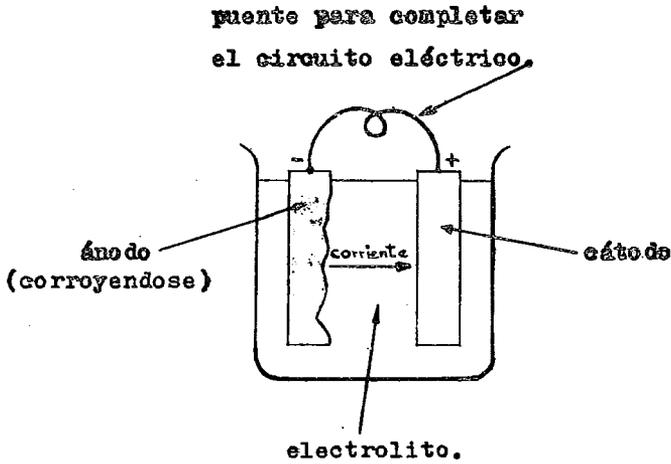


Fig. 25

Una solución que tiene el mismo número de iones hidrógeno y iones hidróxido, se llama neutra.

Disueltas en agua, algunas sales se disocian por completo en iones; son fuertemente iónicas. Otras, con enlaces covalentes, son débilmente iónicas.

Las sales fuertes se caracterizan por las siguientes propiedades : Puntos de fusión y de ebullición elevados, conductividad eléctrica cuando están fundidos, y disociación iónica completa en disolución acuosa.

Las sales débiles o covalentes tienen puntos de fusión y de ebullición bajos, su conductividad es reducida (o nula) cuando están fundidas, y solo se ionizan ligeramente en disolución acuosa.

Puesto que la celda debe ser un trayecto cerrado, solo puede existir cuando están presentes los cuatro elementos, al quitar cualquiera de ellos, significa destruir la celda.

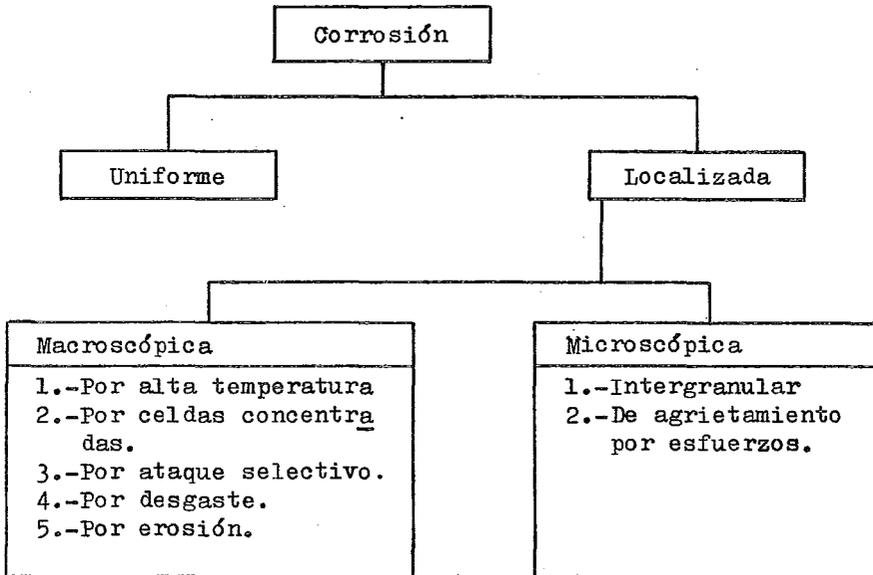
Se dice que una celda es activa cuando se tiene flujo de corriente. Para hacerla activa, es necesario tener una diferencia de voltaje eléctrico entre el ánodo y el cátodo y una resistencia eléctrica suficientemente baja.

La celda es de corrosión cuando es activa, y solo entonces se corroerá el ánodo.

Posteriormente se verá las reacciones características tanto en el ánodo como en el cátodo.

2.2) TIPOS DE CORROSION :

Los tipos más comunes de corrosión, se pueden clasificar de la siguiente manera :



Corrosión Uniforme : Es aquella que se presenta - cuando el metal se encuentra en contacto con ácidos u otras soluciones, aún cuando no es indispensable la presencia de una - solución, puesto que la oxidación por alta temperatura, es una forma de corrosión uniforme y se puede presentar en una atmósfera relativamente seca. El producto de la corrosión puede formar una capa protectora sobre el metal, con lo cual retarda la corrosión, o bien se disuelve en el líquido corrosivo tal como

sucede en el ataque químico directo.

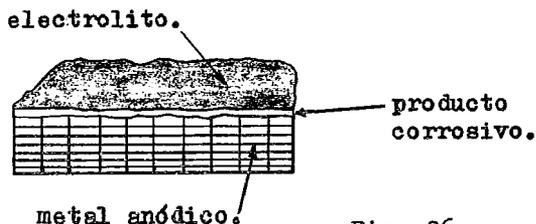


Fig. 26

Corrosión Localizada : Es aquella que se presenta cuando se rompen las películas formadas por los productos de la corrosión. La parte agrietada de la película, representa el ánodo de una celda electrolítica y la parte intacta al cátodo.

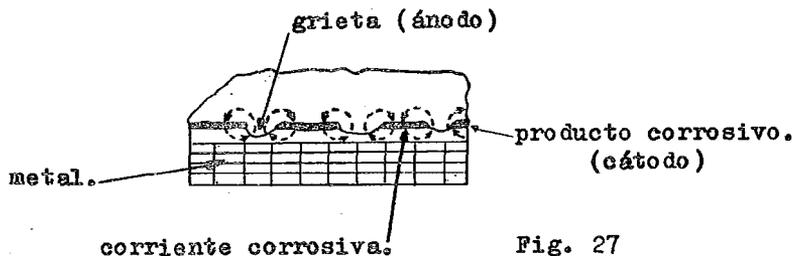


Fig. 27

Corrosión Por Alta Temperatura : Para predecir el efecto de la oxidación debido a la alta temperatura, se necesita información acerca de :

- 1.- Composición del metal.
- 2.- Composición de la atmósfera.
- 3.- Temperatura.
- 4.- Tiempo de exposición.

No es fácil predecir, lo que sucederá en cada caso - en particular, pero por lo general se va formando una capa de óxido que va creciendo conforme transcurre el tiempo.

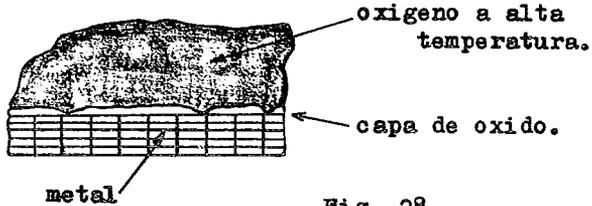


Fig. 28

Corrosión Por Celdas Concentradas : Este tipo - es reconocido por la presencia de grietas, lo cual ocasiona diferencias en la concentración de la solución.

Las grietas impiden la difusión de oxígeno, y esto - provoca la formación de áreas de mucho y poco oxígeno, ocacionando las celdas concetradas.

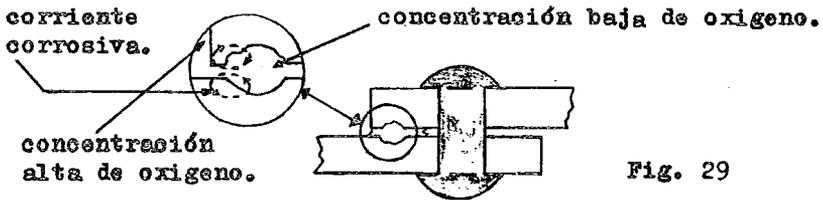


Fig. 29

Corrosión Por Ataque Selectivo : En este tipo se elimina un elemento del metal o aleación a causa del ataque corrosivo. Dentro de este tipo, cabe mencionar la densificación y la grafitación. Por ejemplo, cuando se exponen aleaciones de cobre - zinc en condiciones húmedas por largo tiempo, se puede

perder el zinc. Esto origina una masa metálica porosa de poca resistencia mecánica.

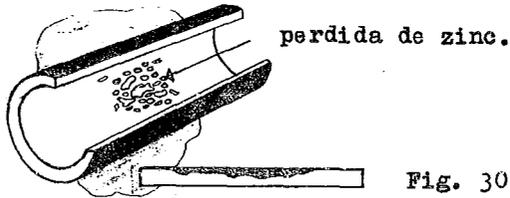


Fig. 30

Corrosión Por Desgaste : En este tipo se puede presentar en chumaceras que soportan flechas que giran a gran velocidad y las vibraciones de alta frecuencia son la causa de la corrosión.

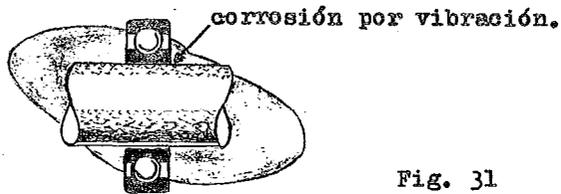


Fig. 31

Corrosión Por Erosión : Se presenta cuando la corriente de agua atraviesa la película de corrosión, disolviendo el metal. El efecto depende principalmente de la velocidad del líquido.

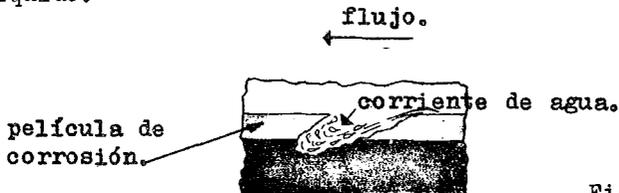


Fig. 32

Corrosión Intergranular : Este tipo se presenta cuando hay un ataque en el contorno de los granos metálicos y provoca un agrietamiento en el interior del metal.

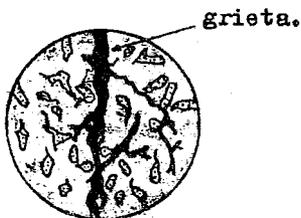


Fig. 33

Corrosión De Agrietamiento Por Esfuerzo : En este tipo se asocian los esfuerzos con el ambiente corrosivo. Donde hay acción corrosiva, se tiene concentración de esfuerzos y lo cual puede llegar hasta el punto de cedencia del material.

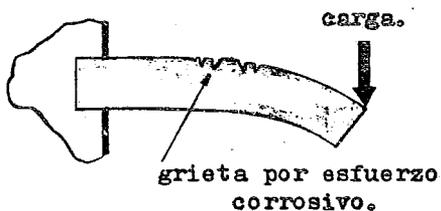


Fig. 34

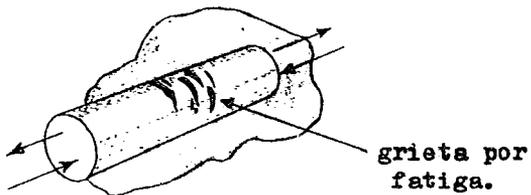


Fig. 35

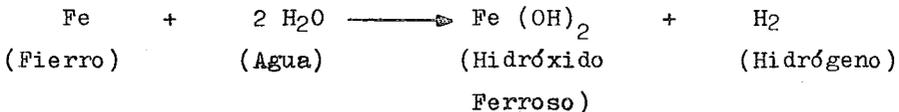
2.3) MECANISMO DE LA CORROSION :

Se ha demostrado que los fenómenos esenciales de la corrosión, son los mismos para todos los metales y aleaciones, difiriendo en grado, más no en clase. Por lo tanto, es posible simplificar esta discusión considerando el mecanismo de la corrosión con referencia particular al hierro.

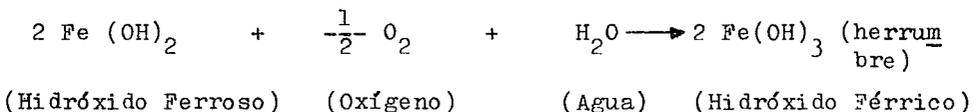
El mecanismo de la corrosión se puede hacer ver en la oxidación del hierro. Una interpretación netamente química es cuando se tiene agua con aire disuelto.

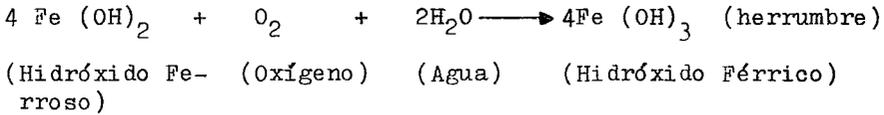
Los metales, particularmente los ferrosos, son encontrados frecuentemente como óxidos en su estado nativo, lo cual indica una gran afinidad entre el hierro y el oxígeno.

Al poner un metal en contacto con agua, tiende a disolverse. El hierro en agua, tiende a oxidarse, debido a que tiene mayor afinidad por el oxígeno que por el hidrógeno, lo cual causa una ruptura del agua en dos partes, siendo el hierro atacado por la parte hidróxido. Lo anterior puede ser visto mediante la siguiente reacción química :

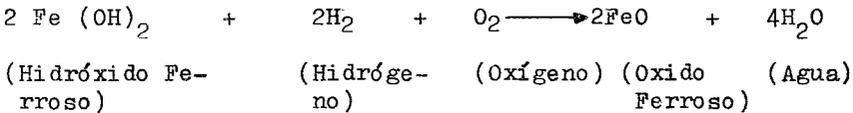


El hidróxido ferroso es un compuesto inestable cuando se encuentra en presencia de oxígeno y se transforma en hidróxido férrico, el cual se conoce más comúnmente como herrumbre :

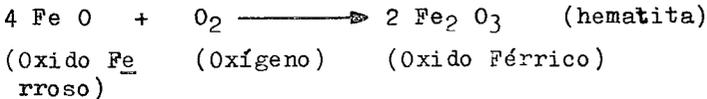
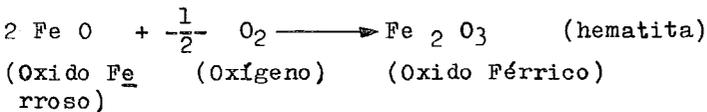




El hidróxido ferroso también se puede transformar en óxido ferroso negro :



La oxidación adicional del óxido ferroso produce el herrumbre rojo :



El mecanismo de la corrosión electroquímica, equivale al que se presenta en una celda electrolítica.

Se tiene un flujo eléctrico entre las caras metálicas a través de una solución. El deterioramiento se presenta en la cara donde sale la corriente. (Ver Figura 25)

A ésta cara se le conoce como ánodo y a la que recibe la corriente se le conoce como cátodo.

Ese flujo eléctrico resulta de una diferencia de potencial entre los dos electrodos que se pueden encontrar en dos metales diferentes o bien en el mismo metal.

A causa de la corriente que se ha mencionado, se presentan dos reacciones características que son :

- a) Reacción Anódica.
- b) Reacción Catódica.

Durante la reacción anódica, el metal del ánodo penetra en el electrolito y al mismo tiempo pone en libertad electrones, lo que hace que al átomo metálico se transforme en ión cargado positivamente.

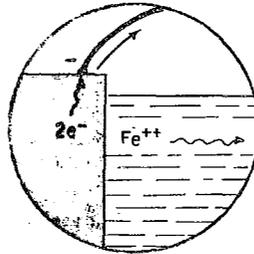
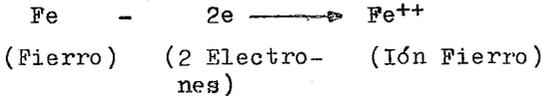


Fig. 36



Ahora, el electrolito también contiene iones, por ejemplo el agua pura contiene igual número de iones hidrógeno - cargados positivamente que iones hidróxido cargados negativamente. Al penetrar el ion fierro en la solución es porque lo atrae el ión hidróxido de la solución.

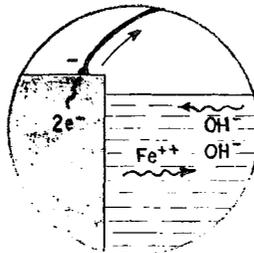
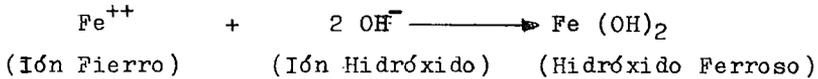


Fig. 37



El hidróxido ferroso se transforma en hidróxido férrico por la misma razón anterior de inestabilidad :

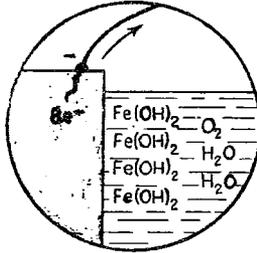
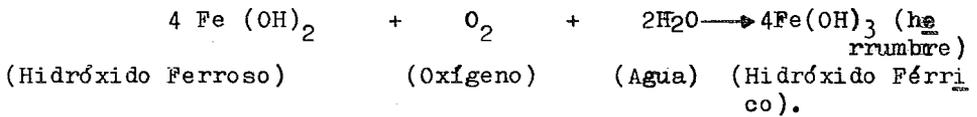


Fig. 38



El herrumbre junto con otros materiales del agua, -- puede formar sobre la superficie del hierro una capa más o menos protectora.

En la reacción catódica, en vista de que el electrodo debe permanecer eléctricamente neutro, entonces, para poder que penetren en él los aniones se requiere que una cantidad equivalente de iones positivos lo abandone, es decir, los iones hidrógeno.

Los electrones puestos en libertad en el ánodo, llegan al cátodo a través del circuito eléctrico cerrado y neutralizan iones que se encuentran formando una superficie catódica protectora al haberse separado del electrolito.

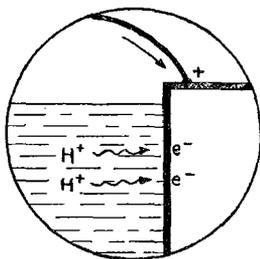
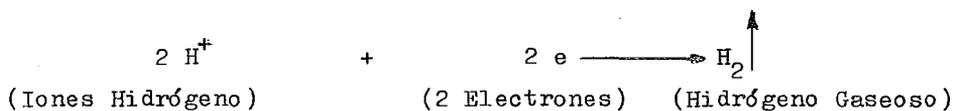


Fig. 39



Puede suceder que el hidrógeno reaccione con el oxígeno que se encuentra en solución.

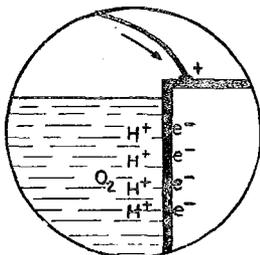
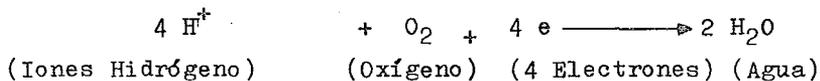


Fig. 40



Estas dos últimas reacciones indican una destrucción de la película protectora de hidrógeno y en la primera se ve que se elimina por medio de burbujas, y en la segunda que se transforma en agua al combinarse con el oxígeno.

Por último, se cerrará el circuito viendo como se producen los iones hidróxido que originalmente reaccionaron

con los iones fierro .

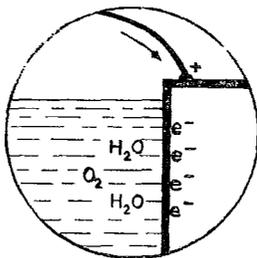
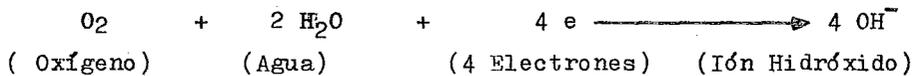


Fig. 41



Si la película protectora no se destruyera, evitaría el progreso de la corrosión.

2.4) CAUSAS DE CORROSION :

Entre los factores que estimulan la corrosión, se tienen los siguientes : atmósfera húmeda, puesto que esta mantiene una película corrosiva sobre el metal, el oxígeno disuelto en la película, ácidos, sales que se disocian en agua produciendo reacción ácida, contacto de metales de naturaleza dis-tinta.

Las causas de la corrosión están ligadas con los factores que afectan las reacciones que se presentan en la corrosión. Estos factores pueden depender del medio ambiente.

Los factores que dependen del ambiente son :

- a) Actividad de iones hidrógeno en la solución (pH)
- b) Influencia de oxígeno disuelto.
- c) Naturaleza, concentración y distribución de otros iones en solución.
- d) Velocidad del flujo.
- e) Particularidad del ambiente de formar una película protectora sobre el metal.
- f) Temperatura.
- g) Contacto entre metales distintos.

La corrosión química se verifica en condiciones extraordinarias de ambientes altamente corrosivos, ambientes de alta temperatura o bien, mezclados los dos.

La corrosión electroquímica solo se presentará cuando exista una diferencia de potencial entre ánodo y cátodo de una celda electrolítica, y esta diferencia de potencial se puede obtener en dos formas :

- 1.- Proporcionándola una fuente exterior.
- 2.- Obteniéndose dentro de la misma celda.

En el caso particular de la corrosión en bombas se - tratará únicamente esta última.

Cuando una pieza de metal está en contacto con un electrolito, se desarrolla un potencial eléctrico. Este potencial depende de lo siguiente :

- a) Clase de metal.
- b) Clase de electrolito.
- c) Condiciones de la superficie del metal.
- d) Presencia de materiales extraños en el metal y en - contacto con el electrolito.

Entonces, cuando dos piezas metálicas son conectadas externamente y colocadas en un electrolito, ellas tendrán el - mismo potencial sólo si las condiciones anteriores no varían. Si alguna varía, se tendrá una diferencia de potencial productora de voltaje con el cual se provocará una corriente eléctrica si la resistencia del circuito es suficientemente baja.

Entonces cualquier variación en a , b , c , ó d, ca usará una celda de corrosión.

Dependiendo de las variaciones en esos cuatro factores, existen varios tipos de celdas de corrosión. A continuación se mencionan las más comunes.

a) Variación En La Clase Del Metal :

Hay dos formas de celdas de corrosión que pueden obtenerse tomando en cuenta el metal involucrado :

1.- Cuando los dos polos de la celda son de diferentes metales .

2.- Cuando los dos polos son parte de la misma pieza de metal, la cual es una mezcla de dos o más metales, o sea, una aleación.

Existe tambien una tercera forma que resulta de la -- combinación de las dos anteriores.

La rapidéz de corrosión depende de la diferencia de - voltaje de los metales. Es muy útil poder predecir la actividad, por tener conocimiento del voltaje desarrollado entre los metales.

Esta información se proporciona en la serie electromotriz. En esta serie, los metales están dispuestos por orden de- creciente de actividad, esto es, de su tendencia a formar iones positivos por pérdida de electrones, ocupando el potasio el primer lugar, y el platino el último.

SERIE ELECTROMOTRIZ DE LOS METALES :

<u>Elemento</u>				<u>Potencial</u>
Potasio	$K \longrightarrow K^+$	+	e	- 2.92 Volts
Sodio	$Na \longrightarrow Na^+$	+	e	- 2.71 "
Magnesio	$Mg \longrightarrow Mg^{2+}$	+	2 e	- 2.40 "
Aluminio	$Al \longrightarrow Al^{3+}$	+	3 e	- 1.69 "
Zinc	$Zn \longrightarrow Zn^{2+}$	+	2 e	- 0.76 "
Fierro	$Fe \longrightarrow Fe^{2+}$	+	2 e	- 0.74 "
Cadmio	$Cd \longrightarrow Cd^{2+}$	+	2 e	- 0.40 "

Elemento				Potencial
Cobalto	$\text{Co} \longrightarrow \text{Co}^{2+}$	+	2 e	- 0.29 Volts
Niquel	$\text{Ni} \longrightarrow \text{Ni}^{2+}$	+	2 e	- 0.25 "
Estaño	$\text{Sn} \longrightarrow \text{Sn}^{2+}$	+	2 e	- 0.16 "
Plomo	$\text{Pb} \longrightarrow \text{Pb}^{+2}$	+	2 e	- 0.13 "
<u>HIDROGENO</u>	$\text{H}_2 \longrightarrow 2\text{H}^+$	+	2 e	- 0.00 "
Cobre	$\text{Cu} \longrightarrow \text{Cu}^{+2}$	+	e	0.35 "
Plata	$\text{Ag} \longrightarrow \text{Ag}^{+1}$	+	e	0.81 "
Mercurio	$\text{Hg} \longrightarrow \text{Hg}^{+1}$	+	e	0.86 "
Oro	$\text{Au} \longrightarrow \text{Au}^{+1}$	+	e	1.38 "
Platino	$\text{Pt} \longrightarrow \text{Pt}^{+2}$	+	2 e	1.60 "

La actividad relativa de un elemento de la serie, se refiere no solo al desplazamiento de hidrógeno, sino también al de cualquier otro de los que en ella figuran.

Una diferencia análoga de actividad, se observa cuando los metales reaccionan con ácidos. El sodio reacciona con el ácido clorhídrico con violencia casi explosiva; el zinc y el hierro reaccionan menos rápidamente, mientras que el cobre y la plata no muestran tendencia alguna en desplazar al hidrógeno ni aún del ácido concentrado.

Todos los metales, hasta el plomo inclusive, liberan hidrógeno de los ácidos; en cambio, no lo hacen los que siguen al hidrógeno.

El hierro, por ejemplo: está por encima del cobre en la serie; si se pone hierro metálico en una disolución de sul-

fato cúprico, el cobre es desplazado por el hierro, obteniéndose cobre metálico, mientras que el hierro se disuelve :



El hierro cede electrones al ion cobre. La plata, que se encuentra en la serie por debajo del cobre, no desplaza a éste de sus compuestos, pues su tendencia a perder electrones es aún menor que la del cobre.

La actividad de los metales de la serie electromotriz explica también por que solamente los que están debajo del hidrógeno se encuentran libres en estado natural. Si hubiera algún metal activo sin combinar, las aguas naturales, que contienen cantidades pequeñas de ácidos, reaccionarían con ellos, dejando sólo aquellos que no desplazan hidrógeno, a saber, los que están en la serie por debajo del hidrógeno. Sólo en casos excepcionales se encuentran sin combinar en la naturaleza metales que preceden al hidrógeno en la serie ; por ejemplo, el hierro en los meteoritos.

b) Variación En La Clase De Electrolito :

El líquido en contacto con el ánodo y el cátodo, necesita ser un conductor. Las variaciones en electrolitos, pueden ocurrir debido a un gran número de factores, siendo los principales los siguientes :

- 1.- Variación del contenido gaseoso.
- 2.- Variación de concentración.
- 3.- Variación de temperatura.
- 4.- Variación de contaminación.

Mientras que la mayoría de estas variaciones pueden ser causadas por factores externos, hay algunas que se provocan por la operación de la misma celda.

1.- Variación del contenido gaseoso : Se manifiesta cuando el electrolito es aireado mecánicamente y llega a ser un fluido diferente y en consecuencia se produce un potencial diferente.

Un electrolito aireado produce un potencial más catódico que el que produce desaireado en contacto con el mismo metal. Esto necesariamente origina una celda de corrosión porque sí altera la acidéz de la celda.

Es cosa simple el producir un electrolito en el cual una parte tenga una aereación más alta que el contenido de la parte adyacente. En tal caso, el metal puede interferir en ésas dos áreas y en consecuencia un diferencial de voltaje puede establecerse en la superficie.

2.- Variación de concentración : Teóricamente si un líquido contiene una concentración de sales, la densidad del mismo es constante. Esta condición raramente se encuentra, y lo más usual es tener estratificación, particularmente donde hay influencia del medio exterior, puesto que la concentración de sales está sujeta a emigración. Esto trae como consecuencia, tener partes del electrolito con diferente concentración, y esto provoca diferencias de potencial.

Uno de los efectos más importantes de estratificación de la concentración, ocurre después de que ha empezado a operar la celda, uno de los productos de la celda son los gases oxigenados y estos se disuelven en el electrolito formándose una se-

rie de estratificaciones de nuevos electrolitos. Uniendo esto - con lo que ya se mencionó, (emigración), llegan a obtenerse electrolitos muy agresivos, produciendo esto celdas de corrosión -- subsidiarias.

3.- Variación de temperatura : Afecta la resistividad eléctrica del electrolito y normalmente, a temperaturas - altas se tiene más baja resistividad y por lo tanto menor resistencia se opone al paso de la corriente y así aumenta la actividad de la celda.

Al calentar un electrolito, debe ser un proceso graduado al tomando en cuenta el tiempo de conducción de calor a través del electrolito.

El punto de aplicación de calor, siempre aparecerá a más alta temperatura que el electrolito que lo rodea, y en consecuencia se tendrá una variación en la naturaleza del electrolito. Entonces, en estas condiciones se tiene una diferencia de potencial y una resistividad más baja.

La aplicación de temperatura en electrolitos puede ocasionar dos aspectos importantes. Al tener gases disueltos serán forzados hacia afuera por efecto del calentamiento, esto ocasionará un contenido gaseoso distinto, y en consecuencia repercusiones de (1.-).

El otro aspecto se tiene con la estratificación (2.-) y se presenta cuando una corriente o flujo frío se introduce en líquido caliente, entonces el líquido caliente quedará sobre el frío en tal forma que se llega a tener una capa entre el electrolito frío y el caliente, en este caso hay variación de resistividad

4.- Variación de la contaminación : La corrosividad de un electrolito puede ser alterada por la presencia de contaminantes extraños. El contaminante no se dispersa inmediatamente a través del electrolito, y por tanto se originan áreas de contaminación diferente, en consecuencia se tendrá una variación de voltaje en el metal dentro del electrolito. Este efecto de contaminación es máximo cuando el electrolito es inestable.

c) Condiciones De La Superficie Del Metal : El potencial natural que se origina entre una superficie metálica y un electrolito en contacto, depende en gran forma de la actividad molecular de los dos.

Esto sugiere que si ésta área en contacto está protegida, habrá una alteración en la actividad molecular y en consecuencia una alteración en el potencial originado.

Entonces, si el metal y el electrolito son separados por una película de aislamiento, no habrá ninguna actividad, y en consecuencia ningún voltaje corrosivo.

En mayor o menor cantidad, cualquier diferencia en la superficie causará una alteración en el potencial, y por tanto en la actividad corrosiva.

Tal caso se puede provocar de muchas maneras, tales como :

- a) Contaminación de la superficie.
- b) Geometría de la superficie.
- c) Métodos de manufactura del metal.

Es interesante notar que la contaminación y la rugosidad pueden ser remedios en un sistema anticorrosivo, y la geometría

tría y el método de manufactura son partes inherentes al diseño del sistema.

d) Presencia De Materiales Extraños En El Me
tal Y En Presencia Con El Electrolito

Este tipo de celda corrosiva, es común pero complicada. Las colonias de bacterias, pueden ser la causa.

2.5) PREVENCIÓN DE CORROSIÓN :

La corrosión se puede prevenir de las siguientes maneras :

- 1 .- Empleando un metal de autosacrificio.
- 2 .- Recubrimientos protectores.
- 3 .- Conversión de metales a estado pasivo.
- 4 .- Neutralización de líquidos corrosivos.
- 5 .- Tratamiento del líquido.
- 6 .- Cromado,
- 7 .- Eliminación de oxígeno.
- 8 .- Inversión de la polaridad.
- 9 .- Aplicación de una fuente electromotriz externa.

1 .- Empleando un metal de autosacrificio : El auto-sacrificio anódico, es aquel en el cual se tiene un metal cuya posición en la serie electromotriz (ver Tabla) esté más arriba que el metal que se desea proteger y así se tenga una celda de corrosión en tal forma que no tenga destrucción el metal de nuestro interés. Ejemplo : Se puede utilizar zinc para impedir la corrosión del hierro. Además del zinc, también son utilizados el aluminio y el magnesio.

2 .- Recubrimientos protectores : Consisten de capas resistentes a la acción corrosiva del líquido. Estos pueden ser : Metálicos y no metálicos.

Cómo ejemplo de metálicos se tiene : zinc, níquel - cromo, estaño, cadmio, plomo, aluminio.

Como ejemplo de no metálicos está ; la porcelana.

3.- Conversión de metales a estado pasivo : Se puede obtener de diferentes formas, dependiendo del metal en sí.

Ejemplo : El acero se puede lograr al ponerlo en una solución de 30 % de ácido nítrico.

El fierro se logra con ácido nítrico, ácido crómico, cromatos y soluciones oxidantes.

4.- Neutralización de líquidos corrosivos : Se logra mediante inhibidores.

Ejemplo : Los polifosfatos. A pesar de que los polifosfatos exhiben algunas propiedades para reducir la corrosión, es necesario en grandes cantidades y existe el peligro de que se forme ortofosfato, lo cual ocasiona muchos depositos.

En el caso de vapores corrosivos, los inhibidores volátiles tales como el amoniaco han dado muy buenos resultados.

5.- Tratamiento del líquido : El tratamiento del líquido, para volverlo alcalino es con el fin de disminuir la acción corrosiva.

Ejemplo : Agua destilada. Basta con agregar un poco de hidróxido de sodio, y así se tendrá una alcalinidad y por lo tanto, baja corrosión.

6.- Cromado : Se utiliza para revestimiento de otros metales, proporcionándoles una capa protectora. El cromo queda protegido de la corrosión por una delgada película superficial de óxido. Un objeto que haya de cromarse, se recubre primero de cobre o níquel; este depósito se pulimenta y entonces se deposita el cromo en forma brillante, pues este metal es demasiado duro para poderlo pulimentar.

La adición de cromo al acero lo hace más duro y más resistente a la corrosión.

A los aceros con alto contenido en cromo (más del 10 %) se les llama aceros inoxidable.

7.- Eliminación de oxígeno : La eliminación del oxígeno se puede lograr por medio de reacciones químicas. Al agregar sulfato de hierro al agua se produce hidróxido de hierro, - que absorbe al oxígeno con gran rapidez.

El sulfato de sodio al agregarlo al agua, reacciona fácilmente con el oxígeno disuelto y forma sulfato de sodio.

A continuación se mencionará algunos casos sobre prevención de corrosión :

1.- Prevención en sistemas de enfriamiento :

El agua de enfriamiento es usada en grandes cantidades, y cuando es corrosiva representa un gran problema en el sistema.

La depreciación del sistema debe ser reducida controlando los factores causantes de la corrosión entre los que se - tienen :

- a) Velocidad del flujo.
- b) Temperatura.
- c) Acidos.
- d) Concentraciones de oxígeno.

En estos casos la corrosión se puede disminuir manteniendo el agua ligeramente alcalina, mediante la adición de silicato de sodio (cuando hay causa de acidez).

2.- Prevención en sistemas de refrigeración :

Las aguas saladas usadas en refrigeración consisten esencialmente de soluciones fuertes de calcio o cloruro de sodio, y los factores que influyen principalmente en la corrosión son :

- a) Las impurezas.
- b) La acidez.
- c) La concentración de oxígeno.
- d) La temperatura.

En estos casos la corrosión se puede retardar decreciendo la concentración de oxígeno y manteniendo la solución alcalina.

3.- Prevención de corrosión de ácidos no oxidantes :

En ácidos no oxidantes tal como el clorhídrico, se debe utilizar un material no metálico como el corcho y la cerámica.

El hierro con 14,5 % de sílice es atacado por éste ácido, pero esto se elimina con 3 % de molibdeno. .

La plata y el tantalio son resistentes a éste ácido. En resúmen, éste ácido corroe a todos los metales comunes, dependiendo de :

- a) La temperatura.
- b) La concentración.
- c) Impurezas presentes.

El ácido es más destructivo cuando tiene pequeñas cantidades de cloruro férrico ó agentes oxidantes ya que por ejemplo : el cobre no es atacado en ausencia de aire y se corroe fá

cilmente en presencia del oxígeno.

4.- Prevención de corrosión de ácidos oxidantes :

Un ácido de éste tipo es el sulfúrico concentrado a alta temperatura, éste ataca al fierro y a el acero con desprendimiento de hidrógeno y anhídrido sulfuroso, intensificándose al aumentar la temperatura.

La velocidad de flujo afecta grandemente este caso. El acero casi no es corroido por el ácido (80 a 100 %), si este último se encuentra en reposo.

El fierro fundido también es poco corroido por éste ácido. El fierro al alto sílice, tiene gran importancia en el -- campo de los ácidos oxidantes.

Esta aleación es resistente a todos los ácidos con excepción de los ácidos halogenados.

Las aleaciones al sílice son fácilmente corroidas al principio y muy poco al final.

En el caso del ácido nítrico, corroe fácilmente a los materiales ferrosos, aún cuando esto no sucede en concentraciones como del 40 % .

Las aleaciones de fierro - cromo, tienen una resistencia considerable a este tipo de ácidos.

Se ha encontrado que el aluminio es muy resistente a estos ácidos a bajas temperaturas, con bajas o altas concentraciones.

5.- Prevención de corrosión de soluciones alcalinas :

Los álcalis más comúnes son : el hidróxido de sodio, calcio, de potasio, de amonio y el carbonato de sodio.

Los materiales resistentes a estos; el fierro y el acero en su forma más pura.

Las aleaciones al sílice que son resistentes a los ácidos son muy atacadas por los álcalis, disolviendo el sílice, dejando una masa porosa.

El plomo, zinc, aluminio y estaño son disueltos fácilmente.

Otros metales como el níquel, monel, stellite, son --relativamente inatacables.

C A P I T U L O I I I

BOMBAS CENTRIFUGAS PARA LIQUIDOS CORROSIVOS

3.1) CORROSION EN BOMBAS CENTRIFUGAS :

a) " p H " : Las Bombas Centrifugas pueden fabricarse de casi todos los metales comunes conocidos o de sus aleaciones, así como de porcelana, vidrio y hasta materiales sintéticos. Las condiciones de servicio y la naturaleza de los líquidos que se van a manejar, determinarán finalmente qué materiales son los más satisfactorios.

La corrosión en bombas, puede ser debido a un cálculo erróneo del valor del " p H " .

El pH de un líquido es una representación cuantitativa de su acidez o alcalinidad relativas.

El valor está basado en la concentración de iones H^+ (hidrógeno positivo) contra iones OH^- (hidróxidos negativos) en la solución.

Se calcula de la siguiente manera :

$$pH = \log. \frac{1}{\text{Concentración de } H^+}$$

Entre más bajo sea el pH, la solución será más ácida. Una solución con un valor de pH de 7 es neutra ; los valores a rriba de 7 indican alcalinidad y los menores de 7, acidez.

Como los valores del pH se expresan logarítmicamente, se debe recordar que los cambios en pH representan algo más --

que un cambio directo lineal.

Por ejemplo, una solución que tenga un pH de 5, es diez veces más ácida que una con un pH de 6 .

El pH de una solución dada, varía algo con los cambios de temperatura, disminuyendo más bien rápidamente hasta --- 148.9 °C y permaneciendo bastante constante a temperaturas más altas.

Por ejemplo, una solución con un pH de 8.5 a 21.1 °C tendrá un pH aproximadamente de 7 a 148.9 °C y de 6.8 a 260°C.

La siguiente tabla muestra aproximadamente algunos valores del pH.

A C I D O S

Acido	Clorhídrico	1.1
"	Sulfúrico	1.2
"	Ortofosfórico	1.5
"	Sulfuroso	1.5
"	Oxálico	1.6
"	Tartárico	2.2
"	Maleico	2.2
"	Cítrico	2.2
"	Fórmico	2.3
"	Láctico	2.4
"	Acético	2.9
"	Carbónico	3.8
"	Bórico	5.2

B A S E S

Hidróxido de Sodio	13
" de Potasio	13
Metasilicato de Sodio	12.6
Carbonato de Sodio	11.6
Amoniaco	11.1
Hidróxido Ferroso	9.5
Carbonato de Calcio	9.4
Bicarbonato de Sodio	8.4

M A T E R I A L E S B I O L O G I C O S

Sangre , Plasma	7.3 - 7.5
Sangre de Perro	6.9 - 7.2
Saliva Humana	6.5 - 7.5
Contenidos Gástricos	1.0 - 3.0
Contenidos Duodenales	4.8 - 8.2
Orina Humana	4.8 - 8.4
Leche Humana	6.6 - 7.6

C O M I D A S

Manzana	2.9 - 3.3
Espárragos	3.6 - 4.0
Plátano	4.5 - 4.7
Pan	5.0 - 6.0
Mantequilla	6.1 - 6.4

Huevos	7.6 - 8.0
Limones	2.2 - 2.4
Leche	6.3 - 6.6
Peras	3.6 - 4.0
Agua (Para Beber)	6.5 - 8.0

FUENTE : Modern pH and Chlorine Control W.A.
Taylor & Co.

Aún cuando los valores del pH son solo un factor que influye en la selección de materiales para bombas, puede asegurarse que las bombas normales equipadas con bronce no deberían usarse para valores de pH menores de 6 ó, mayores de 8.5 a la temperatura de bombeo. Para valores de 6.0 se deben usar bombas enteramente de bronce o bombas equipadas con acero inoxidable, y para valores mayores de 8.5 son preferibles las bombas enteramente de hierro o las equipadas con acero inoxidable.

b) Corrosión Galvánica : También se puede producir una severa corrosión si se usan dos metales diferentes - en estrecha proximidad en una bomba que maneje un líquido electrolítico.

La inmersión de dos metales diferentes pero conectados en una solución electrolítica, es en realidad la forma de una celda de batería eléctrica.

La reacción electroquímica causa una corriente eléctrica, y el flujo de pequeñas partículas metálicas de un metal

al otro. En las Bombas Centrifugas, éstas partículas pueden de positarse en el segundo metal, o ser arrastradas, dependiendo de la velocidad del flujo. El metal protegido es el cátodo y - el metal corroído es el ánodo.

La cantidad de corrosión interna de una bomba, depende de principalmente de lo siguiente :

- 1 .- La conductividad de la solución electrolítica.
- 2 .- La proximidad de metales diferentes.
- 3 .- La distancia entre dos metales, dentro de la serie galvánica.

En una bomba de fierro fundido provista de piezas in ternas hechas de bronce, la corrosión puede desarrollarse aún bajo una condición acidificante muy débil (pH de 6 y aún más alto). En la serie electromotriz podemos notar que el fierro fundido es anódico con respecto al bronce, esto quiere decir - que los iones de fierro de la carcasa fluyen hacia el impulsor, hecho de bronce (el bronce es una aleación de cobre y estaño o cobre y aluminio)

Bajo condiciones normales de operación, esos iones - de hierro se los lleva la corriente de agua. La superficie interna de la carcasa que pierde iones, se ve atacada por acelerada corrosión, debido al deterioro inicial.

Lo anterior quiere decir que un debido análisis del líquido y la correcta selección de los materiales de la bomba, pueden evitar la corrosión.

Este tipo de corrosión está conocida con el nombre - de corrosión galvánica, y es más acelerada cuando la separaci-

ón de los metales en la serie electromotriz sea mayor.

La corrosión galvánica se puede disminuir de la siguiente forma :

- 1 .- Seleccionando materiales localizados lo más junto posible en la serie galvanizada.
- 2 .- Mediante aislamientos de los metales acoplados.
- 3 .- Aplicando recubrimientos protectores.
- 4 .- Separando los metales hasta donde sea posible para aumentar la resistencia eléctrica.
- 5 .- Aplicando inhibidores químicos adecuados a la solución.

3.2) PARTES AFECTADAS :

Desde el punto de vista de bombeo, los líquidos se -
pueden clasificar tomando en cuenta :

- 1 .- Corrosividad.
- 2 .- Cantidad de partículas en suspensión.
- 3 .- Viscosidad.

Una bomba diseñada para servicio normal, puede ser -
que requiera sólo una pequeña modificación para manejar aguas
ligeramente ácidas o para resistir la acción agresiva de agua
caliente o aceite caliente.

Generalmente esta modificación recae sobre las partes
afectadas por el líquido.

Las partes de las Bombas Centrífugas horizontales que
son afectadas por la acción del líquido manejado son :

- 1 .- Carcasa.
- 2 .- Impulsor.
- 3 .- Flecha.
- 4 .- Anillos de desgaste del impulsor.
- 5 .- " " " de la carcasa.
- 6 .- Manga de la flecha.
- 7 .- Manga espaciadora.
- 8 .- Estopero.
- 9 .- Cubierta de succión.
- 10 .- " " descarga.
- 11 .- Tuerca y arandela del impulsor.

En una bomba vertical, las partes que pueden deteriorarse por la misma causa anterior son :

- 1 .- Tazón que equivale a carcasa.
- 2 .- Impulsor.
- 3 .- Flecha.
- 4 .- Anillos de desgaste del tazón.
- 5 .- Coples.
- 6 .- Chumaceras.
- 7 .- Columna interior.
- 8 .- Columna exterior.
- 9 .- Manga.
- 10 .- Estopero.
- 11 .- Colador.
- 12 .- Tubería de descarga.
- 13 .- Brida de succión.

El prensaestopas, es un elemento de especial importancia puesto que aparte de diseñarse para resistir la acción corrosiva del líquido, también se hace en tal forma que elimine cualquier fuga posible.

Además del empleo de un material adecuado, hay que tomar en cuenta la forma constructiva de la bomba, la cual queda determinada por el líquido manejado y el material empleado.

En este tipo de bombas, el prensaestopas es una parte muy tomada en cuenta, puesto que interesa un sellado casi perfecto en el estopero ya que las pérdidas de líquido pueden ser peligrosas para el personal, además pueden destruir la base de asiento de la bomba, así como también la cimentación.

En complemento a lo anterior, están las pérdidas cuando se trata de un producto relativamente costoso.

Una Bomba Centrífuga, puede llegar a tener dos prensaestopas, pero para el caso presente se evita el del lado de la succión, lo cual se logra disponiendo en voladizo el impulsor y haciendo entrar axialmente el líquido.

Con el fin de evitar las pérdidas en el prensaestopas, se compensa la diferencia de presiones que existe entre la presión interior de la bomba, y la presión atmosférica exterior, de manera que el prensaestopas, durante el funcionamiento, está a la presión atmosférica en ambos lados.

Para lograr lo anterior, se disponen unos álabes posteriores colocados en el dorso del impulsor, y dirigidos radialmente, giran a la misma velocidad del impulsor, y su diámetro externo debe ser adecuado para vencer la presión interior de la bomba.

En vez de los álabes posteriores, se utiliza también un impulsor auxiliar cerrado que se suela directamente en la parte posterior del impulsor principal.

En muchas ocasiones, el prensaestopas se elimina por un sello mecánico, el cual consta de lo siguiente :

- 1 .- Partes metálicas.
- 2 .- Cara rotatoria.
- 3 .- Cara estacionaria.
- 4 .- Juntas.

Dependiendo de las circunstancias, el sello puede ser : simple o doble, y estos a su vez, balanceados o desbalanceados. (Ver Figura 42)

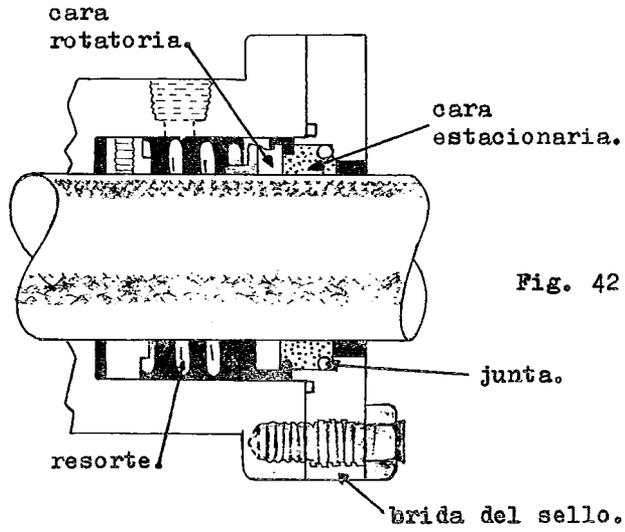


Fig. 42

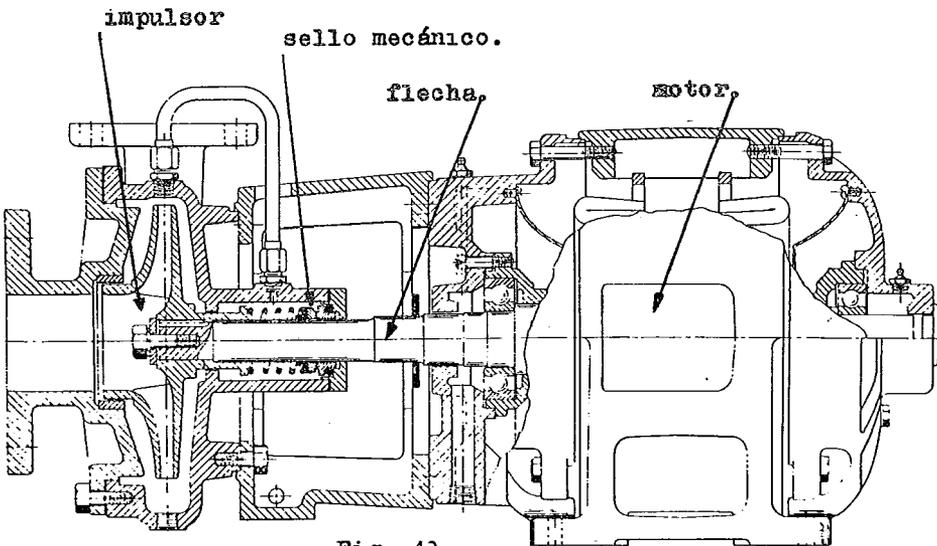


Fig. 43

La estructura constructiva del campo de la bomba, va
ría mucho de acuerdo con el material empleado en su fabricaci-
ón. Los materiales difíciles de trabajar, exigen formas lo más
sencillas posibles, con pocas superficies de junta ; con el --
plomo y la Thermisild (fundición con elevado porcentaje de -
silicio) se necesitan soportes especiales, y cuando se emplea
porcelana en la fabricación de partes, se requiere una caja --
protectora puesto que se trata de un material sumamente quebra
dizo y este material no puede transmitir esfuerzos de tensión.
Esa caja protectora en dónde se empotran el cuerpo y la cubier
ta de la bomba, puede ser de fierro fundido con la ayuda de una
pasta resistente al líquido manejado, dicha caja protectora ha
de resistir los esfuerzos producidos por las fuerzas interio-
res.

3.3) MATERIALES DE CONSTRUCCION :

Algunas de las condiciones de servicio, que afectan la selección de materiales, son las siguientes :

- 1 .- Resistencia a la corrosión.
- 2 .- Acción electroquímica.
- 3 .- Abrasividad de los sólidos suspendidos.
- 4 .- Tendencia de los sólidos en suspensión a ce---
rrar el paso en el rotor o carcasa.
- 5 .- Eliminación de cantidades anormales de aire o
gas.

Para contrarrestar el efecto corrosivo sobre las partes internas de la bomba, es necesario emplear un material resistente o usar metalurgia para servicios normales, siempre y cuando se tengan recubrimientos protectores. Por ejemplo ; se pueden tener materiales de construcción para servicios norma---les, o sea, hierro fundido tanto en la carcasa como en el im---pulsor exceptuando la flecha que se fabrica de acero (este tipo de construcción se considera como completa de hierro fundido). También se puede utilizar carcasa de hierro fundido e impulsor de bronce, (a este tipo también se le conoce como metalurgia -estandar) .

A continuación, se dará una lista detallada de la -
construcción estandar de una Bomba Centrífuga :

Caja	Fierro Fundido
Cubierta Succión	Fierro Fundido
Prensa - Estopa	Bronce
Tuerca Prensa - Estopa	Latón
Flecha	Acero al Carbón
Impelente	Bronce
Anillo de Desgaste - Cubierta	Bronce
Manga	Bronce
Deflector	Bronce
Tuerca Impelente	11.5 - 13 Cromo
Roldana Impelente	11.5 - 13 Cromo
Soporte Cubierta	Fierro Fundido
Cuñia Impelente	Acero Inoxidable
Juntas	2 mm Durabla
Pernaje	Acero Bajo Carbón
Juntas de la Manga	Aluminio
Cople	Comercial
Base	Acero Estructural

Los siguientes materiales son empleados para sopor--
tar la acción corrosiva :

1 .- Metales : Fierro fundido al sílice, y fie--
rro fundido al cromo ; aleaciones de acero, como el acero al -
11 - 13 % cromo, el acero al cromo - níquel y en algunos casos
lleva la adición de molibdeno : bronces de diversas composicio
nes.

- 2 .- Materiales cerámicos : pocalana y vidrio.
- 3 .- Plásticos.
- 4 .- Carbón.
- 5 .- Corcho

En el caso de las bombas verticales, la selección de los materiales empleados en la fabricación de la flecha y chumaceras, es un gran problema puesto que trabajan en condiciones muy severas, ya que deben ser resistentes a la acción del líquido y al mismo tiempo deben tener bajo coeficiente de fricción para asegurar un largo tiempo de vida.

Además debe ser tomado en cuenta que el líquido entre la flecha y la chumacera está a una elevada temperatura - debido al rozamiento, lo cual intensifica la acción corrosiva del líquido.

Las aleaciones de acero usadas en estas bombas, usualmente contienen 18 % Cr y 8 % Ni, pero tienen pobres propiedades antifriccionantes, razón por la cual no es adecuado para chumaceras. Las portachumaceras son hechas frecuentemente de carbón, pero la experiencia ha demostrado que no son muy durables, iguales resultados se han obtenido con el plástico, los resultados han sido mejores empleando teflón, cuando se tiene una flecha pulida.

En los últimos años la duración de la chumacera se ha incrementado considerablemente por la ayuda del método " Sulf - Inuz ".

Este método consiste en nitrificación, con lo cual el acero adquiere propiedades antifriccionantes durante el proceso de endurecido.

Materiales para la cubierta o carcasa :

Las cubiertas se hacen generalmente de hierro colado, pero como este a temperatura normal tiene limitaciones definidas de resistencia, una cubierta de hierro colado de diseño dado, será apropiada solo para un límite de presión definido. Si se tiene que resistir presiones más altas (por una operación a velocidades más altas que las de diseño, o por presiones altas de succión), se debe modificar el diseño para obtener mayor resistencia, o se deberá usar un metal (como el acero fundido) -- que se pueda someter a esfuerzos de valor más alto.

Las cubiertas de fierro fundido se usan raras veces para presiones superiores de 70 a 77 kg/cm² y temperaturas de más de 177 °C.

El calentamiento y enfriamiento repetido de las bombas que manejan líquidos calientes, agravará las minúsculas imperfecciones tanto en las cubiertas de hierro como de acero.

La tubería en los sistemas de bombeo de altas temperaturas y presiones, generalmente se hacen de acero ; las cubiertas de acero son normalmente preferidas, por lo tanto, porque no sería conveniente tener una cubierta más débil que la propia tubería.

Como el hierro fundido pierde resistencia a la tensión o tracción y se hace quebradizo a bajas temperaturas, las bombas que manejan líquidos a temperaturas muy bajas (por ejemplo salmueras .) generalmente tienen cubiertas de aleación de hierro colado o acero fundido.

Frecuentemente se usa bronce para cubiertas de bombas si el líquido es ligeramente corrosivo (ejem; Agua de Mar).

El acero inoxidable se emplea si el líquido bombeado es bastante corrosivo o excesivamente abrasivo. Las cubiertas de porcelana o vidrio se usan algunas veces para aplicaciones muy especiales.

Materiales para Impulsores : Los impulsores de bronce se prefieren por lo general, para manejar líquidos normales por las siguientes razones :

- 1 .- El bronce, es más fácil de fundir.
- 2 .- Es más fácil de maquinar.
- 3 .- Produce superficies más lisas.
- 4 .- No se oxida.

Sin embargo, no se deben usar los impulsores de bronce con cubiertas de hierro fundido si el líquido que se maneja es un electrolito fuerte. (Ver serie galvánica de los metales, ya que uno es muy anódico con respecto al otro). Cuando esto sucede, se emplean aleaciones de plomo y níquel.

El uso de impulsores de bronce está también limitado por el efecto de la velocidad periférica. El esfuerzo centrífugo ejercido en un impulsor, y el estiramiento resultante en el cubo del impulsor, pueden llegar a ser muy apreciables a elevadas velocidades periféricas.

Un impulsor de 30 cm. de bronce, montado en una flecha de 7.62 cm. y operando a 3600 r.p.m. tendrá un estiramiento de aproximadamente 0.0028 cm. Si la bomba también maneja agua caliente (120 °C) un impulsor de bronce sufrirá una expansión adicional por temperatura de 0.00355 cm, resultando un aflojamiento de 0.00635 cm. en total entre la flecha

y el impulsor, que es excesivo.

Materiales para Flecha : Normalmente se fabrican de acero al carbón, si el líquido manejado es corrosivo se debe emplear un material resistente a la corrosión, puesto que a quel puede pasar por los pasos del impulsor o a través de éste, y la manga hacia la flecha, por lo tanto se emplean metales como : Acero inoxidable, bronce fosforado o monel.

Materiales para Manga : Regularmente se hacen de bronce. Deben hacerse de un material con acabado liso, ya que está en contacto con el estopero y por lo tanto al tener problemas sobre corrosión, se emplea acero inoxidable. Ejemplo : el tipo cromo - níquel.

Materiales para Anillos de Desgaste : El material de fabricación estandar, es el bronce. Si las condiciones requeridas no se cumplen con éste, se pueden emplear otros como : acero al carbón, acero inoxidable, monel, cuando se refiere a problemas de corrosión.

C A P I T U L O I V

SELECCION DE BOMBAS CENTRIFUGAS PARA LIQUIDOS CORROSIVOS.

4.1) TIPO CONVENIENTE :

Al seleccionar el tipo más conveniente de bomba centrífuga para una determinada aplicación, se deben de tomar en cuenta el conjunto de factores y características que ayudarán en el procedimiento de escoger el tipo más adecuado de equipo a emplear.

Es conveniente hacer mención que los fabricantes de equipo de bombeo, disponen de información gráfica y escrita - previamente preparada, tal como curvas de comportamiento hidráulico que incluyen: Gastos, Cargas, Eficiencias, Demanda de potencia al freno, Velocidades, Diversos diámetros de impulsores, etc. Es decir la selección del tipo de equipo más conveniente, proviene de un procedimiento del tipo eliminatorio que desempeña el fabricante hasta llegar a identificar - las características que le fueron proporcionadas por el cliente con el equipo de su manufactura que cumpla a mayor satisfacción con los requerimientos técnicos y económicos del comprador.

De lo anterior se puede concluir que únicamente en casos muy esporádicos se llevará a cabo un diseño específico para adaptarlo a características especiales de funcionamiento.

Básicamente hay cinco puntos en la elección de cualquier bomba.

Estos puntos son :

- 1.- Diagrama de la disposición de bomba y tubería.
- 2.- Determinar la capacidad.
- 3.- Determinar la carga dinámica total.
- 4.- Determinar las condiciones del líquido.
- 5.- Elegir la clase y el tipo de bomba más adecuado.

1.- Diagrama Esquemático : El diagrama debe basarse sobre la aplicación real. Generalmente son satisfactorios los diagramas de bloque. Hay que mostrar todas las tuberías, accesorios, válvulas, equipo y otras unidades del sistema.

2.- Determinar la Capacidad : Las condiciones de la aplicación fijan la capacidad requerida.

3.- Determinar la Carga Dinámica Total : Se debe proporcionar al fabricante de bombas un diagrama del sistema completo para hacer una comprobación del cálculo efectuado por el cliente. Esta es una forma adicional de asegurar una selección más adecuada de la bomba.

4.- Determinar las Condiciones del Líquido : La densidad del líquido, temperatura, presión de vapor, viscosidad, características químicas, etc. deben considerarse muy cuidadosamente.

5.- Elegir la Clase y el Tipo de Bomba más adecuado : El estudio del diagrama indica que tamaño (capacidad y carga) de bomba se necesita. Esto da la primera clave por lo que res-

pecta a la clase de bomba más adecuada.

Al revisar las características del líquido se encuentran otros índices acerca del tipo, debido a que las condiciones excepcionalmente severas pueden eliminar uno u otro tipo desde el principio.

La economía aconseja que la elección de la bomba debe ser aquella que suministra el costo mínimo por litro bombeado a lo largo de toda la vida útil de la unidad.

Entre los factores de operación que requieren reconocimiento especial cuando se decida el tipo específico de la bomba, están incluidos :

1.- El tipo de servicio :

a) continuo

b) intermitente

2.- Preferencias acerca de la velocidad de operación.

3.- Cargas futuras anticipadas y su efecto total sobre la carga total de la bomba.

4.- Posibilidad de operar en paralelo o en serie con otras bombas.

Para llegar a seleccionar el tipo más adecuado a las condiciones que prevalecen, es conveniente efectuar una serie de comparaciones.

1.- Bombas Horizontales contra Verticales : Desde el punto de vista del espacio ocupado en el piso, N.P.S.H. disponible, cebamiento y flexibilidad en el cambio de ciclaje son preferibles las bombas verticales y en el caso particular de tener un N.P.S.H. disponible muy bajo se recomienda utilizar las bombas tipo barril. Ver Figura 44 .

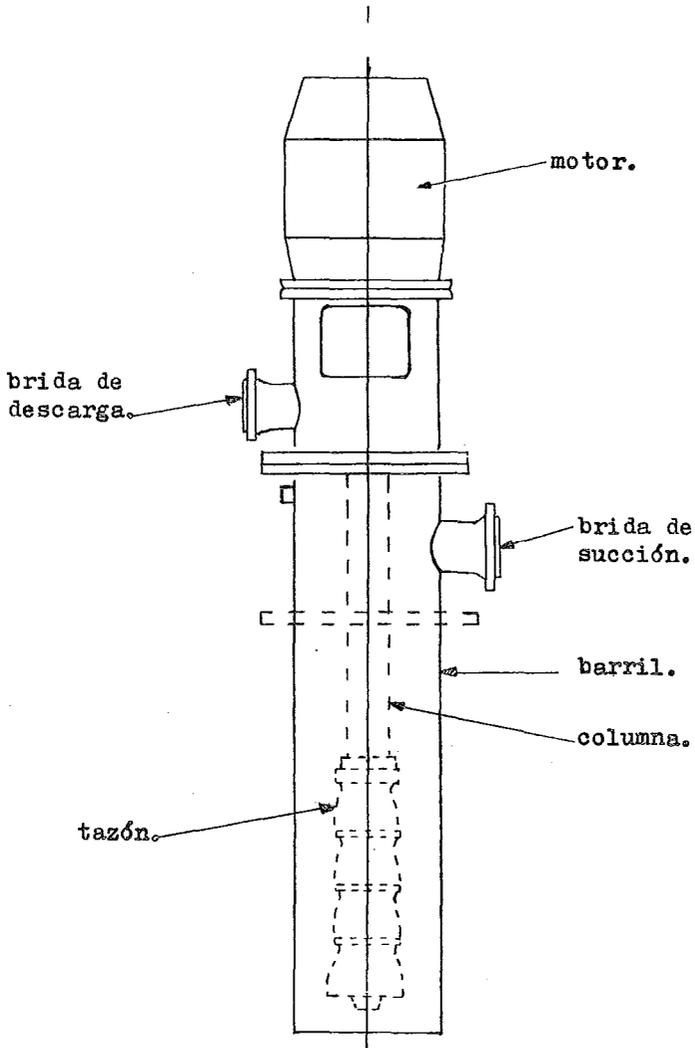


Fig. 44

Cuando se necesita espacio vertical y hay que considerar efectos de corrosión, abrasión y facilidad de mantenimiento, son preferibles las bombas horizontales.

2.- Transmisión Directa, por Bandas o por Engranés :

La mayoría de las bombas centrífugas se mueven por medio de un motor conectado directamente, algunas veces por medio de engranes y con poca frecuencia se usa el sistema de bandas.

Este último se usa muy poco en la actualidad, excepto en tamaños muy pequeños y en bombas de riego que están enlazadas por una banda a motores de tractores.

En algunas ocasiones se usan cuando la bomba se encuentra ya fija en un determinado sistema y es imposible poder acoplarle directamente cualquier tipo de motor, entonces se puede hacer la conexión ya sea a 90 grados o 180 grados.

El tipo más común de banda es el V.

El sistema de Engranés se usa principalmente en cambiadores de velocidad.

Los engranes que conectan motores de flecha horizontal con las bombas también de flecha horizontal, son por lo general reductores sencillos o engranes multiplicadores.

Los engranes en ángulo recto se usan para conectar motores de flecha horizontal con bombas de flecha vertical.

Estas transmisiones básicamente se diseñaron para bombas verticales de turbina, movidas por motor y son capaces de resistir una gran carga de empuje hacia abajo en sus flechas verticales de salida.

3.- Diseño de Simple Succión contra Doble Succión :

La Figura 45 muestra las regiones aproximadas en las que se

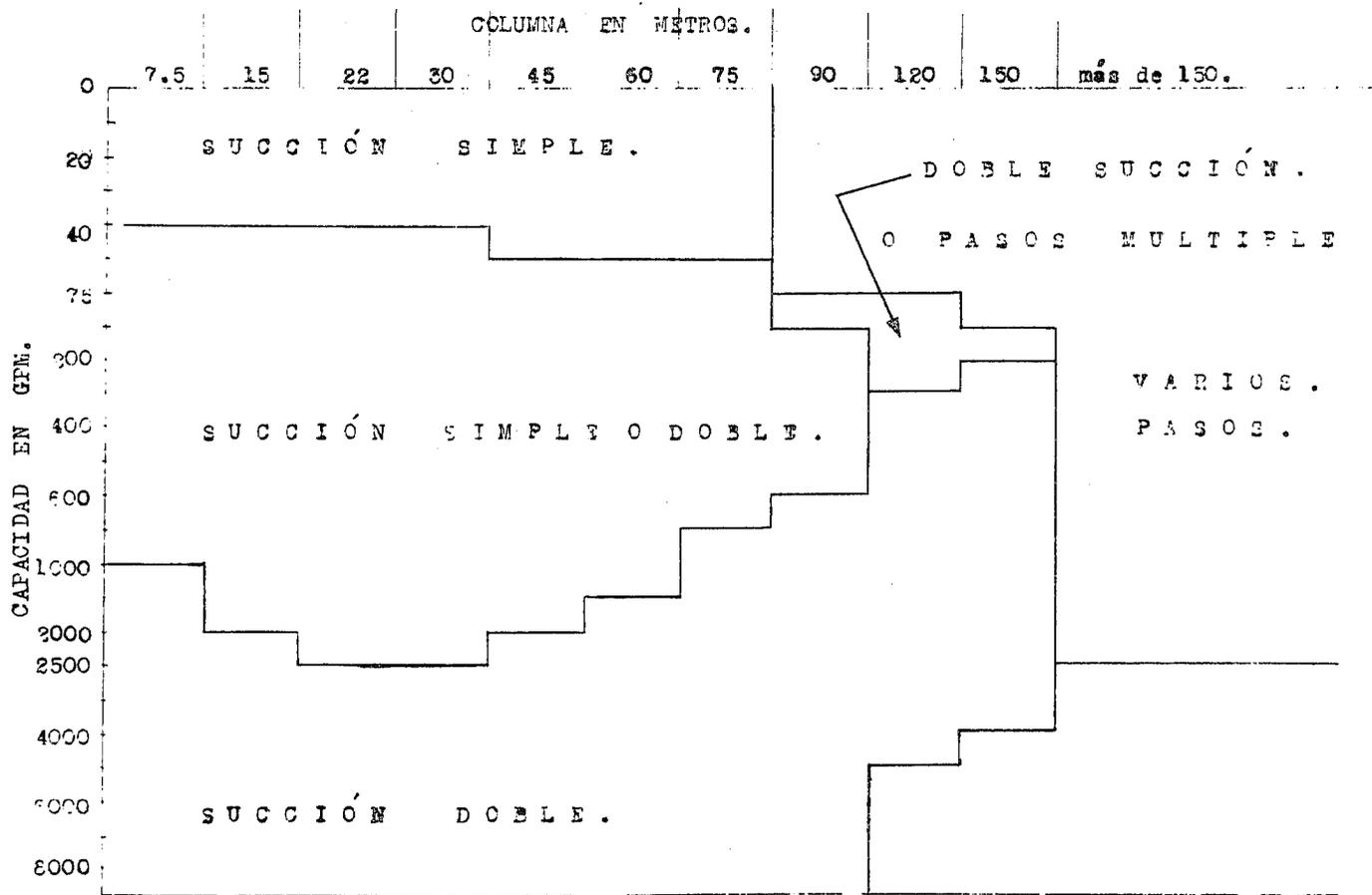


Fig. 45 Regiones aproximadas de columna y capacidad para bombas centrífugas.

usan bombas de succión simple y doble. Muestra también las regiones generales para aplicación de bombas de uno y varios pasos.

Empaques contra Sello Mecánico : Los rápidos avances en diseño y fabricación de sellos mecánicos hacen obtenibles a estas unidades para muchos servicios de rutina.

Los sellos mecánicos presentan las siguientes ventajas :

- a.- Sellado casi perfecto.
- b.- Menor mantenimiento.

Tienen desventajas tales como :

- a.- Más costosos.
- b.- Requieren reparaciones más costosas.
- c.- A veces hay que desmantelar la bomba para su reparación.
- d.- Requieren gran variedad de materiales en su construcción.
- e.- Limitaciones de presión y temperatura.

El prensaestopa presenta las ventajas siguientes :

- a.- Menor costo.
- b.- Gran variedad de empaques disponibles.
- c.- Puede ser reparado en el lugar.
- d.- Rápida reparación.
- e.- Mínima interrupción del servicio.
- f.- Las limitaciones de presión y temperatura no son tan críticas.

Tiene desventajas tales como las siguientes :

- a.- Un mal mantenimiento afecta a la flecha o a la manga.
- b.- Requiere frecuente inspección.

c.- Existen perdidas inevitables.

Ya que se han observado estas consideraciones se procede a hacer la selección de los materiales de construcción.

4.2) MATERIALES ACONSEJADOS :

En la selección del material de construcción de un proceso industrial cualquiera, la resistencia a los medios corrosivos es generalmente el factor determinante, y si no fuera por él, la elección recaería naturalmente en el material más barato que reuniera las condiciones mecánicas convenientes.

Los ensayos de laboratorio sobre resistencia a la corrosión son comúnmente el medio más rápido y más satisfactorio para llegar a una elección preliminar de los materiales más adecuados.

Sin embargo, desgraciadamente, no es posible predecir con exactitud, a base de ningún ensayo de laboratorio, como ha de comportarse el material elegido en la fabricación de la bomba cuando ésta se encuentre trabajando.

Un laboratorio de ensayos solamente proporciona un factor, la resistencia química del material ensayado al agente corrosivo, pero hay otros muchos factores que influyen en el comportamiento industrial de los materiales elegidos.

No es posible hacer una generalización acertada de los materiales de construcción que mejor resistan a los líquidos corrosivos, sin embargo, la siguiente tabla EMPIRICA si se apega mucho a la realidad.

Para simplificar el sistema de registro, se empleará el simbolo AA en los casos en los que normalmente debieran indicarse los tipo 4,5,6,7. Sin embargo, esto no significa necesariamente que todos sean igualmente eficaces en todos los ambientes, simplemente significa que cada tipo se ha aplicado

con resultados satisfactorios para manejar este líquido bajo algunas de las condiciones, y tal vez de todas.

Otros materiales, entre ellos los aceros resistentes a la corrosión, se indican en la lista por su número, de acuerdo con la tabla siguiente :

Número del Tipo	Designación Comercial	Carbono	Cromo	Níquel	Molibdeno
1	A.I.S.I. 410	Max. 0.15	11.5-13.5	-----	-----
	A.C.I. CA14	Max. 0.14	11-14	Max. 1.0	-----
2	A.I.S.I. 442	Max. 0.35	18-23	-----	-----
	A.C.I. CB30	Max. 0.30	18-22	Max. 2.0	-----
3	A.I.S.I. 446	Max. 0.35	23-27	-----	-----
	A.C.I. CC35	Max. 0.35	27-30	Max. 3.0	-----
4	A.I.S.I. 304	Max. 0.08	18-20	8-10	-----
	A.C.I. CF7	Max. 0.07	18-20	8-10	-----
5	A.I.S.I. 316	Max. 0.10	16-18	10-14	1.75-2.5
	A.C.I. CF7M	Max. 0.07	18-20	8-10	1.50-3.5
6	-----	Max. 0.07	15-28	22-36	1.50-4.0
	Observaciones: Elementos opcionales, Cu, W, Si, Mn Ti, Cb.				
7	Una serie de aleaciones no ferrosas, con 20% de hierro, que contienen níquel y cromo o molibdeno, o ambos, en cantidades importantes, y cobre, tungsteno, silicio y manganeso en menores porcentajes.				

- 8 Hierro con alto contenido de Silicio. 14.25 de Silicio como mínimo.
- 9 Fundición austenítica con contenido total de níquel cromo y cobre del 22 por ciento como mínimo.
- 10 Metal monel.
- 11 Plomo.
- 12 No metálico.
- 13 Níquel.
- 14 Acero.

A.I.S.I. = American Iron and Steel Institute.

A.C.I. = Alloy Casting Institute.

El tipo 6 abarca una serie de aleaciones desarrolladas por diferentes fabricantes para aumentar los tipos estándares o normalizados 4 y 5 y obtener propiedades superiores de resistencia a la corrosión.

El tipo 7, aleaciones especiales, abarca un gran número de materiales no ferrosos, con menos de 20% de hierro, conteniendo níquel y cromo o molibdeno, o ambos, en cantidades importantes, y cobre, tungsteno, silicio y manganeso en porcentajes más pequeños. Puesto que éstos son materiales especiales para servicios peculiares, su aplicación eficaz exige una co--

operación estrecha entre el productor, el fabricante de bombas y el usuario, teniendo cada uno de ellos debidamente en cuenta los factores locales y los aspectos económicos que intervienen.

NOTA : CLAVE.

- 1.- Accesorios normalizados A N.
- 2.- Totalmente de hierro T H.
- 3.- Totalmente de bronce T B.
- 4.- Tipos 4, 5, 6 y 7 A A.

T A B L A IX.

MATERIALES ACONSEJADOS PARA EL BOMBEO DE VARIOS LIQUIDOS.

LIQUIDO	ESTADO	FORMULA QUIMICA	DENSIDAD	MATERIAL
ACEITES DE :				
Alquitrán de hulla	.....	.....	.....	TH, AN, AA
Coco	.....	.....	0.905	TH, AN, TB, AA, 10
Colza	.....	.....	0.92	TB, AA, 10
Combustible (fuel oil )	.....	.....	.....	TH, AN
Creosota	.....	.....	1.04-1.10	TH, AN
Crudo (petróleo)	Caliente.	.....	.....	14
Crudo (petróleo)	Frío	.....	.....	TH, AN
Esencial	.....	.....	.....	TH, AN, TB
Keroseno	.....	.....	.....	TH, AN
Linaza	.....	.....	0.94	TH, AN, TB, AA 10
Lubricante	.....	.....	.....	TH, AN

Mineral	.....	.....	.....	TH, AN
Oliva	.....	.....	0.90	TH, AN
Palma	.....	.....	0.895	TH, AN, TB, AA 10
Soja	.....	.....	.....	TH, AN, TB, AA 10
Templar	.....	.....	0.912	TH, AN
Tromentina (aguarrés )	.....	.....	0.87	TH, AN
Acetaldehido	.....	\text{CH_3CHO	0.78	TH
Acético, anhidro	.....	$(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O}$	1.08	AA, 8
Acetona	.....	\text{CH_2COCH_2	0.79	TH, AN
ACIDOS :				
Acético	Conc. frío	CH_3COOH	1.055	AA, 8
Acético	Dil. frío	.....	.....	TB, AA, 8
Acético	Conc. hirv.	.....	.....	5, 6, 7, 8
Acético	Dil. hirv.	.....	.....	5, 6, 7, 8
Aguas de minas	.....	.....	.....	TB, AA
Arsénico	.....	\text{As_2O_5	.....	AA, 8
Benzoico	.....	$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$	.....	AA
Bórico	Sol. acuosa	H_3BO_3	.....	TB, AA, 8
Butírico	Conc.	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CO}_2\text{H}$	0.96	AA

Carbólico (fenol)	Conc.	C_6H_5OH	1.071	TH, AA
Carbólico (fenol)	Sol.acuosa	.....	.....	AN, AA
Carbónico	Sol.acuosa	$CO_2 + H_2O$	.....	TB
Cianhídrico	.....	HCN	0.70	TH, AA
Clorhídrico	Con.comer.	HCl	1.16 20Be	7, 8, 12
Clorhídrico	Dil. frío	.....	.....	6, 7, 8, 10, 12, 13.
Clorhídrico	Dil.calien.	.....	.....	7, 8, 12
Crómico	Sol.acuosa	$CrO_3 + H_2O$	.....	AA, 8
Cítrico	Sol.acuosa	$C_6H_8O_7H_2O$	.....	TB, AA, 8
de frutas (jugo )	.....	.....	.....	TB, AA, 10
Fluorhídrico	anhidro con hidrocarburo	$HF + HC$	.....	10, 14
Fluorhídrico	Sol.acuosa	$HF + H_2O$	.....	TB, 10
Fórmico	.....	HCOOH	1.2	5, 6, 7
Grasas (oleico, palmítico, estearico, etc. )	.....	.....	.....	TB, AA
Hidrofluosilícico	.....	H_2SiF_6	.....	TB, 10
Láctico	.....	$CH_2CHOHCOOH$	1.249	TB, AA, 8
Mezclas de ácidos	.....	.....	.....	TH, AA, 8, 14
Muriático (véase Acido clorhídrico)	.....	.....	.....	.....
Nafténico	.....	.....	.....	TH, AA, 1

Nítrico	Con. hirb.	HNO_3	1.41	2, 3, 6, 8
Nítrico	Diluido	.....	.....	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8
Ortofosfórico	.....	\text{H_3PO_4	1.36-1.4	5, 6, 7
Oxálico	Frío	$\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	.....	AA, 8
Oxálico	Calientes	"	.....	6, 7, 8
Pírico	.....	$(\text{NO}_2)_3\text{C}_6\text{H}_2\text{OH}$	.....	AA, 8
Pirogálico	.....	$\text{C}_6\text{H}_3(\text{OH})_3$	.....	AA
Piroleñoso	.....	$\text{H}_2\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$	1.01-1.03	TB, AA
Sulfúrico	>77% frío	H_2SO_4	1.69-1.83	TH, 6, 7, 8
Sulfúrico	65-93% >79°C	"	.....	7, 8
Sulfúrico	65-93% <79°C	"	.....	6, 7, 8
Sulfúrico	10-65%	"	.....	6, 7, 8, 11
Sulfúrico	< 10%	"	.....	TB, 6, 7, 8, 10, 11
Sulfúrico (óleum)	Fumante	$\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{SO}_3$	.....	6, 7, 14
Sulfuroso	.....	\text{H_2SO_3	.....	TB, AA, 11
Tánico	.....	$\text{C}_{14}\text{H}_{10}\text{O}_9$	.....	TB, AA, 10
Tartárico	Sol. acuosa:	$\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$	.....	TB, AA, 10
Agua blanca	Fábrica de Papel	.....	.....	TH, AN, TB
Agua de jabón	.....	.....	.....	TH

Agua del mar	.....	.....	1.03.....	TH, AN, TB
Agua destilada	AltaPureza	.....	1.0	TB, 4
	Condensado	.....	.....	AN, TB
Agua dulce	.....	.....	1.0	AN
Agua oxigenada (véase Hidrógeno, peróxido de)				
Agua para alimentar calderas	No evaporada			
	pH > 8.5	.....	1.0	TH
	pH < 8.5	.....	.....	AN
Poca renovación	Evaporada,			
	nada de pH	.....	1.0	5% Cr, 1, 4, 10
Aguas sucias (de saneamiento)	.....	.....	.....	TH, AN, TB
Alcoholes	.....	.....	.....	TB, AN
Almidón	.....	(C ₆ H ₁₀ O ₅) _x	.....	AN, TB
Alquitrán	Caliente	.....	.....	TH, 14
Alquitrán y Amoniaco	En Agua	.....	.....	TH
Alumbre (véase Aluminio, sulfato de, y Potasa, alumbre de)				
Aluminio, sulfato de	Sol.acuosa	Al ₂ (SO ₄) ₃	.....	6, 7, 8, 10, 11
Amoniaco	.....	NH ₄ OH	.....	TH
Amonio, bicarbonato de	Sol.acuosa	NH ₄ HCO ₂	.....	TH
Amonio, cloruro de	Sol.acuosa	NH ₄ Cl	.....	5, 6, 7, 8, 10
Amonio, nitrato de	Sol.acuosa	NH ₄ NO ₃	.....	TH, AA, 10
Amonio, fosfato de	Sol.acuosa	(NH ₄) ₂ HPO ₄	.....	TH, AA, 10

Amonio, sulfato de	Sol.acuosa	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	.....	TH, AA
Amonio, sulfato de	Con H_2SO_4	.....	.....	TE, 5, 6, 7, 8, 11
Anilina	.....	$\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$	1.022	TH, AN
Anilina, cloruro de	Sol.acuosa	$\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2\text{HCl}$	.....	7, 8, 12
Asfalto	Caliente	.....	0.98-1.4	TH, 1
Azúcar	Sol.acuosa	.....	.....	TE, AA, 9
Azufre	En agua	S	.....	AE, TH, TE, 9
Azufre	Fundido	S	.....	TH
Bario, cloruro de	Sol.acuosa	BaCl_2	.....	TH, AA
Bario, nitrato de	Sol.acuosa	$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	.....	TH, AA
Barniz	.....	.....	.....	TH, AN, TE, 4, 10
Benceno (véase Benzol)				
Bencina (véase Petróleo, eter de)				
Benzol	.....	\text{C_6H_6	0.88	TH, AN
Bicloruro de mercurio (véase Cloruro mercúrico)				
Butano	.....	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_2$	0.60 0°C	TH, AN, 14
Cal, agua de	.....	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	.....	TH
Calcio, bisulfito de	Fab.Papel	$\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$	1.06	5, 6, 7, 11
Calcio, clorato	Sol.acuosa	$\text{Ca}(\text{ClO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	.....	6, 7, 8, 12
Calcio, hipoclorito de	.....	$\text{Ca}(\text{OCl})_2$	.....	TH, 6, 7, 8

Caldo de cervecería	.....	.....	.....	TH,AN,TB
Caldo de destilería	.....	.....	1.05	TB,AA
Caña, jugo de	.....	.....	.....	AN,TB,9
Caolín, barbotina de	En guspen.	.....	.....	6,7,8
	En ácido	.....	.....
Caolín, barbotina de	En agua	.....	.....	TH,14
Carbonato de soda o de sodio (véase Carbonato sódico anhidro)				
Carbonato sódico anhidro	Caliente	.....	.....	AA,9,10
Carbonato sódico anhidro	Frío	Na_2CO_3	.....	TH
Carbono, bisulfuro de	.....	\text{CS_2	.....	TH
Carbono, tetracloruro de	Anhidro	CCl_4	1.58	TH,SF
Carbono, tetracloruro de	Más agua	.....	.....	TB,4
Celulosa, acetato de	.....	.....	.....	5,6,7
Ceniza de soda (véase Carbonato sódico anhidro)				
Cerveza	.....	.....	.....	TB,4
Cianógeno	En agua	C_2N_2 (gas)	.....	TH
Cianuro (véase Sodio, cianuro de, y Potasio, cianuro de)				
Cinc, cloruro de	Sol.acuosa	ZnCl_2	.....	5,6,7,8
Cinc, sulfato de	Sol.acuosa	ZnSO_4	.....	TB,5,6,7
Cloro, agua de	Según conc.	.....	.....	5,6,7,8,11,12
Clorobenceno	.....	$\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$	1.1	AN,TE,4

Cloroformo	.....	\text{CHCl_3	1.5	TB,AA,10
Cloruro cálcico magnésico (véase Salmueras)				
Cloruro de azufre	Frío	S_2Cl_2	.....	TH,11
Cloruro férrico	Sol.acuosa	FeCl_3	.....	7,8,12
Cloruro ferroso	FríoAcuosa	FeCl_2	.....	7,8,12
Cloruro mercúrico	Sol.acuosa	HgCl_2	.....	7,8,12
Cobre, cloruro de (cúprico)	Sol.acuosa	CuCl_2	.....	7,8,12
Cobre, nitrato de	.....	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	.....	AA
Cobre, sulfato de, vitriolo azul.	Sol.acuosa	CuSO_4	.....	AA,8,11
Cobre y amonio, acetato de	Sol.acuosa	.....	.....	TH,AA
Cola	Caliente	.....	.....	TH,AN
Cola, apresto de	.....	.....	.....	TB
Colofonia	Fab. Papel	.....	.....	TH
Cresol, meta	.....	$\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$	1.04	TH,6,7
Cromo, alumbre de	Sol.acuosa	$\text{CrK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	.....	6,7,8
Difenilo	.....	$\text{C}_6\text{H}_5\text{C}_6\text{H}_5$	.....	TH,14
Disolventes de la seda de acetato de celulosa.	.....	.....	.....	TH,AN,TB,AA
Esmalte	.....	.....	.....	TH
Estánico, cloruro	Sol.acuosa	SnCl_4	.....	7,8,11,12

Estanoso, cloruro	Sol. acuosa	SnCl_2	.....	7,8,11,12
Estroncio, nitrato de	Sol. acuosa	$\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$	.....	TH,4
Etanol (véase alcoholes)				
Etileno, cloruro de, dicloruro Frío		$\text{CH}_2\text{ClCH}_2\text{Cl}$	1.28	TE,AA,10
Fenol (véase Acidos: Carbólico)				
Formaldehido	.....	HCHO	1.07-1.08	TE,AA
Furfural	.....	$\text{C}_4\text{H}_3\text{CCHO}$	1.16	TH,TE,AA
Gasolina	.....	.....	0.68-0.75	TH,AN
Glauber, sal de (véase Sodio, sulfato de)				
Glicerol (glicerina )	.....	$\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$	1.262	TH,AN,TE
Glucosa	.....	.....	.....	AN,TE
Heptano	.....	\text{C_7H_{16}	0.69	TH,AN
Hidrógeno, peroxido de Agua oxigenada	Sol. acuosa	H_2O_2	.....	AA
Hidrosulfito de sosa (véase Sodio, hidrosulfito de)				
Hiposulfito de sosa (véase Sodio, tiosulfato de)				
Jarabe (véase Azúcar)				
Jugos de frutas	.....	.....	.....	TE,AA,10
Jugos vegetales	.....	.....	.....	TE,AA,10
Laca	.....	.....	.....	TE

Leche	.....	.....	1.028-1.0	4
Levadura	.....	.....	.....	AN, TB
Líquido blanco (véase Líquidos de molino de pulpa para papel)				
Líquidos de curtimiento	.....	.....	.....	TB, AA, 8, 10
LIQUIDOS DE MOLINO DE PULPA PARA PAPEL :				
Blanco	.....	.....	.....	TH, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 14
Negro	.....	.....	.....	TH, 5, 6, 7, 9, 10, 14
Rosa	.....	.....	.....	TH, 5, 6, 7, 9, 10, 14
Sulfito	.....	.....	.....	5, 6, 7, 11
Verde	.....	.....	.....	TH, 5, 6, 7, 9, 10, 14
Litio, cloruro de	Sol. acuosa	LiCl	.....	TH
Malta triturada y remojada	.....	.....	.....	AN, TB, 4
Manganeso, cloruro de	Sol. acuosa	MnCl ₂	.....	TB, AA, 8
Magnesio, cloruro de	Sol. acuosa	MgCl ₂	.....	6, 7, 8, 12
Magnesio, sulfato de (sales de Epsom)	Sol. acuosa	MgSO ₄	.....	TH, AA
Manteca de cerdo	Caliente	.....	.....	TH, AN
Melaza	.....	.....	.....	AN, TB

Metileno, cloruro de	.....	\text{CH_2Cl_2	1.26	TH,4
Metilo, cloruro de	.....	\text{CH_3Cl	0.92	TH
Miscela	20% aceite de soja	.....	0.75	TH
Mostaza	.....	.....	.....	TB,AA,8
Nafta	.....	.....	0.78-0.83	TH,AN
Nicotina, sulfato de	.....	$(\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2)_2\text{H}_2\text{SO}_4$	.....	6,7,8,10
Nitroetano	.....	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NO}_2$	1.041	TH,AN
Nitrometano	.....	\text{CH_3NO_2	1.139	TH,AN
Orina	.....	.....	.....	TB,AA
Parafina	Caliente	.....	.....	TH,AN
Perhidrol (véase Hidrógeno, peróxido de)				
Petróleo, eter de	.....	.....	.....	TH,AN,SF
Piridina	.....	$\text{CH}(\text{CHCH})_2\text{N}$	0.975	TH
Piridina, sulfato de	.....	.....	.....	6,8,11
Plata, nitrato de	Sol.acuosa	AgNO_3	.....	AA,8
Plomo	Fundido	.....	.....	TH,14
Plomo, acetato de (azucar de plomo)	Sol.acuosa	$\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	.....	5,6,7,10
Plomo, tetrastilo	.....	$\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$	1.65	TH,AN
Potasa	Líquido	.....	.....	TB,AA,9,10
Potasa, alumbre de	Sol.acuosa	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4$ $24\text{H}_2\text{O}$	.....	10. TB,5,6,7,8,9,

Potasio, bicromato de	Sol. acuosa	$K_2Cr_2O_7$	.....	TH
Potasio, carbonato de	Sol. acuosa	K_2CO_3	.....	TH
Potasio, cianuro de	Sol. acuosa	KCN	.....	TH
Potasio, clorato de	Sol. acuosa	$KClO_3$	.....	AA, 8
Potasio, cloruro de	Sol. acuosa	KCl	.....	TE, AA, 10
Potasio, hidróxido de	Sol. acuosa	KOH	.....	TE, 1, AA, 9, 10, 13
Potasio, nitrato de	Sol. acuosa	KNO_3	.....	TH, AA, 1
Potasio, sulfato de	Sol. acuosa	K_2SO_4	.....	TE, AA
Propano	.....	$CH_3CH_2CH_3$	0.58 44°C	TH, AN, 14
Pulpa de madera (almacenada)	.....	.....	.....	TH, AN, TB
Remolacha, jugo de	.....	.....	.....	TE, 4
Remolacha, pulpa de	.....	.....	.....	TE, AN, AA
Revelador de fotografías	.....	.....	.....	AA, 12
Rigoleno	.....	.....	.....	AN
SALMUERAS DE :				
Cloruro de calcio	pH > 8	$CaCl_2$	.....	TH
Cloruro de calcio	pH < 8	.....	.....	TE, 6, 7, 9, 10
Cloruro de calcio y magnesio	Sol. acuosa	.....	.....	TE, 6, 7, 9, 10
Cloruro de sodio	Más del 5% de sal, caliente	.....	.....	3, 6, 7, 8, 10

Cloruro de sodio	Más de 3% de sal, frío	.....	1.02-1.20	TB,AA,9,10
Cloruro de sodio	Menos de 3% de sal, frío	NaCl	1.02	TH,TB,9
Cloruro de sodio y calcio	Sol.acuosa	.....	.....	TB,6,7,9,10
Salsa de tomate	.....	.....	.....	TB,AA
Sangre	.....	.....	.....	AN,TB
Sebo	Caliente	.....	0.895	TH
Sodio, bicarbonato de	Sol.acuosa	NaHCO ₃	.....	TH,AA,9
Sodio, bisulfato de	Sol.acuosa	NaHSO ₄	.....	6,7,8,11
Sodio, carbonato de (véase Carbonato sódico anhidro)				
Sodio, cianuro de	Sol.acuosa	NaCN	.....	TH
Sodio, clorato de	Sol.acuosa	NaClO ₃	.....	AA,8
SODIO, Fosfato de :				
Dibásico	Sol.acuosa	Na ₂ HPO ₄	.....	TH,TB,AA
Hexaneta	Sol.acuosa	(NaPO ₃) ₆	.....	AA
Meta	Sol.acuosa	NaPO ₃	.....	TB,AA
Monobásico	Sol.acuosa	NaH ₂ PO ₄	.....	TB,AA
Tribásico	Sol.acuosa	Na ₃ PO ₄	.....	TH
Sodio, hidrosulfito	Sol.acuosa	Na ₃ PO ₄	.....	TH

Sodio, hidróxido de	Sol.acuosa	NaOH	.....	TH,AA,1,9,10 13
Sodio, hipoclorito de	.....	NaOCl	.....	6,7,8,12
Sodio, hiposulfito de (véase Sodio, tiosulfato de)				
Sodio, metasilicato de	.....	.....	.....	TH
Sodio, nitrato de	Sol.acuosa	NaNO ₃	.....	TH,AA,1
Sodio, plumbito de	Sol.acuosa	.....	.....	TH
Sodio, sulfato de	Sol.acuosa	Na ₂ SO ₄	.....	TB,AA
Sodio, sulfito de	Sol.acuosa	Na ₂ SO ₃	.....	TB,AA,11
Sodio, sulfuro de	Sol.acuosa	Na ₂ S	.....	TH,AA,11
Sodio, tiosulfato de	Sol.acuosa	Na ₂ S ₂ O ₃ 5H ₂ O	.....	AA,12
Sulfato férrico	Sol.acuosa	Fe ₂ (SO ₄) ₃	.....	AA,8
Sulfato ferroso (caparrosa verde)	Sol.acuosa	FeSO ₄	.....	5,6,7,8,10,11
Sulfato manganoso	Sol.acuosa	MnSO ₄ 4H ₂ O	.....	TB,TH,AA
Sulfato Mercúrico	En H ₂ SO ₄	HgSO ₄	.....	6,7,8,12
Sulfato mercurioso	" "	Hg ₂ SO ₄	.....	6,7,8,12
Sulfhídrico, ácido	Sol.acuosa	H ₂ S	.....	AA
Tetracloruro de estaño (véase Cloruro estánico)				
Tolueno (toluol )	.....	CH ₃ C ₆ H ₅	0.85	TH,AN
Torta de sal	Sol.acuosa	Na ₂ SO ₄ impureza	.....	TB,AA,8

Tricloroetileno	.....	C_2HCl_3	1.47	TH,AN,TE,4
Vinagre	.....	.....	.....	TE,AA,8
Vinagre de madera (véase Acidos: Piroloñoso)				
Vinaza (véase Caldo de destilería)				
Vino	.....	.....	.....	TE,4
Vitriolo, aceite de (véase Acidos: Sulfúrico)				
Vitriolo azul (véase Cobre, sulfato de)				
Vitriolo blanco (véase Cíno, sulfato de)				
Vitriolo verde (véase Sulfato ferroso)				
Whisky	.....	.....	.....	TE,4
Xilol (xileno )	.....	$C_6H_4(CH_3)_2$	0.87	AI,SF,AA

FUENTE : Manual del Ingeniero Químico.

John H. Perry

Traducción al español de la tercera edición en inglés.

México 1958.

La tabla siguiente da una relación de los materiales de construcción usados en bombas para manejar líquidos con determinado pH.

Está hecha en base a que la clase de material depende entre otras cosas de las propiedades químicas del líquido manejado, definidas por el valor "pH".

Valor del "pH"
del líquido.

MATERIAL.

a) Metales :

Aceros inoxidables resistentes a los ácidos; aceros al cromo, al cromo-níquel y molibdeno, algunos con adición de tungsteno y cobalto, titanio; hierro fundido con cromo, cromo y níquel, sílice; plomo endurecido con antimonio.

0 - 4

b) MATERIALES CERAMICOS :

Porcelana y vidrio

c) PLASTICOS :

Compuestos de resinas vinílicas.

d) OTROS :

Corcho endurecido, carbón.

4 - 6

Bronces de composiciones diversas.

6 - 9

Materiales usados normalmente en bombas para manejar agua limpia.

9 - 14

Fierro fundido y monel.

Solo las partes en contacto con el líquido necesitan hacerse de materiales resistentes al mismo. Otras partes, tales como soportes, pueden ser construídas de fierro fundido ordinario.

La construcción de la bomba toma en cuenta las propiedades del material usado. Las carcasas y cubiertas de succión, cuando son fabricadas en materiales difíciles de maquinarse, y son quebradizos, tales como el fierro fundido al silice, porcelana, etc. son protegidos por cajas de fierro fundido.

Las bombas que se fabrican de materiales no metálicos tienen un rango de aplicación limitado con respecto a presión y temperatura.

Materiales tales como el teflón, tienen una gran resistencia a la corrosión y pueden resistir altas temperaturas, pero su baja resistencia física limita su aplicación.

Las bombas con recubrimientos protectores tales como corcho, resisten a la corrosión y la abrasión, pero por las limitaciones de temperatura y la escasa experiencia en ellas, entonces, existe la tendencia de seleccionar construcción metálica adecuada.

Los plásticos en general, proporcionan una alta cali-

dad en el sellado y una gran rigidez, lo cual los hace útiles para combatir los problemas electroquímicos.

A continuación se mostrará algunas características peculiares de algunos materiales de construcción :

1.- ACEROS : La resistencia a la corrosión del fierro fundido, fierro forjado y acero es casi igual en aguas naturales, sin embargo, es diferente en ácidos y depende de la composición química del metal. La ventaja principal del acero sobre el fierro es que tiene una mayor resistencia física.

Los aceros al carbón presentan gran resistencia a altas presiones y a altas temperaturas (750°F). Otros aceros como al Ni - Cr - Mo muestran, además resistencia a la abrasión y a más altas temperaturas.

2.- FIERROS : El fierro fundido es muy usado como material de chumaceras y está limitado al tenerse problemas de abrasión y esosión.

El fierro al alto sílice (15% de Si) tiene una gran resistencia a la corrosión, pero tiene la desventaja de ser muy quebradizo. Cuando se trata con cuidado da muy buenos resultados.

Los fierros al cromo son inoxidables, son muy resistentes a soluciones oxidantes. Se ha encontrado que con un mínimo de 11% de Cr. se obtiene resistencia a la corrosión.

Entr los fierros al Níquel - Cromo se tienen los siguientes tipos :

a) Fierro al 19% Cr - 9% Ni : Este tipo es usado en ambientes corrosivos de naturaleza oxidante.

- b) Fierro al 18% Cr - 8% Ni - 2% Mo : Este tipo tiene una resistencia mayor que el anterior en casos de corrosión provocada por SO₂, SO₃ y cloruros.
- c) Fierro al 18% Cr - 8% Ni - Co ó Ti : Este tipo tiene una resistencia mayor que el anterior pero tiene la adición de soportar más altas temperaturas y altas concentraciones.
- d) Fierro al 20% Cr - 29% Ni - 2% Mo - 3% Cu : Este tipo, además de lo anterior, tiene una gran dureza. Este material es particularmente adecuado para ácido sulfúrico diluido, ácido acético y ácido fosfórico, y así como también para muchos otros ácidos y soluciones salinas.

3.- MATERIALES NO FERROSOS : Entre estos tenemos .-

- a) Bronce : Da muy buenos resultados en aguas saladas a alta velocidad.
- b) Monel : Es una aleación de Níquel y Cobre, muy resistente a la corrosión de aguas naturales y del agua de mar a altas velocidades, además es muy resistente al HF en todas sus concentraciones.

4.3) SELECCION :

Para llevar a cabo una buena selección es necesario tener conocimiento completo de las condiciones bajo las cuales va a operar la bomba, ya que no contando con todas ellas pueden hacerse suposiciones que no vayan a concordar con las condiciones reales.

A continuación se hará una relación de los datos necesarios para tener un conocimiento verdadero de las condiciones de operación de la bomba.

La Tabla agrupa los datos esenciales requeridos por cualquier fabricante de bombas antes de que pueda preparar una recomendación y una oferta.

T A B L A

COMPENDIO DE DATOS ESENCIALES QUE SE REQUERIRAN EN LA SELECCION DE BOMBAS CENTRIFUGAS.

- 1.- Número de unidades requeridas.
- 2.- Naturaleza del líquido que habrá de bombearse.
Es el líquido :
 - a) ¿ Agua fresca o salada, ácida o alcalina, aceite, gasolina, lodo o pulpa de papel ?
 - b) Frío o caliente; y si es caliente ¿ a que temperatura ?
¿Cuál es la presión de vapor del líquido a la temperatu-

ra de bombeo ?

- c) ¿Cuál es su gravedad específica ? ya sea en grados Brix, grados Baumé, grados A.P.I. o valores de gravedad específica directamente.
- d) ¿ Es viscoso o no ? si lo es ¿ cuál es su viscosidad en centistokes, centipoises, SSU, etc.
- e) ¿ Limpio y libre de materias extrañas o sucio y abrasivo ?
En éste último caso ¿Cuál es el tamaño y naturaleza de los sólidos y son estos abrasivos ?
Si el líquido es de naturaleza pulposa ¿Cuál es la consistencia, expresada en porcentaje ?
- f) ¿Cuál es el análisis químico, pH etc. ?
¿ Cuales son las variaciones permisibles en este análisis ? En caso de ser corrosivo ¿Cuál ha sido la experiencia pasada, tanto con materiales satisfactorios como no satisfactorios.

3.- CAPACIDAD.

¿Cuál es la capacidad requerida, así como la cantidad máxima y mínima de líquido que habrá de desarrollar la bomba ?

4.- Condición de Succión.

Existe :

- a) ¿ Presión de succión ?
- b) ¿ Diferencia de niveles de la línea de centros de la bomba y la superficie del líquido ?
- c) ¿ Pérdidas ?

- d) ¿ Carga neta positiva de succión disponible ?
 - o ¿ NPSH disponible ?

5.- Condiciones de Descarga.

- a) ¿ Presión de descarga ?
- b) ¿ Diferencia de niveles entre la línea de centros y la superficie del líquido de la descarga ?
- c) ¿ Pérdidas ?

6.- Columna Total.

Variaciones en los puntos 4 y 5 causará variaciones en la columna total.

7.- ¿ Es el servicio continuo o intermitente ?

8.- ¿ Se habrá de instalar la bomba en posición horizontal o vertical ? En este último caso proporcionar dimensiones del pozo y niveles mínimo y máximo del líquido.

9.- ¿ Que tipo de potencia se tiene disponible para mover la bomba y cuáles son las características de ésta ?

10.- ¿ Que limitaciones de espacio, peso o transporte habrán de encontrarse ?

11.- ¿ Localización de instalación ?

- a) Localización geográfica.
- b) Elevación sobre el nivel del mar.
- c) Instalación interior o a la intemperie.
- d) Variación de las temperaturas ambientes.

12.- ¿ Existen algunos requisitos o preferencias marcadas con respecto a diseño, construcción o características de las bombas ?

Una vez que se tienen toda esta información se proce
de a tomar decisiones respecto a lo siguiente :

- 1.- Forma de la curva.
- 2.- Velocidad.
- 3.- Eficiencia.
- 4.- Peso.
- 5.- Espacio requerido.
- 6.- Costo inicial de la bomba.
- 7.- Vida estimada de la unidad.

- 1.- Forma de la curva : De acuerdo al tipo de servicio a que se va a destinar la bomba, se tienen especificaciones que debe cumplir la bomba seleccionada, dentro de éstos cae la forma que debe tener su curva de operación.
- 2.- Velocidad : La velocidad nos indica las características del accionador que con la ayuda de la potencia del mismo se llega a su costo con ayuda de otros datos.
- 3.- Eficiencia : La eficiencia es un índice de la potencia al freno que requiere la bomba y en consecuencia podemos obtener la potencia del accionador y así como también los costos de operación.
- 4.- Peso : El peso nos indica la clase de cimentación que se re
quiere.
- 5.- Espacio requerido : Este factor es tomado en cuenta cuando se tienen limitaciones de espacio.

- 6.- Costo inicial de la bomba : Este no debe tomarse como un índice exacto de la unidad que más conviene puesto que las más baratas no son siempre las más atractivas y de vez en cuando resulta que la bomba que se necesita es la más cara, por ser la que mejor satisface las condiciones.
- 7.- Vida estimada de la unidad : Este dato es muy tomado en cuenta al hacer una elección, puesto que nos dá una idea de la forma en que se debe amortizar la unidad.

Cuando se tiene conocimiento de los factores anteriores se hace un análisis dándoles la importancia que le corresponda a cada uno de ellos.

Al tener las clases de bombas que pueden proporcionar las condiciones de operación, entonces se verá cual es la más económica.

Teniendo el costo inicial, la vida estimada de la bomba y el valor de rescate, podemos obtener la depreciación de la bomba y si a esto adicionamos los costos de operación en base a los BHP y del tiempo que opera, entonces, conoceremos el costo por unidad de líquido bombeado y lo que se trata de obtener es que éste sea mínimo.

Una bomba que tenga mayor eficiencia, necesitará menos potencia al freno, lo cual es una de las causas para que el accionador tenga menor costo, pero adjunto a esto cabe tomar en cuenta que una bomba puede tener una muy buena eficiencia pero tiene limitaciones de velocidad y esto ocasiona en el caso de un motor eléctrico que éste tenga un mayor número de polos y en consecuencia un costo mayor.

En relación a la bomba con menor potencia al freno, cabe mencionar que consumirá menos energía y por lo tanto disminuyen los costos de operación.

Por lo que respecta al peso de la unidad completa, influyen para tomar una decisión respecto a la cimentación y ésta será de mayor costo mientras más grande sea aquél.

Con el fin de que la selección se apegue más a lo óptimo, se tendrá presente lo que se expone a continuación.

Terminado el análisis de costos, con frecuencia se ve que la mejor es la más barata. Esa es la que se debe elegir. Por otro lado, a veces lo más barato ofrece mínimo de intercambiabilidad de partes y por tanto, las bombas más baratas no son siempre las más adecuadas.

De vez en cuando salta a la vista que la bomba que se necesita es la más cara. Es la que mejor satisface las condiciones de operación. Cuesta más pero el costo adicional se puede recuperar.

Cuando sea posible, siempre se procurará elegir una bomba idéntica a la que se va reemplazar, si tal cosa no se logra, procúrese seleccionar una de máxima intercambiabilidad de partes.

En base de que al comprar una bomba deben comprarse repuestos para la misma. Entonces, comprarse repuestos para la misma. Entonces, debe elegirse una bomba igual a la que se va a reemplazar y con ello se elimina la necesidad de comprar refacciones.

El tiempo de entrega es un factor muy importante debido a que muchas veces se tiene una cierta fecha a partir de

la cual se empieza a efectuar determinados procesos en donde tomarán parte estas unidades.

Las condiciones de pago afectan en tal forma que va de acuerdo con el funcionamiento que tenga la empresa.

PROPUESTA : La mayor parte de los fabricantes combinan su recomendación y proposición en un solo documento que se llama Cotización.

La cotización usual contiene la siguiente información :

- a) Número de modelo de la bomba.
- b) Clase.
- c) Tipo.
- d) Construcción (detalles y materiales)
- e) Tipo de motor.
- f) Curvas de operación.
- g) Peso unitario.
- h) Precio.
- i) Tiempo de entrega de la bomba después de recibida la orden.
- j) Acuerdos legales (garantía, multas, condiciones de pago)
- k) Transportación.

Incluida a la cotización va una ilustración de la bomba y un catálogo.

Si la bomba debe construirse especialmente para el comprador, puede no incluirse el catálogo, debido a que el fabricante puede no tener folletos disponibles.

C A P I T U L O V.

BREVE DISCUSION Y EJEMPLO SOBRE LA SELECCION DE UNA BOMBA CENTRIFUGA PARA UN LIQUIDO PROBLEMA.

Para mostrar de una forma más práctica la manera en que se debe de seleccionar una bomba centrífuga, es conveniente disponer de datos completos y precisos, bajo los cuales va a operar dicha unidad.

Cabe hacer mención que todos los datos que se proporcionarán como características propias del líquido problema son supuestos. Esto es para que el líquido sirva como base para ilustrarnos de una forma bastante completa y precisa sobre la selección de la bomba.

Lo anterior no indica de ninguna manera, que el ingeniero no se vaya a encontrar con un problema muy similar en el transcurso de su ejercicio.

La forma más adecuada de iniciar la recopilación de datos referentes al líquido problema, es mediante el desarrollo de la Tabla IX que se incluyó en el capítulo IV.

Se supondrá, que el cliente ha proporcionado al fabricante de bombas ciertos datos referentes al líquido problema. Este último los recopila y los transforma a unidades adecuadas de trabajo, y posteriormente prepara su cotización y comentarios.

T A B L A :

COMPENDIO DE DATOS ESENCIALES QUE SE REQUIEREN EN LA SELECCION DE BOMBAS CENTRIFUGAS.

1.- Número de unidades requeridas :

Tres.

2.- Naturaleza del líquido que habrá de bombearse :

a) Acido y lodozo.

b) Caliente (200°F)

c) Presión de vapor del líquido : Igual a la del agua a 290°F.
Utilizando la tabla IV se lee : 57.57 psia ó 144 pies de columna de de agua.

d) Gravedad Específica : 68 grados Brix ó 36.67 grados Baume.
Utilizando las tablas I ó II en " líquidos más pesados que el agua " se lee : 1.3386.

e) ¿ Es viscoso ó no ? No.

f) ¿ Limpio ó sucio y abrasivo ? Limpio.
No es de naturaleza pulposa.

g) Analisis Químico :

Su "pH" es de 2.1 No existe ninguna experiencia pasada en cuanto a materiales de construcción.

3.- Capacidad.

Capacidad requerida : 1.89 m.³/min.

Capacidad máxima : 2.28 m.³/min.

Capacidad mínima : 1.51 m.³/min.

Convirtiendo a galones por minuto :

Capacidad requerida : 1.89 m.³/min. x 264.2 = 500 GPM.

Capacidad máxima : $2.28 \text{ m}^3/\text{min.} \times 264.2 = 600 \text{ GPM.}$

Capacidad mínima : $1.51 \text{ m}^3/\text{min.} \times 264.2 = 400 \text{ GPM.}$

4.- Condición de Succión.

- a) Presión de succión : 82.5 psia.
- b) Diferencia de niveles de la línea de centros de la bomba y la superficie del líquido : 8 pies.
- c) Pérdidas : Despreciables (0.2 pies)
- d) Carga Neta Positiva de Succión disponible :

NOTA : Por lo regular el cliente proporciona este dato, pero para ilustrar el problema se mostrará la forma de calcularse.

Datos proporcionados por el cliente :

Presión manométrica : 70.5 psig.

Presión atmosférica a 5500 pies de altitud ó 1676.4 m. :
12 psia. Ver Tabla VII.

Presión de vapor del líquido problema : 57.57 psia.

Gravedad Específica : 1.3386

Perdidas : 0.2 pies.

Pres. Absoluta = Pres. Atmosférica + Pres. Manométrica.

$$\begin{array}{rclcl} " & " & = & 12 \text{ psia} & + & 70.5 \text{ psig.} & = & 82.5 \\ & & & & & & & \text{psia.} \end{array}$$

$$\text{N.P.S.H. disponible} = \frac{(\text{P.Sist.} - \text{P.Vapor})}{\text{Sp gr.}} + h - h_f$$

$$\begin{array}{l} \text{N.P.S.H.} \\ \text{disponible} = \frac{(82.5 \text{ psia} - 57.57 \text{ psia})}{1.3386} + (-8) - 0.2' \\ \hline 1.3386 \end{array}$$

N.P.S.H.

$$\text{disponible} = 43.2 + (-8) - 0.2 = 35'$$

5.- Condición de Descarga .

- a) Presión de descarga : 95.5 psig.
- b) Diferencia de niveles entre la línea de centros de la bomba y la superficie del líquido de descarga : 40 pies.
- c) Pérdida : 2 pies.

6.- Columna Total ó Carga Dinámica Total.

NOTA : El cliente debe proporcionar este dato, para ilustración del problema se mostrará la forma de calcularlo.

$$\text{C.D.T.} = \text{Hst} + \frac{\Delta P \times 2.31}{\text{Sp gr.}} + \text{hf}$$

$$\text{Hst} = D - S$$

$$\text{Hst} = 40 - (-8) = 48'$$

$$\Delta P = 82.5$$

$$- 12.0 \leftarrow \text{P. Atmosf. a 5500 '}$$

$$70.5 \text{ psig.}$$

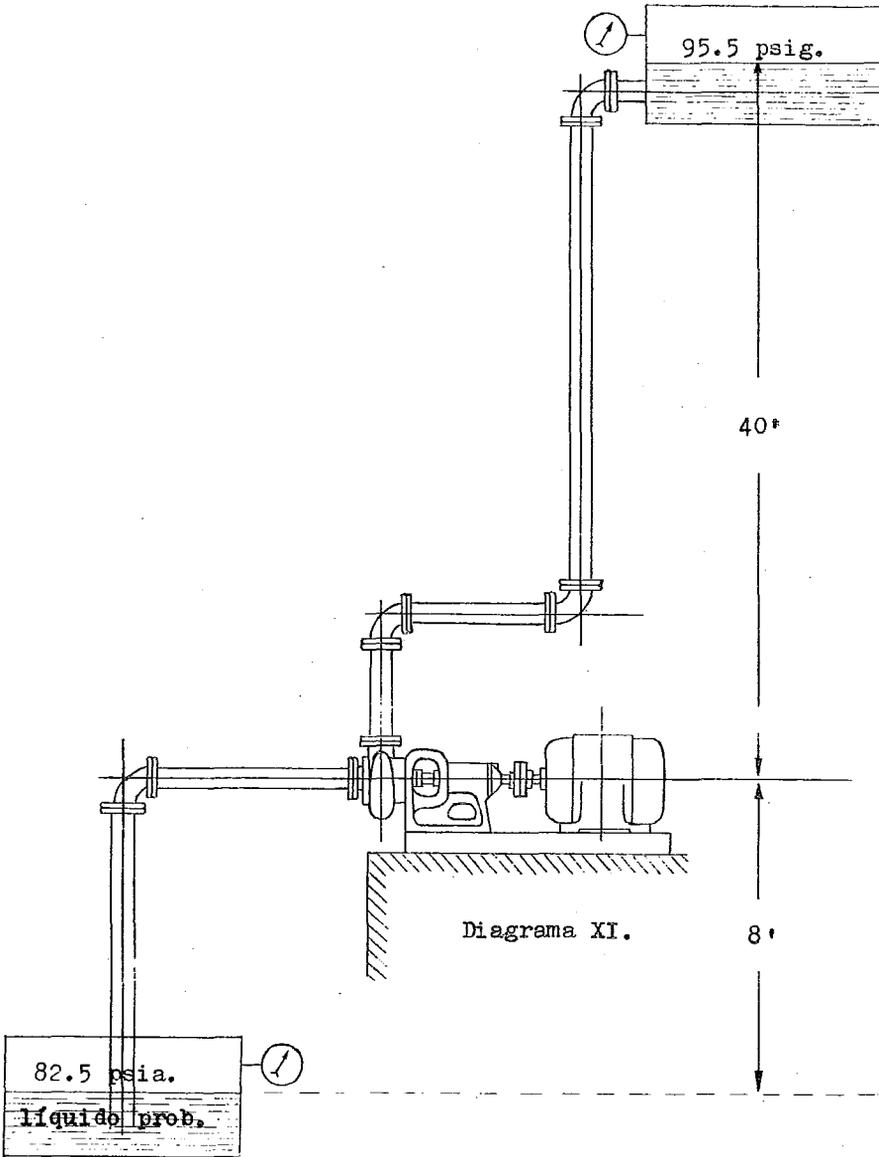
$$\text{C.D.T.} = 48' + \frac{70.5 \text{ psig.} - 95.5 \text{ psig.} \times 2.31}{\text{Sp gr.}} + 2$$

$$1.3386$$

$$\text{C.D.T.} = 48' + 43.5' + 2' = 93.5'$$

7.- ¿Es el servicio continuo o intermitente? Continuo.

8.- ¿Se habrá de instalar la bomba horizontal o vertical?
Horizontal.



- 9.- ¿ Que tipo de energía se tiene disponible y cuáles son las características de ésta ?
60 ciclos / 3 fases / 220 - 440 volts.
El cliente solicita que se le cotice un motor eléctrico y uno de combustión interna.
- 10.- ¿ Que tipo de limitaciones de espacio, peso ó transporte existen ? De ningún tipo.
- 11.- Localización de instalación.
- a) Localización geográfica : País x.
 - b) Elevación sobre el nivel del mar : 5500' ó 1676.4 m.
 - c) Instalación interior o a la intemperie : Interior.
 - d) Variación de la temperatura ambiente : 10 - 30°C.
- 12.- Preferencias o requisitos sobre la bomba.
Que no trabaje la bomba a más de 1800 r.p.m. porque el líquido problema podría sufrir una elevación de temperatura y cambiarían sus propiedades químicas.

Una vez que se tienen todos estos datos, se procede a efectuar una selección del tipo eliminatorio, para poder llegar a identificar las características dadas por el cliente, con el equipo que cumpla a mayor satisfacción con los requerimientos técnicos.

Se supondrá que el fabricante de bombas identifica estas características con un modelo suyo muy particular, pero existe un problema; Solo hay curva de operación para 3600 r.p.m (60 ciclos 2 polos.)

Entonces se procederá de la siguiente forma :
Utilizando la ley de afinidad, se podrá predecir el funciona-

miento de la bomba para una velocidad que no sea aquella para la cual se conoce la característica de la bomba.

$$\frac{n}{n_1} = \frac{Q}{Q_1} = \frac{\sqrt{H}}{H_1}$$

$$Q_1 = \frac{Q \times n_1}{n} = \frac{500 \times 3,500}{1750} = 1,015 \text{ GPM.}$$

$$H_1 = \frac{H \times n_1^2}{n^2} = \frac{93.5 \times (3,550)^2}{(1750)^2} = 385'$$

También con la ayuda de una regla de calculo se podrán obtener las nuevas condiciones, necesarias para poder entrar en la curva de 3,550 r.p.m.

Condiciones de operación para 1,750 r.p.m. :

Q = 500 GPM.

H = 93.5'

Nuevas condiciones para poder entrar en la curva de 3,550 rpm :

El 3,550 en la escala C se coloca sobre 1,750 en la escala D , y la nueva capacidad se lerá en la escala C opuesta a la capacidad de 1,750 r.p.m. en la escala D.

Se lee : 1,015 GPM.

Las nuevas cargas se lerán en la escala B opuesta a las cargas a 1,750 r.p.m. en la escala A.

Se lee : 385"

Con estas nuevas condiciones se entra en la curva de 3,550 r.p.m. (Ver Fig. 17) y se observa que cumple tanto -- con una buena eficiencia ($\eta = 75\%$) como con los rangos má-

ximo y mínimo de capacidad, los cuales deben de ser para las nuevas condiciones de :

Capacidad máxima : 1220 GPM.

Capacidad mínima : 812 GPM.

NOTA : En realidad la carga bajaría un poco si se usará la bomba a su máxima capacidad requerida (1220 GPM.) pero esto se podría solucionar cambiando el impulsor y poniendolo a diámetro máximo.

Ahora se procede a checar la Carga Neta Positiva de Succión requerida por la bomba (N.P.S.H. requerido)

Utilizando las condiciones reales de operación :

Capacidad : 500 GPM.

Velocidad : 1750 rpm.

Area del ojo del impulsor : 14 in² (supuesto)

Velocidad de succión : 11.5 pies/seg. (Ver Fig. 9)

Velocidad periférica del líquido : 38 pies/seg. (Ver Fig. 10)

Carga neta positiva de succión en pies, arriba de la presión de vapor del líquido prob. 9.0' (Ver Fig. 12)

Como el N.P.S.H. requerido (9') es menor que el disponible (35') no existe ningún problema.

Con todos estos datos, se procede ahora a calcular los BHP. reales requeridos por la bomba, así como el tipo de motor adecuado.

$$B H P. = \frac{Q \times H \times Sp \text{ gr.}}{3960 \times \eta} = \frac{500 \times 93.5 \times 1.3386}{3960 \times 75\%} = 20.9$$

Se selecciona un motor de 25 H.P. que también servirá para los requerimientos de la bomba a gasto máximo, porque :

B H P.

$$\text{Máximo} = \frac{Q \text{ max.} \times H \times \text{Sp gr.}}{3960 \times \eta \text{ nueva}} = \frac{600 \times 93.5 \times 1.3386}{3960 \times 77 \%} = 24.3$$

El motor va a ser de 4 polos porque :

$$\text{Velocidad Sincrónica} = \frac{120 \times \text{frecuencia}}{\text{No. de polos}}$$

Despejando No. de polos :

$$\text{No. de polos} = \frac{120 \times \text{frecuencia}}{\text{Vel. Sincrónica}} = \frac{120 \times 60}{1800} = 4$$

¿ Que tipo de motor será el adecuado ?

Se le puede acoplar un motor A Prueba de Goteo, ya que no se encuentra a la intemperie, sino en el interior, se supone que no existe ningún tipo de atmósfera corrosiva o de riesgo de gases, pero si será necesaria una protección especial contra hongos, gusanos, etc. con tela de alambre en todas las aberturas y un aislamiento especial contra los hongos e insectos, ya que se supone que la bomba trabajará en un país donde existen estos tipos de parásitos.

También se selecciona un motor de 25 H.P. pero de combustión interna (así lo solicitaba el cliente) puede ser de diesel, gasolina, gas y aceite etc. Esta selección dependerá del combustible más fácil de obtener y a menor costo.

En cuanto a la metalurgia de la bomba, se tiene que tomar en cuenta lo siguiente :

1.- No se deberá de airear el líquido problema mecánicamente, porque esto produciría un líquido diferente y lógicamente un potencial diferente (produce un potencial más catódico y

aumenta la acidéz)

- 2.- Checar la velocidad de la bomba .- Ya que si ésta sobrepasa las 1,800 r.p.m. produciría un aumento de temperatura y ésto afectaría la resistividad eléctrica del electrolito (a mayor temperatura, menor resistividad y aumento de la actividad de la celda.)
- 3.- Evitar substancias contaminantes en el líquido problema. Ya que el contaminante no se dispersa inmediatamente a través del líquido problema (electrolito) y por lo tanto se originan áreas de concentración y contaminación diferentes, que provocarán una diferencia de potencial.
- 4.- Seleccionar materiales localizados lo más junto posibles en la serie electromotriz.- Ya que si no se hace esto, se produciría una reacción electroquímica que causaría una corriente eléctrica, y el flujo de pequeñas partículas metálicas de un metal al otro.

Utilizando la Tabla Empírica de " Materiales aconsejados para el bombeo de varios líquidos " y la Tabla de "pH" se recomienda utilizar :

Aceros al cromo, al cromo - níquel y molibdeno ó aceros con alto contenido de sílice.

El fabricante manda o entrega personalmente la cotización al cliente, sin olvidarse de incluir todos los datos proporcionados por éste y además sus recomendaciones.

La siguiente cotización podrá dar una idea de la forma en que se procede :

Octubre 20, de 1972.

REF.: Nuestra PR-25296

CARTON Y PAPEL DEL GOLFO, S.A.

División Escamela

Km. 72 Carr. a San Fernando

At'n.: Sr Jorge Oriza Pozo.

Asunto : Su solicitud de cotización.

Muy señores nuestros:

A continuación sirvanse encontrar nuestra mejor oferta por -
equipo de bombeo marca Industries Pumps. La presente cotiza ---
ción se acompaña de curva de operación, dibujos seccionales y
dimensionales del equipo propuesto, que a continuación se des
cribe:

SUS CONDICIONES :

Gasto:	1.89 m. ³ /min. ó 500 GPM.
C.D.T. :	93.5'
Líquido:	X
Presión de succión:	82.5 psia.
Presión de descarga:	95.5 psig.
Temperatura:	200° F.
Gravedad específica:	1.3386
pH del líquido:	2.1

NUESTRA SELECCION:

- 1 4 x 6 x 8 H - SJ, Bomba centrífuga horizontal, en construcción Clase C. (caja de acero e interiores de acero) La bomba se encuentra montada sobre una base de acero - estructural, común para bomba y motor, e igualmente - provista de cople flexible.

Precio unitario de la bomba : \$ 67,400.00

- 1 25 H.P., Motor eléctrico horizontal, marca U.S. o similar, A.P.G. 4 polos, 3 fases, 50/60 ciclos, 220/440 -- volts.

Precio unitario del motor: \$ 7,400.00

NOTA: Nose cotiza el motor de combustión interna, por falta de datos.

Precio del equipo completo : \$ 74,800.00

Tiempo de entrega del equipo anteriormente descrito :
12 a 16 semanas.

CONDICIONES DE OPERACION:

Gasto:	500 GPM.
C.D.T. :	93.5'
Velocidad:	1,750 R.P.M.
Eficiencia:	75%
B.H.P. :	20.9
N.P.S.H. requerido:	9.0'

Nuestros precios son en Moneda Nacional, firmes 30 días, - -
L.A.B., nuestra Planta en Xalostoc, Estado de México.

Condiciones de pago: 25% anticipo, saldo neto a
 30 días.

Equipo 100% Fabricación Nacional.

Sin más por el momento y en espera de que la presente haya -
cumplido con sus deseos, nos es grato repetirnos de ustedes.

A t e n t a m e n t e .

INDUSTRIES PUMPS CO., S.A.

Depto. de Ventas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

El objetivo del presente trabajo, consiste en proporcionarnos una serie de recomendaciones tendientes a conjugar una diversidad de datos y factores que debemos tomar en consideración para dar la solución más apropiada a un problema específico de bombeo.

En la generalidad de los casos, la información de que se dispone esta referida al diseño mecánico y características hidráulicas de los diversos equipos de bombeo existentes.

Sin embargo en los casos de corrosión en bombas centrífugas, no es muy frecuente el disponer de antecedentes que nos sirvan de base para poder predecir el comportamiento de los materiales de construcción. Esto se debe a la multiplicidad de circunstancias que pueden dar origen a la presencia del fenómeno de la corrosión.

El costo de reparación de los estragos provocados por esta causa, alcanzan un gran volumen en esta nación. En muchas ocasiones, las pérdidas como consecuencia de la corrosión se quedan pequeñas al lado del tiempo perdido en producción.

La corrosión se puede restringir empleando materiales de construcción adecuados, metales de autosacrificio anódico, recubrimientos protectores, conversión de los metales en pasivos, neutralización de los líquidos corrosivos, cromado, eliminación del oxígeno, inversión de la polaridad.

Cuando en una bomba no es posible limitar a un solo metal la construcción, el metal menos resistente debe --

usarse en piezas fácilmente sustituibles.

No es posible hacer una generalización de los materiales de construcción que mejor resisten a los líquidos corrosivos, sin embargo existen Tablas Empíricas que si se apegan mucho a la realidad.

A P E N D I C E .

T A B L A I

GRADOS BRIX - GRAVEDAD ESPECIFICA - GRADOS BAUME

Grados Brix a 60°F-15.56°C.	Gravedad Especí- fica a 60°F.	Grados Baume 60°F.
0	1.0000	0.00
1	1.0039	0.56
2	1.0078	1.13
3	1.0118	1.68
4	1.0157	2.24
5	1.0197	2.80
6	1.0238	3.37
7	1.0278	3.93
8	1.0319	4.49
9	1.0360	5.04
10	1.0420	5.60
11	1.0443	6.15
12	1.0485	6.71
13	1.0528	7.28
14	1.0570	7.81
15	1.0613	8.38
16	1.0657	8.94
17	1.0700	9.49
18	1.0744	10.04
19	1.0788	10.59
20	1.0833	11.15
21	1.0878	11.70
22	1.0923	12.25
23	1.0968	12.80
24	1.1014	13.35
25	1.1060	13.90
26	1.1107	14.45
27	1.1154	15.00
28	1.1201	15.54
29	1.1248	16.19
30	1.1296	16.63
31	1.1345	17.19
32	1.1392	17.73

(Continuación Tabla I)

Grados Brix a 60°F-15.56°C.	Gravedad Especí- fica a 60°F.	Grados Baume 60°F.
33	1.1442	18.28
34	1.1491	18.81
35	1.1541	19.36
36	1.1591	19.90
37	1.1641	20.44
38	1.1692	20.98
39	1.1743	21.52
40	1.1794	22.06
41	1.1846	22.60
42	1.1898	23.13
43	1.1950	23.66
44	1.2003	24.20
45	1.2057	24.74
46	1.2110	25.26
47	1.2164	25.80
48	1.2218	26.32
49	1.2273	26.86
50	1.2328	27.38
51	1.2384	27.91
52	1.2439	28.43
53	1.2496	28.96
54	1.2552	29.48
55	1.2609	30.00
56	1.2667	30.53
57	1.2724	31.05
58	1.2782	31.56
59	1.2841	32.08
60	1.2900	32.00
61	1.2959	33.11
62	1.3019	33.63
63	1.3079	34.13
64	1.3139	34.64
65	1.3200	35.15
66	1.3261	35.66
67	1.3323	36.16
68	1.3384	36.67

(Continuación Tabla I)

Grados Brix a 60°F-15.56°C.	Gravedad Especí- fica a 60°F.	Grados Baume 60°F.
69	1.3447	37.17
70	1.3509	37.66
71	1.3573	38.17
72	1.3636	38.66
73	1.3700	39.16
74	1.3764	39.65
75	1.3829	40.15
76	1.3894	40.64
77	1.3959	41.12
78	1.4025	41.61
79	1.4091	42.10
80	1.4157	42.58
81	1.4224	43.06
82	1.4291	43.54
83	1.4359	44.02
84	1.4427	44.49
85	1.4495	44.96
86	1.4564	45.44
87	1.4633	45.91
88	1.4702	46.37
89	1.4772	46.84
90	1.4842	47.31
91	1.4913	47.77
92	1.4984	48.23
93	1.5055	48.69
94	1.5126	49.14
95	1.5198	49.59
96	1.5270	50.04
97	1.5343	50.49
98	1.5416	50.94
99	1.5489	51.39
100	1.5563	51.93

FUENTE : Hydraulic Handbook - fifth Edition.
Colt Industries - Fairbanks Morse.

T A B L A II

RELACION ENTRE GRADOS BAUME Y GRAVEDAD ESPECIFICA
 PARA LIQUIDOS MAS PESADOS QUE EL AGUA.

$$\text{Formula : } sp \text{ gr} = \frac{145}{145 - \text{Baume}}$$

Grados Baume.	Sp Gr 60°F	Grados Baume.	Sp Gr 60°F	Grados Baume.	Sp Gr 60°F
0	1.00000	27	1.22881	54	1.59341
1	1.00694	28	1.23932	55	1.61111
2	1.01399	29	1.25000	56	1.62921
3	1.02113	30	1.26087	57	1.64773
4	1.02837	31	1.27193	58	1.66667
5	1.03571	32	1.28319	59	1.68605
6	1.04317	33	1.29464	60	1.70588
7	1.05072	34	1.30631	61	1.72619
8	1.05839	35	1.31818	62	1.74699
9	1.06618	36	1.33028	63	1.76829
10	1.07407	37	1.34259	64	1.79012
11	1.08209	38	1.35514	65	1.81250
12	1.09023	39	1.36792	66	1.83544
13	1.09848	40	1.38095	67	1.85897
14	1.10687	41	1.39423	68	1.88312
15	1.11538	42	1.40777	69	1.90789
16	1.12403	43	1.42157	70	1.93333
17	1.13281	44	1.43564	71	1.95946
18	1.14173	45	1.45000	72	1.98630
19	1.15079	46	1.46465	73	1.01389
20	1.16000	47	1.47959	74	2.04225
21	1.16935	48	1.49485	75	2.07143
22	1.17886	49	1.51042	76	2.10145
23	1.18852	50	1.52632	77	2.13235
24	1.19835	51	1.54255	78	2.16418
25	1.20833	52	1.55914	79	2.19697
26	1.21849	53	1.57609		

FUENTE : Igual a la Tabla I .

(Continuación Tabla II)

PARA LIQUIDOS MAS LIGEROS QUE EL AGUA

$$\text{Formula : } sp \text{ gr} = \frac{140}{130 + \text{Baume}}$$

Grados Baume.	Sp Gr 60°F	Grados Baume.	Sp Gr 60°F	Grados Baume.	Sp Gr 60°F
10	1.00000	37	.83832	64	.72165
11	.99291	38	.83333	65	.71795
12	.98592	39	.82840	66	.71428
13	.97902	40	.82353	67	.71066
14	.97222	41	.81871	68	.70707
15	.96552	42	.81395	69	.70352
16	.95890	43	.80925	70	.70000
17	.95238	44	.80460	71	.69652
18	.94595	45	.80000	72	.69307
19	.93960	46	.79545	73	.68966
20	.93333	47	.79096	74	.68627
21	.92715	48	.78652	75	.68293
22	.92105	49	.78212	76	.67961
23	.91503	50	.77778	77	.67633
24	.90909	51	.77348	78	.67308
25	.90323	52	.76923	79	.66986
26	.89744	53	.76503	80	.66667
27	.89172	54	.76087	81	.66351
28	.88608	55	.75676	82	.66038
29	.88050	56	.75269	83	.65728
30	.87500	57	.74866	84	.65421
31	.86957	58	.74468	85	.65117
32	.86420	59	.74074	86	.64815
33	.85890	60	.73684	87	.64516
34	.85366	61	.73298	88	.64220
35	.84848	62	.72917	89	.63927
36	.84337	63	.72539		

T A B L A III

RELACION ENTRE GRAVEDAD ESPECIFICA
Y GRADOS A.P.I A 60°F.

$$\text{Formula : Gravedad Especifica} = \frac{141.5}{131.5 + \text{° API}}$$

Grados A.P.I.	Gravedad Especifica	Grados A.P.I.	Gravedad Especifica	Grados A.P.I.	Gravedad Especifica
10	1.0000	40	.8251	70	.7022
11	.9930	41	.8203	71	.6988
12	.9861	42	.8155	72	.6952
13	.9792	43	.8109	73	.6919
14	.9725	44	.8063	74	.6886
15	.9659	45	.8017	75	.6852
16	.9593	46	.7972	76	.6819
17	.9529	47	.7927	77	.6787
18	.9465	48	.7883	78	.6754
19	.9402	49	.7839	79	.6722
20	.9340	50	.7796	80	.6690
21	.9279	51	.7753	81	.6659
22	.9218	52	.7711	82	.6628
23	.9159	53	.7669	83	.6597
24	.9100	54	.7628	84	.6566
25	.9042	55	.7587	85	.6536
26	.8984	56	.7547	86	.6506
27	.8927	57	.7507	87	.6476
28	.8871	58	.7467	88	.6446
29	.8816	59	.7428	89	.6417
30	.8762	60	.7389	90	.6388
31	.8708	61	.7351	91	.6360
32	.8654	62	.7313	92	.6331
33	.8602	63	.7275	93	.6303
34	.8550	64	.7238	94	.6275
35	.8498	65	.7201	95	.6247
36	.8448	66	.7165	96	.6220
37	.8398	67	.7128	97	.6193
38	.8348	68	.7093	98	.6166
39	.8299	69	.7057	99	.6139
				100	.6112

FUENTE : Igual a la Tabla I .

T A B L A IV

PROPIEDADES DEL AGUA.

Temperatura	Presión de Vapor (Absoluta)		Gravedad Esp.	Temperatura	Presión de Vapor (Absoluta)		Gravedad Esp.
° F	Psia. Pies Agua.			° F	Psia. Pies Agua.		
60.	0.26	0.59	0.999	160	4.74	11.2	0.977
70	0.36	0.89	0.998	161	4.85	11.5	0.977
80	0.51	1.2	0.997	162	4.97	11.7	0.977
85	0.60	1.4	0.996	163	5.09	12.0	0.976
90	0.70	1.6	0.995	164	5.21	12.3	0.976
100	0.95	2.2	0.993	165	5.33	12.6	0.976
110	1.27	3.0	0.991	166	5.46	12.9	0.975
120	1.69	3.9	0.989	167	5.59	13.3	0.975
130	2.22	5.0	0.986	168	5.72	13.6	0.974
140	2.89	6.3	0.983	169	5.85	13.9	0.974
150	3.72	8.3	0.981	170	5.99	14.2	0.974
151	3.81	9.0	0.981	171	6.13	14.5	0.973
152	3.90	9.2	0.980	172	6.27	14.9	0.973
153	4.00	9.4	0.980	173	6.42	15.2	0.973
154	4.10	9.7	0.979	174	6.56	15.6	0.972
155	4.20	9.9	0.979	175	6.71	15.9	0.972
156	4.31	10.1	0.979	176	6.87	16.3	0.972
157	4.41	10.4	0.978	177	7.02	16.7	0.971
158	4.52	10.7	0.978	178	7.18	17.1	0.971
159	4.63	10.9	0.978	179	7.34	17.4	0.971

(Continuación T A B L A IV)

180	7.51	17.8	0.970	205	12.77	30.6	0.961
181	7.68	18.3	0.970	206	13.03	31.2	0.960
182	7.85	18.7	0.970	207	13.30	32.0	0.960
183	8.02	19.1	0.969	208	13.57	32.6	0.960
184	8.20	19.5	0.969	209	13.84	33.2	0.959
185	8.38	20.0	0.969	210	14.12	33.9	0.959
186	8.57	20.4	0.968	211	14.41	34.6	0.958
187	8.76	20.9	0.968	212	14.70	35.4	0.958
188	8.95	21.4	0.967	213	14.99	36.2	0.957
189	9.14	21.8	0.967	214	15.29	37.0	0.957
190	9.34	22.3	0.966	215	15.59	37.7	0.957
191	9.54	22.8	0.966	216	15.90	38.4	0.956
192	9.75	23.3	0.965	217	16.22	39.2	0.956
193	9.96	23.8	0.965	218	16.54	40.0	0.956
194	10.17	24.3	0.965	219	16.86	40.8	0.955
195	10.38	24.9	0.964	220	17.19	41.6	0.955
196	10.60	25.4	0.964	221	17.52	42.5	0.955
197	10.83	25.9	0.963	222	17.86	43.3	0.954
198	11.06	26.6	0.963	223	18.21	44.2	0.954
199	11.29	27.1	0.963	224	18.56	45.0	0.953
200	11.53	27.6	0.963	225	18.92	45.9	0.953
201	11.77	28.2	0.962	230	20.78	50.5	0.951
202	12.01	28.8	0.962	240	24.97	61.0	0.947
203	12.25	29.4	0.962	290	57.57	144.0	0.923
204	12.51	30.0	0.961	340	118.0	305.0	0.896
				380	195.8	517.7	0.874
				400	247.3	663.9	0.861
				480	566.1	1680.5	0.802
				500	680.8	2001.1	0.786
				540	962.5	2980.4	0.746

T A B L A V

C O N V E R S I O N D E V I S C O S I D A D

Segundo Saybolt Universal	Viscosidad Cinemática Centistokes	Segundo Saybolt Furol	Segundo Redwood 1	Segundo Redwood 2	Grados Engler	Grados Barbeyr
31	1.00	-	29	-	1.00	6200
35	2.56	-	32.1	-	1.16	2420
40	4.30	-	36.2	5.10	1.31	1440
50	7.40	-	44.3	5.83	1.58	838
60	10.3	-	52.3	6.77	1.88	618
70	13.1	12.95	60.9	7.60	2.17	483
80	15.7	13.70	69.2	8.44	2.45	404
90	18.2	14.44	77.6	9.30	2.73	348
100	20.6	15.24	85.6	10.12	3.02	307
150	32.1	19.30	128	14.48	4.48	195
200	43.2	23.5	170	18.90	5.92	144
250	54.0	28.0	212	23.45	7.35	114
300	65.0	32.5	254	28.0	8.79	95
400	87.60	41.9	338	37.1	11.70	70.8
500	110.0	51.6	423	46.2	14.60	56.4
600	132	61.4	508	55.4	17.50	47.0
700	154	71.1	592	64.6	20.45	40.3
800	176	81.0	677	73.8	23.35	35.2
900	198	91.0	762	83.0	26.30	31.3
1000	220	100.7	896	92.1	29.20	28.2
1500	330	150	1270	138.2	43.80	18.7
2000	440	200	1690	184.2	58.40	14.1
2500	550	250	2120	230	73.0	11.3
3000	660	300	2540	276	87.60	9.4
4000	880	400	3380	368	117.0	7.05
5000	1100	500	4230	461	146	5.64
6000	1320	600	5000	553	175	4.70
7000	1540	700	5920	645	204.5	4.03
8000	1760	800	6770	737	233.5	3.52
9000	1980	900	7620	829	263	3.13
10000	2200	1000	8460	921	292	2.82
15000	3300	1500	13700	-	438	2.50
20000	4400	2000	18400	-	584	1.40

FUENTE : Igual a la Tabla I .

T A B L A VI

RELACION DE TEMPERATURA - PRESION DE VAPOR DEL AGUA

Temperatura, C	Presión de Vapor, kg/cm ²	Temperatura, C	Presión de Vapor, kg/cm ²	Temperatura, C	Presión de Vapor, kg/cm ²
0.0	0.006	87.8	0.654	160.0	6.276
1.7	0.007	90.06	0.727	162.0	6.639
4.4	0.008	93.3	0.807	164.3	7.021
7.2	0.010	95.6	0.876	166.5	7.403
10.0	0.012	97.8	0.949	168.7	7.826
12.8	0.015	100.0	1.029	171.1	8.260
15.6	0.018	101.2	1.113	173.1	8.708
18.3	0.021	104.4	1.203	175.3	9.184
21.1	0.025	105.6	1.299	177.6	9.674
23.9	0.030	107.8	1.401	179.8	10.178
26.7	0.035	110.0	1.510	182.2	10.710
29.4	0.042	112.2	1.625	184.2	11.263
32.2	0.049	115.6	1.748	186.5	11.844
35.0	0.057	117.6	1.878	188.7	12.439
37.8	0.066	119.9	2.016	190.9	13.062
40.6	0.077	122.1	2.161	193.3	13.706
43.3	0.089	124.3	2.316	195.3	14.371
46.1	0.103	126.7	2.480	197.6	15.071
48.9	0.118	128.7	2.653	199.8	15.792
51.7	0.136	131.0	2.835	202.0	16.534
54.4	0.155	133.2	3.027	204.4	17.311
57.2	0.177	135.4	3.230	207.1	18.319
60.0	0.202	137.8	3.444	209.8	19.373
62.8	0.229	139.8	3.669	212.5	20.468
65.6	0.260	142.0	3.906	215.3	21.616
68.3	0.294	144.3	4.155	218.3	22.803
71.1	0.332	146.5	4.416	220.9	20.059
73.9	0.373	148.9	4.690	223.6	25.361
76.7	0.419	150.9	4.979	226.4	26.712
79.4	0.470	153.2	5.280	229.2	28.119
82.2	0.525	155.4	5.597	232.0	29.582
85.0	0.587	157.6	5.929	234.7	31.101

(Continuación Tabla VI)

Tempera- tura, C	Presión de Vapor kg/cm ²	Tempera- tura, C	Presión de Vapor kg/cm ²	Tempera- tura, C	Presión de Vapor kg/cm ²
237.5	32.683	265.2	52.101	293.1	79.310
240.8	34.321	268.0	54.446	295.3	82.530
243.1	36.029	270.8	56.868	298.6	85.820
246.1	37.793	273.6	59.367	301.4	89.250
248.6	39.627	276.3	61.950	304.2	92.820
251.4	41.531	279.1	64.624	307.0	96.460
254.2	43.498	281.9	67.375	309.7	100.17
256.9	45.542	284.1	70.210	312.5	104.02
260.0	47.657	288.0	73.150	316.0	108.01
262.5	49.840	290.3	76.160		

FUENTE : Bombas Centrifugas .- Selección, Operación y Man-
tenimiento. Por : Igor J. Karassik .- 1967

T A B L A VII

ALTITUD.		LECTURA BAROMETRICA.		PRESION ATMOSFERICA		PUNTO DE EBULLICION.
Pies	Metros	Pulgadas de Hg.	Mm. Hg.	Paisa.	Pies Agua.	F.
- 1000	- 304.8	31.0	788	15.2	35.2	213.8
- 500	- 152.4	30.5	775	15.0	34.6	212.9
0	0.0	29.9	760	14.7	33.9	212.0
+ 500	+ 152.4	29.4	747	14.4	33.3	211.1
+ 1000	304.8	28.9	734	14.2	32.8	210.2
1500	457.2	28.3	719	13.9	32.1	209.3
2000	609.6	27.8	706	13.7	31.5	208.4
2500	762.0	27.3	694	13.4	31.0	207.4
3000	914.4	26.8	681	13.2	30.4	206.5
3500	1066.8	26.3	668	12.9	29.8	205.6
4000	1219.2	25.8	655	12.7	29.2	204.7
4500	1371.6	25.4	645	12.4	28.8	203.8
5000	1524.0	24.9	633	12.2	28.2	202.9
5500	1676.4	24.4	620	12.0	27.6	201.9
6000	1828.8	24.0	610	11.8	27.2	201.0
6500	1981.2	23.5	597	11.5	26.7	200.1
7000	2133.6	23.1	587	11.3	26.2	199.2
7500	2286.0	22.7	577	11.1	25.7	198.3
8000	2438.4	22.2	564	10.9	25.2	197.4
8500	2590.8	21.8	554	10.7	24.7	196.5
9000	2742.2	21.4	544	10.5	24.3	195.5
15000	4572.0	16.9	429	8.3	19.2	184.0

FUENTE : Igual a la Tabla I .

T A B L A V I I I

U N I D A D E S D E P R E S I O N

Pies de Agua .	Pulgadas de Hg .	Psi	Pies de Agua .	Pulgadas de Hg .	Psi
.08	.07	.04	10.00	8.83	4.33
.17	.15	.07	10.20	9.00	4.42
.25	.22	.11	11.00	9.71	4.76
.33	.27	.14	11.33	10.00	4.91
.42	.37	.18	11.55	10.20	5.00
.50	.44	.22	12.00	10.60	5.20
.58	.52	.25	12.46	11.00	5.40
.67	.59	.29	13.00	11.48	5.63
.75	.66	.32	13.60	12.00	5.89
.83	.74	.36	13.86	12.24	6.00
.92	.81	.40	14.00	12.36	6.06
1.00	.88	.43	14.73	13.00	6.38
1.13	1.00	.49	15.00	13.25	6.50
2.00	1.77	.87	15.86	14.00	6.87
2.27	2.00	.98	16.00	14.13	6.93
2.31	2.04	1.00	16.17	14.28	7.00
3.00	2.65	1.30	17.00	15.00	7.36
3.40	3.00	1.47	18.00	15.89	7.79
4.00	3.53	1.73	18.13	16.00	7.85
4.53	4.00	1.96	18.48	16.32	8.00
4.62	4.08	2.00	19.00	16.78	8.23
5.00	4.42	2.17	19.26	17.00	8.34
5.67	5.00	2.45	20.00	17.66	8.66
6.00	5.30	2.60	20.39	18.00	8.83
6.80	6.00	2.94	20.79	18.36	9.00
6.93	6.12	3.00	21.00	18.54	9.09
7.00	6.18	3.03	21.53	19.00	9.32
7.93	7.00	3.43	22.00	19.43	9.53
8.00	7.06	3.46	22.66	20.00	9.81
9.00	7.95	3.90	23.00	20.31	9.96
9.06	8.00	3.92	23.10	20.40	10.00
9.24	8.16	4.00	23.79	21.00	10.30

(Continuación Tabla VIII)

Pies de Agua .	Pulgadas de Hg.	Psi.	Pies de Agua .	Pulgadas de Hg.	Psi.
24.00	21.19	10.39	130.0		56.31
24.93	22.00	10.79	138.6		60.00
25.00	22.08	10.83	140.0		60.64
25.41	22.44	11.00	150.0		64.97
26.00	22.96	11.26	160.0		69.31
26.06	23.00	11.28	161.7		70.00
27.00	23.84	11.69	170.0		73.64
27.19	24.00	11.77	180.0		77.97
27.72	24.48	12.00	184.8		80.00
28.00	24.72	12.12	190.0		82.30
28.33	25.00	12.27	200.0		86.63
29.00	25.61	12.56	207.9		90.00
29.46	26.00	12.76	210.0		90.96
30.00	26.49	12.99	220.0		95.30
30.03	26.52	13.00	230.0		99.63
30.59	27.00	13.25	231.0		100.00
31.00	27.37	13.42	240.0		103.96
31.72	28.00	13.74	250.0		108.29
32.00	28.26	13.86	254.1		110.00
32.34	28.56	14.00	270.0		116.96
32.86	29.00	14.23	290.0		125.62
33.00	29.14	14.29	300.0		129.95
33.90	29.92	14.70	350.0		151.61
34.0		14.72	400.0		173.27
34.7		15.00	450.0		195.00
40.0		17.32	500.0		216.58
46.2		20.00	550.0		238.25
50.0		21.65	600.0		259.90
60.0		25.99	650.0		281.56
69.3		30.00	700.0		303.22
70.0		30.32	750.0		324.88
80.0		34.65	800.0		346.54
90.0		38.98	850.0		368.80
92.4		40.00	900.0		389.86
100.0		43.31	1000.0		433.18
110.0		47.64	1500.0		649.70
115.5		50.00			
120.0		51.98			

FUENTE : Igual a la Tabla I

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

- 1.- Principios de Operaciones Unitarias.
Por: Alan S. Foust
Tercer edición en español - Julio de 1969

- 2.- Bombas.- Su selección y aplicación.
Por: Tyler G. Hicks, BME
Segunda edición en español - Febrero de 1961

- 3.- Hydraulic Handbook.
Fundamental Hydraulics and Data useful in the solution of
pump application problems.
Fifth edition
Colt Industries - Fairbanks Morse - Pump & Electric Divi-
sion

- 4.- Hydraulics Institute Standards.
for centrifugal, rotary & reciprocating pumps
twelfth edition 1969

- 5.- Bombas Centrífugas.- selección, operación y mantenimiento.
Por: Igor J. Karassik y Roy Carter
Segunda edición - 1967

- 6.- Revista del IMIQ - Bombas - de Nov. - Dic. 1969

- 7.- Manual del Ingeniero Mecánico de Marks.
Lionel S. Marks, Director, 1916 - 1951
Primera edición en español - 1960
- 8.- a Power handbook .- PUMPS.
by Tyler Hicks, Associate Editor
October - 1954
- 9.- Chemical Engineering .- Fundamentals of
Corrosion - Mayo 17, 1971
- 10.- a Power special report .- CORROSION.
by Howard P. Kallen. December 1954
- 11.- Corrosion, causes and prevention.
Speller, Frank Newman 1875
Ed. Interscience Publishers Inc. New York
- 12.- The Nature of Corrosion in Vertical Turbine Pumps.
compliments of: Byron Jackson Pump Division
Division of : Borg - Warner Corporation
- 13.- Manual del Ingeniero Químico.
John H. Perry
Traducción al español de la tercera edición en inglés
México 1958
- 14.- Curso de entrenamiento - Byron Jackson - Octubre 1971.