

OPTIMIZACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS PARA EL ESTUDIO DE
BOMBAS CENTRÍFUGAS EN SERIE Y PARALELO

JUAN CARLOS SÁNCHEZ BARCASNEGRA
JUAN SEBASTIÁN RIVADENEIRA PISCIOTTI

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
PROGRAMA DE INGENIERIA HIDRÁULICA
CARTAGENA DE INDIAS . D.T Y C
2003

OPTIMIZACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS PARA EL ESTUDIO DE
BOMBAS CENTRÍFUGAS EN SERIE Y PARALELO

JUAN CARLOS SÁNCHEZ BARCASNEGRA
JUAN SEBASTIÁN RIVADENEIRA PISCIO TTI

Tesis para optar el título de
Ingeniero Mecánico

Director
INGENIERO MECÁNICO FÉLIX JULIO RADA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
PROGRAMA DE INGENIERIA HIDRÁULICA
CARTAGENA DE INDIAS. D.T Y C
2003

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Cartagena de indias D.T Y C. 7 de abril del 2003

CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN	
1. BOMBAS	1
1.1 GENERALIDADES	1
1.1.1 Tipos de bombas	2
1.1.1.1 Bombas de embolo alternativo	4
1.1.1.2 Bombas de embolo rotativo	5
1.1.1.3 Bombas rotodinámicas	6
1.2 VENTAJAS DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS	30
1.3 CLASIFICACION DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS	32
1.4 ELEMENTOS BÁSICOS DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA	36
1.4.1 Impulsor	37
1.4.1.1 Tipo de succión	38
1.4.1.2 Forma de los alabes	43
1.4.1.3 Velocidad específica	51
1.4.1.4 Constante mecánica	51

CONTENIDO

	Pág
1.4.1.5 Nomenclatura de impulsores	56
1.4.2 Flecha	57
1.4.3 Carcasa	59
1.4.3.1 Clasificación de la carcasa	59
1.4.4 Estoperos o caja prensaestopas	67
1.4.5 Cojinetes	73
1.4.5.1 Balero de una sola hilera con surco profundo	77
1.4.5.2 Balero de doble hilera con surco profundo	77
1.4.5.3 Balero de contacto angular de una o dos hileras	80
1.4.5.4 Balero de doble hilera y oscilante	80
1.5 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	80
1.5.1 Materiales para la cubierta o carcasa	85
1.5.2 Materiales para impulsores	87
1.5.3 Materiales para flecha	89

CONTENIDO

	Pág
1.5.4 Materiales para prensaestopas	90
1.5.5 Accesorios de bombas	90
1.5.5.1 Bomba equipada normal	90
1.5.5.2 Bomba enteramente de bronce	91
1.5.5.3 Bomba enteramente de hierro	91
1.5.5.4 Bomba resistente al ácido	91
1.5.5.5 Bomba para agua salada	91
1.6 PERDIDAS, RENDIMIENTO Y POTENCIA DE LA BOMBA CENTRÍFUGA	92
1.6.1 Perdidas	92
1.6.1.1 Perdidas hidráulicas	92
1.6.1.2 Perdidas volumétricas	94
1.6.1.3 Perdidas mecánicas	95
1.6.2 Rendimientos	95

CONTENIDO

	Pág
1.6.2.1 Rendimiento hidráulico	96
1.6.2.2 Rendimiento volumétrico	96
1.6.2.3 Rendimiento mecánico	96
1.6.2.4 Rendimiento total	96
1.6.3 Potencias	96
1.6.3.1 Potencia de accionamiento	97
1.6.3.2 Potencia interna	97
1.6.3.4 Potencia hidráulica	97
2. TERMINOS, DEFINICIONES Y CONCEPTOS BÁSICOS PARA FACILITAR EL ENTENDIMIENTO DEL TEMA	98
2.1 PRESIÓN	98
2.1.1 Presión atmosférica o barométrica	100
2.1.2 Presión manométrica	100
2.1.3 Presión absoluta	100

CONTENIDO

	Pág
2.14 Presión negativa	100
2.15 Presión de vapor	102
2.2 CARGA	102
2.2.1 Columna o carga total de bombeo	101
2.2.2 Carga estática	103
2.2.3 Carga estática total	103
2.2.4 Carga estática de descarga	105
2.2.5 Carga estática de succión	105
2.2.6 Carga de succión	105
2.2.7 Carga de descarga	106
2.2.8 Carga de fricción	106
2.2.9 Carga de fricción en la succión	107
2.2.10 Carga de fricción en la descarga	107
2.2.11 Carga de velocidad	107

CONTENIDO

	Pág
2.2.12 Carga neta de succión positiva	108
2.2.13 Carga neta de succión positiva requerida	108
2.2.14 Carga neta de succión positiva disponible	109
2.3 ELEVACIÓN ESTÁTICA DE SUCCIÓN	109
2.4 ELEVACIÓN DE SUCCIÓN	110
2.5 SISTEMAS TÍPICOS DE SUCCIÓN	110
2.6 CAPACIDAD	111
2.7 EFICIENCIA	111
2.8 POTENCIA	113
2.9 CURVAS DE CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS	113
2.9.1 La curva H-Q	114
2.9.2 La curva P-Q	120
2.9.3 La curva \bullet -Q	123
3. INSTALACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	124

CONTENIDO

	Pág
3.1 INSTALACION	125
3.1.1 Reglas generales para la localización de las bombas	126
3.1.2 Cimentaciones	128
3.1.3 Alineamiento	131
3.1.4 Vaciada de lechada en concreto	137
3.1.5 Sistemas de tuberías	138
3.1.5.1 Tubería de descarga	140
3.1.5.2 Tubería de succión	140
3.2 OPERACIÓN	148
3.2.1 Curva de fricción de un sistema	148
3.2.2 Funcionamiento de una bomba en el sistema	149
3.2.3 Funcionamiento en paralelo	150
3.2.3.1 Capacidad de diseño	154
3.2.4 Funcionamiento en serie	156

CONTENIDO

	Pág
3.2.5 Cebado de las bombas centrífugas	157
3.2.5.1 Casos generales en el problema de cebado de bombas	158
3.2.6 Golpe de ariete y cavitación	159
3.2.6.1 Golpe de ariete	159
3.2.6.2 Cavitación	162
3.2.7 Comprobaciones finales antes del arranque	169
3.2.8 Procedimiento para arranque	169
3.2.9 Procedimiento de paro de una bomba	173
3.3 Mantenimiento	175
3.3.1 Observación diaria	177
3.3.2 Inspección semestral	178
3.3.3 Inspección anual	179
3.3.4 Reconstrucción completa	181
3.3.4.1 Evidencia de facto	182

CONTENIDO

	Pág
3.3.4.2 Evidencia circunstancial	183
3.3.4.3 Excepciones	184
3.3.5 Desarmado completo de una bomba centrífuga	186
3.3.6 Problemas de operación	187
4. APLICACIONES DE LA BOMBA CENTRÍFUGA	188
4.1 APLICACIÓN EN PLANTAS DE FUERZA DE VAPO R	189
4.2 APLICACIÓN EN ENERGÍA NUCLEAR	190
4.3 APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA PETRO LERA	192
4.4 APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA Q U Í M I C A 193	
4.4.1 Bombas quím icas	194
4.4.2 Bombas de procesos 195	
4.4.3 Servicio en alta presión	195
4.4.4 Bomba de cero fuga	196
4.4.5 Bomba para m etal fundido	196

CONTENIDO

	Pág	
4.4.6	Agitadores y bombas de sólidos	197
4.4.7	Bombas de turbina	197
4.5	APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DEL PAPEL, DEL TEXTIL Y DEL HULE	198
4.6	APLICACIÓN EN PROCESOS Y MANEJOS DE ALIMENTOS	199
4.7	APLICACIÓN EN SISTEMAS DE SUMINISTRO DE AGUA	200
4.8	APLICACIÓN EN ATARJEAS Y SUMIDERS	201
4.9	APLICACIÓN EN ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y CALEFACCIÓN	201
4.10	APLICACIÓN EN IRRIGACIONES Y CONTROLES DE AVENIDA	202
4.11	APLICACIÓN EN LA MINERIA Y LA CONSTRUCCIÓN	203

CONTENIDO

	Pág
4.12 APLICACIÓN EN LA MARINA	205
5. CONSTITUCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS	207
5.1 ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN EL BANCO DE PRUEBAS	207
5.1.1 Bombas centrífugas	208
5.1.2 Motores Eléctricos	209
5.1.3 Tanque o depósito de almacenamiento de agua	210
5.1.4 Tablero de control principal	211
5.1.4.1 Instrumentos instalados en el tablero de control	211
5.1.5 Manómetros	214
5.1.6 Válvulas de control	214
5.1.6.1 Válvulas de compuerta	214
5.1.6.2 Válvulas de globo	215
5.1.7 Estructura de soporte del banco	215
5.1.8 Medidor de agua	216

CONTENIDO

	Pág
5.1.9 Tubería del sistema	217
5.1.9.1 Línea de succión de la bomba uno	217
5.1.9.2 Línea de descarga de la bomba uno	219
5.1.9.3 Línea de succión de la bomba dos	225
5.1.9.4 Línea de descarga de la bomba dos	227
6. OPTIMIZACION DEL BANCO DE PRUEBA	231
6.1 CAMBIOS QUE FUERON NECESARIOS PARA LA OPTIMIZACION DEL BANCO	231
6.2 CALCULO DE LA POTENCIA REQUERIDA POR EL NUEVO SISTEMA	235
6.3 ANALISIS DE RESULTADOS	259
6.4 ESTUDIO ECONOMICO	264

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1.1 Efecto de una bomba en un sistema	3
Figura 1.2 Bomba centrífuga	7
Figura 1.3 Bombas múltiples o de turbina	14
Figura 1.4 Bombas de flujo axial y de mixto	20
Figura 1.5 Partes de un impulsor	39
Figura 1.6 Impulsor cerrado de admisión sencilla con alabes derechos	41
Figura 1.7 Partes de un impulsor de doble admisión	42
Figura 1.8 Impulsor abierto	45
Figura 1.9 Impulsor abierto con caja parcial	46
Figura 1.10 Impulsor cerrado de doble admisión con alabes Francis	47
Figura 1.11 Impulsor cerrado de admisión simple con alabes Francis	48

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1.12 Impulsor abierto de flujo mixto	49
Figura 1.13 Impulsor de flujo axial	50
Figura 1.14 Variaciones del perfil de los impulsores que muestran el campo aprox. de las velocidades específicas	52
Figura 1.15 Impulsor abierto con caja parcial	53
Figura 1.16 Impulsor semiaabierto	55
Figura 1.17 Partes de un impulsor y su carcasa tipo Voluta	61
Figura 1.18 Partes de un impulsor y su carcasa tipo difusor	64
Figura 1.19 Estopero convencional con buje de garganta	69
Figura 1.20 Estopero convencional con anillo de base	70
Figura 1.21 Anillo farolo jaula de sello	71
Figura 1.22 Maniguitos para bombas con cubos de	

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Impulsor volante	72
Figura 1.23 Prensaestopas sólidos para estoperos	74
Figura 1.24 Prensaestopas divididos para estoperos	75
Figura 1.25 Balero de una hilera de surco profundo	78
Figura 1.26 Balero de dos hileras de surcos profundos	79
Figura 1.27 Balero de una hilera de contacto angular	81
Figura 1.28 Balero de dos hileras de contacto angular	82
Figura 1.29 Balero oscilante de dos hileras de bolas	83
Figura 2.1 Presión en un fluido	99
Figura 2.2 Presión en un fluido a una presión h	99
Figura 2.3 Ilustración grafica de la presión atmosférica	
Manométrica y absoluta	101
Figura 2.4 Instalaciones típicas de bombas centrífugas	
Horizontales	112

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 2.5 Instalaciones típicas de succión de bombas Centrífugas horizontales	112
Figura 2.6 Características típicas de bombas centrífugas	115
Figura 2.7 Curva ascendente de carga-capacidad	117
Figura 2.8 Curva descendente de carga-capacidad	118
Figura 2.9 Curva inclinada de carga-capacidad	119
Figura 2.10 curva plana de carga-capacidad	121
Figura 2.11 Curva inestable de carga-capacidad	122
Figura 3.1 Perno inclinado	130
Figura 3.2 Alineación de un acoplamiento usando Calibradores de espesores	134
Figura 3.3 Uso del indicador de carátula para alinear un Acoplamiento normal	136
Figura 3.4 Aplicación de lechada de cemento	139

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 3.5 Método correcto e incorrecto para montar una Bomba y la tubería correspondiente	143
Figura 3.6 Método correcto e incorrecto para montar una Bomba y la tubería correspondiente	144
Figura 3.7 Método correcto e incorrecto para montar una Bomba y la tubería correspondiente	145
Figura 3.8 Método correcto e incorrecto para montar una Bomba y la tubería correspondiente	146
Figura 3.9 Curva de fricción de un sistema de bombeo	151
Figura 3.10 Intersección característica de la bomba y del sistema	151
Figura 3.11 Curvas de carga-capacidad de las bombas Operando en paralelo	153

RESUMEN

El trabajo consistió en optimizar el banco de pruebas para el estudio de bombas centrífugas en serie y en paralelo. Con esto se trata de mejorar la calidad de las pruebas que en este equipo se realizan. De esta forma el estudiante podrá comprobar y entender mejor la teoría recibida en las clases de mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas.

Por medio de este banco el estudiante podrá observar como el caudal aumenta cuando se colocan dos o más bombas en paralelo, y como la presión aumenta cuando se colocan dos o más bombas en serie. Con este fin se colocaron dos manómetros y dos medidores de agua (volumen) en la descarga de cada una de las bombas.

Se realizaron pruebas y se obtuvieron resultados que concuerdan con los resultados obtenidos en la teoría.

INTRODUCCIÓN

Debido al gran margen de error que se presentaba al realizar las mediciones en el banco de prueba para el estudio de bombas centrífugas en serie y paralelas, se decidió realizar este proyecto para mejorar la calidad de las pruebas realizadas por los estudiantes en este laboratorio y contribuir en la formación académica de los futuros ingenieros mecánicos de la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar.

La mayoría de los procesos en la industria incluyen conducción de líquidos o transferencia de un valor de presión o de energía estática a otro. La bomba centrífuga normalmente es el medio mecánico para obtener esta conducción o transferencia y por ello es parte esencial de muchos procesos. El funcionamiento en serie o paralelas de dos o más bombas centrífugas es una práctica común en la industria de las obras hidráulicas.

Para facilitar el estudio de este tema, se realizó un resumen de los términos, definiciones y conceptos. Se ha presentado una breve descripción de cada uno de los elementos que componen el banco de prueba, para que el estudiante se familiarice con ellos y tenga una visión más clara del ensayo que va a realizar.

Se ha detallado los métodos utilizados para medir los parámetros que intervienen en el ensayo realizado en el equipo.

En el capítulo sobre experiencias han quedado consignados los resultados de las experiencias realizadas por los autores durante el desarrollo del proyecto.

Para que los estudiantes u operarios del banco le den el trato adecuado al banco, se ha consignado un capítulo o manual de funcionamiento y mantenimiento del equipo.

1. BOMBAS

1.1 GENERALIDADES

Siempre que tratemos temas como procesos químicos, y de cualquier circulación de fluidos estamos, de alguna manera entrando en el tema de bombas. Se suelen encontrar bombas en muchos proyectos de ingeniería tales como abastecimiento de agua, trabajos de disposición de aguas residuales, sistemas de enfriamiento y juegan además un papel muy importante en la extracción de agua de lugares de construcción.

Las bombas se incluyen en un sistema de tuberías para convertir energía mecánica (suministrada por un mecanismo impulsor) en energía hidráulica. Esta energía adicionalmente permite transmitir un fluido de un lugar a otro, cuando no es factible que fluya por gravedad, elevarla a cierta

altura o recircularlo en un sistema cerrado. En general el efecto de una bomba en un sistema es incrementar la energía total en una cantidad H , generando presión y velocidad en el fluido como se muestra en la figura 1.1

1.1.1 Tipos de bombas Los factores más importantes que permiten escoger un sistema de bombeo adecuado son: presión última, presión de proceso, velocidad de bombeo, tipo de fluido a bombear (la eficiencia de cada bomba varía según el tipo de fluido).

Las bombas se clasifican en tres tipos principales:

- De émbolo alternativo.
- De émbolo rotativo.
- Rotodinámicas.

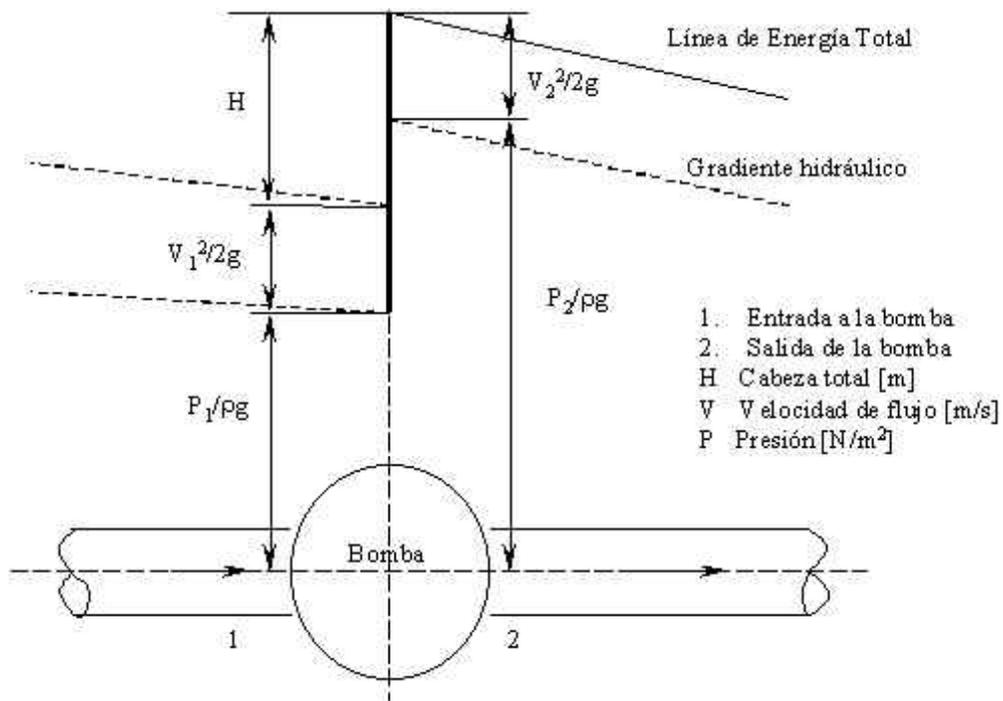


Figura 1.1 Efecto de una bomba en un sistema

Los dos primeros operan sobre el principio de desplazamiento positivo, es decir, que bombean una determinada cantidad de fluido (sin tener en cuenta las fugas independientemente de la altura de bombeo).

El tercer tipo debe su nombre a un elemento rotativo, llamado rodete, que comunique velocidad al líquido y genera presión. La carcasa exterior, el eje y el motor completan la unidad de bombeo.

1.1.1 Bomba de émbolo alternativo En su forma usual, la bomba de émbolo alternativo consiste en un pistón que tiene un movimiento de vaivén dentro de un cilindro.

Un adecuado juego de válvulas permite que el líquido sea aspirado en una embolada y lanzado a la turbina de impulsión en la siguiente. En consecuencia, el caudal será intermitente a menos que se instalen

recipientes de aire o un número suficiente de cilindros para uniformar el flujo.

Aunque las bombas de émbolo alternativo han sido separadas en la mayoría de los campos de aplicación por las bombas rotodinámicas, mucho más adaptables, todavía se emplean ventajosamente en muchas operaciones industriales especiales.

1.1.1.2 Bombas de émbolo rotativo

Las bombas de émbolo rotativo generan presión por medio de engranajes o rotores muy ajustados que impulsan periféricamente al líquido dentro de la carcasa cerrada.

El caudal es uniforme y no hay válvulas. Este tipo de bombas es eminentemente adecuado para pequeños caudales (menores de $1 \text{ pie}^3/\text{s}$ y el líquido viscoso). Las variables posibles son muy numerosas.

1.1.1.3 Bombas rotodinámicas La bomba rotodinámica es capaz de satisfacer la mayoría de las necesidades de la ingeniería y su uso está muy extendido. Su campo de utilización abarca desde abastecimientos públicos de agua, drenajes y regadíos, hasta transporte de hormigón o pulpas.

Los diversos tipos se pueden agrupar en:

- **Centrifugas** Son el tipo más corriente de bombas rotodinámicas, y se denomina así porque la cota de presión que crean es ampliamente atribuible a la acción centrífuga. Figura 12

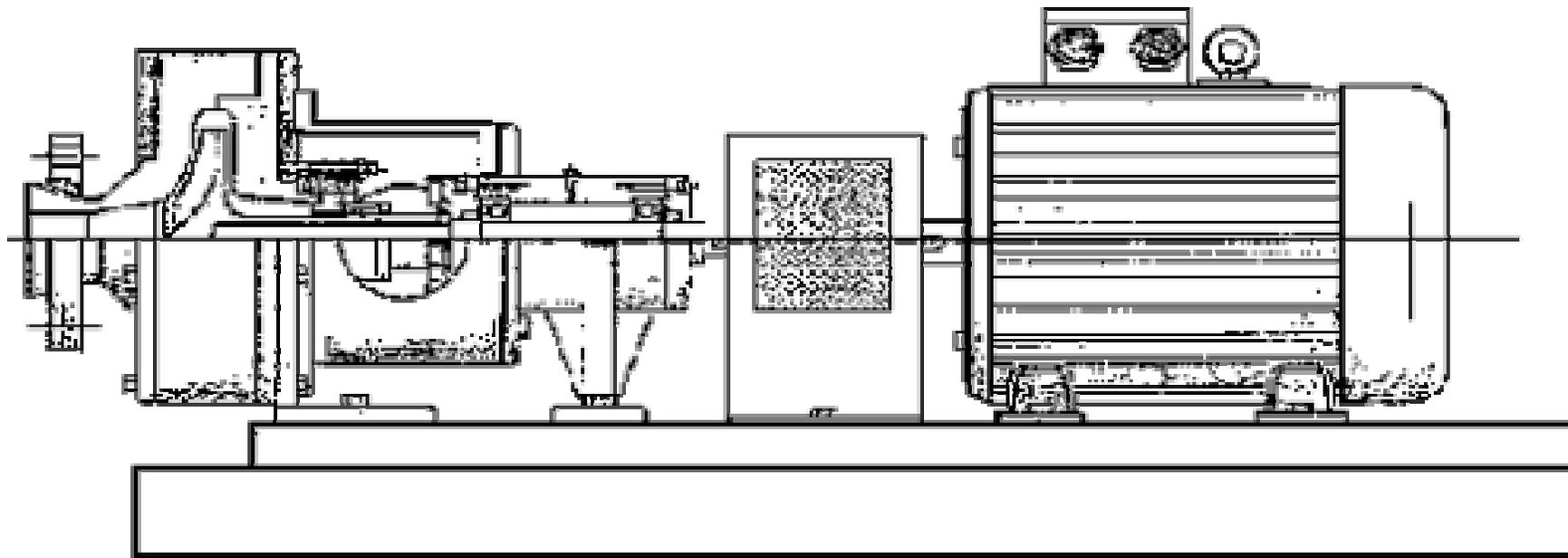


Figura 1.2 Bomba centrifuga

Pueden estar proyectadas para impulsar caudales tan pequeños como 1 gal/min. o tan grandes como 4.000.000 gal/min, mientras que la cota generada puede variar desde algunos pies hasta 400. El rendimiento de las de mayor tamaño puede llegar al 90% .

El rodete consiste en cierto número de álabes curvados en dirección contraria al movimiento y colocados entre dos discos metálicos. El agua entra por el centro u ojo del rodete y es arrastrada por los álabes y lanzada en dirección radial.

Esta aceleración produce un apreciable aumento de energía de presión y cinética. A la salida, el movimiento del fluido tiene componentes radial y transversal. Para que no haya una pérdida notable de energía, y por tanto de rendimiento, es esencial transformar en la mayor medida posible la considerable cota cinemática a la salida del rodete en la más útil cota de presión.

Normalmente, esto se consigue construyendo la carcasa en forma de espiral, con lo que la sección del flujo en la periferia del rodete va aumentando gradualmente.

Para caudales grandes se usa el rodete de doble aspiración, que es equivalente a dos rodetes de simple aspiración ensamblados dorso con dorso; esta disposición permite doblar la capacidad sin aumentar el diámetro del rodete. Es más cara de fabricar, pero tiene la ventaja adicional de solucionar el problema del empuje axial. En ambos casos, las superficies de guía están cuidadosamente pulimentadas para minimizar las pérdidas por rozamiento.

El montaje es generalmente horizontal, ya que así se facilita el acceso para el mantenimiento. Sin embargo, debido a la limitación del espacio, algunas unidades de gran tamaño se montan verticalmente.

Las proporciones de los rodetes varían dentro de un campo muy amplio, lo que permite hacer frente a una dilatada gama de condiciones de funcionamiento.

Por ejemplo, los líquidos con sólidos en suspensión (aguas residuales) pueden ser bombeados siempre que los conductos sean suficientemente amplios. Inevitablemente habrá alguna disminución de rendimiento.

Para que la bomba centrífuga esté en disposición de funcionar satisfactoriamente, tanto la tubería de aspiración como la bomba misma, han de estar llenas de agua.

Si la bomba se encuentra a un nivel inferior al del agua del pozo de aspiración, siempre se cumplirá esta condición, pero en los demás casos hay que expulsar el aire de la tubería de aspiración y de la bomba y reemplazarlo por agua; esta operación se denomina cebado.

El mero giro del rodete, aún a alta velocidad, resulta completamente insuficiente para efectuar el cebado y sólo se conseguirá recalentar los cojinetes.

Los dos métodos principales de cebado exigen una válvula de retención en la proximidad de la base del tubo de aspiración, o en las unidades mayores, la ayuda de una bomba de vacío.

En el primer caso, se hace entrar el agua de la tubería de impulsión o de cualquier otra procedencia, en el cuerpo de bomba y el aire es expulsado por una llave de purga.

Se ha desarrollado una bomba centrífuga, la cual fue concebida, teniendo como objetivos un rendimiento de trabajo que sea óptimo, una gran variedad de aplicaciones y un fácil mantenimiento del equipo.

El cuerpo húmedo de esta bomba, está fabricado en un polímero de grandes cualidades mecánicas y de excelente resistencia química. Estos materiales evitan las incrustaciones de partículas, y además no son afectados por problemas de cavitación.

Las aplicaciones de esta bomba son de óptimo rendimiento en plantas de ácido, agua de cola, aguas marinas, y en general en lugares con gran concentración de corrosivos. además tiene una muy buena aplicación en la industria alimenticia dado que no contamina los productos.

Las bombas están disponibles en materiales del acero termoplástico e inoxidable, diseños del mecanismo impulsor para las aplicaciones horizontales y verticales. La construcción rugosa proporciona una resistencia excelente al producto químico y a la corrosión.

- **Múltiples** Para alturas superiores a 200 pies se emplean normalmente bombas múltiples o bombas de turbina. Figura 13

Este tipo de bomba se rige exactamente por el mismo principio de la centrífuga y las proporciones del rodete son muy semejantes. Consta de un cierto número de rodetes montados en serie, de modo que el agua entra paralelamente al eje y sale en dirección radial.

La elevada energía cinética del agua a la salida del rodete se convierte en energía de presión por medio de una corona difusora formada por álabes directores divergentes. Un conducto en forma de S conduce el agua en sentido centrípeto hacia el ojo del rodete siguiente.

El proceso se repite en cada escalonamiento hasta llegar a la salida. Si se aplica un número suficiente de escalonamientos, puede llegarse a obtener



Figura 1.3 a Bomba de Turbina Vertical para Agua Pesada.

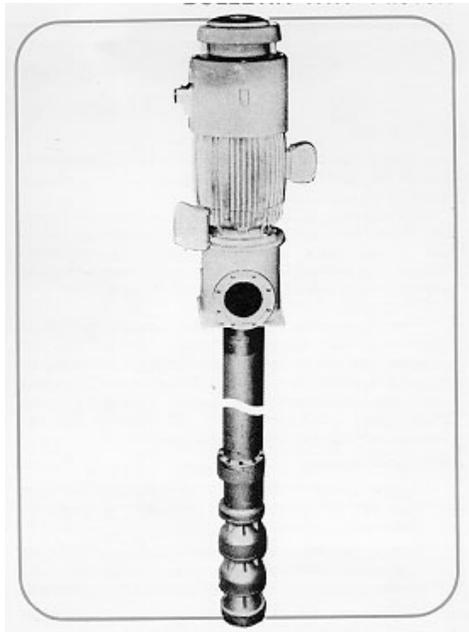


Figura 1.3 b Bomba de Agua con Turbina Vertical

una cota de 4.000 pies. De hecho, la cota máxima vendrá probablemente dictada por el costo de reforzamiento de la tubería más que por cualquier limitación de la bomba.

- **De columna** Son del tipo múltiple, con montaje vertical y diseñadas especialmente para la elevación del agua en perforaciones angostas, pozos profundos o pozos de drenaje.

Resultan adecuadas para perforaciones de un diámetro tan pequeño como 6 pulg. y con mayores diámetros son capaces de elevar cantidades de agua superiores a un millón de galones por hora desde profundidades de hasta 1.000 pies.

Normalmente se diseñan los rodetes de forma que lancen el agua en dirección radial-axial, con objeto de reducir a un mínimo el diámetro de perforación necesario para su empleo.

La unidad de bombeo consiste en una tubería de aspiración y una bomba situada bajo el nivel del agua y sostenida por la tubería de impulsión y el árbol motor. Dicho árbol ocupa el centro de la tubería y está conectado en la superficie al equipo motor.

Cuando la cantidad de agua que se ha de elevar es pequeña o moderada, a veces es conveniente y económico colocar la unidad completa de bombeo bajo la superficie del agua.

Así se evita la gran longitud del árbol, pero en cambio se tiene la desventaja de la relativa inaccesibilidad del motor a efectos de su mantenimiento.

- **De flujo axial** Este tipo de bomba es muy adecuado cuando hay que elevar un gran caudal a pequeña altura. Por esto, sus principales

campos de empleo son los regadíos, el drenaje de terrenos y la manipulación de aguas residuales, figura 1.4 a.

El rendimiento de esta bomba es comparable al de la centrífuga. Por su mayor velocidad relativa permite que la unidad motriz y la de bombeo sean más pequeñas y por tanto más baratas.

La altura máxima de funcionamiento oscila entre 30 y 40 pies. Sin embargo, es posible conseguir mayores cotas mediante 2 ó 3 escalonamientos, pero este procedimiento raramente resulta económico. Para grandes bombas se adopta generalmente el montaje vertical, pasando el eje por el centro de la tubería de salida.

El rodete es de tipo abierto, sin tapas, y su forma es análoga a la de una hélice naval. El agua entra axialmente y los álabes le imprimen una componente rotacional, con lo que el camino por cada partícula es una

hélice circular. La cota se genera por la acción impulsora o de elevación de los álabes, sin que intervenga el efecto centrífugo.

La misión de los álabes fijos divergentes o álabes directores es volver a dirigir el flujo en dirección axial y transformar la cota cinemática en cota de presión.

Para evitar la creación de condiciones favorables al destructivo fenómeno de cavitación, la bomba de flujo axial se ha de proyectar para poca altura de aspiración.

De hecho, es preferible adoptar en la que el rodete permanezca siempre sumergido, ya que así la bomba estará siempre cebada y lista para comenzar a funcionar.

El objeto del sifón es evitar el riesgo de que se averíe la válvula de retención, que de otro modo tendría lugar una inversión del flujo en la tubería, con lo que la bomba funcionaría como una turbina. La acción sifónica se interrumpe mediante una válvula de mariposa.

Esta válvula está en ligero equilibrio hacia la posición de abierta y en el instante en que cesa el bombeo, la válvula se abre y entra el aire, con lo que se evita la inversión del flujo.

La estación de bombeo puede automatizarse por medio de electrodos inmersos en el pozo de aspiración para controlar el funcionamiento de la bomba.

- **De flujo mixto** La bomba de flujo mixto ocupa una posición intermedia entre la centrífuga y la de flujo axial, figura 1.4 b. El flujo es

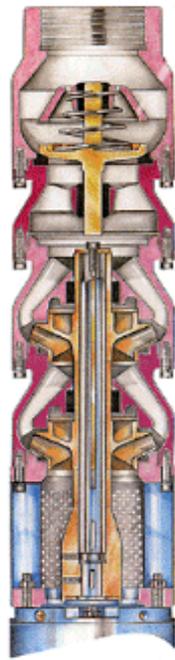


Figura 1.4 a. Bomba de flujo axial

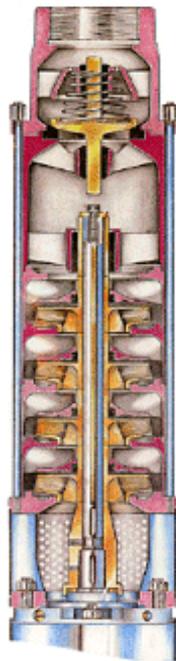


Figura 1.4 b . Bomba de flujo mixta

- en parte radial y en parte axial, siendo la forma del rodete acorde con el b.

La trayectoria de una partícula de fluido es una hélice cónica. La cota que se consigue puede ser hasta de 80 pies por rodete, teniendo la ventaja sobre la bomba axial de que la potencia que ha de suministrar el motor es casi constante aunque se produzcan variaciones considerables de cota.

La recuperación de la cota de presión se consigue mediante un difusor, un caracolo una combinación de ambos.

- **De paleta** Existen varios tipos de bombas de paletas, ellas podrán ser:

- De paletas deslizantes, con un número variante de ellas montadas en un rotor ranurado. Según la forma de la caja se subdividen en bombas de simple, doble o triple cámara, si bien raramente se emplean tales denominaciones. La mayoría de las bombas de paletas deslizantes son de una cámara. Como estas máquinas son de gran velocidad de capacidades pequeñas o moderadas y sirven para fluidos poco viscosos.

- Bomba pesada de paleta deslizante, con una sola paleta que abarca todo el diámetro. Se trata de una bomba esencialmente lenta, para líquidos muy viscosos.

- Bombas de paletas oscilantes, cuyas paletas se articulan en el rotor. Es otro de los tipos pesados de bomba de paleta.

- Bombas de paletas rodantes, también con ranuras en el rotor pero de poca profundidad, para abajar rodillos de elastómero en el lugar de paletas, se trata de un modelo patentado.

- Bomba de leva y paleta, con una sola paleta deslizante en una ranura mecanizada en la caja cilíndrica y que, al mismo tiempo, encaja en otra ranura de un anillo que desliza sobre un rotor accionado y montado excéntricamente. El rotor y los anillos que ejercen el efecto de una leva que inicia el movimiento de la paleta deslizante. Así se elimina el rascado de las superficies. Se trata de una forma patentada que se emplea principalmente como bomba de vacío.

- Bomba de paleta flexible, que abrazan un rotor de elastómero de forma esencial giratorio dentro de una caja cilíndrica. En dicha caja va un bloque en media luna que procura un paso excéntrico para el barrido de las paletas flexibles de rotor.

- **De tornillo** Las bombas de tornillo son un tipo especial de bombas rotatorias de desplazamiento positivo, en el cual el flujo a través de los elementos de bombeo es verdaderamente axial.

El líquido se transporta entre las cuerdas de tornillo de uno o más rotores y se desplaza axialmente a medida que giran engranados.

La aplicación de las bombas de tornillo cubren una gama de mercados diferentes, tales como en la armada, en la marina y en el servicio de aceites combustibles, carga marítima, quemadores industriales de aceite, servicio de lubricación de aceite, procesos químicos, industria de petróleo y del aceite crudo, hidráulica de potencia para la armada y las máquinas - herramientas y muchos otros.

La bomba de tornillo puede manejar líquidos en una gama de viscosidad como la melaza hasta la gasolina, así como los líquidos sintéticos en una gama de presiones de 50 a 5.000 lb/pulg² y los flujos hasta de 5.000 gpm .

Debido a la relativamente baja inercia de sus partes en rotación, las bombas de tornillo son capaces de operar a mayores velocidades que otras bombas rotatorias o alternativas de desplazamiento comparable .

Algunas bombas de lubricación de aceite de turbina adjunta operan a 10.000 rpm y aún mayores. Las bombas de tornillo, como otras bombas rotatorias de desplazamiento positivo son de autocebado y tienen una característica de flujo que es esencialmente independiente de la presión .

La bomba de tornillo simple existe sólo en número limitado de configuraciones. La rosca es excéntrica con respecto al eje de rotación y

engrana con las roscas internas del estator (abojamiento del rotor o cuerpo).

Alternativamente el estator está hecho para balancearse a lo largo de la línea de centros de la bomba.

Las bombas de tornillos múltiples se encuentran en una gran variedad de configuraciones y diseños. Todos emplean un rotor conducido engranado con uno o más rotores de sellado. Varios fabricantes cuentan con dos configuraciones básicas disponibles, la construcción de extremo simple o doble, de las cuales la última es la más conocida.

Como cualquier otra bomba, hay ciertas ventajas y desventajas en las características de diseño de tornillo. Estos deben de reconocerse al seleccionar la mejor bomba para una aplicación particular.

Entre algunas ventajas de este tipo tenemos:

1. Amplia gama de flujos y presiones.
2. Amplia gama de líquidos y viscosidad.
3. Posibilidad de altas velocidades, permitiendo la libertad de seleccionar la unidad motriz.
4. Bajas velocidades internas.
5. Baja vibración mecánica, flujo libre de pulsaciones y operaciones suaves.
6. Diseño sólido y compacto, fácil de instalar y mantener.
7. Alta tolerancia a la contaminación en comparación con otras bombas rotatorias.

Entre algunas desventajas de este tipo tenemos:

1. Costo relativamente alto debido a las cerradas tolerancias y claros de operación.
2. Características de comportamiento sensibles a los cambios de viscosidad.
3. La capacidad para las altas presiones requiere de una gran longitud de los elementos de bombeo.

- **De diafragma** En la bomba de simple diafragma, este es flexible, va sujeto a una cámara poco profunda y se mueve por un mecanismo unido a su centro. Con el mando hidráulica del diafragma, mediante impulsos de presión iniciados en una cámara de fluidos conectada a un lado del diafragma, se consigue el mismo funcionamiento. Por tanto, los tipos principales de bombas de diafragma son:

- Mando mecánico.
- Mando hidráulica

En las últimas, la citada presión pulsatoria deriva normalmente de una bomba de pistón, con lo que se pueden designar como bombas de pistón diafragma.

- **De pozo profundo** Cada vez se utilizan más de las bombas para gran profundidad, en lugar de las autocebado, de desplazamiento positivo para vaciado de fondos y aplicaciones análogas, cuando la bomba puede funcionar sumergida o cuando la interrupción de la descarga es temporal y ocurre solamente cuando las perturbaciones del nivel inferior del líquido son de importancia. Las principales ventajas a este tipo de bombas son:

1. Funcionamiento más fácilmente regulable.
2. Gran capacidad y rendimiento y además, a grandes velocidades.
3. Tolerancia ante los contaminantes en el fluido.
4. Sumamente compacta, tanto en servicio vertical como en horizontal.
5. Funcionamiento silencioso.

6. Amplio campo de elección de un motor apropiado.
7. Facilidad de drenaje automático o de desmontarla (vertical) para inspección o mantenimiento. La primera de estas ventajas puede ser fundamental cuando el fluido es peligroso.

La instalación de una bomba para gran profundidad no deja de presentar problemas. Notablemente por el hecho de que suele suspenderse de una cubierta superior. A veces requiere una fijación rígida que la abrace e impida la flexión del tramo vertical colgante, bajo sollicitaciones de vaivén.

1.2 VENTAJAS DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS

La bomba centrífuga es preferida en virtud de las siguientes características favorables:

1. Sencillez de construcción.
2. Ausencia de válvulas y parte con movimiento alternativo.
3. Pocas piezas móviles.
4. Ausencia de tolerancias muy estrictas.
5. Mínimas pérdidas de potencia por transmisión.
6. Caudal constante sin pulsaciones.
7. Funcionamiento en vacío sin excesivo aumento de presión.
8. Ausencia de contacto entre el lubricante y el líquido de bombeo.
9. Es compacta y pesa poco.
10. Puede montarse en conexión directa con los motores corrientes.
11. Su capacidad de adaptación para ser impulsada por motor eléctrico, turbina ,etc.
12. El pequeño espacio necesario para su instalación.
13. Funcionamiento silencioso.
14. Los costos bajos de mantenimiento.
15. De fácil mantenimiento y pocas averías.
16. Vida prolongada.

1.3 CLASIFICACION DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS

Siendo tan variados los tipos de bombas que existen, es muy conveniente hacer una adecuada clasificación; muchas de estas clasificaciones se refieren al impulsor o rodete. El Instituto Hidráulico, hace la siguiente clasificación:

1. Dirección de flujo en el rodete.

- Bomba de flujo radial.
- Bomba de flujo mixto.
- Bomba de flujo axial.

2. Tipo de succión

- Succión simple
- Succión doble

- Succión negativa (nivel del líquido inferior al de la bomba).
- Succión positiva (nivel del líquido superior al de la bomba).
- Succión a presión (la bomba succiona el líquido de una cámara hermética donde se encuentra ahogada y a donde llega el líquido a presión)

3. Número de rodetes

- De un escalonamiento o paso.
- De varios escalonamientos o pasos.

4. Construcción mecánica del rodete

- Rodete cerrado (succión simple y succión doble)
- Rodete semiaabierto

- Rodete abierto

5. Presión generada

- Bombas de baja presión
- Bombas de media presión
- Bombas de alta presión

6. Sentido de rotación del rodete

- En el sentido de las manecillas del reloj
- En el sentido contrario a las manecillas del reloj

La rotación de la bomba horizontal se determina, mirando desde el motor hacia la bomba, o mirando hacia abajo en una bomba vertical.

7. Posición del eje de rotación

- Bomba de eje horizontal
- Bomba de eje vertical
- Bomba de eje inclinado

8. Diseño mecánico de cubiertas o carcazas

- Bombas de sección axial
- Bombas de sección radial

9. Materiales de construcción

Nuestro análisis se concentrara primero en los materiales mas comúnmente usados para partes por separados. Las designaciones del material frecuentemente usados son:

- Bomba estándar (hierro y bronce)
- Bomba toda de hierro
- Bomba toda de bronce
- Bomba de acero inoxidable
- Bomba de acero con partes internas de hierro o acero inoxidable

1.4 ELEMENTOS BÁSICOS DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA

Los elementos que conforman una bomba centrífuga los podemos clasificar en :

- Elementos giratorios (impulsor y flecha)
- Elementos estacionarios (carcasa, caja prensa estopa o estoperos y cojinetes)

1.4.1 Impulsor El impulsor es el corazón de la bomba centrífuga. Hace girar la masa de líquido con la velocidad periférica de las extremidades de los alabes, determinando así la altura de elevación producida o la presión de la bomba.

Es necesario que el líquido llene el ojo de succión del impulsor y los pasajes curvos para poder recibir la energía transmitida. Se considera que toda la energía que el fluido posee en la salida del impulsor es la de velocidad. El líquido al ser descargado del impulsor a alta velocidad

encuentra en su camino la voluta de sección transversal creciente en dirección a la descarga, de tal manera que la velocidad del fluido se reduce gradualmente y se transforma en energía potencial (ver figura 1.5)

Clasificación de los impulsores.

- Tipo de succión
- Forma de los alabes
- Constante mecánica
- Velocidad específica

1.4.1.1 Tipo de succión

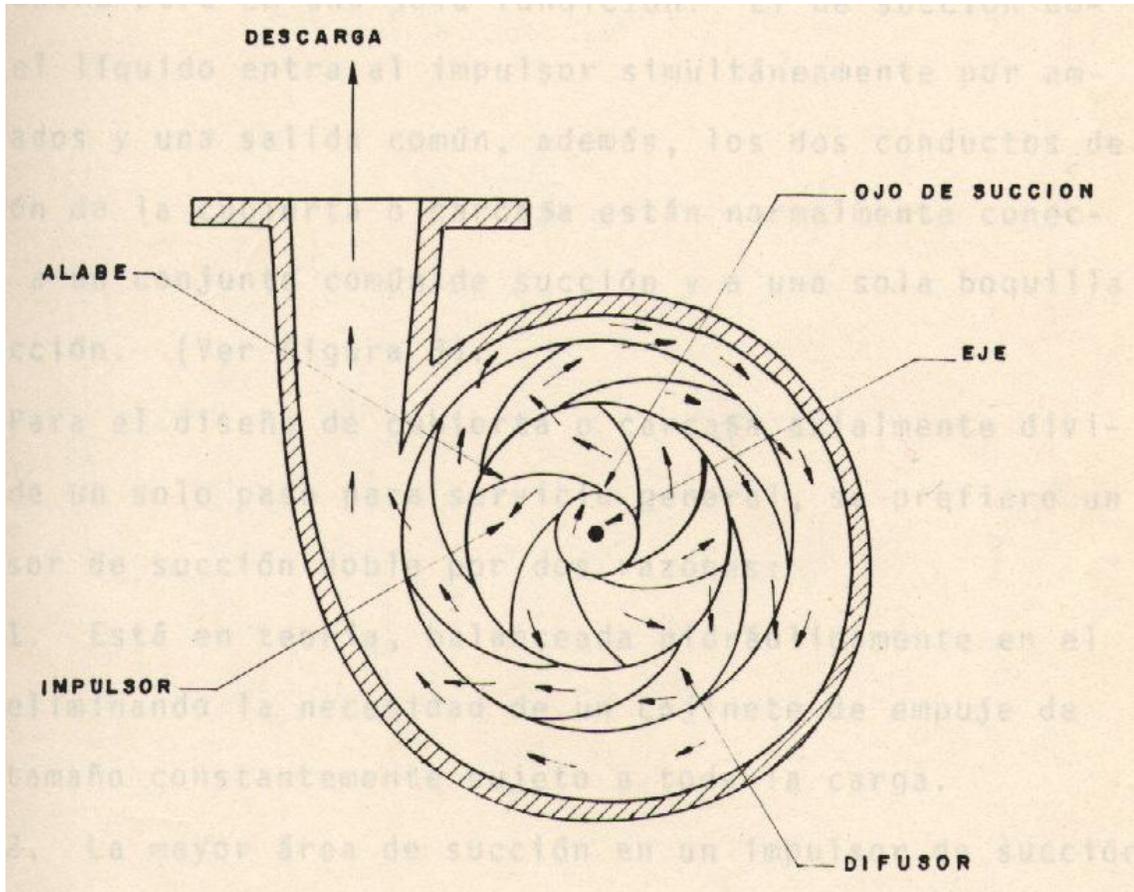


Figura 1.5 Partes de un impulsor y su posición de trabajo

- **Succión simple** En un impulsor de succión simple el líquido entra al ojo de succión solo por un lado, figura 1.6. Para unidades pequeñas el impulsor de succión simple es más práctico para fabricarse porque las vías de agua no se pueden dividir en dos conductos estrechos. La mayoría de las bombas con cubiertas radialmente divididas, usan impulsores de succión simple. Debido a que el impulsor simple no requiere una extensión de la flecha dentro de su ojo de succión, se prefiere para las bombas que manejan materias en suspensión como las aguas de albañal.

- **Succión doble** Un impulsor de succión doble es de hecho un par de impulsores de succión simple arreglado uno contra otro en una sola fundición, el líquido entra al impulsor simultáneamente por ambos lados. En los impulsores de doble succión los dos conductos de succión de la cubierta están normalmente conectados a un conducto común de succión y a una sola boquilla de succión, (ver Fig.1.7)

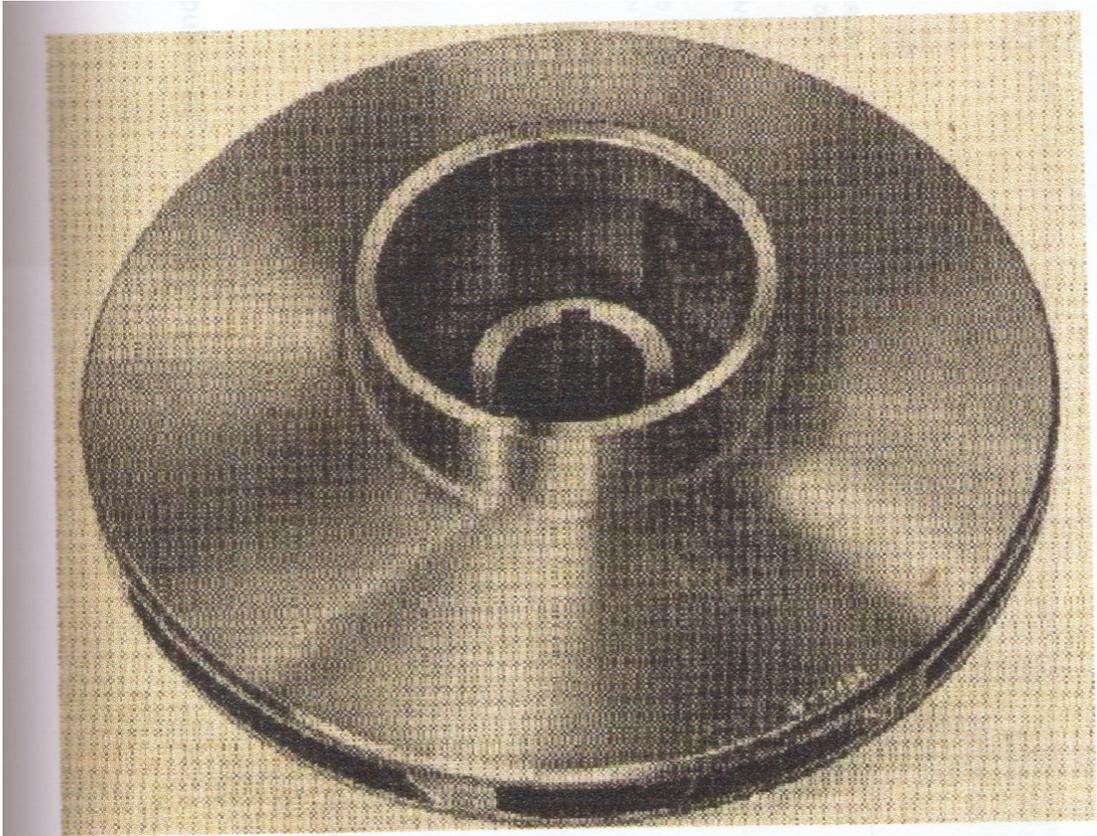


Figura 1.6 Impulsor cerrado de admisión sencilla con alabes derecho.

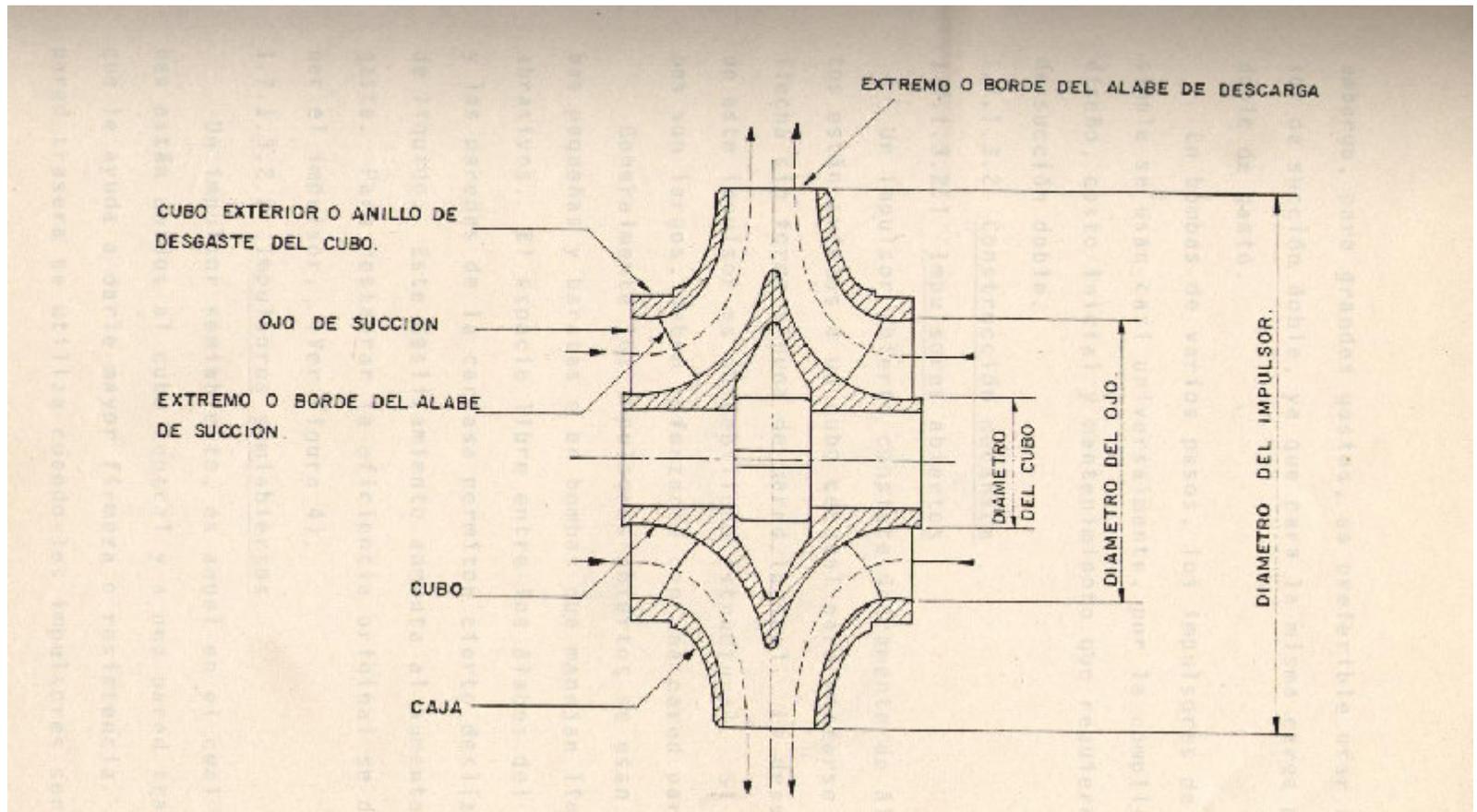


Figura 1.7 Partes de un impulsor de doble admisión

Para el diseño de cubierta o carcasa axialmente dividida de un solo paso para servicio general se prefiere un impulsor de succión doble por dos razones :

1. Esta en teoría balancea hidráulicamente en el eje eliminando la necesidad de un cojinete de empuje de gran tamaño constantemente sujeto a toda la carga.

2. La mayor área de succión en un impulsor de doble succión, comparada con el diseño de uno de succión simple permite que la bomba opere con menos carga positiva de succión neta para una capacidad dada.

1.4.1.2 Forma de los alabes

- **Alabes derechos** En un impulsor de alabes derechos la superficie de los alabes se generan por líneas rectas paralelas al eje de rotación. A estos también se les llama de curvatura simple, figuras 1.8 y 1.9.
- **Alabes Francis** La superficie de los alabes en un impulsor de alabes Francis tiene doble curvatura. A este impulsor con frecuencia se le llama alabe de tornillo, figura 1.10 y 1.11.
- **Impulsor de flujo mixto** Un impulsor de flujo mixto está diseñado de tal forma que tiene tanto componente de flujo radial como axial, figura 1.12.
- **Impulsor de flujo axial o propulsor** El impulsor de flujo axial el flujo es estrictamente paralelo al eje de rotación, figura 1.13.

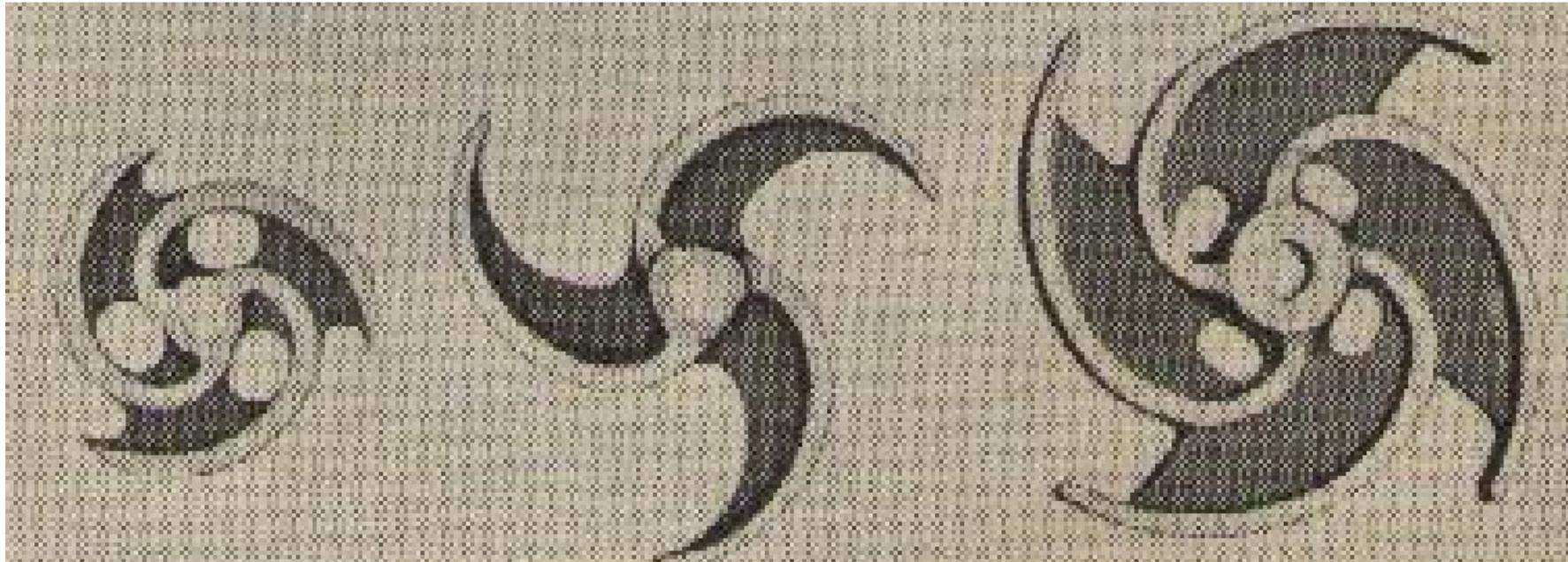


Figura 1.8 Impulsores abiertos

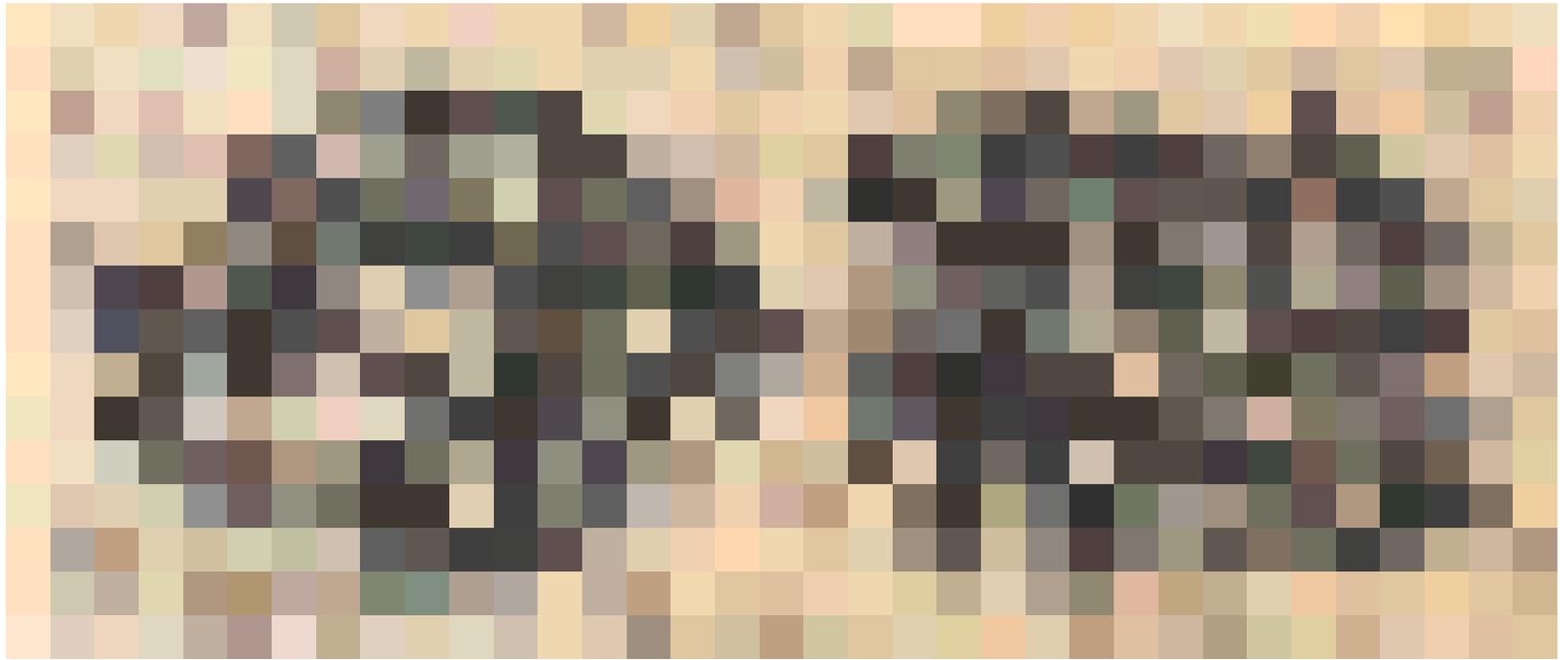


Figura 1.9 Impulsor abierto con caja parcial

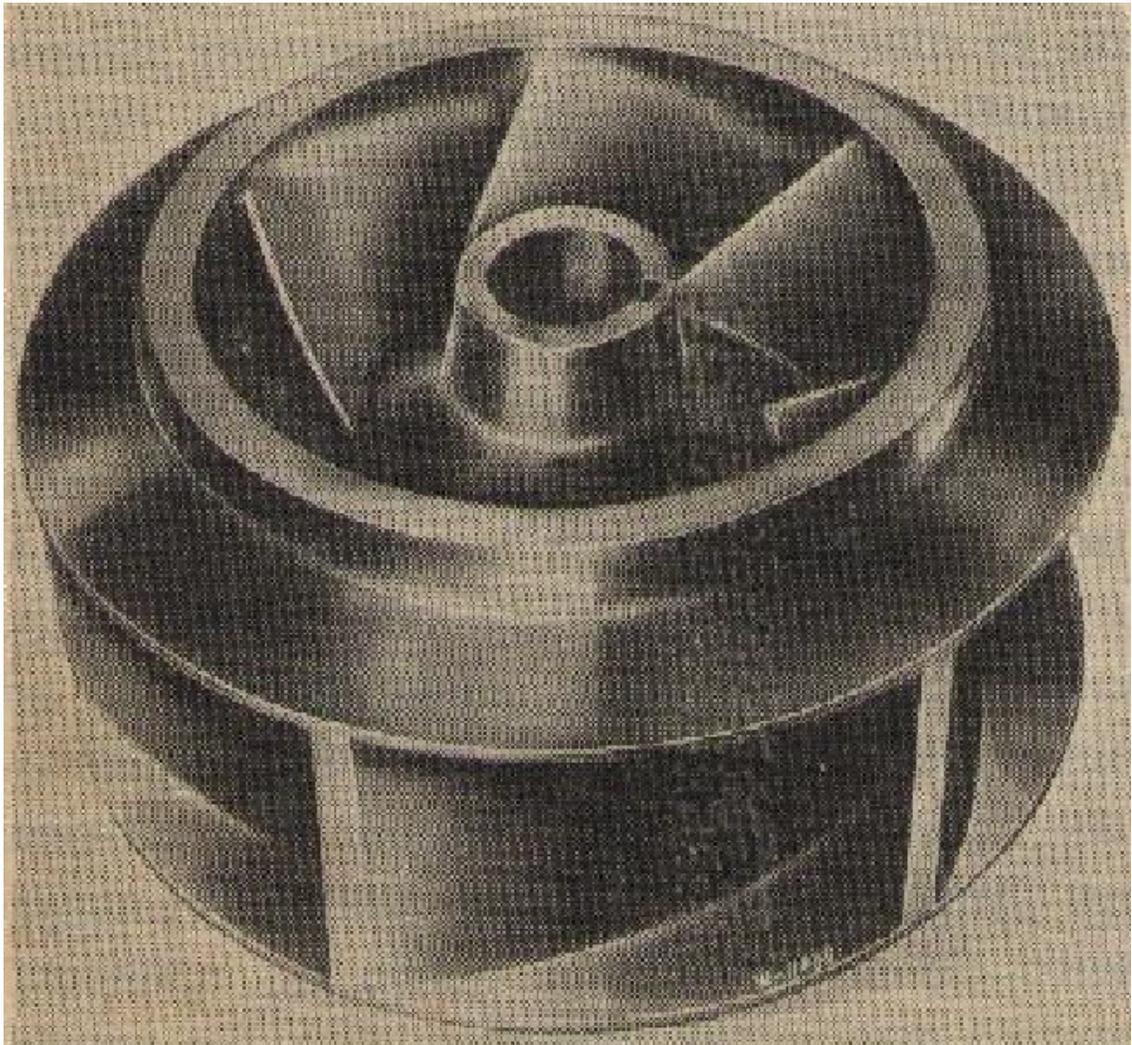


Figura 1.10 Impulsor cerrado de doble admisión con alabes Francis.

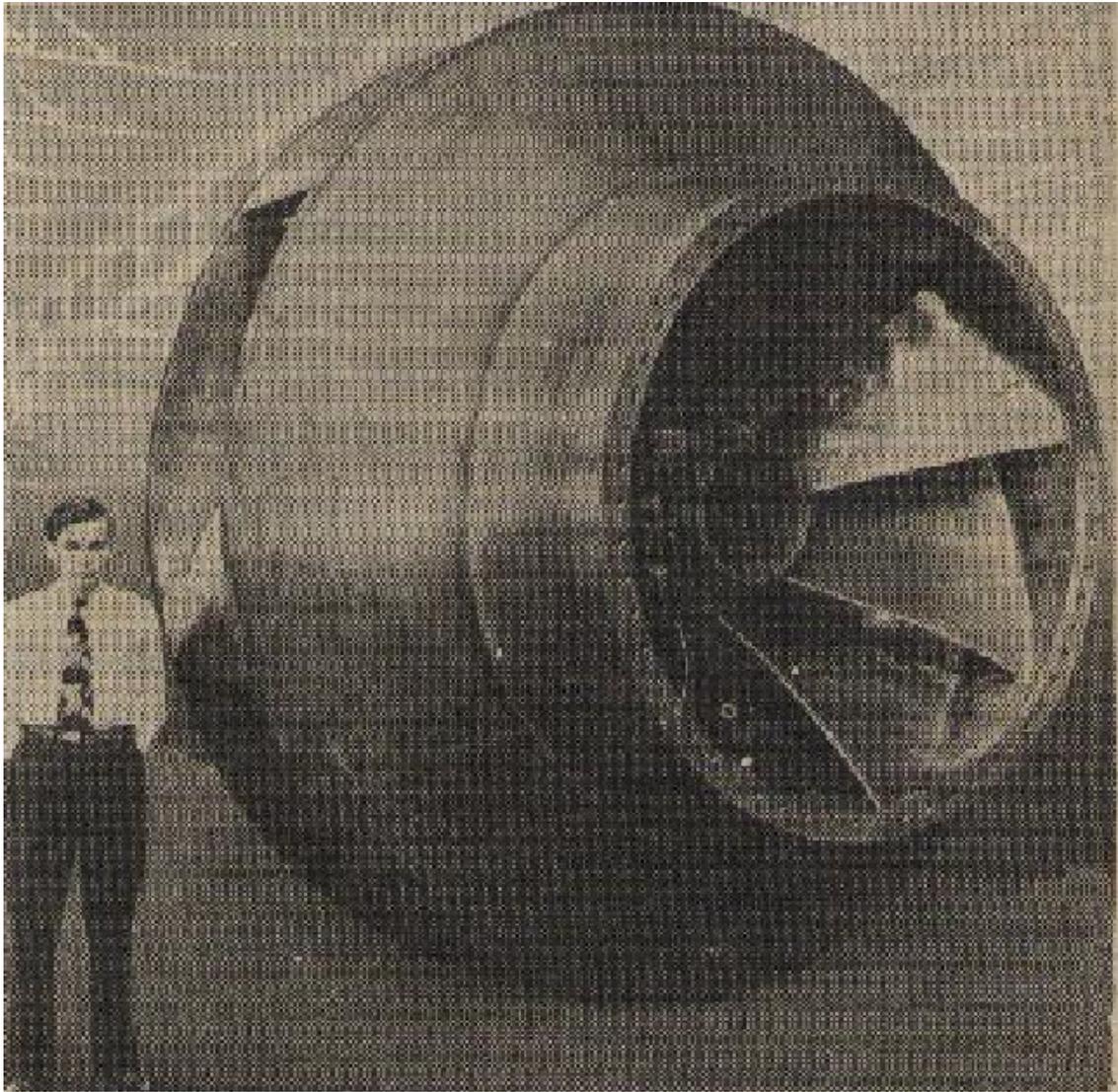


Figura 1.11 Impulsor cerrado de admisión simple con alabes Francis de baja velocidad.

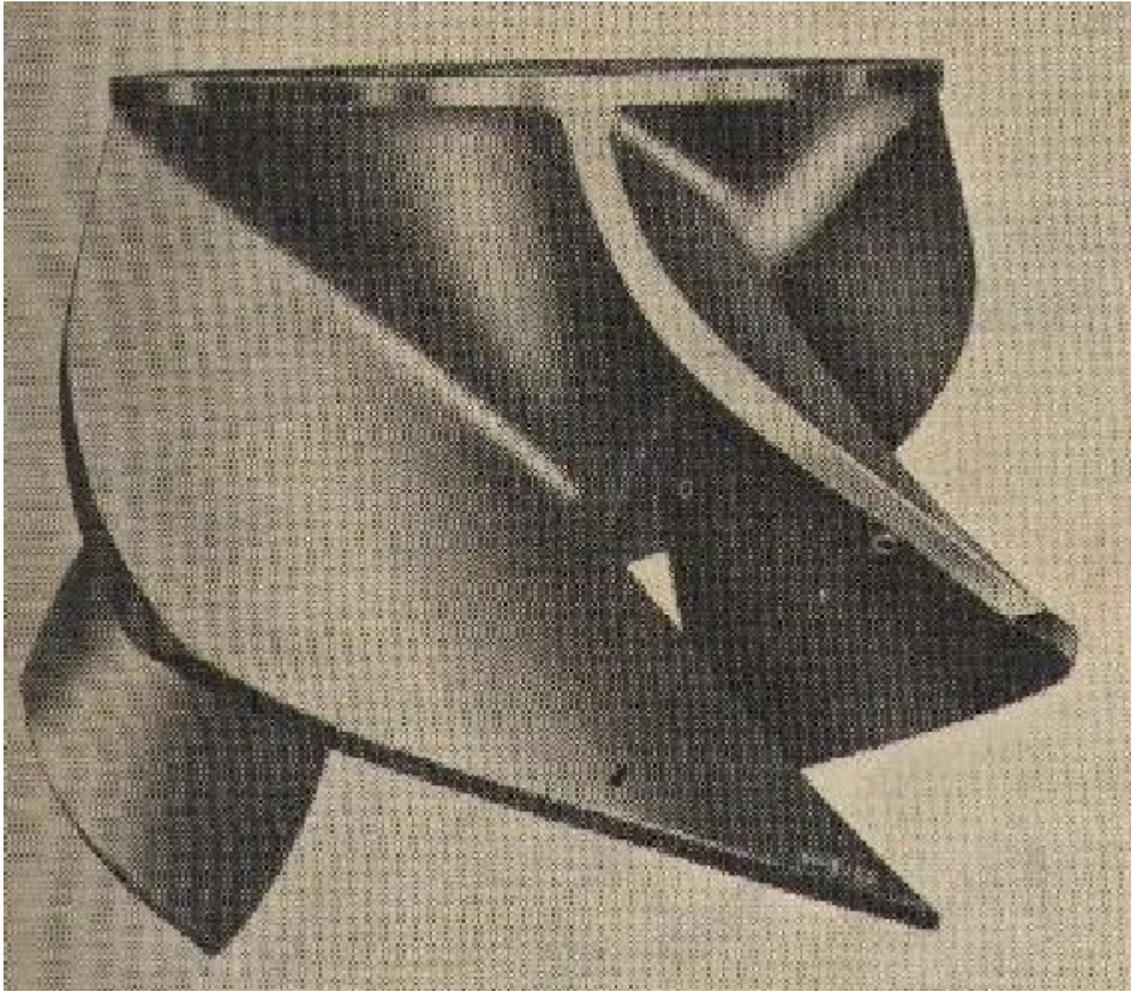


Figura 1.12 Impulsor abierto de flujo mixto

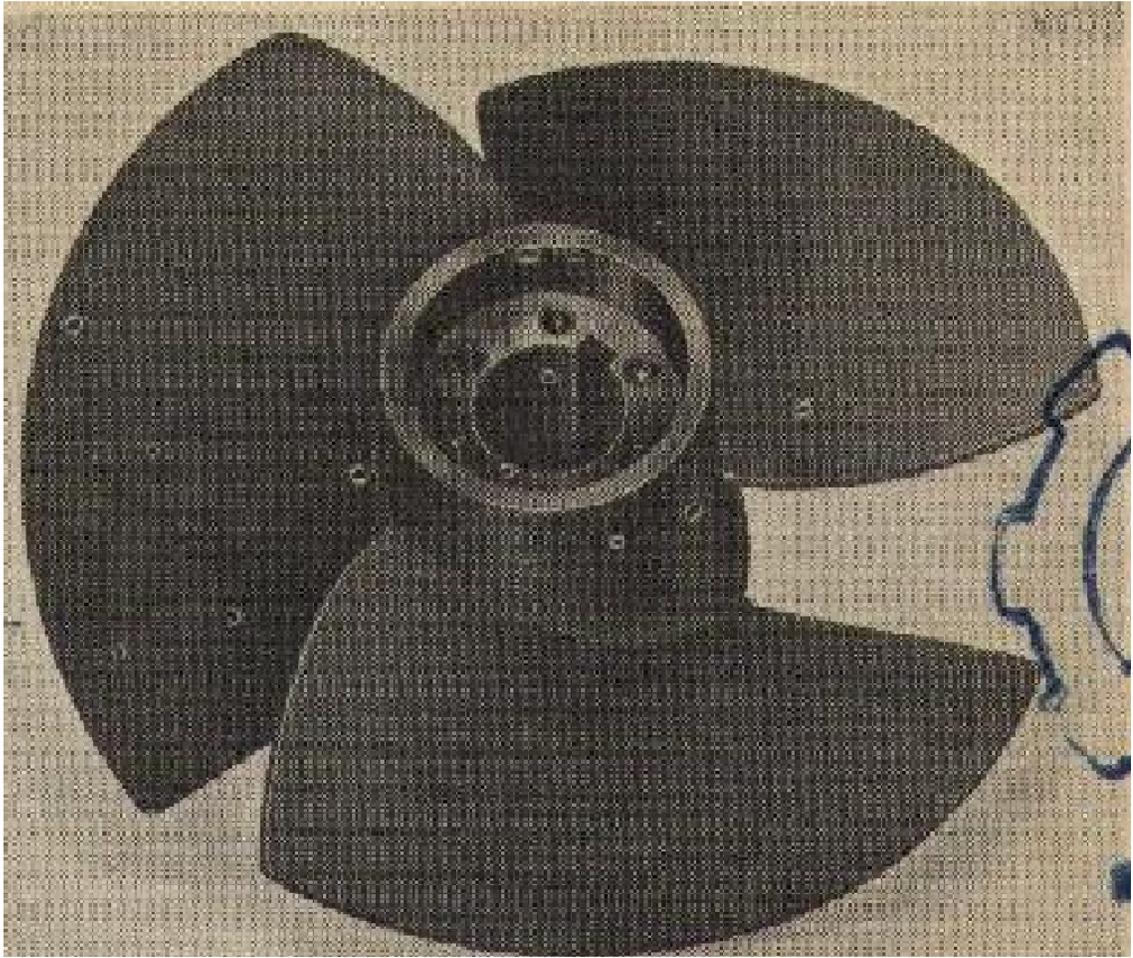


Figura 1.13 Impulsor de flujo axial

1.4.1.3 Velocidad específica La relación de perfiles de impulsor a velocidad específica para impulsores de admisión se muestra en la figura 1.14.

1.4.1.4 Constante mecánica

- **Impulsor abierto** Un impulsor abierto consiste únicamente de alabes figura 1.8 y 1.15. Estos están sujetos a un cubo central para montarse en la flecha sin forma alguna de pared lateral.

Las desventajas de este impulsor es su debilidad estructural. Si los alabes son largos, deben reforzarse con costillas o una cubierta parcial. Generalmente los impulsores abiertos se usan en bombas pequeñas y baratas o en bombas que mantienen líquidos abrasivos (en las que el impulsor gira entre dos placas laterales, entre las paredes de la cubierta

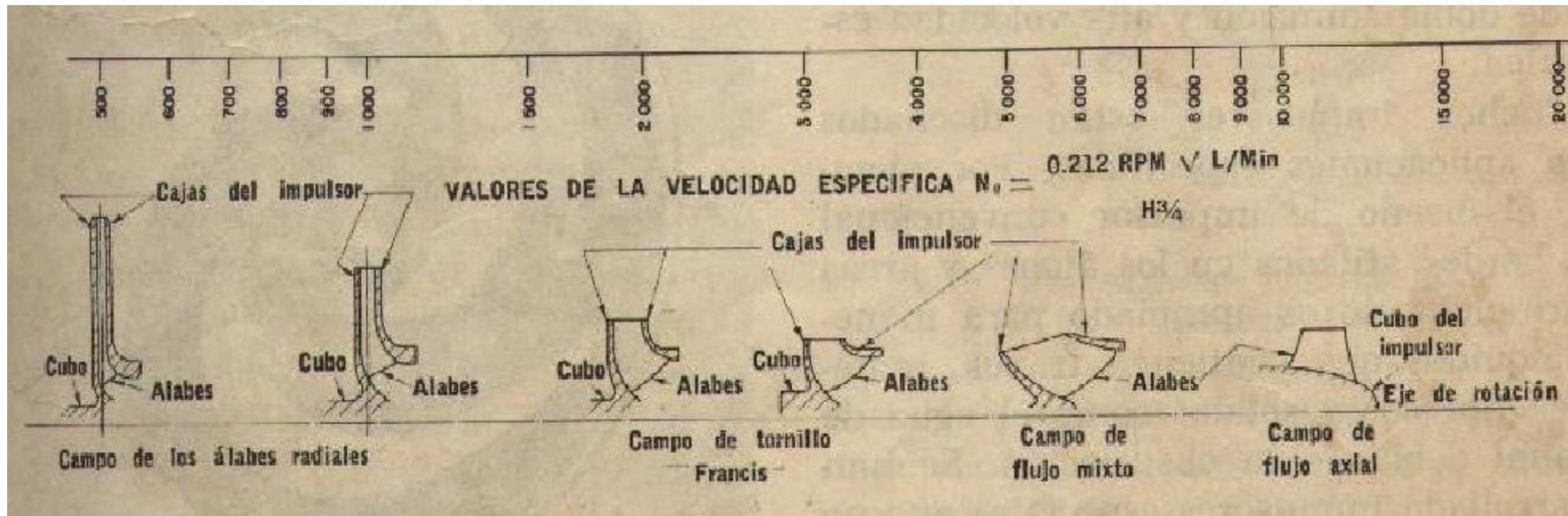


Figura 1.14 Variaciones del perfil de los impulsores que muestran el campo aproximado de las velocidades específicas.

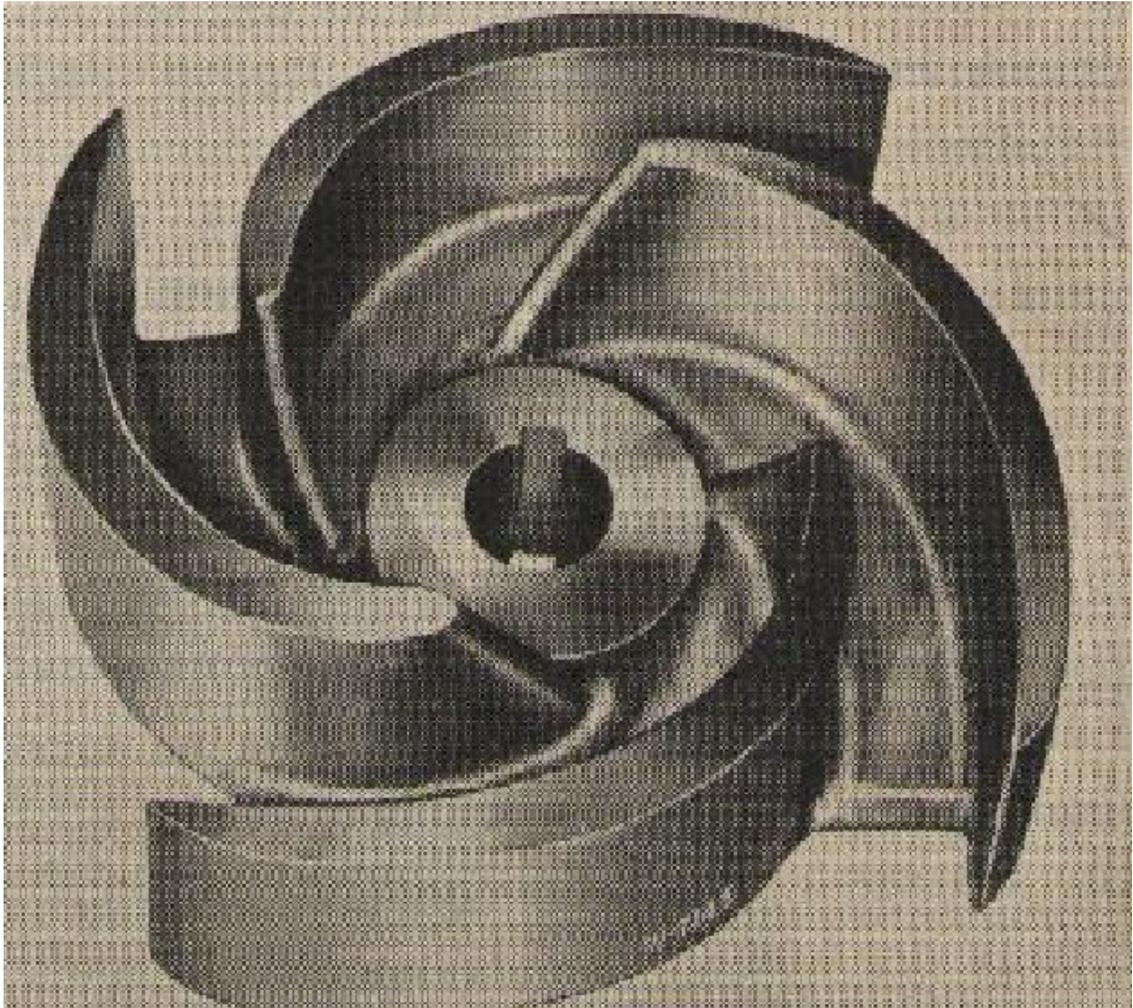


Figura 1.15 Impulsor abierto con caja parcial

de la voluta o entre la tapa del estopero y la de succión). El espacio libre entre los alabes del impulsor y las paredes laterales permite cierto

deslizamiento de agua. Este deslizamiento de agua aumenta al aumentar el desgaste. Para restaurar la eficiencia original se debe reponer tanto el impulsor como las placas laterales

- **Impulsor semiaabierto** El impulsor semiaabierto comprende una cubierta o pared trasera del mismo. Se puede incluir o no alabes de salida los cuales están localizados en la parte posterior de la cubierta del impulsor, figura 1.16. Su función es reducir la presión en el cubo posterior del impulsor y evitar que la materia extraña que se bombea se acumule atrás del impulsor e interfiera con la operación apropiada de la bomba y del estopero.

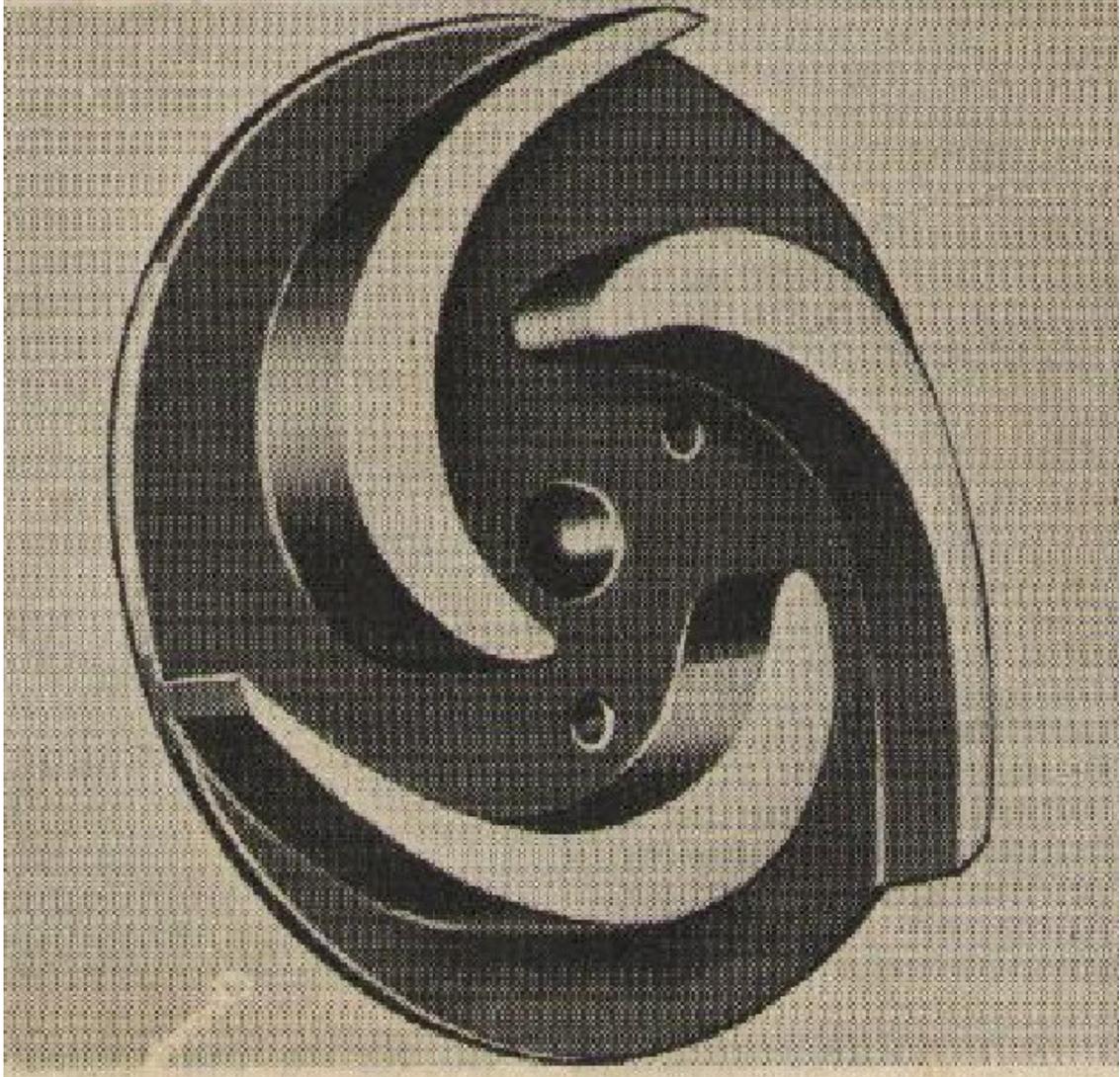


Figura 1.16 Impulsor sem iab ierto.

- **Impulsor cerrado** El impulsor cerrado casi siempre se utiliza para bombas que manejan líquidos limpios, consiste de cubiertas o paredes laterales que encierran totalmente las vías de agua del impulsor desde el ojo de succión hasta la periferia figura 1.6. Aunque este diseño evita el escurrimiento de agua que ocurre entre un impulsor abierto o semiaabierto y sus placas laterales, es necesario una junta móvil entre el impulsor y la cubierta para separar las cámaras de succión y descarga de la bomba. Esta junta móvil generalmente formada por una superficie cilíndrica relativamente corta en la cubierta del impulsor que gira dentro de una superficie cilíndrica estacionaria ligeramente más grande.

1.4.1.5 Nomenclatura de impulsores La entrada del impulsor precisamente ante de los alabes se llama ojo de succión, figura 1.7. En una bomba de impulsor cerrado el diámetro del ojo de succión se toma como el diámetro interior más pequeño de cubierta. Para determinar el área del ojo de succión, se resta el área ocupada por el cubo de la flecha del impulsor.

Por definición el cubo es la parte central, generalmente cilíndrica de una rueda. En el campo de las bombas centrífugas, el término se aplica solo a la parte central de un impulsor que aloja la flecha de la bomba.

1.4.2 Flecha La función básica de la flecha de una bomba centrífuga es transmitir los momentos de flexión o torque que se presentan al arrancar y durante la operación, mientras esta soportando el impulsor y las otras partes giratorias. Debe ejecutar este trabajo con una desviación menor que el espacio libre mínimo que hay entre las partes giratorias y las estacionarias.

Las cargas que intervienen en la flecha son :

1. Torques
2. El peso de las partes
3. La fuerza hidráulicas tanto radiales como axiales

Al diseñar una flecha de desviación máxima permisible, la distancia entre apoyos o de extremos volantes y la localización de cargas deben considerarse .

Otro factor que se debe tener muy en cuenta es la velocidad crítica del diseño resultante ya que esta es un factor clave para la selección de diámetros de flecha.

Las flechas generalmente están proporcionadas para resistir el esfuerzo que se aplica al arrancar súbitamente una bomba, por ejemplo, cuando el motor impulsor esta conectado directamente en la línea. Si la bomba maneja líquidos calientes, la flecha esta diseñada para resistir el esfuerzo aplicado cuando la unidad se arranca fría sin un calentamiento preliminar.

Las flechas de las bombas generalmente se protegen de la erosión, corrosión y desgaste de los estoperos, juntas de escurrimientos, cojinetes interiores y en las vías de agua con manguillos renovables.

1.4.3 Carcasa La función de la carcasa o cubierta en una bomba centrífuga es convertir la energía de velocidad impartida al líquido por el impulsor en energía de presión. Esto se lleva a cabo mediante la reducción de velocidad por un aumento gradual del área. También tiene la función de guiar el líquido hacia el tubo de descarga.

1.4.3.1 Clasificación de las carcasas

- **Manera de efectuar la conversión de energía**

- **La carcasa o cubierta tipo circular** Consta de una cámara anular entorno al impulsor, sin que se haga ningún intento por vencer las pérdidas debidas a los choques y remolinos que se producirán cuando entra a la cámara el líquido que sale del impulsor a velocidades relativamente elevadas. Es raro que se utilicen estas cajas .

- **La carcasa o cubierta tipo voluta** Recibe su nombre de la envoltura en forma de espiral que rodea el impulsor. Con un área de sección transversal creciente al acercarse a la salida.

La espiral o voluta convierte la energía de velocidad que imparte al líquido el impulsor en energía de presión con pérdidas relativamente bajas.

La voluta o espiral de una bomba centrífuga aumenta en área desde su punto inicial hasta que circunda los 360° alrededor del impulsor y luego se ensancha a la abertura final de descarga, ver figura 1.17.

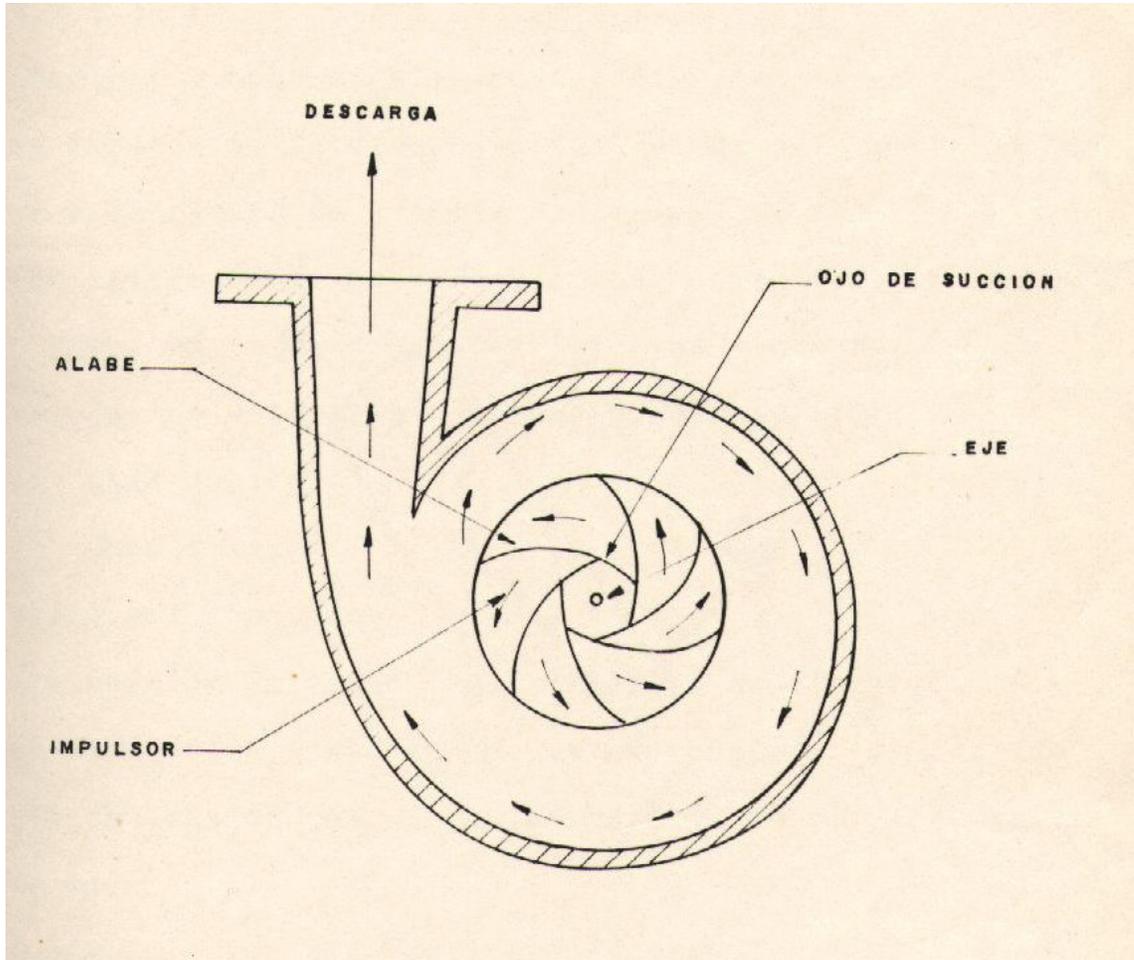


Figura 1.17 Partes de un impulsor y su carcasa tipo voluta.

Debido a que la voluta no es simétrica, existe un desbalanceo de presiones, lo cual origina una fuerza radial muy apreciable sobre todo si la bomba se trabaja con gastos alejados y menores al gasto del punto máximo de eficiencia.

La magnitud de este empuje radial es una función de la carga, diámetro del impulsor, ancho del mismo y diseño de la misma carcasa. Cuando se requiere eliminar el problema del empuje radial que se produce en una bomba de simple voluta, se usa bomba de doble voluta en la cual cada voluta toma la mitad del gasto, y cada una de ellas tiene su garganta colocada 180° distante. Esta variante se usa solamente en bombas grandes.

- **Carcasa o cubierta tipo difusor** Recibe su nombre de la corona directriz o corona de alabes fijos. Se interponen difusores de guía entre el impulsor y la cámara de la caja.

El sistema difusor de una bomba consta de tres elementos :

1. Corona directriz o corona de alabes fijos
2. Caja espiral
3. Cono difusor

La función de estos tres elementos es el mismo, transformar la energía dinámica que da el rodete o impulsor en energía de presión con el mínimo posible de pérdida, ver figura 1.18 .

La principal aplicación de las bombas de alabes difusores es en las bombas de varios pasos con impulsores en serie y cargas elevadas.

- **Según su construcción**

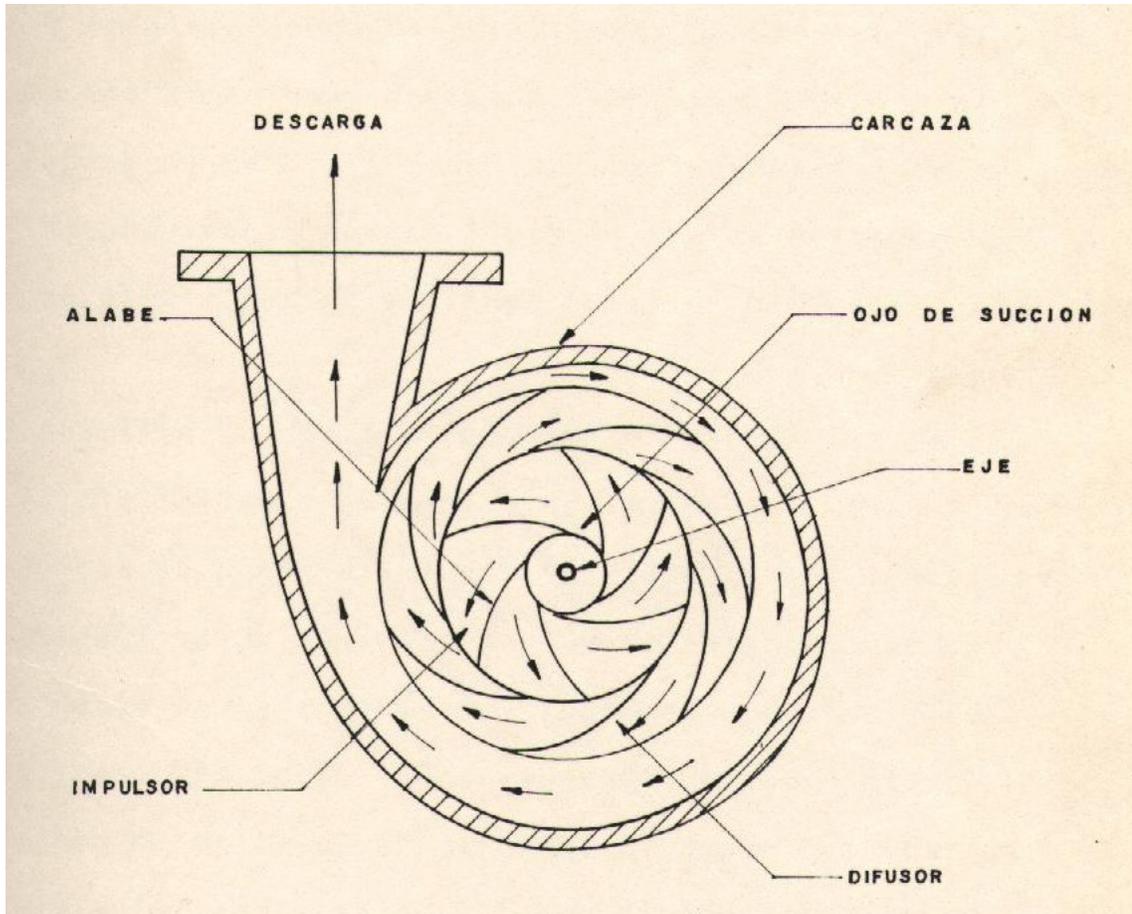


Figura 1.18 Partes de un impulsor y su carcasa tipo difusor.

- **Carcasa de una pieza o sólida** La carcasa sólida es un diseño en el que las vías del líquido de descarga que van a la boquilla de descarga están completas en una fundición o pieza fabricada.

Debe tener un lado abierto para que se pueda introducir el impulsor a la carcasa; sin embargo, no puede ser completamente sólida, y los diseños llamados normalmente de carcasa sólida están, en realidad, divididas radialmente.

- **Carcasas divididas axialmente** Las boquillas de succión y de descargas de las bombas divididas axialmente están, por lo general, en el mismo lado de la carcasa, tiene la gran ventaja de que se puede quitar la otra mitad (la mitad superior en el caso de las bombas horizontales) para inspeccionar las partes internas sin tener que quitar las tuberías y los cojinetes. Se usa para abastecimiento de líquidos en grandes cantidades.

- **Carcasa dividida radialmente** Se refiere a la carcasa dividida en un plano perpendicular al eje de rotación.

- **Carcasa dividida por un plano inclinado horizontalmente** Esta construcción se usa, principalmente, cuando se combina la necesidad de una descarga vertical con la deseable conveniencia de una carcasa dividida axialmente.

• **Características de succión** Las carcasas pueden ser de succión simple o doble, respondiendo las características del impulsor que succionara el líquido por uno o ambos extremos.

Pero lo que se refiere propiamente a la carcasa, se puede tener:

- succión lateral

- succión superior
- succión inferior

Las ventajas de las distintas disposiciones dependen del uso específico a que se vaya a destinar la bomba centrífuga, y depende principalmente, de las necesidades y colocación de las tuberías de succión y descarga.

1.4.4 Estoperos o caja prensaestopas El estopero es una de las partes importantes de una bomba centrífuga. Aun pequeños defectos en su arreglo o condición pueden evitar la operación correcta de la bomba. Los estoperos tienen la función principal de proteger la bomba contra el escurrimiento en el punto en el que la flecha atraviesa la cubierta de la bomba. Sin embargo, esta función varía tanto en sí misma como en la forma en que se ejecuta. Por ejemplo, si la bomba maneja una elevación de succión y si la presión en el interior del estopero es inferior a la atmosférica, la función del estopero es evitar que entre aire a la bomba.

Si esta presión es superior a la atmosférica, la función es evitar el escurrimiento de líquido fuera de la bomba.

Para bombas de servicio general, un estopero generalmente toma la forma de un hueco cilíndrico que aloja varios anillos de empaquetadura alrededor de la flecha o del manguillo de la flecha (figura 1.19 y 1.20). Si se desea sellar el estopero, se usa un anillo farol o jaula de sello (figura 1.21) que separa los anillos de empaque en secciones aproximadamente iguales. La empaquetadura está comprimida para dar el ajuste deseado en la flecha o manguito por medio de un cuello o casquillo del prensaestopas, que pueda ajustarse en dirección axial. El fondo o extremo interior de la caja del estopero puede estar formado por la propia cubierta de la bomba (figura 1.22), un buje de garganta (figura 1.19), o anillo de base (figura 1.20).

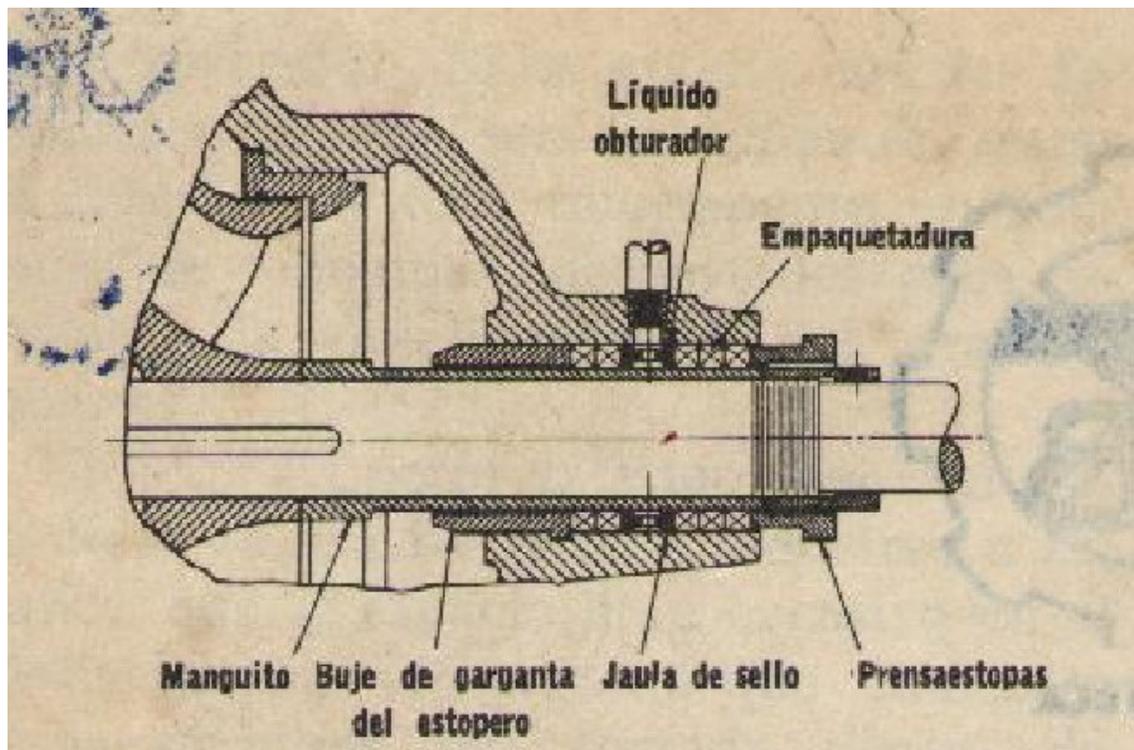


Figura 1.19 Estopero convencional con buje de garganta.

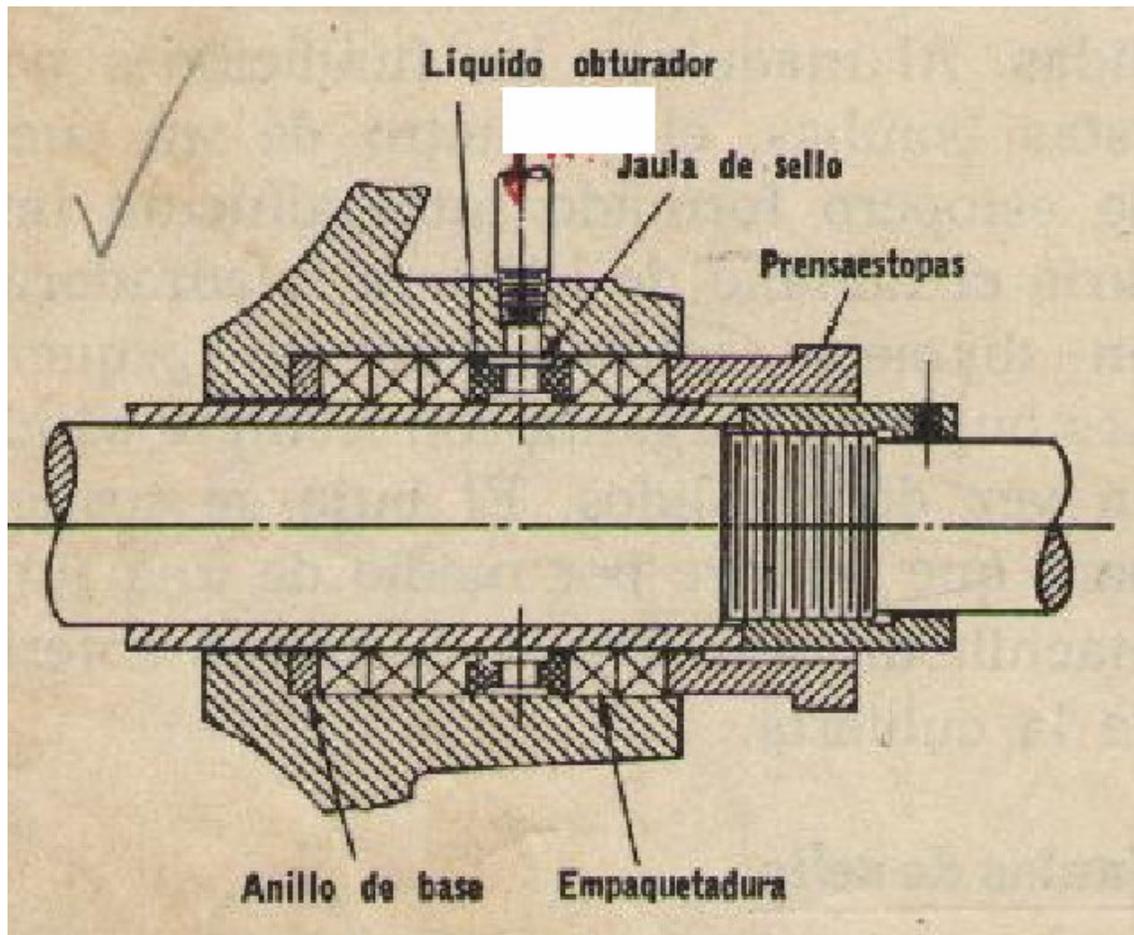


Figura 1.20 Estopero convencional con anillo de base.

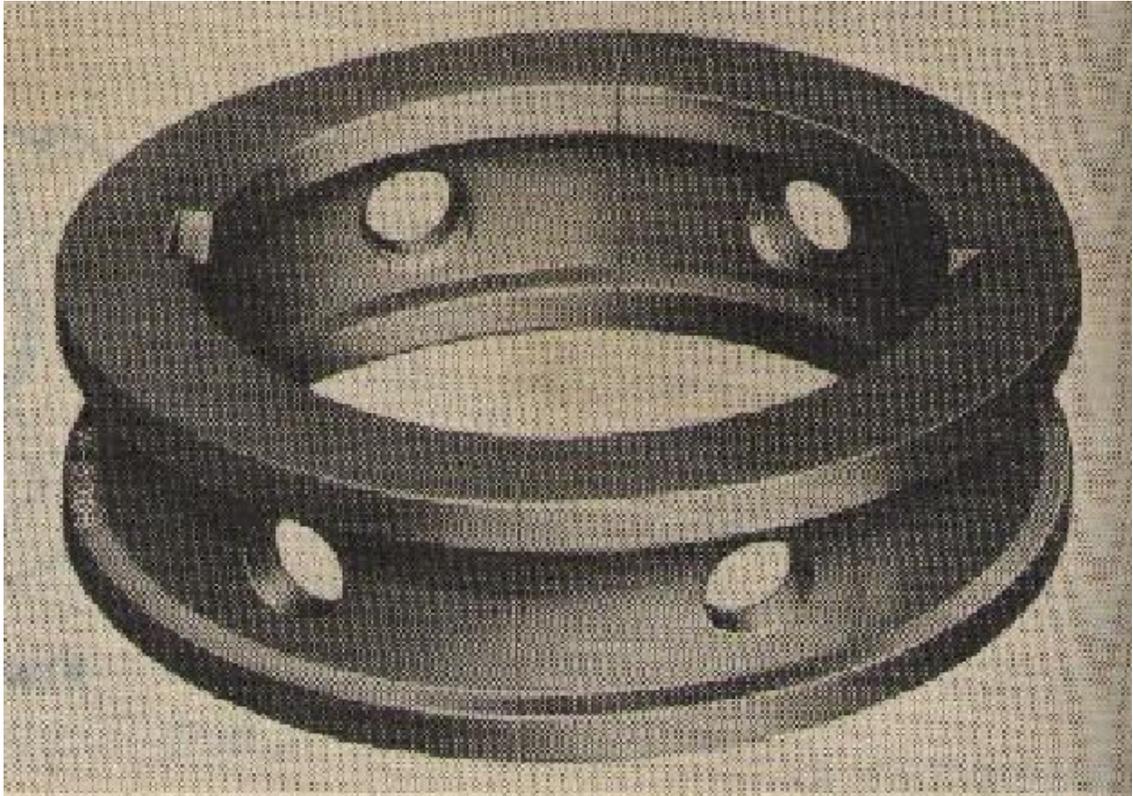


Figura 121 Anillo farolo jaula de sellb.

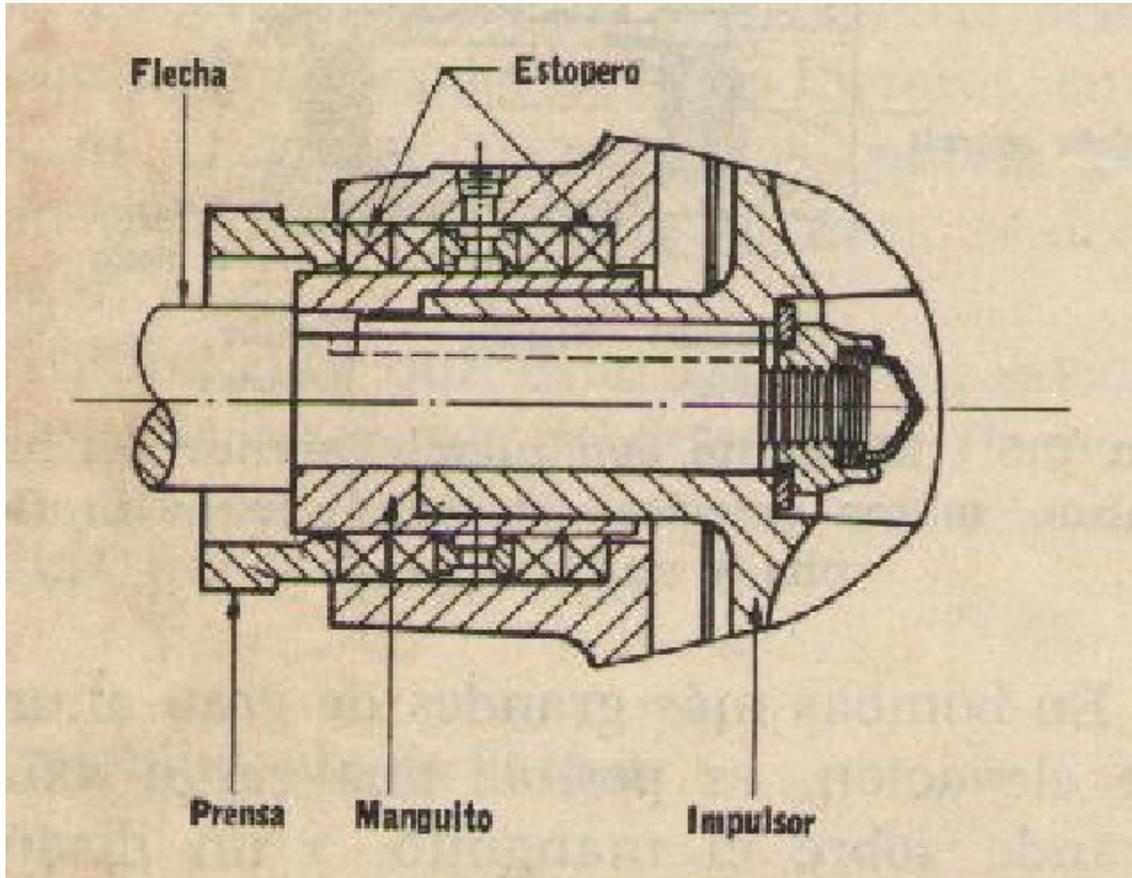


Figura 1.22 Manguito para bombas con cubos de Impulsor volante que se extiende dentro del estopero.

Por razones de fabricación, los bujes de garganta se usan mucho en bombas pequeñas con cubiertas axialmente divididas.

El prensaestopas cuya función es comprimir la empaquetadura para dar el ajuste deseado sobre el eje o camisa en dirección axial. Los prensaestopas de estoperos pueden tener varias formas, pero básicamente se pueden clasificar en dos formas :

1. Prensaestopas sólidos (figura 1.23)
2. Prensaestopas divididos (figura 1.24)

1.4.5 Cojinetes La función de los cojinetes de la bomba centrífuga es mantener la flecha o rotor en correcto alineamiento con las partes estacionarias bajo la acción de cargas radiales y transversales. Aquellos que le dan colocación radial al motor se le conocen como cojinetes de alineación, mientras que aquellos que se sitúan el rotor axialmente se

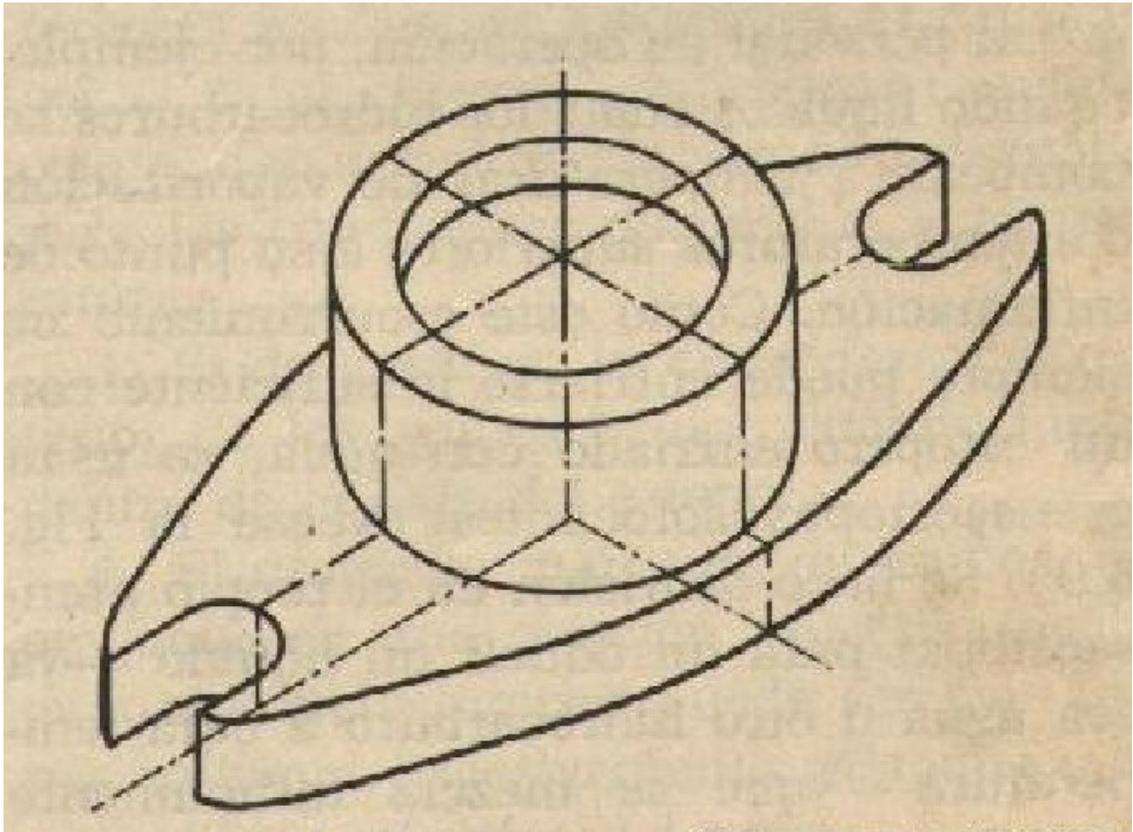


Figura 1.23 Prensaestopas sólidos para estoperos.

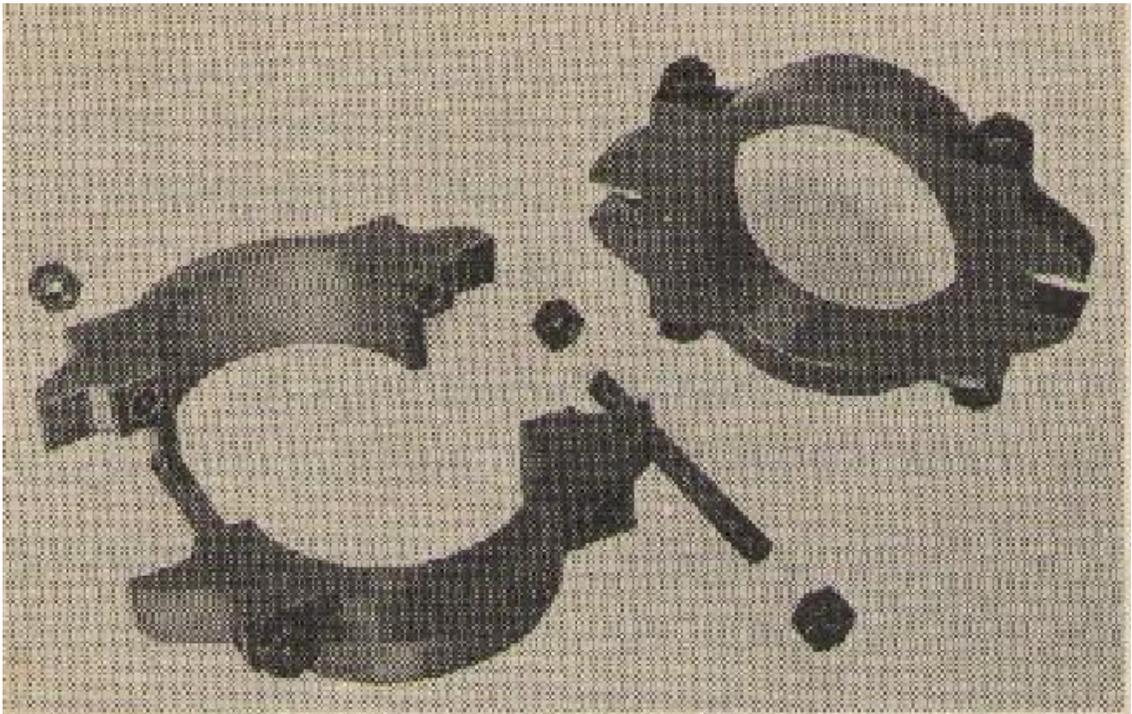


Figura 1.24 Prensaestopas dividido para estoperos.

llaman cojinetes de empuje. En la mayoría de las aplicaciones los cojinetes de empuje en realidad sirven como cojinetes de empuje y alineación.

Los baleros (cojinetes de bola) mas comunes usados en bombas centrífugas son :

- De una sola hilera y surco profundo
- De doble hilera y surco profundo
- De doble hilera y oscilante
- De contacto angular de una y dos hileras

Todos excepto los cojinetes de doble hilera oscilantes son capaces de admitir cargas de empuje así como radiales

1.4.5.1 Balero de una sola hilera con surco profundo El balero de una sola hilera de surco profundo (figura 125) es el balero más comúnmente usado en bombas centrífugas, exceptuando los tamaños más grandes. Es bueno tanto para cargas radiales de empuje como combinadas, pero requieren un cuidadoso alineamiento entre la flecha y la caja en la que está montado el balero. A algunas veces se usa con sellos construidos dentro del balero con objeto de excluir mugre, retener el lubricante o ambas cosas.

1.4.5.2 Balero de doble hilera con surco profundo El balero de doble hilera con surco profundo es en efecto dos baleros de una sola hilera colocados lado a lado, tienen más capacidad tanto para cargas radiales como de empuje (figura 126). Se usa muy frecuentemente si la carga es mayor de la permitida para un balero de una sola hilera.

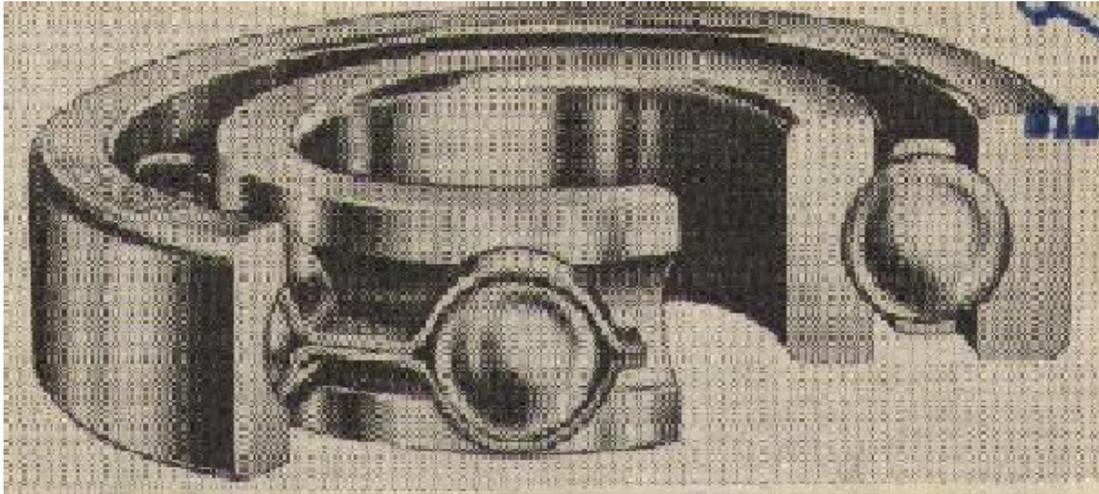


Figura 1.25 Balero de una hilera de surco profundo.

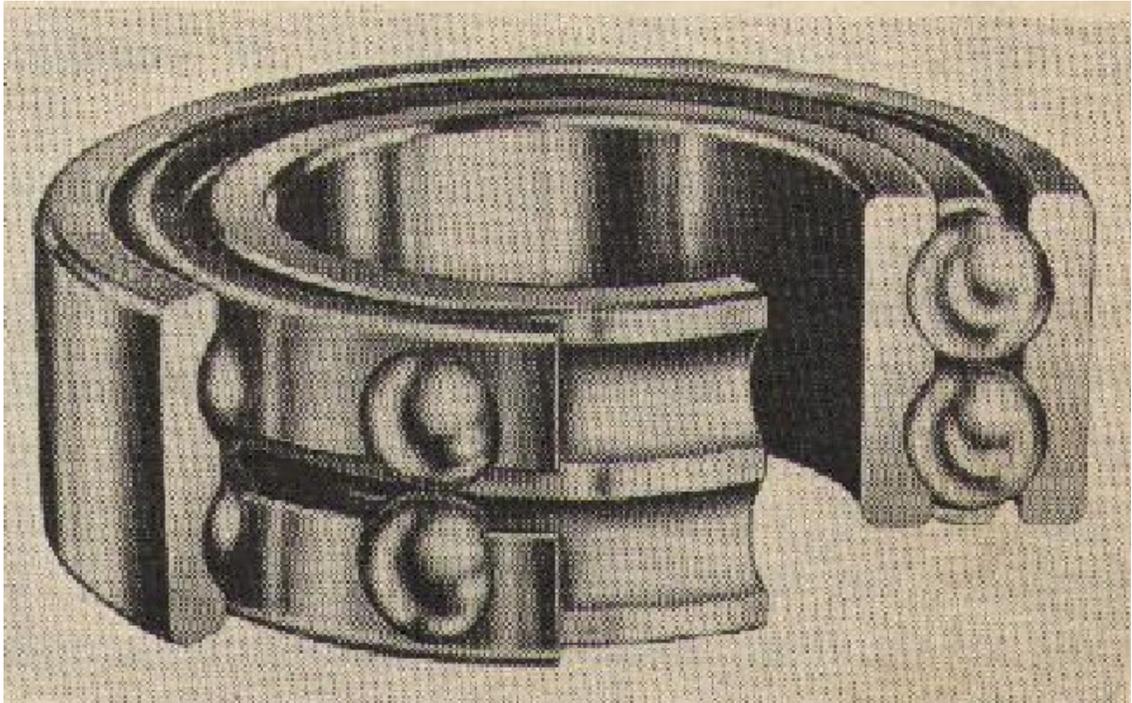


Figura 1.2.6 Balero de dos hileras de surco profundo.

1.4.5.3 Balero de contacto angular de una o dos hileras

El balero de contacto angular opera bajo el principio que lo hace bueno para cargas

pesadas de empuje. El tipo de una sola hilera (figura 127) es bueno para empuje en una sola dirección, mientras que el de tipo de doble hilera (figura 128) puede soportar empuje en ambas direcciones.

1.4.5.4 Balero de doble hilera y oscilante El balero de doble hilera y oscilante (figura 129) es el balero más servicial para cargas pesadas, altas velocidades, separación larga entre cojinetes y sin empuje terminal. Por esta razón se adapta idealmente para servicio como cojinete de alineación en bombas centrífugas.

1.5 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Las bombas centrífugas pueden fabricarse de casi todos los metales comunes conocidos o de sus aleaciones, así como de porcelana, vidrio y

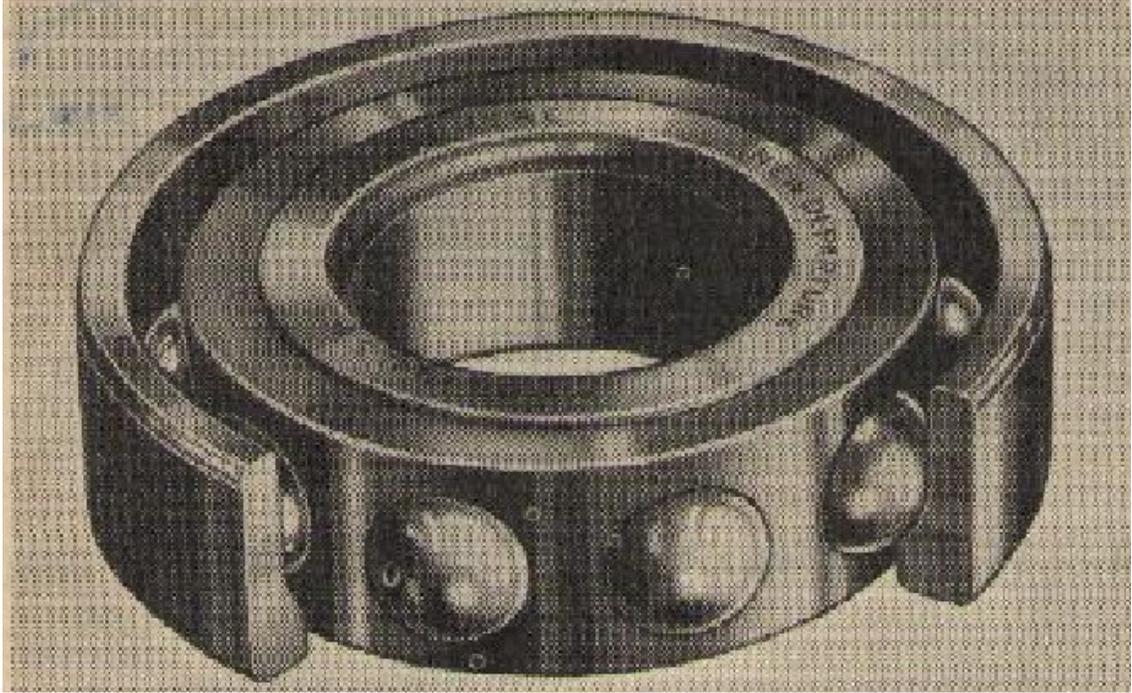


Figura 1.27 Balero de hilera de contacto angular.

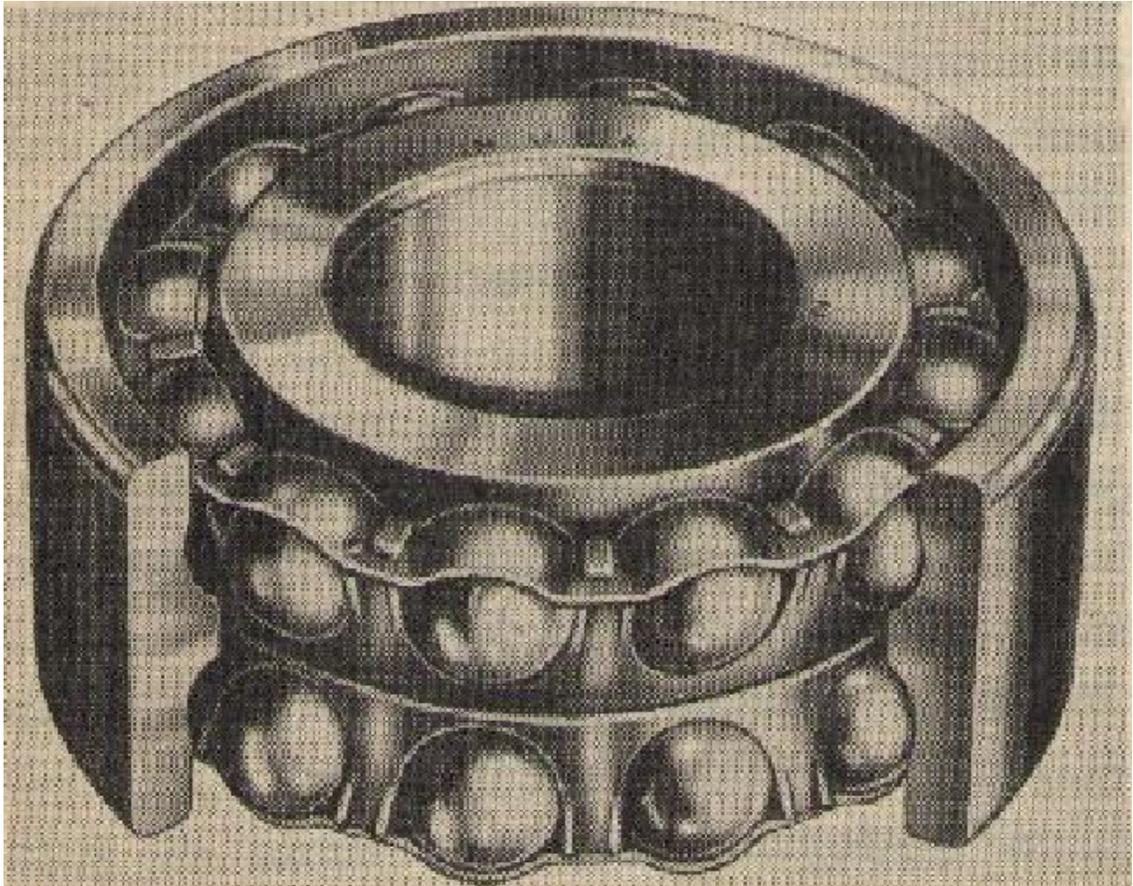


Figura 128 Balero de dos hileras de contacto angular.

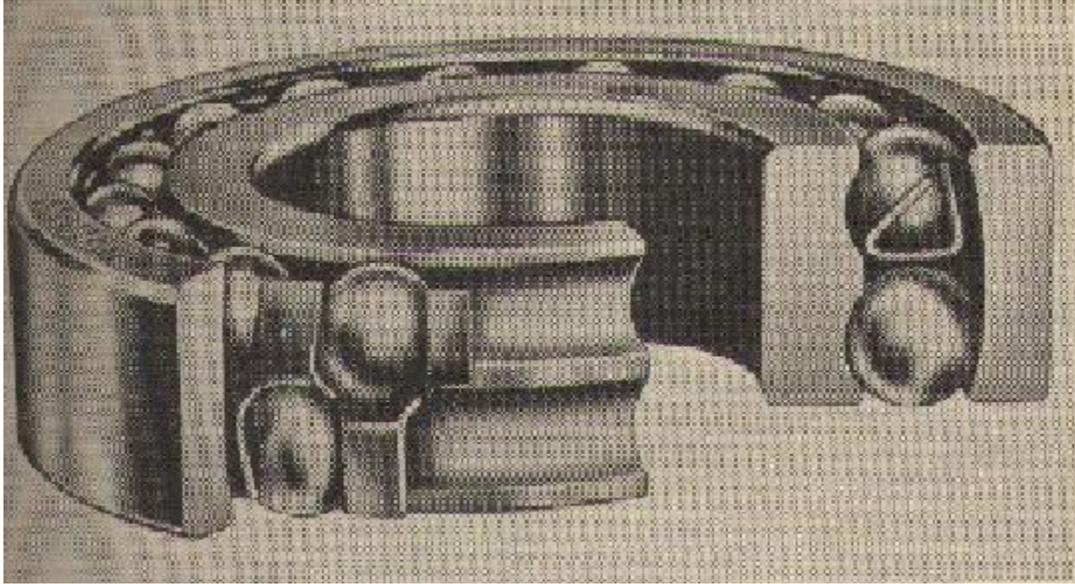


Figura 1.29 Cojinete oscilante de dos hileras de bolas.

hasta materiales sintéticos. Las condiciones de servicio y la naturaleza de los líquidos que se van a manejar determinarán finalmente que materiales son los más satisfactorios. Puede encontrarse fácilmente una

lista de materiales comúnmente recomendados para varios líquidos en las normas publicadas por el instituto de hidráulica, así como en los catálogos y boletines de fabricantes de bombas, principalmente de aquellos que se especializan en equipos de bombeo centrífugo para servicio químico, el campo que presenta la mayor variedad de problemas altamente especializados.

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. Temperatura de bombeo
5. Carga hidráulica por paso (afecta tanto a la velocidad periférica del impulsor como a las velocidades del líquidos en las vías de agua)
6. Presión de operación

7. Adaptabilidad del material por las propiedades estructurales particulares

8. Factor de carga y vida esperada

Nuestro análisis se concentrara en los materiales mas comúnmente usados para partes por separado .

1.5.1 Materiales para la cubierta o carcasa Las cubiertas o carcasas se hacen generalmente de hierro colado. Como el hierro colado a temperatura normal tiene limitaciones definidas de resistencia, una cubierta de hierro colado de cualquier diseño dado será apropiada solo para un límite de presión definida. Si se tiene que resistir presiones mas altas, 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 mas alto. Un metal mas resistente que el hierro fundido será también necesarios si los temas de bombes se sujetan a golpes de ariete o presiones súbitas.

A veces se sustituyen secciones delgadas de acero fundido en lugar de cubiertas gruesas de hierro colado y hasta puede resultar más económico.

Las cubiertas de hierro fundido se usan raras veces para presiones superiores de 70 a 77 Kg/cm² y temperaturas de más de 177 °C. Como el hierro fundido pierde resistencia a la tensión y la 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 bomba si el líquido bombeado es ligeramente corrosivo (por ejemplo agua de sal). El acero fundido y aun el acero forjado, se usan si la presión de descarga o la temperatura de bombeo o una combinación de los dos factores se hace inapropiado al hierro colado. El acero inoxidable se emplea si el líquido bombeado es corrosivo o excesivamente abrasivo. Las cubiertas de

porcelana de o vidrio se usan algunas veces para aplicaciones muy especiales.

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

1. El bronce es mas fácil de fundir para secciones de modelos complicados
2. Es mas fácil de maquinar
3. Produce superficies mas lisas
4. No se oxidan.

Sin embargo no se debe usar impulsores de bronce con cubiertas de hierro fundido si el líquido que se maneja es un electrolito fuerte. Estos líquidos requieren materiales ferrosos.

El bronce calentado se expande aproximadamente un 40% más que el acero. Puesto que las bombas se arman a la temperatura ambiente normal, las holguras radiales originales entre el cubo de un impulsor de bronce y una flecha de acero aumentarán en el servicio a temperaturas más elevadas. El aumento de holguras puede aflojar al impulsor en la flecha y se introduce la posibilidad de escurrimiento y erosión. Por lo tanto, raras veces se usa el bronce para accesorios de bombas si la temperatura del líquido bombeado excede los 121 °C.

El uso de impulsores de bronce también está limitado por el efecto de las velocidades periféricas, ya que por ejemplo el esfuerzo centrífugo ejercido por un impulsor típico de 30 cm de bronce o de hierro colado montado en una flecha de 7.62 cm y operando a 3600 rpm tendrá un estiramiento de aproximadamente 0.0028 cm

1.5.3 Materiales para flecha Las flechas de las bombas que requieran manguillos de flecha están normalmente hechas de acero con hogar

abierto. Si se va a encontrar grandes esfuerzos se pueden preferir aleaciones de acero de alta resistencia a la tensión. Si se van a manejar líquidos corrosivos puede ocurrir algún escurrimiento ya sea por los poros del cubo del impulsor o por la junta entre el impulsor y los manguillos, requiriendo entonces flechas de metal anticorrosivos como el acero inoxidable, bronce fosforado o metal monel. Las flechas de las bombas sin manguitos de flecha generalmente se hacen de acero inoxidable, bronce fosforado o metal monel dependiendo del líquido que se va a trabajar.

La mayoría de los manguitos de flecha están hechos de bronce y acero inoxidable.

1.5.4 Materiales para prensaestopas Los prensaestopas están hechos de bronce, aunque el hierro fundido o el acero pueden emplearse en las bombas equipadas totalmente de hierro. Si las bombas manejan hidrocarburos, los prensaestopas de hierro o de acero se forran con bronce para evitar chispas que podrán inflamar los vapores inflamables.

1.5.5 Accesorios de bombas La expresión "accesorios de bombas", se refiere a las características generales de construcción de la bomba.

1.5.5.1 Bomba equipada normal Esta bomba tiene una carcasa de hierro fundido, flecha de acero, impulsor de bronce, anillos de desgaste de bronce y manguito de la flecha de bronce (si son necesarios). A algunos fabricantes suministran regularmente flechas de acero inoxidable en bombas y manguitos.

1.5.5.2 Bomba toda enteramente de bronce Se llama así, si todas las partes de la bomba centrífuga que se pone en contacto con el líquido bombeado están hechas de bronce.

1.5.5.3 Bomba enteramente de hierro Se llama así, si todas las partes de la bomba centrífuga que se pone en contacto con el líquido bombeado están hechas de hierro o metales ferrosos.

1.5.5.4 Bomba resistente al ácido Una bomba resistente al ácido es una en la que todas las partes en contacto directo con el líquido bombeado están construidas con materiales que ofrecerán la resistencia máxima a su acción corrosiva.

1.5.5.5 Bomba para agua salada Las bombas centrífugas que manejan agua salada o de mar pueden construirse con accesorios normales (cubierta de hierro fundido con guarniciones de bronce), con accesorios totalmente de hierro o de bronce, o con cubiertas de hierro y equipo inoxidable.

Aunque miles de bombas equipadas normales se usa para este objeto, estos accesorios no son apropiados si el agua de mar esta contaminada (por ejemplo, el agua de bahía). Las fallas son causadas generalmente por la acción galvanica entre las partes de bronce y la cubierta de hierro colado, que se grafitiza y finalmente origina una perdida total.

1.6 PERDIDAS , RENDIMIENTOS Y POTENCIAS DE LA BOMBA CENTRÍFUGA

1.6.1 Perdidas Todas las perdidas de energía en la bomba, entre las secciones de entrada y salida, se clasifican en tres grupos:

- Perdidas hidráulicas
- Perdidas volumétricas
- Perdidas mecánicas

Todas estas pérdidas representan una pérdida de potencia de la bomba

1.6.1.1 Pérdidas hidráulicas Todas las pérdidas que se originan entre los puntos donde se mide la presión de succión y descarga, constituyen las pérdidas hidráulicas. Estas pérdidas son de dos clases:

- **Pérdidas de superficie** Se producen por el rozamiento del fluido con las paredes de la bomba (rodete, corona, directriz . . .) o de las partículas las del fluido entre sí.
- **Pérdidas de forma** Se producen por los cambios bruscos tanto en el área como en la dirección del fluido.

Las pérdidas hidráulicas disminuyen la energía específica útil que la bomba comunica al fluido.

1.6.1.2 Perdidas volumétricas Además de las pérdidas de carga, existen pérdidas de capacidad, debido a las fugas que hay en los espacios entre partes rotatorias y estacionarias de las bombas.

Estas pérdidas volumétricas se dividen en dos clases:

- **Perdidas volumétricas exteriores** Constituyen una salpicadura del fluido al exterior, que se escapa por juego entre la carcasa y eje de la bomba, que lo atraviesa. Para reducirlas se utiliza la caja de empaquetadura o prensaestopas, que se llena de material de cierre, provista de su correspondiente tapa con pernos, que permite comprimir el prensa estopas contra eje de la máquina. Esta presión, sin embargo, no pueden ser excesiva para no aumentar las pérdidas mecánicas.
- **perdidas volumétricas interiores** Son las más importantes y reducen mucho el rendimiento volumétrico de algunas bombas. La explicación de estas pérdidas es la siguiente: a la salida del rodete hay más presión que a la entrada. Luego parte del líquido en vez de seguir a la

caja espiral retrocederá, por el conducto que forma el juego del rodete con la carcasa, a la entrada del rodete, para volver a ser impulsado por la bomba.

1.6.1.3 Perdidas mecánicas Las pérdidas mecánicas se originan por:

- Rozamiento de prensa estopas con eje de la máquina
- Rozamiento de eje con los cojinetes
- Rozamiento de disco. Se llama así el rozamiento de la pared exterior del rodete con la atmósfera líquida que le rodea

1.6.2 Rendimientos

1.6.2.1 Rendimiento hidráulico Tiene en cuenta todas las pérdidas hidráulicas. Se define como la razón de la altura de elevación verdaderamente, a la altura teórica de elevación.

1.6.2.2 Rendimiento volumétrico Tiene en cuenta todas las pérdidas volumétricas. Se define como la razón del caudal útil, al caudal bombeado por el rodete.

1.6.2.3 Rendimiento mecánico Es el cociente de la potencia realmente absorbida por el impulsor y convertida en carga y la potencia aplicada a la flecha de la bomba.

1.6.2.4 Rendimiento total Es el cociente de la potencia hidráulica y la potencia aplicada a la flecha de la bomba .

1.6.3 Potencias

1.6.3.1 Potencia de accionamiento La potencia absorbida o potencia al freno, es la potencia total precisada por la bomba para realizar una cantidad determinada de trabajo.

1.6.3.2 Potencia interna Es la potencia suministrada al rodete e igual a la potencia de accionamiento menos las pérdidas mecánicas.

1.6.3.3 Potencia hidráulica Es la potencia útil desarrollada por la bomba, para elevar una cantidad de fluido a una altura determinada, se obtiene mediante cálculos basados en la capacidad y cabeza desarrollada por la bomba.

2. TERMINOS, DEFINICIONES Y CONCEPTOS BÁSICOS PARA FACILITAR EL ENTENDIMIENTO DEL TEMA

2.1 PRESIÓN

Presión se define como la fuerza que actúa por unidad de área, y se entiende que la fuerza F actúa perpendicularmente a la superficie A . $P=F/A$. El concepto de presión tiene una especial utilidad con los fluidos. Es un hecho experimental que un fluido ejerce una presión en todas direcciones. (Ver Fig. 2.1). La presión en un líquido de densidad uniforme varía con la profundidad. Considerando un punto a una profundidad h bajo la superficie del líquido, la presión debida al líquido, a esa profundidad h , se debe al peso de la columna de líquido sobre el punto. Así la fuerza que actúa sobre el área es: $F = m \cdot g = \rho \cdot A \cdot h \cdot g$, donde $A \cdot h$ es el volumen de la columna, ρ la densidad del líquido, que se supone constante, y g es la aceleración de la gravedad. Por lo tanto $P = \rho \cdot g \cdot h$ (ver Fig. 2.2)

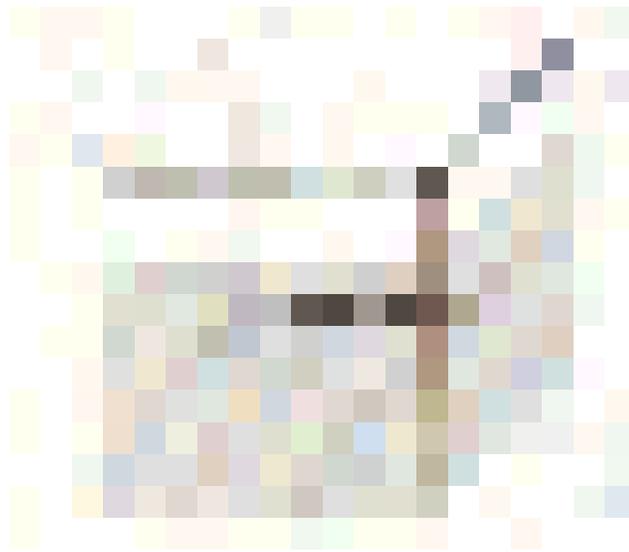


Figura 2.1 En un fluido a determinada profundidad, la presión es la misma en todas las direcciones

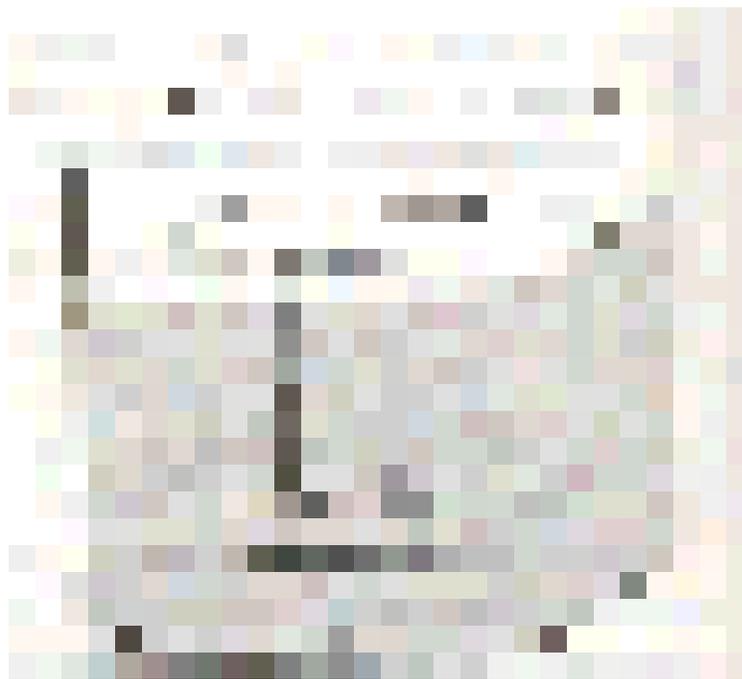


Figura 2.2 Cálculo de la presión en un líquido a la profundidad h

2.1.1 Presión atmosférica o barométrica Es aquella debida al peso del aire que gravita sobre una superficie horizontal determinada. Depende, por consiguiente, de la altura sobre la superficie terrestre de tal superficie. Cuanto mayor sea esta, menor será el peso del aire situado encima y menor también la presión. (ver Fig. 2.3)

2.1.2 Presión manométrica Es la presión que se tiene en una superficie, sin considerar la presión atmosférica. Las presiones manométricas se miden con relación a la atmósfera. (ver Fig. 2.3)

2.1.3 Presión absoluta Es la presión resultante de considerar la presión manométrica más la presión atmosférica existente. (ver Fig. 2.3)

2.1.4 Presión negativa Si la presión se encuentra por debajo de la línea de presión atmosférica local y se utiliza el nivel de referencia manométrico.

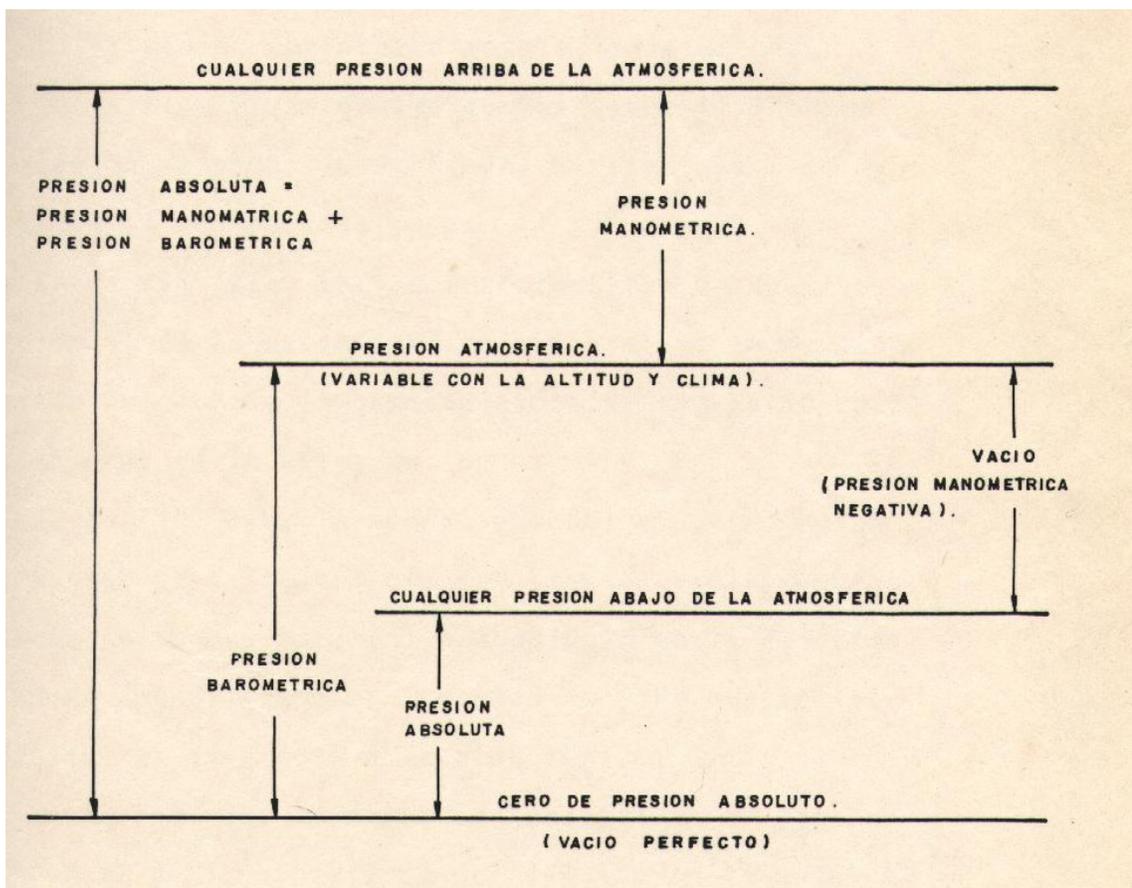


Figura 2.3 Ilustración gráfica de la presión atmosférica, manométrica y absoluta

2.1.5 Presión de vapor Para cada temperatura existe una presión de equilibrio entre un líquido (o sólido) y su vapor llamada presión de vapor. La presión de vapor es aquella a la cual se vaporiza rápidamente un líquido si se le agrega calor, o al contrario, presión a la cual el vapor a una temperatura dada se condensa a líquido si se le quita calor.

2.2 CARGA

La carga de la bomba, representa el trabajo neto realizado por la unidad de peso de un fluido pasando la brida de entrada o succión, a la brida de descarga.

2.2.1 Columna o carga total de bombeo En un sistema de bombeo, se le da el nombre de carga total de bombeo (h), a la suma de las energías contra las que debe operar una bomba para mover determinada cantidad

de líquido de un punto a otro. Esta depende de las siguientes componentes:

- Carga estática
- Diferencias de presiones que existen en el líquido
- Carga de fricción
- Pérdidas de entrada y salida
- Elevación correspondiente a la velocidad

2.2.2 Carga estática La carga estática se refiere a la diferencia de elevación, expresada en metros de líquido, de la columna de fluido que actúa sobre la succión o descarga de la bomba.

2.2.3 Carga estática total La carga estática total (het) de un sistema, es la diferencia de elevación entre el nivel del líquido de descarga y el nivel del líquido de succión (ver Fig 2.4)

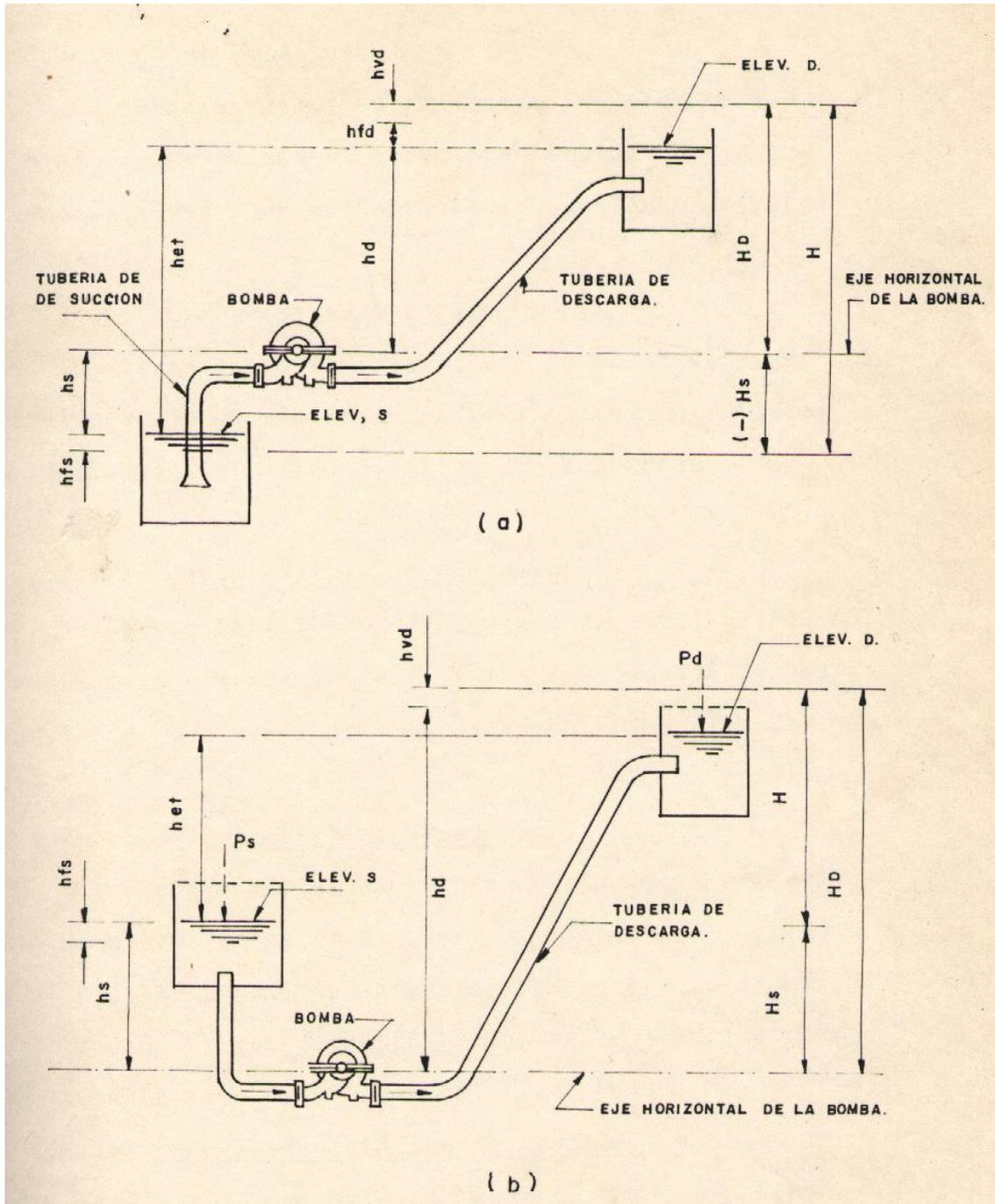


Figura 2.4 Instalaciones típicas de bombas centrífugas horizontales.

2.2.4 Carga estática de descarga La carga estática de descarga (h_d), es la diferencia de elevación entre el nivel del líquido de descarga y el eje horizontal de la bomba. (Ver. Fig. 2.4)

2.2.5 Carga estática de succión La carga estática de succión (h_s), es la diferencia de elevación entre el nivel del líquido de succión y el eje horizontal de la bomba. (ver Fig. 2.4)

2.2.6 Carga de succión La carga de succión (H_s), es la carga estática en la línea de succión (h_s) de la bomba arriba del eje horizontal de la bomba, menos todas las pérdidas de descarga por fricción (h_{fs}) para la capacidad que se considera, más cualquier presión que exista en la línea de succión. (ver Fig. 2.4).

2.2.7 Carga de descarga La carga de descarga (H_d) de una bomba centrífuga, es la suma algebraica de la carga estática (h_d), las pérdidas de carga por fricción (h_{fd}), y de velocidad (h_{vd}) en la línea de descarga.

Ocasionalmente se considera la presión (P_d) diferente a la atmosférica que se pudiera tener en el sitio de la descarga. (ver Fig.2.4)

2.2.8 Carga de fricción Es la carga equivalente, expresada en metros del líquido bombeado, que es necesaria para vencer las pérdidas de fricción causadas por el flujo del líquido a través de las tuberías de succión y descarga, incluyendo todos los accesorios. La carga de fricción varía con:

- La cantidad del flujo
- La velocidad del flujo
- El tamaño, tipo y condiciones interiores de las tuberías y accesorios.

- Características del líquido bombeado

2.2.9 Carga de fricción en la succión La carga de fricción en la succión (h_{fs}), es la carga equivalente en metros del líquido bombeado, que se necesita para vencer todas las pérdidas de energía debidas al flujo en la tubería de succión.

2.2.10 Carga de fricción en la descarga La carga de fricción en la descarga (h_{fd}), incluye todas las pérdidas de energía que se tienen a partir de la boquilla de la bomba y en tubería de descarga. Estas pérdidas son debidas a la fricción a lo largo de dicha tubería, a cambios de dirección y a todos los accesorios que se tengan de la misma.

2.2.11 Carga de velocidad La carga de velocidad (h_v), es la distancia de caída necesaria para que una cantidad de líquido adquiriera una cierta velocidad. Si un líquido que se mueve a cualquier velocidad dentro de una

tubería tiene energía cinética debido a su movimiento, por tanto, para conocer el valor de la columna total (suma de energía cinética y potencial), a la lectura manométrica en un aparato instalado en cualquier punto de una tubería en funcionamiento, deberá sumársele la carga de velocidad, ya que un manómetro solo registra lo relativo a la energía potencial.

2.2.12 Carga neta de succión positiva. (cns_p) Es la diferencia entre la carga total sobre el lado de aspiración, cerca de la entrada del impulsor de la bomba, $P_s/\gamma + V_s/2g$, y la carga de presión de vapor del líquido, P_v/γ . La posición de referencia para la carga de altura pasa por la línea central de la entrada del impulsor de la bomba. Sobre el lado de aspiración de una bomba es común que haya bajas presiones, con la posibilidad concomitante de que dentro de la bomba ocurrirá cavitación.

2.2.13 Carga neta de succión positiva requerida Es una función del diseño de la bomba, representa el margen mínimo requerido entre la carga de succión y la presión de vapor del líquido. La CNSP requerida es

necesario mantener o exceder, de modo que no ocurra cavitación. Suele ser necesario determinar experimentalmente, para una bomba dada la CN SP requerida.

2.2.14 Carga neta de succión positiva disponible Es la característica del sistema o instalación en que se emplea la bomba centrífuga, representa la diferencia entre la carga absoluta existente que se tiene en una instalación y la presión de vapor del líquido, a la temperatura que prevalece.

2.3 ELEVACION ESTÁTICA DE SUCCIÓN (h_s)

Es cuando el nivel del líquido de succión está abajo del eje horizontal de la bomba, en este caso la carga estática de succión es un valor negativo. (ver Fig. 2.4)

2.4 ELEVACION DE SUCCION (H_S)

Es cuando la bomba se localiza arriba del nivel del líquido en la succión, (ver Fig. 2.4). Su valor es igual a la carga estática de succión (h_s), menos todas las pérdidas de energía que se tengan en la succión, más alguna otra presión, que se tenga en este sitio, convertida naturalmente en metros de columna del líquido.

2.5 SISTEMAS TÍPICOS DE SUCCIÓN

Las tres condiciones más comunes de suministro de succión se ilustran en la figura 2.5.

Suministro de succión a una presión diferente a la atmosférica y localizada arriba del eje horizontal de la bomba, figura 2.5 a.

Suministro de succión a la presión atmosférica, localizada arriba del eje horizontal de la bomba, figura 2.5 b.

Suministro de succión a presión atmosférica, localizado abajo del eje horizontal de la bomba, figura 2.5 c.

2.6 CAPACIDAD

La capacidad de la bomba, es el volumen de fluido por unidad de tiempo entregado por la bomba.

2.7 EFICIENCIA

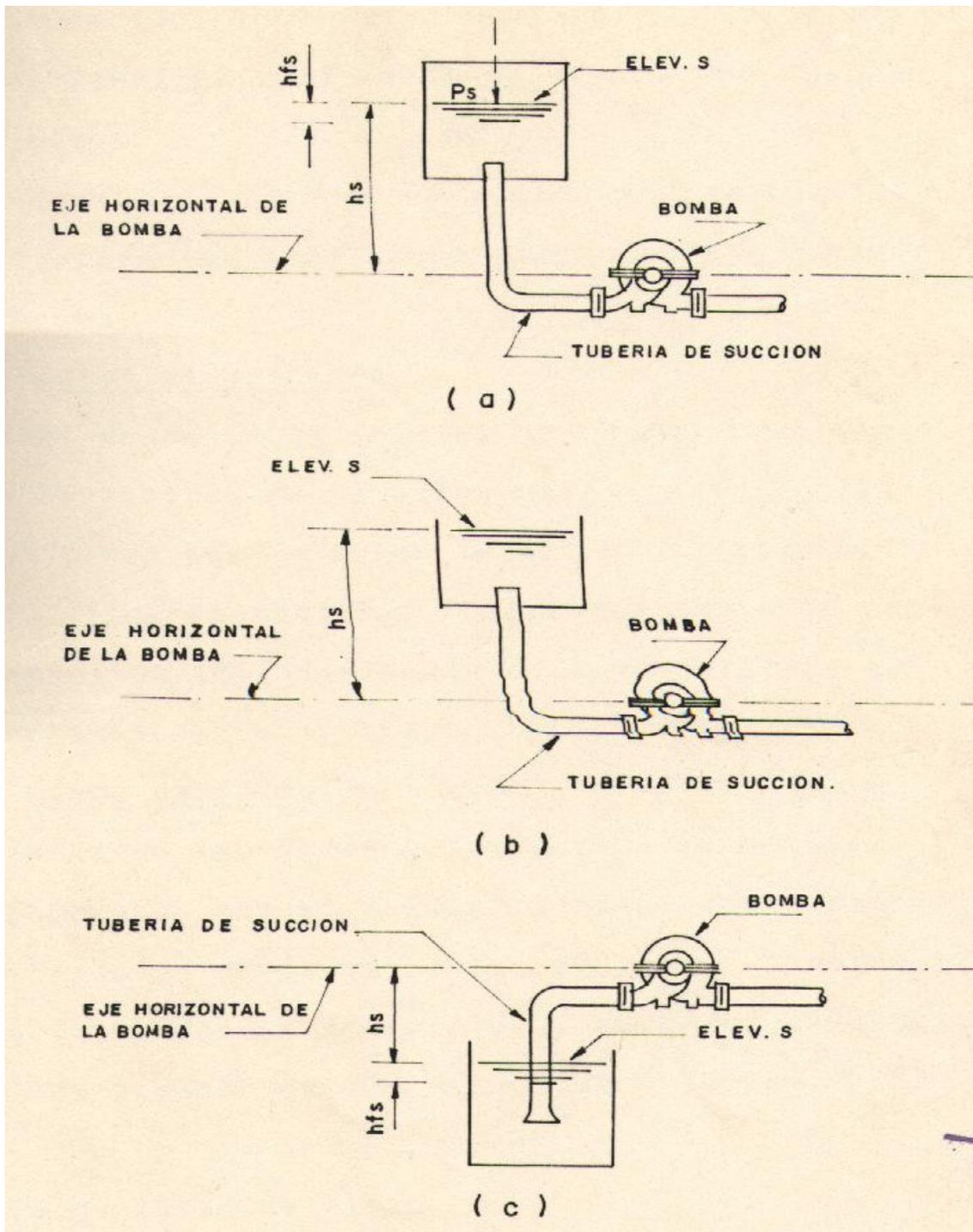


Figura 2.5 Instalaciones típicas de succión de bombas centrífugas horizontales

La eficiencia de la bomba es la relación que existe entre la energía recibida en el eje de la bomba y la energía cedida por esta. La eficiencia de una bomba se expresa generalmente en porcentaje.

2.8 POTENCIA

La potencia de la bomba, es la energía de salida de la bomba, se da generalmente como potencia líquida.

2.9 CURVAS DE CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS

A diferencia de las bombas de desplazamiento positivo, una bomba centrífuga que opera a velocidad constante puede descargar cualquier capacidad desde cero a un valor máximo que depende del tamaño de la bomba, diseño y condiciones de succión. La carga total generada por la

bomba, la fuerza requerida para moverla y la eficiencia resultante varían con la capacidad. Las interrelaciones de capacidad, carga, fuerza y eficiencia se denominan características de la bomba. Estas interrelaciones se muestran mejor gráficamente, y la grafica obtenida se llama grafica de las curvas características de la bomba.

La carga, fuerza y la eficiencia generalmente se trazan contra la capacidad a velocidad constante. Cuando se usan impulsores de velocidad variable, se incluye un quinto componente, la velocidad de operación de la bomba expresada en r.p.m.

2.9.1 La curva H-Q En la figura 2.6, que muestra la relación entre la capacidad y la carga total, se llama curva de carga-capacidad. Con frecuencia se clasifican las bombas basándose en las formas de sus curvas de carga-capacidad, como sigue:

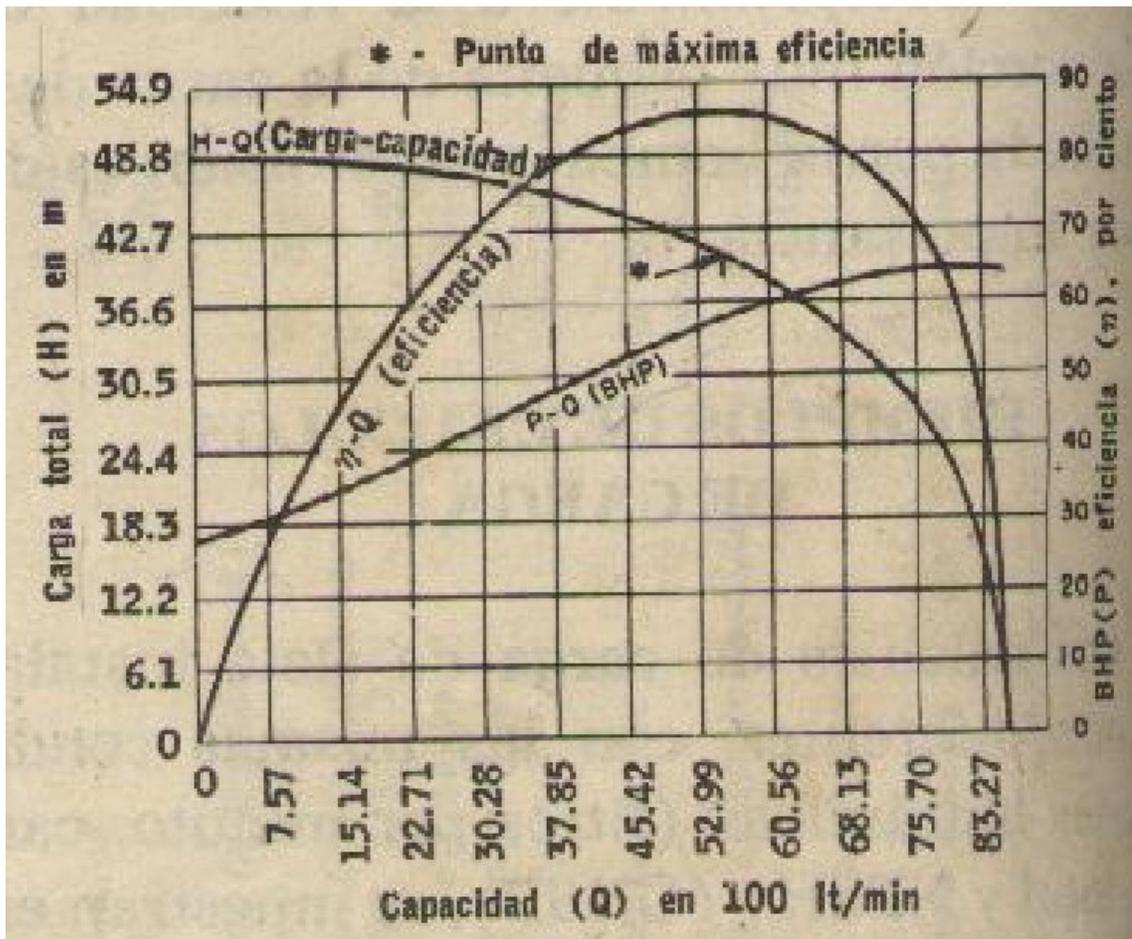


Figura 2.6 Características típicas de bombas centrífugas.

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

Figura 2.7.

2. 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. Figura 2.8.

3. Características 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.

Figura 2.9

4. Característica plana de carga capacidad, en la que la carga varía solo ligeramente con la capacidad desde el cierre a la capacidad de diseño.



Figura 2.7 Curva ascendente de carga capacidad



Figura 2.8 Curva descendente de carga-capacidad



Figura 2.9 Curva inclinada de carga-capacidad

Otras curvas, algunas veces, son clasificadas de planas, ya sea en toda su amplitud o en una porción limitada de ella. Figura 2.10.

5. Característica estable, una característica de carga-capacidad en la cual solo se puede obtener una capacidad con cualquier carga. Básicamente esta tiene que ser una característica ascendente. Figuras 2.7 y 2.9.

6. Característica inestable de carga capacidad, una característica en la cual se desarrolla la misma carga a dos o más capacidades. Figuras 2.8 y 2.11.

2.9.2 La curva P-Q En la figura 2.6, muestra la relación entre la toma de fuerza y la capacidad de la bomba, es la curva de fuerza-capacidad; pero generalmente se refiere uno a ella como la curva de fuerza, la curva de caballoje al freno, o la curva de bhp.

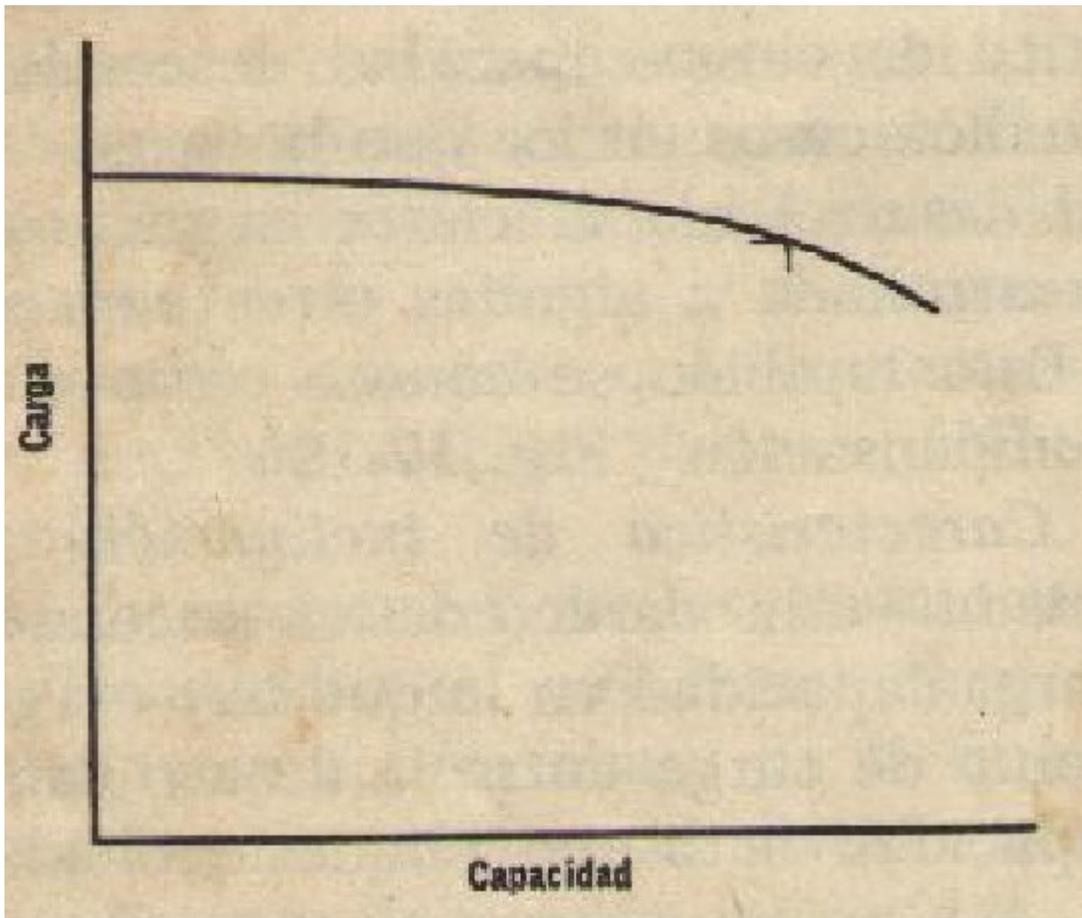


Figura 2.10 Carga plana de carga-capacidad.

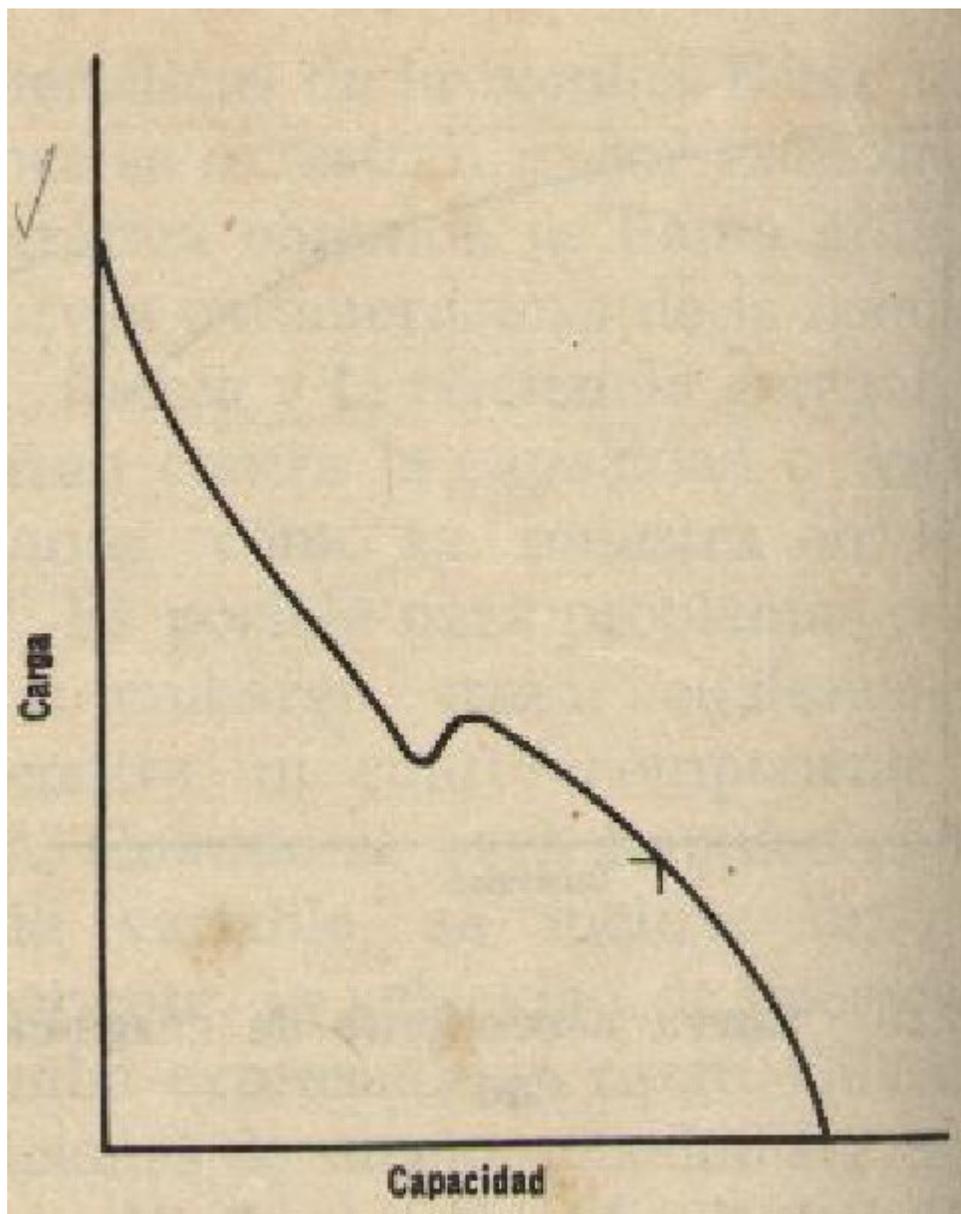


Figura 2.11 Curva inestable de carga-capacidad.

2.9.3 La curva $\zeta-Q$ En la figura 2.6, que muestra la relación entre la eficiencia y la capacidad, comúnmente se llama la curva de eficiencia.

3. INSTALACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

La información general contenida en este capítulo deberá suplementarse con las instrucciones especificadas preparadas por el fabricante de la bomba centrífuga en cuestión. Estas instrucciones forman partes del manual de instrucciones que los fabricantes empaquetan en la caja de accesorio que acompañan a la bomba.

Un manual instructivo, contiene guía para las siguientes fases del uso de la bomba:

1. Instalación para servicio máximo, con un mínimo de desgaste y costo.
2. Ajuste y operación para funcionamiento óptimo.
3. Mantenimiento y reparación cuando se necesita.

Como los instructivos intentar ayudar a mantener la maquina eficiente y disponible constantemente, siempre deberán estar al alcance del siguiente personal.

1. Personal de construcción responsable de la instalación.
2. operadores que usen el equipo y hacen inspecciones y pruebas periódicas.
3. Personal de mantenimiento que repara y da servicio al equipo.
4. Ingenieros que determinan el uso adecuado del aparato.

Si un solo hombre está encargado de instalar, operar y mantener una bomba centrífuga solo necesitara una copia. Si cada función la desempeña un departamento distinto cada departamento deberá tener por lo menos un ejemplar del instructivo.

3.1 INSTALACION

3.1.1 Reglas generales para la localización de las bombas Las

bombas que se instalan en interiores, en lugares mal alumbrados y ventilados sin amplitud, donde se acumula mugre y humedad, están situadas inadecuadamente para desarmarlas y repararlas; se descuidarán y tanto la bomba como el impulsor se podrán dañar. Las bombas se deberán instalar en lugares alumbrados, secos y limpios siempre que sea posible.

Las bombas y motores para instalación a la intemperie están contruidos especialmente para resistir el intemperismo y, por lo general, tiene fácil acceso para repararlos.

Siempre se debe dejar espacio suficiente para desarmar la bomba; es decir se debe contar con bastante espacio arriba de bombas horizontales con cubiertas axialmente divididas, para que la mitad superior de la cubierta se puede levantar dejando libre el rotor. Algunas bombas de alta presión están radialmente divididas y su rotor se saca

longitudinalmente. Se debe tener espacio para poder sacar el rotor sin inclinarlo. Para bombas grandes con cubiertas y rotores pesados se debe proveer sobre la localización de la bomba a una grúa viajera o facilidades para armar un malcate.

Cuando el equipo de bombeo debe usarse a niveles en los que es posible una inundación, se pueden tomar dos clases de medidas :

1. se puede usar un bomba vertical de foso lleno.
2. se deben proveer bombas auxiliares de achique del foso lleno como un seguro contra daños del equipo principal.

En instalaciones normales, las bombas deberán localizarse tan cerca como sea posible la fuente de suministro del líquido. Cuando sea conveniente, la línea de centro de la bomba deberá colocarse abajo del nivel del líquido en

el depósito de succión. Siempre deben seguir las recomendaciones del fabricante sobre las condiciones de succión.

3.1.2 Cimentaciones Las cimentaciones son cualquier estructura rígida suficientemente pesada que proporcione un soporte rígido permanente a toda el área de la plancha de la base y absorba cualquier esfuerzo o impacto normales.

Las cimentaciones de concreto construidas desplantándose desde suelo firme son las más satisfactorias. Al construir la cimentación se debe dejar un margen para poner la lechada de concreto entre la superficie áspera del concreto y la cara inferior de la placa de la base. Cuando la mayoría de las unidades de bombeo se montan en planchas de base, el equipo muy grande puede montarse directamente sobre la cimentación. En estos casos se debe suministrar las placas de zapata bajo las patas de la bomba y del impulsor. De esta manera, el alineamiento puede

corregirse con lanas y se puede desmontar y reponer la unidad sin dificultad si es necesario.

El espacio requerido por unidad de bombeo y la colocación de los pernos de anclaje se determinan con los planos suministrados por el fabricante. Cada perno de cimentación (Fig. 3.1) debe rodearse de una camisa de tubo, de diámetro tres o cuatro veces mayor que el del perno. Después de colocada la cimentación de concreto se sostiene solidamente en su lugar el tubo, mientras que el perno puede moverse para que corresponda al agujero de la placa de la base.

Cuando una unidad se monta en una armadura de acero u otra estructura, se debe colocar tan cerca como sea posible de los miembros principales, vigas y paredes, y soportarse de modo que no pueda deformarse la placa de la base o estropear el alineamiento por cualquier flexión o expansión de la estructura o la plancha.

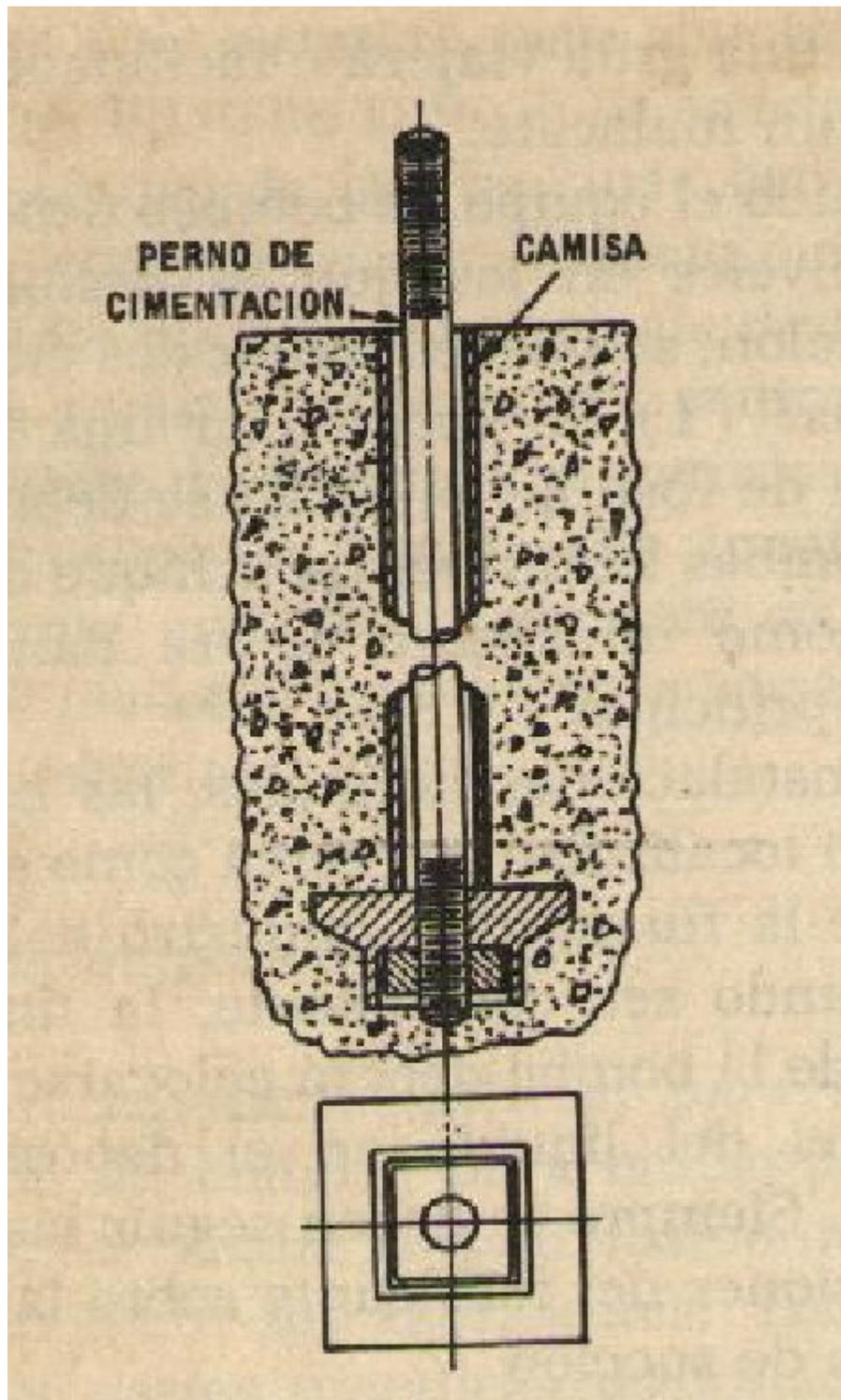


Figura 3.1 Perno de cimentación.

3.1.3 Alineamiento Cuando una unidad que consiste de bomba, base, acoplamiento e impulsor se arma en la fabrica, la placa de base se coloca en una superficie plana y lisa, se montan la bomba y el rotor y se alinean con precisión las mitades del acoplamiento con lanas debajo de las superficies de montaje de la bomba y del impulsor donde sea necesario. Generalmente la bomba se fija con prisioneros a la placa de la base en la fabrica, pero, el impulsor se asegura después de la instalación en el lugar por que el alineamiento de fabrica no se puede mantener con suficiente precisión para arrancar y operar la unidad sin volverla a alinear en la campo.

Con unidades de tamaño moderado generalmente es necesario quitar de su lugar la bomba o el motor cuando se esta nivelando. La unidad deberá ponerse sobre la cimentación y soportarse con pequeñas tiras de placa de acero o material para lanas cerca de los pernos de anclaje, dejando un espacio de 1,9 a 5,1 cm. entre el fondo de la plancha y la parte superior del cimiento para la lechada de concreto. El material para lanas deberá extenderse completamente a través del borde de soporte de la placa de base. Los pernos del acoplamiento deberán sacarse antes de nivelar la

unidad y de alinear los medios acoples. A algunas veces se usan cuñas en ves de tiras planas aunque son menos satisfactorias. Las opiniones difieren con respecto al retiro de las tiras o cuñas después de lechadear con concreto. Las tiras de acero o laminas de bronce bajo la placa de base deberán ajustarse hasta que la flecha de la bomba este a nivel, las bridas de la boquillas de succión y descarga estén verticales u horizontales según se requiera y la bomba este a la altura especificada y en su lugar. Cuando la placa se a nivelado, se deberán apretar con los dedos las tuercas de los pernos de anclaje.

Durante la nivelación de la bomba y la placa de base, se deberán mantener el alineamiento preciso entre los dos medios coples desarticulados entre las flechas de la bomba y el impulsor. Antes de alinear, tanto el rotor de la bomba como el del impulsor deberán girarse a mano para asegurarse de que se mueven libremente. Se deberá colocar una regla recta a través del acoplamiento por un lado y por y por arriba, y al mismo tiempo, las caras de las mitades del acoplamiento deberán verificarse con un medidor cónico de espesores o con un calibrador de hojas, (Fig. 3.2) para ver que

estén paralelas. Para todas las verificaciones de alineamiento, incluyendo el paralelismo de las caras del acoplamiento, ambas flechas deberán empujarse con fuerza hacia un lado al tomar las medidas.

Cuando las periferias de las mitades del acoplamiento son círculos perfectos del mismo diámetro y las caras están planas, existe un alineamiento exacto cuando la distancia entre las caras es la misma en todos los puntos y una regla recta asiste bien en cualquier punto de los cantos. Si las caras no están paralelas, los calibradores de espesores o de laminas mostraran una variación en distintos puntos. Si un acoplamiento está mas alto que el otro, la cantidad puede determinarse con la regla recta y los calibradores de hoja.

Algunas veces los medios acoplamiento no son círculos perfectos y no son de diámetro idéntico por las tolerancias de fabricación. La perfección de

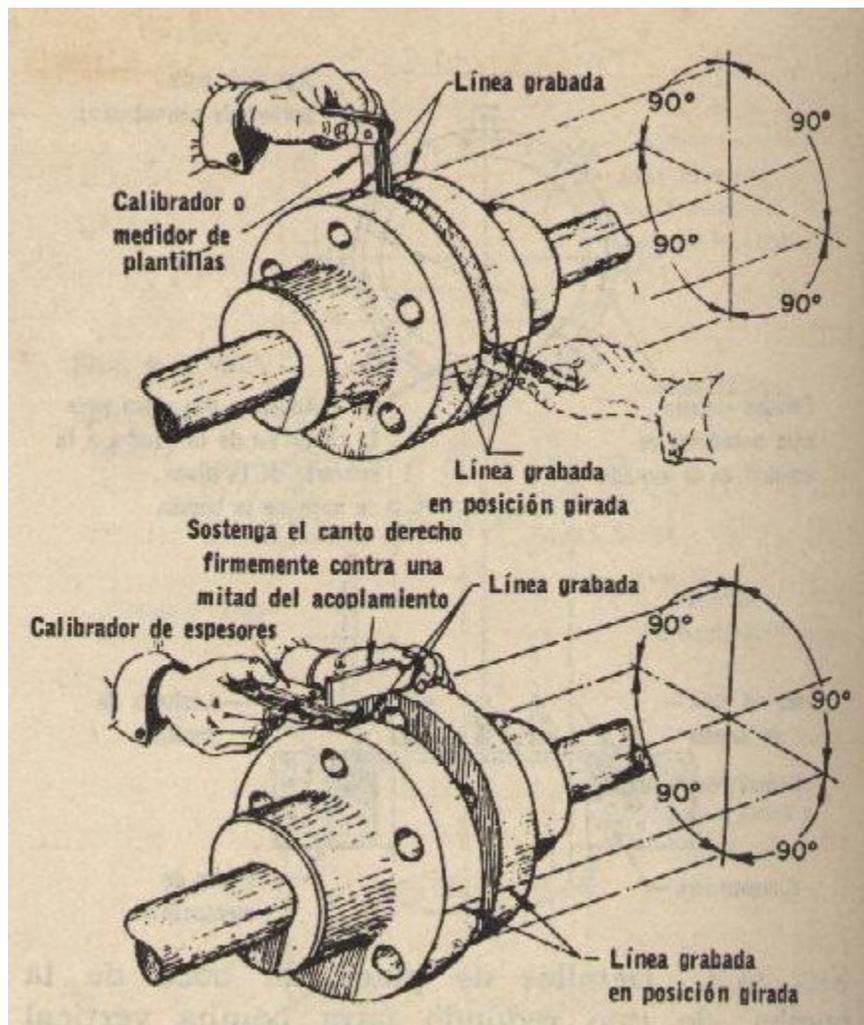


Figura 3.2 A lineación de un acoplamiento usando calibradores de espesores.

cada medio acoplamiento se verifica haciendo girar uno y sosteniendo el otro estacionario y verificando el alineamiento cada cuarto de revolución del medio acoplamiento que gira. Luego se sostiene estacionaria la mitad que se giro previamente y se verifica el alineamiento. Puede encontrarse una variación dentro de los límites de los fabricantes en cualquiera de las dos mitades y se debe dejar una tolerancia adecuada para compensarla cuando se alinea la unidad.

Se puede usar un indicador de carátula atornillado a la mitad del acoplamiento de la bomba para verificar tanto el alineamiento radial como axial en vez de la regla recta y el calibrador de espesores (Fig. 3.3) con el botón de descanso en la periferia del otro acoplamiento, se debe colcar en cero la manecilla indicadora y hacer una marca en el punto del medio acoplamiento en el que está el botón. Para cualquier verificación (arriba, abajo o a los lados) ambas flechas deberán girarse una cantidad igual, es decir, todas las lecturas en la carátula deberán hacerse con el botón en la marca. Las lecturas de la carátula indicaran si el impulsor debe elevarse, bajarse o moverse a uno o a otro lado. Después de cualquier movimiento,

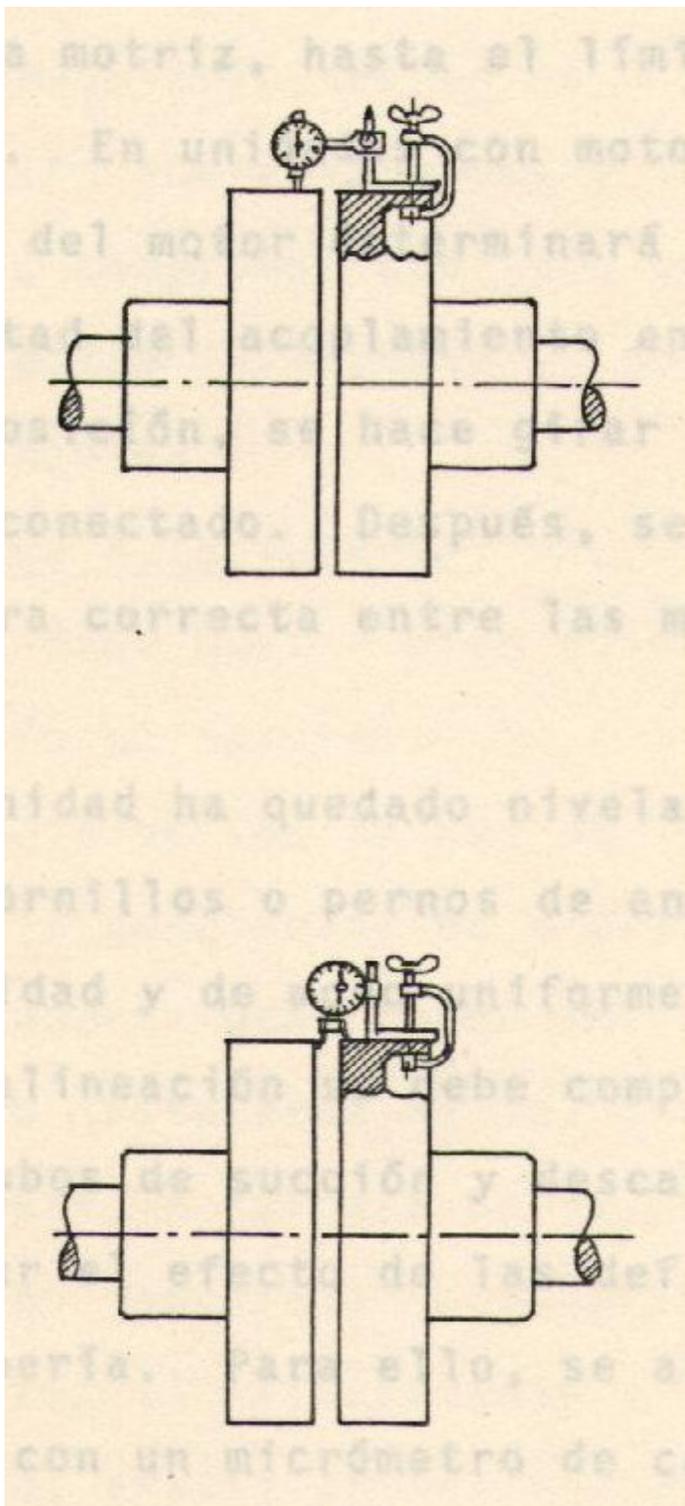


Figura 3.3 Uso del indicador de carátula para alinear un acoplamiento normal.

es necesario verificar que las caras del acoplamiento permanecen paralelas una respecto a la otra.

3.1.4 Vaciado de lechada en concreto Ordinariamente, la placa de la base se fija con lechada de concreto antes de hacer las conexiones de tubería y antes de verificar finalmente la alineación de los dos medios de acoplamientos. El propósito de fijar la placa de base con lechada de concreto es evitar el movimiento lateral de ella y aumentar su masa para reducir la vibración, así como de suavizar las irregularidades en la cimentación.

La mezcla común para lechadear una base de bomba esta compuesta de una parte de cemento Portland puro y dos partes de arena para construcción, con suficiente agua para hacer que la mezcla fluya libremente bajo la base (consistencia de crema espesa). Con objeto de reducir el asentamiento, es mejor mezclar la lechada y dejarla reposar

por un par de horas , volviéndola a mezclar completamente antes de usarla sin agregar más agua .

La parte superior de la cimentación áspera de concreto deberá estar bien saturada con agua antes de lechadear. Se construye un molde de madera alrededor y por fuera de la placa de base para contener la lechada ya sea apretándola contra el borde exterior mas bajo de la placa o a corta distancia del mismo, del mismo según convenga. Para facilitar que penetre la lechada debajo de la placa, se usan embudos estañados en varios puntos alrededor del borde. Se agrega lechada hasta que todo el espacio de abajo de la base este lleno (Fig. 3.4). Los agujeros para la lechada en la base sirven como escapes para permitir que salga el aire. Se deberá usar un alambre rígido metiéndolo por los agujeros para lechada para mover la lechada y deshacer las bolsas de aire.

3.1.5 Sistemas de tuberías La tubería debe quedar bien alineada y coincidir libremente, en forma natural. No debe ser forzada a su lugar

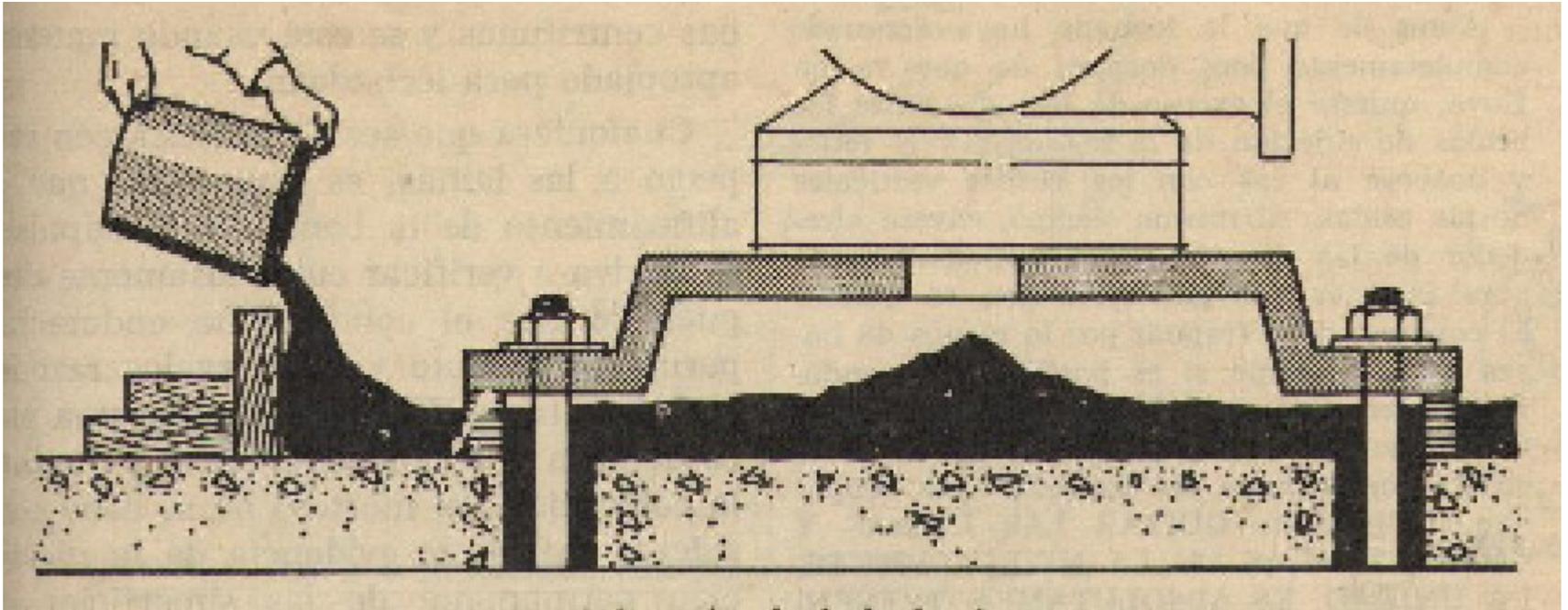


Figura 3.4 Aplicación de lechada de cemento.

por medio de los pernos de las bridas, ya que esto originará la desnivelación o desalineamiento de la bomba. La tubería debe tener sus propios soportes independientes e instalarse de tal manera que no ejerza tensiones sobre la carcasa de la bomba, en ningún sentido. Una vez instalada la tubería se tiene que verificar otra vez el alineamiento y la nivelación y, de ser necesario practicar las correcciones procedentes. Si la tubería de descarga es excepcionalmente larga, debe intercalarse una junta de expansión por deslizamiento con empaquetadura, para compensar la elongación de la tubería originada por la presión. También en los casos en que la tubería quede sometida a cambios de temperatura, tienen que tomarse las medidas que procedan para evitar que la expansión y contracción de las líneas ejerzan tensiones sobre el cuerpo de la bomba.

3.1.5.1 Tubería de descarga Por lo general, se instalan una válvula de retención y una válvula de compuerta en la tubería de descarga. La válvula de retención se coloca entre la bomba y la válvula de compuerta y evita daños a la bomba por la circulación inversa en caso de falla inesperada de la máquina motriz o por circulación inversa desde otra bomba que este

funcionando. La válvula de compuerta se utiliza alcebar la bomba durante el paso para inspección y reparaciones.

En caso de utilizar campanas o conexiones de aumento en la tubería de descarga, dichas conexiones deben quedar localizadas entre la válvula de retención y la bomba. La selección del diámetro de la tubería de descarga, tiene que hacerse conforme a las pérdidas de fricción de flujo que resulten tolerables. La tubería de descarga no debe ser, en ningún caso, de menor diámetro que el que corresponde a la salida de la bomba y es mas bien preferible elegirla entre uno o dos de los tamaños próximos mayores.

3.1.5.2 Tubería de succión La tubería de succión de una bomba centrífuga debe ser diseñada cuidadosamente para que proporcione una velocidad uniforme razonable, un flujo en la línea recta, la presión y hermeticidad adecuadas (contra fugas o infiltraciones).

La tubería de succión debe ser tan directa y corta como sea posible y de un diámetro mayor en una o dos de las medidas próximas, al diámetro de la boquilla de toma de la bomba. La tubería se debe tender de tal manera que la formación de bolsas de aire quede eliminada por completo. Véase figuras 3.5, 3.6, 3.7 y 3.8, en las que se pueden apreciar los procedimientos correctos e incorrectos para instalar la tubería de succión. La tubería debe probarse con presión para localizar fugas eventuales.

La corriente de fluido a la boca de succión de una bomba centrífuga debe ser en líneas paralelas y con velocidad uniforme, a fin de evitar perturbaciones en el impulsor. Lo anterior indica la necesidad de tener un tramo recto de tubería de succión de por lo menos 8 diámetros, inmediatamente antes de la brida de aspiración de la bomba. El tubo de succión debe ser por lo menos del mismo diámetro que dicha brida. Si este tubo fuera de mayor tamaño, habría que utilizar un elemento de reducción (una "reducción" o reductor), cuidando de que no se produzca bolsas de aire o configuraciones de flujo no regulares.

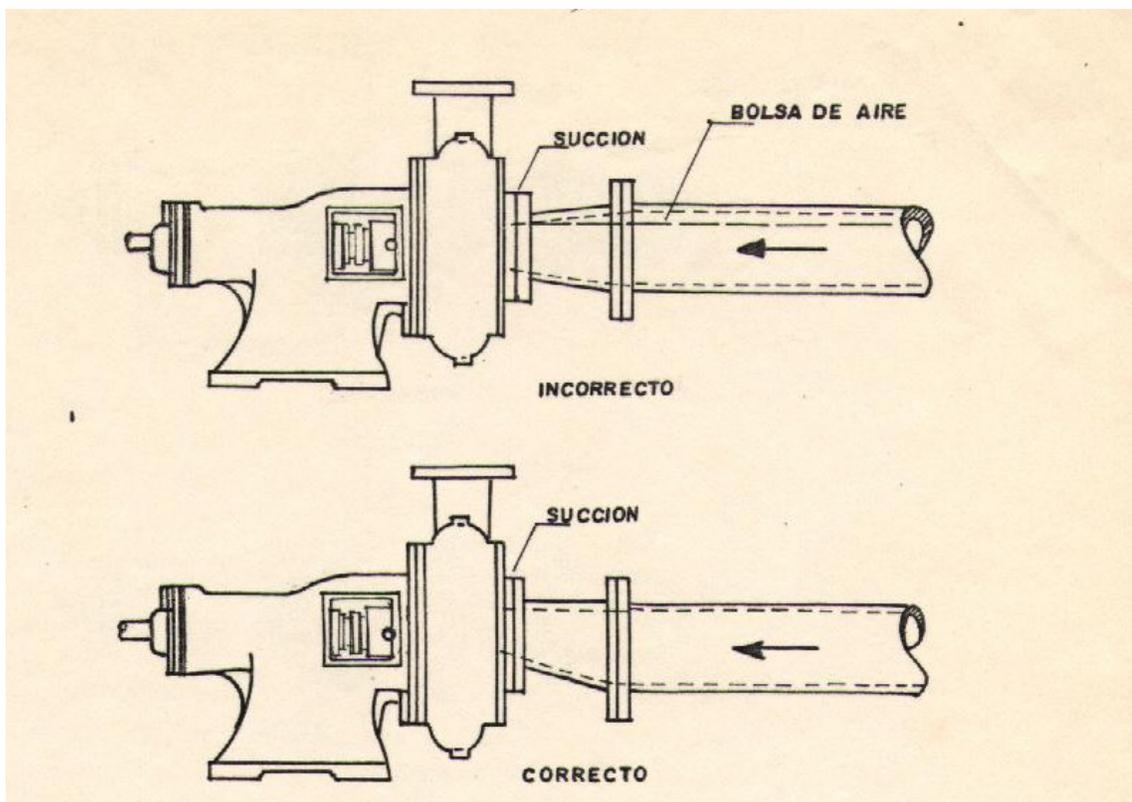


Figura 3.5 Método correcto e incorrecto para montar una bomba y la tubería correspondiente.

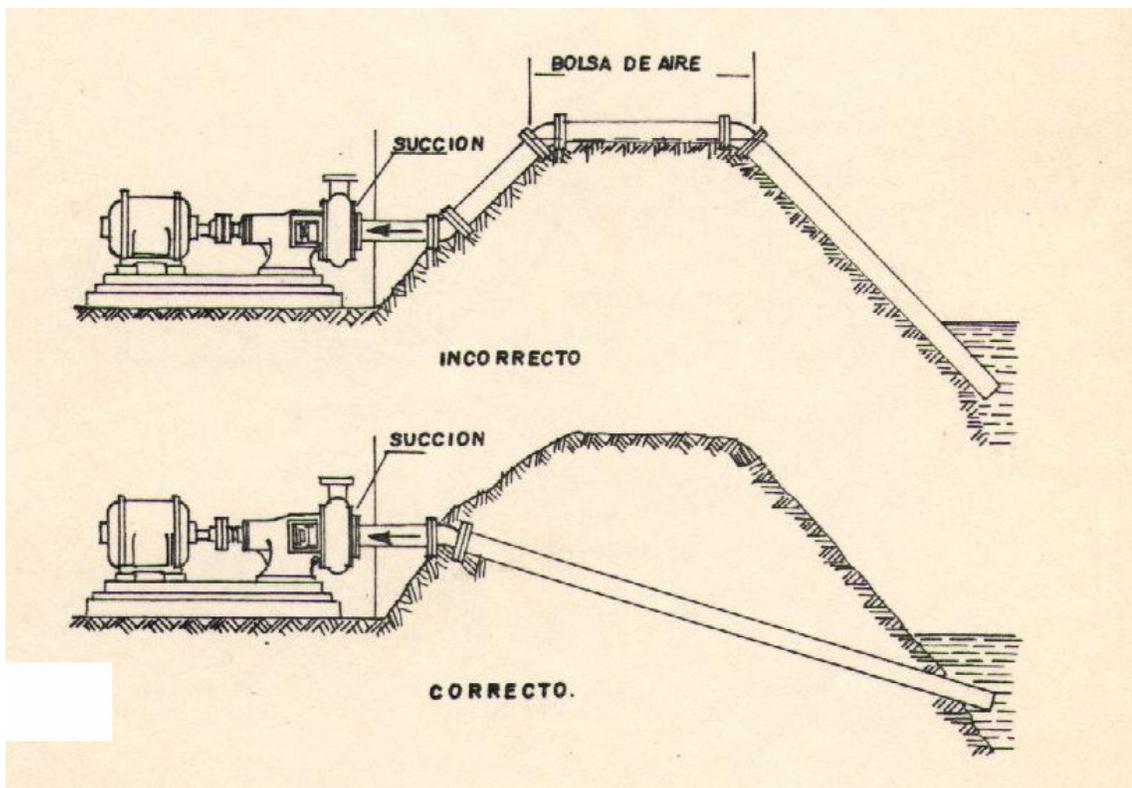


Figura 3.6 Método correcto e incorrecto de montar una bomba y la tubería correspondiente.

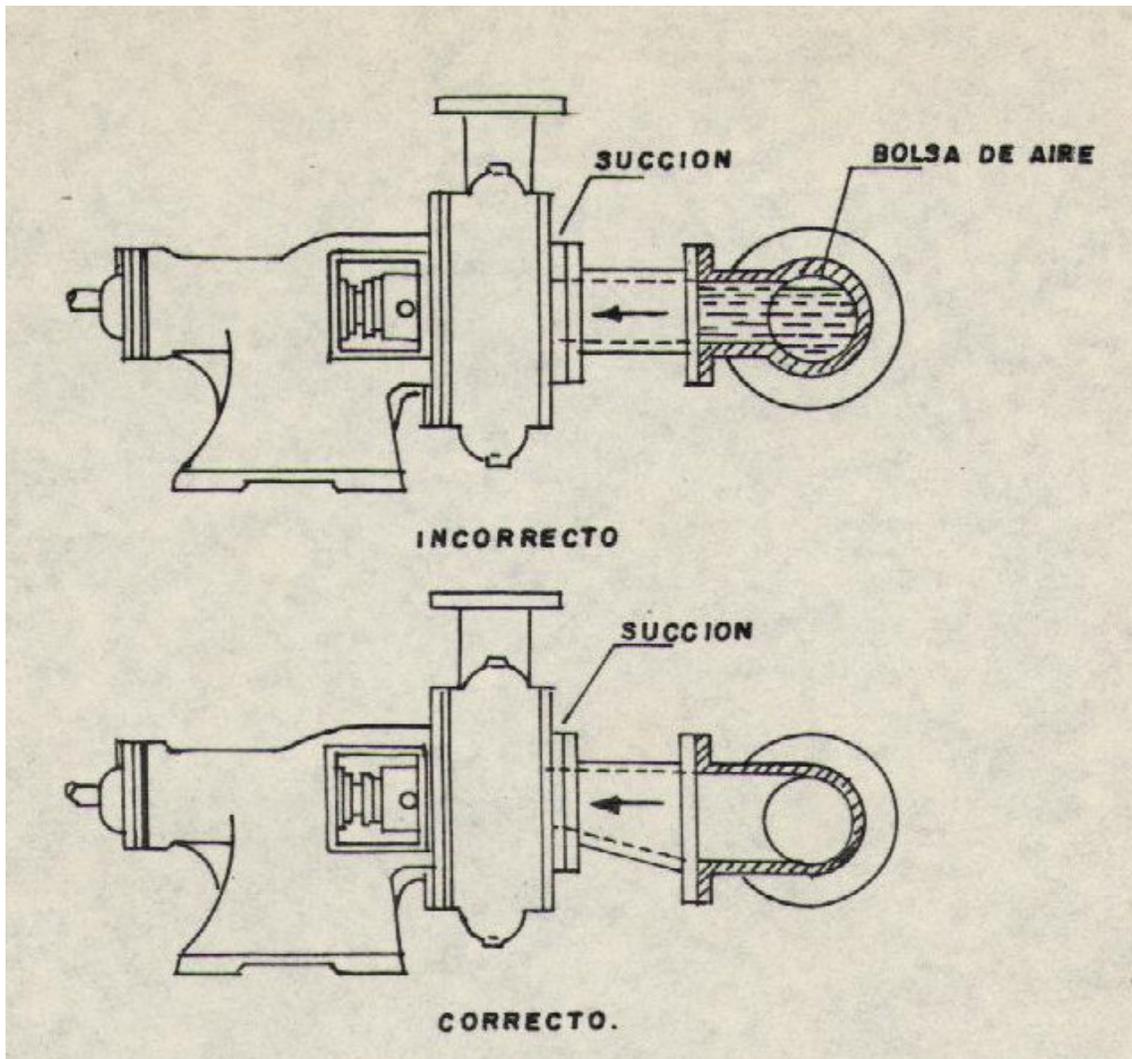


Figura 3.7 Métodos correcto e incorrecto de montar una bomba y la tubería correspondiente

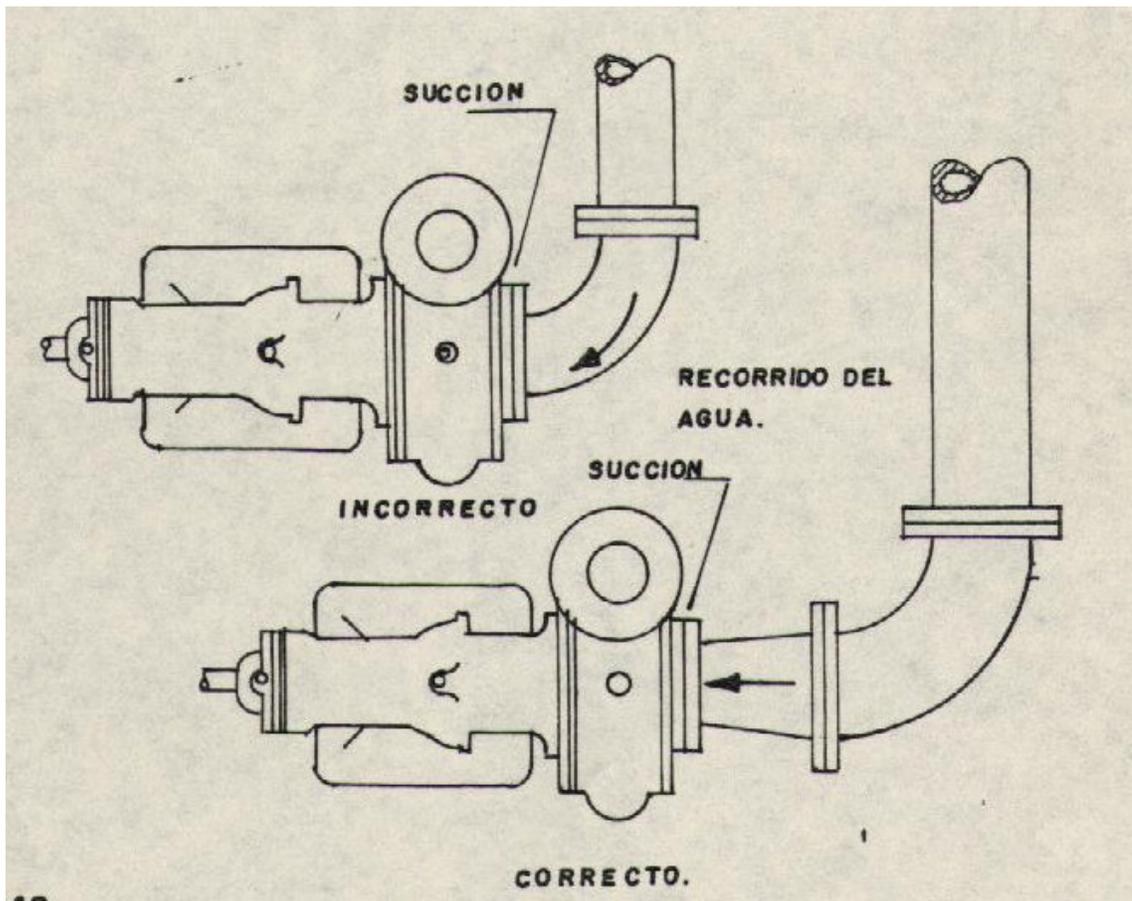


Figura 3.8 Métodos correcto e incorrecto de montar una bomba y la tubería correspondiente

Para mantener cebada a la bomba, es indispensable instalar una válvula de retención vertical (válvula de pie) en el extremo inferior de la tubería de succión.

La superficie libre neta de dicha válvula de pie tiene que ser, cuando menos, igual a la superficie libre neta de la succión de la bomba; aunque es preferible que sea mayor.

En las instalaciones nuevas hay que tener cuidado de que no haya materiales extraños, tales como astillas, rebabas, piedras, etc., ni dentro de la tubería de succión ni cerca de ella, ya que estos desperdicios serán arrastrados hasta la bomba, en donde puede ocasionar desperfectos, como taponamiento. Para proteger la bomba, contra la penetración de cuerpos sólidos extraños, que generalmente causan taponamientos, hay que instalar un filtro en el extremo de la línea de succión, cuyas mayas deben dejar una superficie de paso libre de cuando menos un equivalente de tres o cuatro veces la superficie de la tubería de succión.

3.2 OPERACION

Las bombas centrífugas pueden funcionar en un amplio rango de capacidades, desde casi cero circulación hasta mucho más allá de su capacidad especificada. Debido a que una bomba centrífuga siempre funcionara en la intersección de su curva de carga-capacidad, con la curva de carga del sistema, la capacidad de operación de la bomba se puede alterar ya sea como la estrangulación de la descarga de la bomba (con lo cual se altera la curva de carga del sistema), o con la variación de la velocidad de la bomba (cambio en la curva de carga-capacidad de la bomba). Esto hace a la bomba centrífuga muy adaptable en un amplio rango de servicios y ampliaciones en los cuales se requiere que la bomba funcione con capacidades y cargas que tienen una considerable diferencia, con las condiciones especificadas .

3.2.1 Curva de fricción de un sistema Una gráfica carga (H) - capacidad (Q), se denomina curva de fricción del sistema. La curva pasa

siempre por el origen de la gráfica, puesto que si no hay carga desarrollada por la bomba, es lógico que no existe flujo en el sistema de tubería. (ver figura 3.9) .

El análisis gráfico de un sistema, es necesario para conocer el punto en el cual trabaja una bomba y debe hacerse antes de investigar si las deficiencias del funcionamiento de un equipo se deben a los defectos mecánicos o de instalación.

3.2.2 Funcionamiento de una bomba en el sistema Una bomba centrífuga dada funciona de acuerdo con sus características propias, carga - capacidad. La capacidad de entregada por la bomba viene determinada por la intersección de las curvas características carga-capacidad de la bomba y la curva de fricción del sistema (punto 1 figura 3.10), se obtendrá el punto en el cual trabaja una bomba determinada. Si mediante la válvula reguladora de caudal se disminuye este, el punto de funcionamiento se desplaza hacia arriba en la curva carga - capacidad

(punto 2); si se desea obtener mayor caudal para que el punto de funcionamiento descienda en la curva (punto 3) se deberá facilitar la circulación del líquido en el sistema para reducir las pérdidas de rozamiento, o bien habrá que aumentar la velocidad de la bomba, o aumentar el diámetro del rodete. Entonces se establece una nueva curva carga - capacidad (punto 4).

Para que una bomba funcione satisfactoriamente, el ingeniero debe analizar cuidadosamente, el sistema y elegir la bomba mediante estudio de las curvas características carga - capacidad; para obtener un funcionamiento más económico.

3.2.3 Funcionamiento en paralelo El funcionamiento en paralelo de dos o más bombas, es una práctica común en la industria de las obras hidráulicas, multiplica el caudal o capacidad con la misma presión o carga. Este tipo de aplicación es apropiado para un sistema que requiere gran capacidad o caudal con presión relativamente baja.

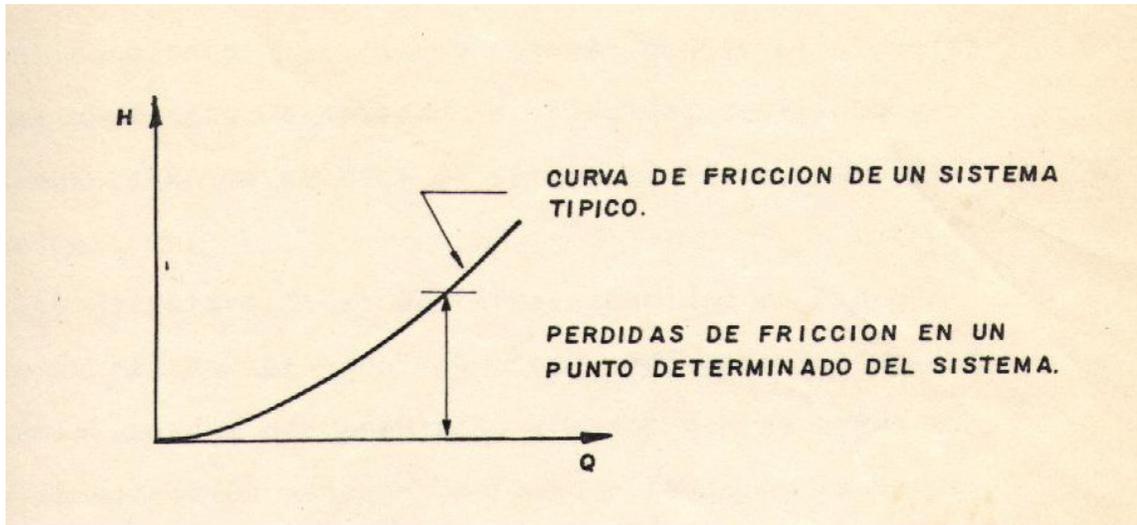


Figura 3.9 Curva de fricción de un sistema de bombeo.

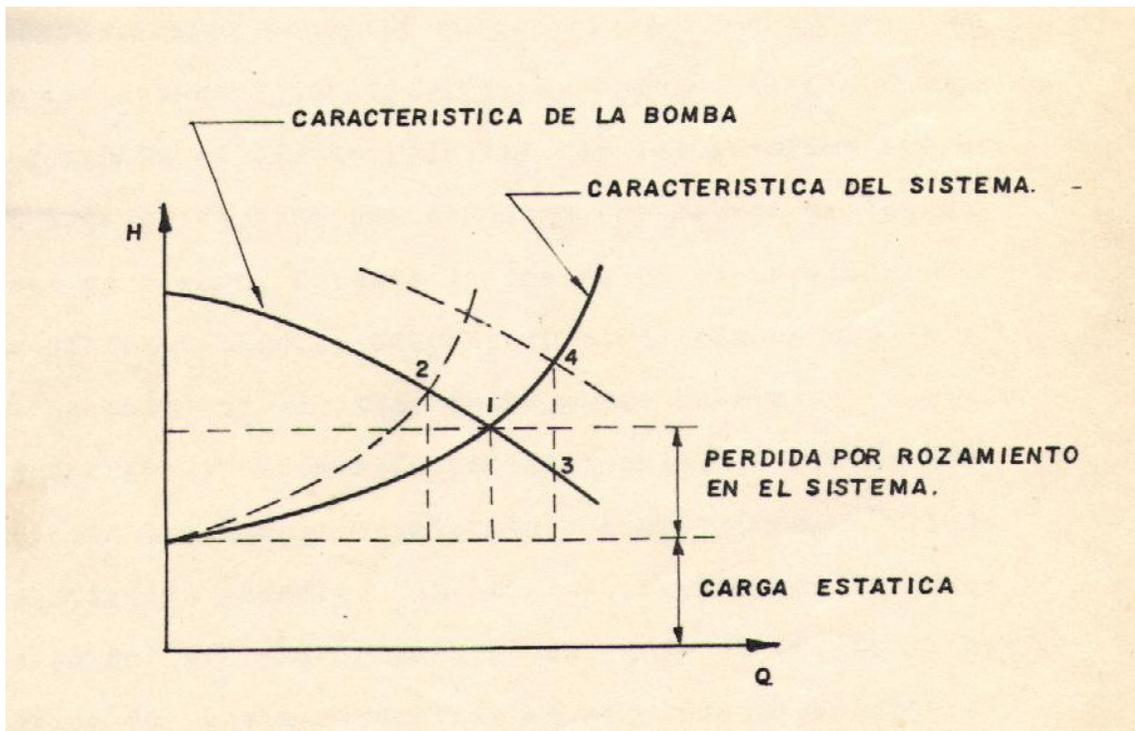


Figura 3.10 Intersección característica de la bomba y del sistema.

Uno de los primeros pasos en la planeación de una operación con bombas múltiples es trazar la curva de carga del sistema como se muestra en la figura 3.11. La carga del sistema consiste de la carga estática (H) y la suma de la carga por fricción (H) en la tubería, válvulas y conexiones. Las curvas carga - capacidad de las diversas bombas se trazan en el mismo diagrama y sus intersecciones con la curva de carga del sistema muestra posibles puntos de operación. Sumando las capacidades de las diversas combinaciones de bombas, para tantos valores de la carga como sea necesario, se trazan las curvas combinadas carga - capacidad. La intersección de cualquier curva carga - capacidad, combinada con la curva de carga del sistema, es un punto de funcionamiento. La figura 3.11 muestra dos curvas de carga- capacidad y la curva combinada. Los puntos 1, 2 y 3 son posibles condiciones de funcionamiento. Se pueden obtener puntos adicionales de funcionamiento; cambiando la velocidad de las bombas o incrementando la pérdida de carga del sistema por el estrangulamiento.

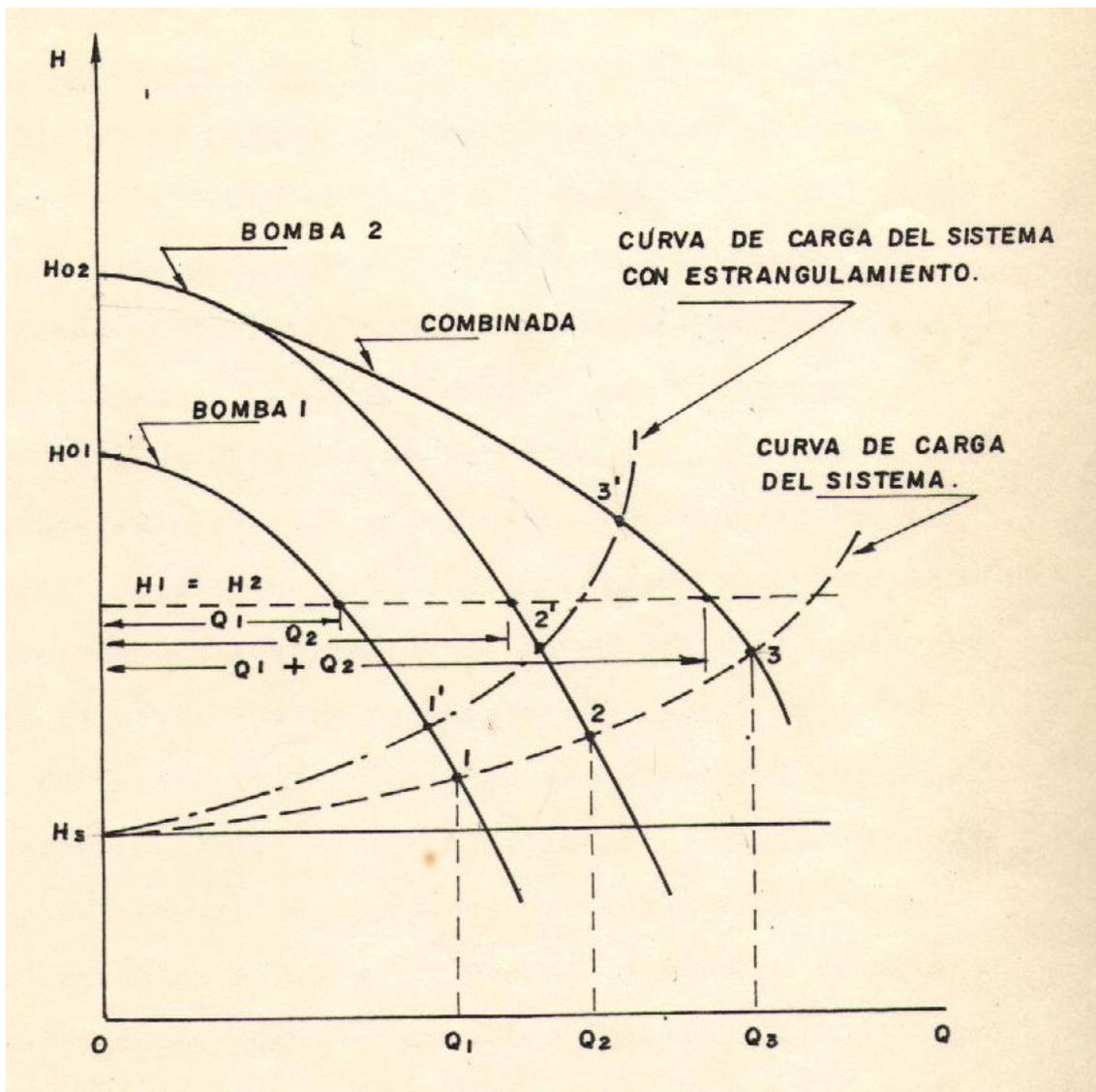


Figura 3.11 Curvas de carga-capacidad de bombas operando en paralelo.

Las características de carga – capacidad de las bombas no necesitan ser idénticas, pero las características inestables pueden dar problemas, a menos que se pueda asegurar la operación solo en la parte estable en la curva característica.

3.2.3.1 Capacidad de diseño Debe tenerse especial cuidado al determinar el tamaño de las unidades individuales de bombeo, para asegurar una operación eficiente y evitar que las unidades operen en forma significativa por encima o por debajo de los volúmenes de diseños, durante la operación en paralelo. El principio en el que se debe basar el diseño es que la descarga total de la estación se pueda determinar sumando las descargas individuales de las bombas. A medida que se coloca las bombas adicionales en operación, el flujo de la estación aumenta. Sin embargo, puesto que la curva de carga del sistema aumenta al aumentar el flujo, la operación de dos bombas idénticas en paralelo no originará una descarga igual al doble de la capacidad de una bomba.

A medida que se colocan más bombas, en operación, el incremento en la capacidad de bombeo resulta menor.

Si las capacidades se incrementan sustancialmente más allá del punto de diseño, la CN SP disponible pueden resultar inadecuadas y puede ocurrir la cavitación. Además se introduce la posibilidad de sobrecargar la bomba. Por lo tanto, al seleccionar una unidad de bombeo es necesario verificar las condiciones a la capacidad crítica (máxima descarga y baja carga anticipada), para asegurar la adecuada operación de la bomba.

Los efectos indeseables de operar una bomba o capacidades menores que la del flujo de diseño son similares a aquellas resultantes de sobre bombeo. Los bajos volúmenes de descarga originan una recirculación a través de la bomba, originando cavitación, vibración y ruido además, la fuerza radial sobre el impulsor aumenta sustancialmente incrementando los esfuerzos sobre eje y los cojinetes (a un grado mucho mayor que el que resultaría de un sobre bombeo).

3.2.4 Funcionamiento en serie El funcionamiento en serie de dos o más bombas, multiplica la presión con el mismo caudal correspondiente a una de ellas. Este tipo de aplicación es apropiado para el sistema que requiere alta presión, con caudal relativamente pequeño. Debe calcularse exactamente el caudal para poner a salvo la bomba reforzada. Normalmente el flujo en serie lo provee una bomba, multicelular o de varias etapas.

El procedimiento de planeación es similar al caso de las bombas en paralelo. las cargas de las bombas se suman, para obtener la curva combinada carga - capacidad.

En este ejemplo, la bomba 2, funcionando sola no entregará fluido, por que su carga de cierre es menor que la carga estática del sistema. Hay 2 puntos posibles de operación 1 y 2, como se muestra por las intersecciones apropiadas con la curva carga del sistema.

Es importante notar que la presión de la Caja del estopero de la segunda bomba, se incrementa por la presión, de descarga de la primera bomba. Esto puede requerir una caja especial de empaque para la segunda bomba.

La presión de succión mayor puede incrementar tanto el costo inicial como los costos de mantenimiento de la segunda bomba.

3.2.5 Cebado de las bombas centrífugas Cebado de una bomba significa reemplazar el aire, gas o vapor que se encuentra en la bomba, y sus tuberías, por el líquido a bombear.

Las bombas centrífugas no son autocebantes, por tal motivo, no se debe poner en marcha ninguna bomba, centrífuga hasta que esté completamente cebada. El fundamento de la explicación de este comportamiento, es que en las bombas centrífugas; el principio de funcionamiento es la ecuación de Euler. En efecto, las bombas

centrífugas funcionando a una velocidad angular (n) determinada, proporciona una altura H máxima, $Q=0$. Esta altura según la ecuación de Euler, no depende de la densidad del fluido.

3.2.5.1 Casos generales en el problema de cebado de una bomba

- **Carga estática de succión positiva** Si el nivel del líquido a bombear está arriba del eje central de la bomba. En este caso, cuando la bomba se pone por primera vez en servicio o después de él, la tubería de la bomba, y ésta misma pueden estar llenos de aire. Por lo tanto, es necesario proveer medios adecuados, como válvulas de purga, para expulsar el aire atrapado.

- **Elevación estática de succión** Si el nivel de succión se encuentra abajo del eje central de la bomba, (caso más común), el cebado puede realizarse ya sea por medio de una válvula de pie en la línea de succión, de

manera que la bomba y la tubería de succión se pueda llenar con líquidos, o utilizando una cámara de cebado en la línea de succión, o bien usando alguna forma de dispositivo creado de vacío.

3.2.6 Golpe de ariete y cavitación En las tres fases, proyecto, instalación y funcionamiento de cierta estructura y máquinas hidráulicas es necesario un control de éstos dos fenómenos: golpe de ariete y cavitación, que se origina por sobre presiones o depresiones excesivas y que pueden conducir averías. Llegando hasta la destrucción misma de la estructura o de la máquina.

3.2.6.1 Golpe de ariete El golpe de ariete es una fuerza destructiva que se presenta en cualquier instalación de equipo de bombeo.

Este fenómeno se produce en los conductos al cerrar o abrir una válvula y al poner en marcha o para una máquina hidráulica, o también al disminuir bruscamente el caudal.

- **Explicación del golpe de ariete** Si en un conducto por el que circula un líquido a cierta velocidad, se interrumpe, total o parcialmente, el movimiento del líquido de forma instantánea o gradual, en la parte anterior del cierre, se produce necesariamente una anulación o disminución de la velocidad. La columna del líquido anterior a la sección donde se verifica el cierre brusco, no se detiene toda instantáneamente, sino que lo hace de manera progresiva. La perturbación se propaga en forma de ondas, a partir de la sección donde se produce, hasta la extremidad del conducto. Existe por lo tanto, una sección neta de separación entre la porción de columnas líquidas ya detenidas, en la que la presión va aumentando, y el resto del líquido todavía en movimiento, que va a comprimirse contra el líquido detenido. Una vez que todo el líquido se haya detenido, las capas más comprimidas reaccionan elásticamente dando lugar a un movimiento del líquido en sentido inverso y a una progresiva

disminución de la presión. El fenómeno se repite varias veces, hasta que se amortiguan por efectos de las fricciones superficiales y elásticas o internas del material del conducto.

- **El golpe de ariete puede producirse:**

1. Si se separa el motor de la bomba sin cerrar previamente la válvula de la impulsión o descarga.
2. Si hay un corte imprevisto de corriente, en el funcionamiento de la bomba.

- **Medios empleados para producir el golpe de ariete** Al parar una bomba se ha de tener la preocupación de cerrar antes la válvula de descarga o impulsión. Si esto se hace a mano, el cierre es lento, la columna del líquido que llena la tubería se desacelera gradualmente.

1. Escoger el diámetro de la tubería de impulsión o descarga grande, para que la velocidad en la tubería sea pequeña.
2. Instalar la bomba con un volante que en caso de corte de la corriente reduzca lentamente, la velocidad del motor por consiguiente la velocidad del líquido en la tubería.
3. Utilizar uno de los dispositivos siguientes:
 - Tanque de compensación de las pulsaciones.
 - Cámara de aire.
 - Tanque de compensación de un solo sentido.

3.2.6.2 Cavitación Es un fenómeno que se produce siempre que la presión en algún punto o zona de la corriente de un líquido, es igual o menor que la presión de saturación de vapor de líquido; el líquido se evapora y se originan en el interior del líquido cavidades o burbujas llenas de vapor y las cavidades deben encontrar una región de presión mas alta que la presión de vapor para que exploten. El fenómeno puede producirse en

estructuras hidráulicas estáticas (tuberías, venturís, etc.) o en máquina hidráulicas (bombas, hélices, turbinas) .

- **La disminución general de la presión se produce debido a:**

1. Un incremento en la altura de succión estática.
2. Una disminución en la presión atmosférica, debido a un aumento de altitud sobre el nivel del mar.
3. Una disminución en la presión absoluta del sistema, tal como la que se presenta cuando se bombea de recipientes.
4. Un incremento en la temperatura del líquido bombeado, el cual tiene el mismo efecto que una disminución en la presión absoluta del sistema, ya que, al aumentar la temperatura, la presión de vaporización es más alta, por tanto, menor la diferencia entre la presión del sistema y esta.

- **La cavitación puede producirse:**

1. Una altura de succión estática demasiado grande.
2. Una longitud excesiva de la tubería de aspiración.
3. Pérdidas secundarias elevadas pueden producir a la entrada de la bomba el fenómeno de cavitación con la destrucción rápida del rodete.
4. Cuando la carga de succión es insuficiente para mantener las presiones arriba de la presión de vapor a través de los pasajes de flujo.

- **Las áreas más sensibles a la cavitación en las bombas centrífugas** Las áreas sensibles son generalmente los lados de baja presión de los alabes del impulsor cerca del borde de entrada y el refuerzo frontal, en donde la curva es mayor. Las áreas sensibles en la carcasa de la bomba incluyen el lado de baja presión de la lengüeta y los lados de baja presión de los álabes de difusión cerca de los bordes de entrada.

- **Signos de la existencia de cavitación** La cavitación se manifiesta de diversas maneras, de las cuales las más importantes son :

1. Ruidos y vibración.
2. Una caída de las curvas de carga - capacidad y la de eficiencia.
3. Desgaste de los álabes del impulsor.

- **Ruido y vibración** El ruido se debe al choque brusco de las burbujas de vapor cuando estas llegan a la zonas de alta presión, y es más fuerte en zonas de mayor tamaño.

El funcionamiento de una bomba suele ser ruidoso, cuando trabaja con una eficiencia bastante menor que la máxima, ya que el líquido choca con los álabes.

- **Caída de las curvas de carga - capacidad y de eficiencia** La forma que adopta una curva al llegar al punto de cavitación varía con la velocidad específica de la bomba. Con bombas de baja velocidad

especifica las curvas de carga - capacidad, eficiencia y potencia se quiebran y caen bruscamente al llegar al punto de cavitación.

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

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

- **Desgaste del impulsor** El impulsor de una bomba centrífuga que ha funcionado con cavitación presenta un aspecto esponjoso, como carcomido o corroído.

Antiguamente se creyó que la cavitación no era más que una corrosión química producida por la liberación de aire y de oxígeno disuelto en el líquido a bajas presiones. Actualmente se sabe, que la cavitación es debida principalmente a la acción mecánica (golpeteo) de impactos rápidos, a manera de explosiones, de las burbujas de vapor, aunque no se descarta la posibilidad de acción química corrosiva.

El desgaste por cavitación se debe distinguirse del que produce la corrosión y erosión. El de corrosión lo causa única y exclusivamente la acción química y electrolítica de los líquidos bombeados. El de erosión es causado por las partículas abrasivas tales como la arena, coke o carbón.

. **Resistencia de los materiales a la cavitación** Los distintos materiales resisten la cavitación en diferentes grados. La cantidad de material destruido por la cavitación esta controlada por la composición química de ellos, el tratamiento térmico y las condiciones de su superficie.

. **Medios de evitar o reducir la cavitación**

1. Tener un conocimiento completo de las características del fenómeno de nuestra bomba.
2. Conocimiento de las condiciones de succión existentes en el sistema.
3. Las condiciones de succión se pueden mejorar, eligiendo el tubo de succión de mayor diámetro, reduciendo su longitud y eliminando codos, así como todo aquello que pueda ocasionar pérdidas de succión.
4. Una revisión completa de todas las secciones de la cabeza de succión, impulsor y carcasa por donde va a pasar el líquido, cuidando de que no existan obstrucciones.
5. Elementos de guía que conduzcan el líquido conveniente.
6. Uso de materiales adecuados.
7. Introducción de pequeñas cantidades de aire para reducir el efecto.
8. La (C.N.S.P.) requerida o mínima debe ser determinada por medio de pruebas y normalmente la establece el fabricante. Si se quiere evitar la cavitación (C.N.S.P.) disponible en una instalación debe ser por lo menos igual a la (C.N.S.P.) requerida. Aumentando la (C.N.S.P.)

disponible se cuenta con un margen de seguridad contra el efecto de la cavitación.

3.2.7 Comprobaciones finales antes del arranque Se recomienda ciertas comprobaciones en los últimos instantes de efectuar el arranque inicial de una bomba para ponerla en servicio. Con el acoplamiento desconectado, no debe volver a comprobar la dirección de rotación de la máquina motriz. Por lo general, una fichita en la bomba indica la rotación correcta. El rotor de una bomba centrífuga se debe poder girar con la mano, si el rotor está trabando o tiene rozamiento, aunque sea ligero, no ponga en marcha la bomba hasta haber localizado y corregir la causa de la dificultad.

3.2.8 Procedimientos para arranque Los pasos necesarios para el arranque de una bomba centrífuga, dependen de su tipo y del servicio para el cual se destina. La curva de carga - capacidad de la bomba influye mucho en los métodos utilizados para el arranque.

Las bombas para carga alta y mediana (velocidades específicas baja y mediana) tienen curvas de carga que se elevan desde cero circulación hasta la condición de capacidad normal. Esas bombas se deben arrancar con la válvula de descarga cerrada, a fin de reducir la carga para arranque.

Las bombas para carga alta y mediana (velocidades específicas baja mediana) tienen curvas de cargas que se elevan desde cero circulación hasta la condición de capacidad normal. Esas bombas se deben arrancar con la válvula de descarga cerrada, a fin de reducir la carga para arranque sobre la máquina motriz; para este fin, una válvula de retención equivalente a una válvula cerrada. La válvula de retención no abrirá hasta que la bomba que se está arrancando alcanza una velocidad suficiente para generar una carga bastante fuerte como para abrir la válvula de retención. Si se arranca la bomba con la válvula de descarga cerrada, el tubo de desvío para recirculación debe estar abierto para evitar el sobrecalentamiento.

Las bombas para carga baja (alta velocidad especifica) del tipo de circulación mixta y axial, tiene curvas de potencia con un ascenso muy rápido cuando hay reducción en la capacidad; se deben arrancar con la válvula de descarga abierta por completo contra la válvula de retención, si se necesita, para evitar la circulación inversa.

Si la bomba tiene impulsión con motor eléctrico, su potencia de cierre no excede del caballoje (no ponen en peligro el motor) y que se va a arrancar contra una válvula de compuerta cerrada, el procedimiento para arranque sería :

1. Abra la válvula de succión, cierre los drenajes, y cebe la bomba con preparación para el arranque.
2. Si es el caso, abra la válvula en el suministro de agua de enfriamiento para los cojinetes, si se aplica.
3. Abra la válvula en el suministro de agua de enfriamiento si los estoperos tienen enfriamiento por agua.
4. Abra la válvula en el suministro del líquido para sellado, si lo tiene la bomba.
5. Si la bomba normalmente no se mantiene a su temperatura de operación, abra la válvula de calentamiento para bombas que manejan líquidos calientes. Una vez caliente la bomba cierre la válvula.
6. Abra la válvula en el tubo de recirculación si la bomba no debe funcionar contra descarga cerrada.
7. Arranque el motor.
8. Abra con lentitud la válvula de descarga.
9. observe la fuga de los estoperos y ajuste la válvula del líquido para sellado a fin de tener la circulación correcta de los empaques. Si los empaques son nuevos, no apriete de inmediato el casquillo del estopero; deje que el empaque se asiente antes de reducir la fuga de los estoperos.

10. Compruebe el funcionamiento mecánico general de la bomba y del motor.

11. Cierre la válvula en el tubo de recirculación una vez que haya suficiente circulación en la bomba para evitar el sobrecalentamiento.

Si se va a arrancar la bomba en contra de una válvula de retención cerrada, con la válvula de compuerta de descarga abierta, el procedimiento sería el mismo, excepto que se abriría la válvula de compuerta de descarga cierto tiempo antes de arrancar el motor.

3.2.9 Procedimiento de paro de una bomba Los pasos necesarios para el paro de una bomba centrífuga, dependen de su tipo y del servicio por el cual se destina. Por lo general, los pasos para detener una bomba que funcionará contra una válvula de compuerta serán:

1. Abrir la válvula en el tubo de recirculación.

2. Cerrar la válvula de compuerta.
3. Parar el motor.
4. Accionar la válvula de calentamiento si se va a mantener la bomba a su temperatura de operación.
5. Cerrar la válvula en el suministro de agua para enfriamiento a los cojinetes y a los estoperos enfriados por agua.
6. Si no se requiere suministro de líquido o agua para sellado mientras la bomba esta parada, cierre la válvula en este tubo.
7. Cierre la válvula de succión, abra las válvulas de drenajes, según se requiera la instalación particular de la bomba, o si se va a abrir la bomba para inspección.

Si la bomba es de un tipo que no permite el funcionamiento contra una válvula de compuerta cerrada invierte el orden de los pasos 2 y 3.

En general, el arranque y paro de bombas impulsadas por turbinas de vapor requiere los mismos pasos y secuencia que en las bombas con motor

eléctrico. Como regla general, las turbinas e vapor tienen diversos drenajes y sellos que se deben abrir o cerrar antes y durante la operación. En forma similar, muchas turbinas requieren calentamiento antes del arranque. También, algunas turbinas necesitan usar el engrane para rotación si se van a mantener en la línea y listas para arranque.

3.3 MANTENIMIENTO

Debido a la gran variación de tipos, tamaños, partes y diseños de las bombas centrífugas, cualquier descripción del mantenimiento debe restringirse a los tipos más comunes de bombas centrífugas. Los instructivos de los fabricantes, se deberán estudiar cuidadosamente, antes de tratar de dar servicio a una bomba determinada.

La amplitud de los conocimientos que debe tener el personal de mantenimiento acerca de las bombas a su cuidado depende de las

demandas y complejidad del sistema en el que están instalada. La mayoría de los casos, es suficiente la información completa que se da en el instructivo sobre la construcción mecánica. Por lo general, el personal de mantenimiento solo necesita saber las condiciones especificadas para el servicio que generalmente se da en la placa de la bomba. Ocasionalmente, necesitan también información más completa sobre las características de la bomba para proporcionar inspección y mantenimiento más adecuados. En esos casos se requiere una curva de funcionamiento de la bomba y si no están incluidas en el manual de instrucciones, se deberá obtener del fabricante de la bomba.

Los problemas de mantenimiento del equipo de bombeo centrífugo varían de sencillos a complicados. El tipo de servicio para el que la bomba está destinada, la construcción general de ella, la complejidad relativa de las reparaciones requeridas, las facilidades disponibles en el lugar, y otros factores entran en la decisión de si las reparaciones necesarias se ejecutan en la instalación en la planta del fabricante de la bomba. A algunas veces, especialmente cuando se tiene suficiente equipo auxiliar de

relevo, una bomba que necesite reparación se manda a la planta del fabricante para reconstrucción completa. De otra manera, la reparaciones o reconstrucciones se hacen localmente, con los mecánicos que prestan servicio en la instalación. Cuando es mas rápido, los ingenieros de servicio de la planta del fabricante de la bomba ejecutan la reparación del lugar.

3.3.1 Observación diaria Las instalaciones de bombas que se atienden constantemente deberán inspeccionarse cada hora y todos los días. Un sistema de tarjetas para estas inspecciones no se consideran necesarias porque el operador debe reportar inmediatamente cualquier irregularidad en la operación. Un cambio de sonido en una bomba que esta trabajando debe investigarse inmediatamente. Las temperaturas de los cojinetes deben observarse cada hora. Un cambio repentino de temperatura en un cojinete es una indicación mucho mas clara de dificultades que una temperatura alta constante. Si la bomba esta equipada con chumaceras aceitadas con anillos se deberá observar el funcionamiento apropiado de los anillos de aceite.

También se debe observar cada hora la operación de los estoperos. Se debe revisar el escurrimiento de los estoperos, para ver si es suficiente para proporcionar enfriamiento y lubricación a la empaquetadura pero no excesiva y con desperdicio.

Los manómetros e indicadores de flujo, si están instalados, deberán también revisarse cada hora para su correcta operación. Los instrumentos registradores, si se cuentan con ellos, se deben verificar todos los días para asegurarse de que la capacidad de salida, presión o consumo de corriente no indica que algo necesita de atención.

3.3.2 Inspección semestral El prensaestopas del estopero deberá revisarse cada medio año para ver que tenga movimiento libre. Se deberán limpiar y aceitar los pernos y tuercas del prensaestopas e inspeccionar la empaquetadura para ver si se necesita reponerse.

El alineamiento de la bomba y del impulsor deberán verificarse y corregirse si es necesario. Los cojinetes lubricados con aceite deberán vaciarse, escurrirse y rellenarse con aceite nuevo. Los cojinetes lubricados con grasa deberán inspeccionarse para ver si se proporciona la cantidad correcta de grasa y si todavía es de consistencia adecuada.

3.3.3 Inspección anual las bombas centrífugas deben inspeccionarse muy cuidadosamente una vez al año además del procedimiento de mantenimiento semestral, se debe desmontar los cojinetes, limpiar y examinar si tienen defectos. Las cajas de los cojinetes deben limpiarse cuidadosamente. Los baleros antifricción deben examinarse, para ver si están rayados o tienen desgaste, después de limpiarse. Inmediatamente después de la inspección de los cojinetes deben pulirse con una capa de aceite o grasa para evitar que se entre el moho o la humedad.

La empaquetadura deberá sacarse y los manguitos de las flechas, o la flecha si no se usan manguitos, deberán examinarse buscando si hay desgaste.

Las mitades del acoplamiento deberán desconectarse y verificar el alineamiento. El caso de bombas horizontales de cojinetes de babbitt, deberán verificarse el movimiento vertical en ambos extremos con la empaquetadura fuera y el acoplamiento desconectado. Cualquier movimiento vertical superior a 150% del juego original requiere una investigación para investigar la causa. El juego permitido en los extremos por los cojinetes también deberán verificarse y si tiene mas del recomendado por el fabricante, se deberá determinar la causa y corregirse.

Los drenajes, tubería de agua de sello, tubería de agua de enfriamiento y otras tuberías deberán revisarse y soplarse. Si se usa un enfriador de

aceite, deberá soplarse y limpiarse. Se deberán reempacar los estoperos y volver a conectar el acoplamiento.

Si se tiene disponible dispositivos e instrumentos de medición, estos deberán recalibrarse y hacer una prueba para determinar si se tiene un funcionamiento correcto. Si se hacen reparaciones internas deberá probarse nuevamente la bomba al terminar la reparación.

3.3.4 Reconstrucción completa No se puede establecer fácilmente reglas generales para determinar la frecuencia apropiada y la periodicidad de las reconstrucciones generales de las bombas centrífugas. El tipo de servicio para el que se destina la bomba, su construcción general, el líquido manejado, los materiales usados, el tiempo promedio de operación de la bomba, y la cuantificación de los costos de reconstrucción contra los posibles ahorros de fuerza por la renovación de los espacios libres, todos, entran la decisión de la frecuencia de las reparaciones generales. Algunas bombas en servicios severos pueden requerir una reconstrucción

completa cada mes, mientras que otras aplicaciones solo la requieren cada dos a cuatro años y a veces con menos frecuencia.

La mayoría de los diseñadores de bombas los especialistas consideran que una bomba centrífuga no debe abrirse para inspeccionarla a menos que la evidencia de hecho o circunstancial indique que es necesaria la reconstrucción.

3.3.4.1 Evidencia de hecho algunos tipos de evidencia positiva, son una declinación en el funcionamiento de la bomba, ruido o temperatura excesiva de los cojinetes sobre carga del impulsor o dificultades similares. La instrumentación apropiada es de primordial importancia para la operación satisfactoria y larga vida del equipo de bombeo centrífugo. El equipo para determinar las capacidades y presiones de la bomba es tan importante como cualquier otra herramienta de mantenimiento y siempre deberá tenerse a mano.

Se debe establecer un programa para pruebas completas frecuentes de la unidad de bombeo y los resultados de estas pruebas se comparan con el funcionamiento de la bomba en su condición inicial. Cualquier declinación repentina en el funcionamiento se puede advertir inmediatamente. Esta comparación de funcionamiento, y no el transcurso de un periodo de tiempo fijo, deberá ser la base para determinar si es o no suficiente el desgaste interno que ha ocurrido para que se requiera una reconstrucción completa. El correr una prueba completa es menos costoso que abrir una bomba para inspección y no se requiere sacar de servicio la unidad.

3.3.4.2 Evidencia circunstancial La evidencia circunstancial se refiere a los datos acumulados por la experiencia obtenida con anterioridad, ya sea con la bomba en cuestión o con equipo similar en servicio igual. Por ejemplo, si un grupo de bombas de alimentación a calderas construidas con acero inoxidable con aleación de cromo ha trabajado continuamente durante 80.000 hr sin la necesidad de una reconstrucción, una unidad duplicada no requerirá inspección antes de que haya operado 80.000 hr.

Las bombas en servicio severos que han requerido reconstrucción a intervalos de tres meses pueden sustituirse por unidades mejor construidas o mas fuertes. Sin embargo, hasta que el nuevo equipo se ha probado y se ha establecido un tipo nuevo de experiencia, la bomba deberá abrirse al final de tres meses para valbrar el efecto de la nueva construcción o de los nuevos materiales.

3.3.4.3 Excepciones Las dificultades por corrosión-erosión que no se puede clasificar con algunas de los tipos de evidencia precedentes, no necesariamente serán obviadas en las características de funcionamiento de la bomba obtenidas por medio de pruebas de rutina. Si se permite que estas dificultades continúen sin atenderse, sin embargo, puede fácilmente conducir a la destrucción de la bomba, mas allá de cualquier posibilidad de reparación. Sin embargo, las dificultades por corrosión-erosión son generalmente permisibles. Por ejemplo, una bomba que maneja productos químicos corrosivos que esta construida con materiales ordinarios o de materiales que no se han probado en esa aplicación en particular, puede dañarse rápida y severamente. En ese caso, la bomba deberá abrirse para

inspección pronta, después de la instalación inicial y después a intervalos frecuentes, hasta que se pueda determinar la vida de los materiales de la bomba en las condiciones actuales.

Otra excepción es el caso de un operador que prefiere depender de inspecciones visuales periódicas y medidas físicas del juego de operación. Si no se le puede convencer de que este procedimiento es innecesario, la excepción está plenamente justificada porque la confianza del operador en su equipo es mucho más importante que el hecho de que una pieza de equipo se ha abierto una o dos veces adicionalmente durante su vida útil.

Se debe mantener constantemente un almacén adecuado de partes para asegurar una pronta restauración del servicio en el evento de una reconstrucción inesperada y para evitar cualquier demora en la obtención de partes esenciales de repuestos con el fabricante.

3.3.5 Desarmado completo de una bomba centrífuga Las bombas centrífugas deben desarmarse con mucho cuidado. Las válvulas de succión y descarga deberán estar cerrada y la cubierta de la bomba drenada. Todas las tuberías y partes necesarias que pudieran intervenir en el desarmado de la bomba, como tapas de baleros , deberán desmantelarse según lo requieran las instrucciones del fabricante.

Durante el proceso de desmantelamiento, las distintas partes removidas deben marcarse para asegurar que al volverse a armar se haga correctamente. Todas las partes aisladas y todas las juntas importantes se deberán examinar cuidadosamente. Si la bomba está operando satisfactoriamente con solo una ligera producción de carga o capacidad debido al aumento de escurrimiento, la decisión sobre el reacondicionamiento dependerá de muchos factores:

1. Disponibilidad de partes de repuesto.
2. Periodo de tiempo que puede estar fuera de servicio de la bomba.

3. Consideraciones económicas e importancia de obtener el mayor servicio de la unidad sin reparación general.

Generalmente las partes desgastadas se deberán renovar si no se va a examinar la bomba hasta el siguiente periodo de rutina, sin considerar el funcionamiento de la bomba, porque cuando se arman partes nuevas o en buenas condiciones en contacto con partes sucias o desgastadas, es muy probable que las piezas nuevas se desgasten muy rápidamente.

3.3.6 Problemas de operación La operación de una bomba centrífuga puede afectarse por dificultades hidráulicas o mecánicas. Las dificultades hidráulicas pueden hacer que una bomba falle hasta no descargar nada de agua, o la bomba puede descargar una cantidad insuficiente, desarrollar presión insuficiente, perder su cebado después de arrancar o consumir energía excesiva. Las dificultades mecánicas pueden aparecer en los estoperos y cojinetes, o producir vibración, ruido o sobrecalentamiento de la bomba.

4. APLICACIONES DE LA BOMBA CENTRIFUGA

La mayoría de los procesos en la industria incluyen la conducción de líquidos o transferencia de un valor de presión o de energía estática a otro.

La bomba es el medio mecánico para obtener esta conducción o transferencia y por ello es parte esencial de todos los procesos. A su vez, el crecimiento y el perfeccionamiento de los procesos están ligados con las mejoras en el equipo de bombeo y con un mejor conocimiento de cómo funcionan las bombas y cómo se deben aplicar.

Las bombas centrífugas constituyen no menos del 80% de la producción mundial de bombas, por que es la más adecuada para manejar más cantidad de líquido que la bomba de desplazamiento positivo.

Uno de los factores más importantes que contribuyen al creciente uso de las bombas centrífugas ha sido el desarrollo universal de la fuerza eléctrica.

4.1 APLICACIONES EN PLANTAS DE FUERZA DE VAPOR

Las bombas que se usan comúnmente en las plantas de fuerza de vapor son:

1. Bomba de alimentación de caldera.
2. Bomba de circulación de calderas.
3. Bombas de condensados
4. Bombas para purga del calentador
5. Bombas de circulación de agua (suministra agua de enfriamiento al condensador de vapor)
6. Bombas para manejar cenizas.

7. Bomba de aceite combustible.
8. Bomba de aceite lubricante.
9. Bomba de aceite de sellado.
10. Bomba de agua desmineralizada.
11. Bomba de sumidero para purga de calderas.

4.2 APLICACIONES EN ENERGÍA NUCLEAR

Aun cuando la industria química durante mucho tiempo busco una bomba centrífuga a prueba de fugas para empleo en procesos, no fue sino hasta el advenimiento de las plantas de energía nuclear que se inicio un estudio concienzudo del problema. Antes de esto, las únicas compañías americanas que estudiaban activamente los requisitos de servicio de bombeo a prueba de fugas era la Chempump Corporation, The Fostoria pressed Steel Co (bajo licencia de la Zenith Engineering Corp.) y la Westinghouse Electric Corp. Las bombas desarrolladas de estos estudios fueron unidades relativamente pequeñas.

Los requisitos de columna y capacidad de las aplicaciones nucleares no son severas: Las columnas son moderadas (del orden de 7 a 14 Kg/cm²) mientras que las necesidades de capacidad son de moderadas a grandes (hasta unos 315 lps, al presente). Lo que introduce problemas de diseño y manufactura es el requisito de cero fugas, las restricciones en cuanto a los materiales de construcción y la naturaleza de algunos de los datos sobre los que se basan los diseños de las bombas. Pero estas dificultades se están venciendo rápidamente. Actualmente algunas formas tienen una línea normal de bombas obtenibles para aplicaciones de energía nuclear.

Para cumplir con las condiciones de servicio de energía nuclear por lo menos se ha estudiado siete variaciones de diseño:

1. Bomba de motor enlatado.
2. Bomba de motor sumergido.
3. Bomba con motor en atmósfera de gas.
4. Bomba con motor en aceite.

5. Bomba con fuga controlada.
6. Bomba electromagnética.
7. Bomba de diafragmas especiales.

4.3 APLICACIONES EN LA INDUSTRIA PETROLERA

Para el objeto de clasificación, las bombas que se usan en la industria petrolera pueden ser agrupadas en ocho categorías :

1. Perforación.
2. Producción.
3. Transporte.
4. Refinería.
5. Fracturación.
6. Pozos submarinos.
7. Portátiles.

8. Proporción.

El petróleo es después del agua, el líquido que más comúnmente se maneja con bombas. Siendo esto así, es sorprendente que el número de tipos de bombas que se usan en la industria del petróleo es relativamente pequeño, comparado con otras industrias. En esta industria es característico un alto grado de normalización de bombas.

4.4 APLICACIONES EN LA INDUSTRIA QUÍMICA

La industria química son usuarios principales de bombas de todos los tipos, pero, en particular, de las centrífugas.

La industria química es la que presenta problemas de bombeo más complejos y la que requiere bombas para manejar sustancias de diferente

naturaleza. Dichos líquidos tienen distinta composición química, corrosividad, viscosidad, consistencia, por lo cual se requiere usar diferentes tipos de bombas .

4.4.1 bombas químicas Se usan hoy en día un gran número de bombas químicas verticales de carcasa dividida para una gran variedad de aplicaciones de procesos químicos de rutina. Fabricadas por la mayor parte de los constructores principales de bombas, están diseñada para tener la máxima aplicación en servicios de proceso sin la necesidad de cambios en los materiales, motores, empaques ,etc.

El objetivo principal en el diseño de estas bombas es una resistencia completa a la corrosión-erosión cuando manejan ácidos, álcalis, bases, sales, acetatos, hidrocarburos, cloruros, almidones, aceites y otros líquidos. Facilidad de instalación, operación y mantenimiento. Confianza de operación. Algunos fabricantes enfatizan la facilidad de intercambio .

4.4.2 Bombas de proceso Este tipo, aún cuando se asemeja a la bomba química en muchos aspectos, se diseña generalmente para temperaturas de trabajo algo mayores. El mismo criterio de diseño se encuentra sin embargo, en ellas: simplicidad, confianza de operación e intercambio. Con algunos fabricantes hay grandes semejanzas entre el diseño de sus bombas químicas y sus bombas de proceso, como en otros los dos tipos son totalmente divergentes.

4.4.3 Servicios en alta presión Las bombas de voluta divididas horizontalmente de varios pasos se están haciendo más populares en las plantas de proceso y químicas moderadas. Para servicios de hidráulica, de presiones medias y altas teniendo estas por lo general un rango de presiones de 21 a 70 Kg/cm² y en capacidades de hasta 44 lps.

Cuando se tiene una CSPN limitada, frecuentemente se aplican las bombas verticales de uno o varios pasos al manejo de químicos estos se obtienen en un gran variedad de diseños, con sellos mecánicos o empaques. Las

capacidades llegan hasta 315 lps, columnas hasta 305 m temperatura hasta 204 °C, o más .

4.4.4 Bombas de cero fugas Las bombas de movimiento magnético se construyen tanto en diseños horizontales como verticales. Los extremos de movimientos y mojado están completamente separados por un diafragma no magnético. El líquido bombeado sirve como lubricante para la bomba. Este diseño es especialmente adecuado para líquidos peligrosos, tóxicos, odoríferos , extremadamente caliente o fríos o altamente corrosivos. Las capacidades presentes llegan hasta 9.5 lps, las columnas hasta 21 m .

4.4.5 Bombas para metal fundido Frecuentemente se utiliza bombas de diseños sin empaques para manejar metales fundidos. Casi todas las unidades para este servicio son actualmente verticales , de uno o varios pasos. La columna es frecuentemente pequeña, de 1.5 a 61 m , mientras que la región común de capacidad es de 0,006 a 1260 lps . Las

temperaturas permisibles varían hasta 816 °C. Los elementos de la bomba deben mantenerse a la temperatura de fusión durante el bombeo para evitar la solidificación.

4.4.6 Agitadores y bombas de sólido Estas están diseñadas para manejar soluciones que contienen grandes cantidades de materiales abrasivos en suspensión.

Frecuentemente, se usa para el servicio de agitadores o mezcladores, bombas horizontales y verticales de flujo axial y de impulsor.

4.4.7 Bombas de turbina Las bombas de turbina, tienen muchas aplicaciones en plantas químicas, como manejar ácidos, acetatos, sales, propano, butano, etano, etc.

4.5 APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DEL PAPEL, DEL TEXTIL Y DEL HULE.

Los molinos de pulpa y papel, usan casi exclusivamente bombas centrífugas en sus operaciones de procesos. Puesto que las bombas centrífugas en molinos de pulpa y papel, manejan una gran variedad de líquidos, desde aguas claras hasta ácidos, cáusticos, licores, pastas y agua blanca.

Las bombas en la industria del hule manejan un gran número de líquidos diferentes, incluyendo solventes, aceites suavizadores, soda cáustica, pigmentos, licores, látex, butadieno, estireno, salmueras, catalizadores, modificadores, etc.

Las bombas centrífugas se aplican también extensamente en los departamentos de proceso y manufactura de todo tipo de instalaciones textiles.

4.6 APLICACIÓN EN PROCESOS Y MANEJOS DE ALIMENTOS

Las bombas sanitarias están diseñadas específicamente para manejar alimentos. Estas tienen frecuentemente muchas características especiales que no son necesarias en otro tipo de servicio. Para poder servir en aplicaciones de alimento una bomba debe:

1. Ser altamente resistente a la corrosión .
2. Fácil de desarmar para su limpieza .
3. No debe triturar el alimento o producir espuma .
4. Tener un sistema de lubricación absolutamente estanco .
5. Estar libre de partes sujetas a desgaste o frotamiento durante su operación .
6. Tener empaque positivamente sellado del interior de la carcasa .
7. Tener pasajes internos en la carcasa que sean tersos y libre de esquinas abruptas o cambios pronunciados en su superficie .

Debido a que los impulsores de muchas hojas dañan algunos alimentos frágiles, frecuentemente se usan impulsores sin aletas e impulsores de tornillo de una o de dos aletas en bombas centrífugas para manejar una gran variedad de alimentos. Las manzanas, naranjas, maíz, fresas, habas, ostiones, camarones, huevo, aceitunas y muchos otros alimentos, pueden manejarse con seguridad por impulsores sin paletas.

Las bombas centrífugas del tipo de proceso se pueden obtener para muchos alimentos que tienen un bajo contenido de sodio : jugo de caña, de uva, puré de tomate, licor de azúcar etc. Estas se construyen en capacidades hasta 126 lps y columnas hasta 61 m .

4.7 APLICACIONES EN SISTEMAS DE SUMINISTRO DE AGUA

El suministro de agua a la industria y a los usuarios residenciales es uno de los campos más amplios para las bombas centrífugas. Tanto el agua

subterránea de pozos pocos profundos, como el agua superficial de ríos, lagos, depósitos artificiales se usan como fuente de abastecimiento .

4.8 APLICACIÓN EN ATARJEAS Y SUMIDROS

Las bombas que manejan aguas de atarjeas, sumideros, desperdicios y otros similares son casi siempre unidades centrífugas actualmente debido a que estas pueden manejar sólidos sin dificultad, tienen mas eficiencia y se pueden fácilmente instalar en pozos, sumideros, y otras localizaciones.

4.9 APLICACION EN ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y CALEFACCIÓN

Los rápidos avances en acondicionamiento de aire en los últimos años, han llevado a un crecimiento enorme en número de instalaciones de todo tipo

de edificios. Combinado con la escasez de agua, en muchas áreas, el aumento en el número de unidades en el acondicionamiento de aire ha llevado a un extensivo uso de medio de conservación de agua, tales como torres de enfriamiento, condensadores de vaporación etc. Estas unidades emplean generalmente una o más bombas para circular el agua sobre sus superficies de enfriamiento .

Aún cuando no se ha publicado mucho, ha habido un constante mejoramiento en el sistema de calefacción de todo tipo para edificios comerciales e industriales. Muchas de las mejoras que han tenido lugar pueden atribuirse a un mejor diseño y construcción de bombas que se usan en los diversos sistemas de calefacción.

4.10 APLICACIÓN EN IRRIGACIONES Y CONTROL DE AVENIDAS

Estos servicios son, en general, caracterizados por dos requisitos: grandes gastos de agua a columnas relativamente bajas o moderadas. La irrigación actual, drenaje de tierra y control de avenida esta basada en datos científicos exactos. Como resultado, es posible predecir con mayor exactitud la cantidad de agua necesaria y de esta elegir la clase y tipo de bomba centrífuga mas adecuada a los requisitos existentes.

4.11 APLICACIONES EN LA MINERIA Y CONSTRUCCIÓN

Las bombas para operación de minerías y construcción manejan una gran variedad de líquidos, mucho de los cuales contienen sólidos abrasivos o son ácidos, o ambas cosas. Las aplicaciones en minería y carbón incluye eliminación de agua, alimentación de filtros, manejo de productos pesados, transferencia precipitada, manejo de lodos, bobeo de sumideros, alimentos espesadores, flujo de espesadores, eliminación de desperdicios, lavado de carbón, etc.

En minería y preparación, tanto metálicos como no metálicos, las bombas se usan en los pasos de proceso de beneficio, dragado, alimentación de filtros, alimentación de clasificadoras, eliminación y recuperación de sus productos, alimentación de espesadores, transferencia de precipitados, manejo de decantados, lavados de suelos, manejo de productos pesados, etc.

Los pozos de arcillas y canteras usan bombas para manejos de lodo de cemento, agua de clasificador, mezcla corrosiva, dragado, lodo de cal, drenaje, transferencia de arenas y desperdicios etc.

En la construcción se usa un gran número de bombas centrífugas. Las aplicaciones típicas incluyen drenaje, surtidores de inyecciones de lechada a presión. La mayor parte de estas unidades están montadas sobre ruedas, carros, vigas o carretillas para permitir el fácil movimiento de un lugar a otro.

4.12 APLICACIÓN EN LA MARINA

Las aplicaciones de las bombas son de suma importancia en los barcos tanto mercantes, militares o de pasajeros. Las bombas centrífugas se usan para servicios auxiliares de :

1. Drenajes atmosféricos.
2. Alimentación de calderas.
3. Control de daños.
4. Agua potable.
5. Enfriamiento de máquinas evaporadoras.
6. Protección de incendios.
7. Enfriamiento de artillería.
8. Drenaje de calentadores.
9. Circulación de agua caliente.
10. Alimentación de conservaciones.
11. Servicios sanitarios.

12. Agua de limpieza.

13. Salmueras.

5. CONSTITUCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS PARA EL ESTUDIO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS EN SERIE Y PARALELO

En este capítulo se describe brevemente cómo está constituido el banco de pruebas para el estudio de bombas centrífugas. Se dan las características básicas de cada uno de los elementos y sus funciones.

El banco de pruebas tiene un diseño que permite observar en forma clara y rápida todo lo que se pueda desarrollar en él. El banco consta de todos los instrumentos o aparatos necesarios para calcular, Q , H , W_s , W_d , P_s , P_d , ΔH , η .

La conformación estructural del equipo facilita su instalación en el laboratorio de máquinas hidráulicas de la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar, su desarme para mantenimiento y transporte.

5.1 ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN EL BANCO DE PRUEBAS

Los principales elementos con que cuenta este banco de prueba son los siguientes:

- Tanque de almacenamiento de agua.
- Bombas centrífugas.
- Motores eléctricos.
- Variadores de velocidad.
- Medidores de agua.
- Manómetros.
- Toda la tubería y accesorios que sirven para conducir el agua a través del circuito.
- Estructura de soporte del banco.

5.1.1 Bombas centrífugas Las bombas que se han instalado en el banco de pruebas son iguales de un solo rodete (impulsor) tipo semiabierto, con eje horizontal, succión axial y marca Surtidor.

Las bombas tienen las siguientes especificaciones de funcionamiento:

- Bomba modelo S - 95 .
- Diámetro de succión y de descarga 1 ¼" y 1" respectivamente .
- Caballaje a 1750 y 3500 rpm 1/3 Y 1 HP respectivamente .
- Gabnaje (25 - 60) GPM .
- Presión (8 - 28) Psi.

Estos datos fueron suministrados por la casa constructora de las bombas.

Estas bombas tienen las siguientes especificaciones de construcción:

- La carcasa esta hecha de fundición gris.
- El impulsor esta hecho de bronce.
- El eje esta hecho de acero inoxidable.
- El prensaestopas esta hecho de fundición gris.

5.1.2 Motores eléctricos de las bombas Los dos motores son iguales, y son independientes de las bombas, los cuales están acoplados a estas por medio de un acople flexible tipo Lovejoy.

Estos motores tienen las siguientes especificaciones:

- Motores trifásicos de corriente alterna.
- potencia 0.4/0.3 HP/KW
- Velocidad 1640 rpm
- Tensión eléctrica 220 Voltios
- Intensidad de la corriente 1.6 Amperios
- Marca SIEMENS

5.1.3 Tanque o depósito de almacenamiento de agua El tanque instalado en el sistema tiene una capacidad de aproximadamente 88 galones. Se construyó en laminas lisas de acero al carbono con espesor de 3 mm. Las cuales fueron soldadas con electrodo E - 6013 - 1/8".

En la parte central del tanque en su interior, se encuentra una placa difusora; el cual tiene como objeto principal evitar la turbulencia del agua. En el mismo fondo del tanque se encuentran dos tomas de ½" de diámetro nominal (niple galvanizado) por medio de la cual se le saca el agua al tanque.

En la parte exterior del tanque, se encuentran dos tomas que conducen el agua a las succiones de las bombas. Estas tomas constan de unas uniones simples galvanizadas de $\frac{1}{4}$ " diámetro nominal, las cuales están soldadas al tanque con electrodo E - 6013 - 1/8", y por el otro extremo se acoplan a las líneas de succión de las bombas.

5.1.4 Tablero de control principal El tablero se encuentra ubicado en la parte frontal del banco, por encima de los motores eléctricos. En el tablero se encuentran todos los instrumentos eléctricos de medición y controles de los motores eléctricos.

En la parte eléctrica, la alimentación consta de una caja con seis interruptores de 20 amperios, de los cuales tres son para un motor y tres para el otro. Estos también sirven para proteger el circuito eléctrico.

5.1.4.1 Instrumentos instalados en el tablero de control principal

- **Amperímetros** En el tablero de control principal están instalados dos amperímetros iguales cuyas características de construcción son las siguientes:

- Rango de trabajo, 0 a 5 Amperios con subdivisiones de 1/10 Amperios.

- Marca Macalester Científica.

- **Voltímetros** En el tablero de control principal están instalados dos voltímetros iguales cuyas características de construcción son las siguientes:

- Modelo, KM - 86.

- Rango de trabajo, 0 a 300 voltios con subdivisiones de 10 voltios.

- Marca, Kyoritsu.

- **Contactores** En el tablero de control principal, en su parte interna están instalados dos Contactores iguales, los cuales sirven para proteger los motores. Las características de construcción de los Contactores son las siguientes:

- Contactor trifásico, 220/230 Voltios.

- Potencia KW /HP 4/5.

- Referencia 3TF3010-0A.

- Intensidad 20 Amperios.

- Marca SIEMENS.

- **Variador** En el tablero de control esta instalado un variador de velocidad, el cual tiene como función regular las rpm de los dos motores.

Las características de construcción del variador son las siguientes:

- Alimentación monofásica y salida trifásica.

- Voltaje, 200/240 voltios.

- Frecuencia, alimentación 50/60 Hz, salida 0.5/400 Hz.

- Intensidad, alimentación 9.8/8.2 A, salida 4.8 Amperios.

- Potencia 0.75/1 KW HP.

- Marca, Schneider Electric.

- Referencia ATV28HU18M2.

5.1.5 Manómetros En el equipo están instalados dos manómetros. Se encuentran ubicados en el equipo, en las tuberías de descargas de las bombas. Estos manómetros tienen una capacidad máxima de 15 Psi o 1.4 Kg/cm², suficiente para poder reflejar o ser sensibles a las presiones que se crean en el sistema bajo condiciones normales de manejo durante las experiencias. Los manómetros tienen una carátula de 3½" y son marca Marshall Town.

5.1.6 Válvulas de control

5.1.6.1 Válvulas de compuerta En el equipo están instaladas dos válvulas de compuerta iguales que son: V-1 y V-3, se encuentran ubicadas en el equipo, en las tuberías de succión de las bombas, tienen las siguientes características:

- Diámetro nominal, 1 ¼".
- Material, bronce.
- Presión máxima de trabajo, 180 libras.

5.1.6.2 Válvulas de globo En el equipo están instaladas cuatro válvulas de globo iguales, que son: V-2, V-4, V-5 y V-6. Se encuentran ubicadas en el equipo, en las tuberías de descarga de las bombas, tienen las siguientes características:

- Diámetro nominal, 1".
- Material, bronce.
- Presión máxima de trabajo, 100 libras.

5.1.7 Estructura de soporte del banco La estructura de soporte del banco de pruebas para el estudio de bombas centrífugas en serie y paralelo, fue diseñada de tal forma que su conformidad estructural sea apta para ocupar poco espacio, y de fácil desarme para el mantenimiento y transporte, para un laboratorio de máquinas hidráulicas. Dicha estructura consta de las siguientes partes:

- La base sólida de la estructura de la parte inferior, esta diseñada de ángulos de $2 \times 2 \times 1/4$ ", las cuales fueron soldados con soldadura E - 6013 - $1/8$ ".

- La base sólida de la estructura de la parte superior, esta diseñada de ángulos de $1\frac{1}{2} * 2 * 1/8"$, las cuales fueron soldadas con soldadura E - 6013 - $1/8"$.

- La parte que une las estructuras e la parte superior con la inferior, están diseñadas ángulos de $1\frac{1}{2} * 1\frac{1}{2} * 3/16"$, las cuales fueron soldadas con soldaduras E - 6013 - $1/8"$.

- La base sólida de la estructura de las bombas, esta diseñada de ángulos de $1\frac{1}{2} * 1\frac{1}{2} * 1/8"$, las cuales fueron soldadas con soldadura E - 6013 - $1/8"$.

- La estructura de base del tablero de control principal, esta diseñada de ángulos de $1\frac{1}{2} * 1\frac{1}{2} * 1/8"$, las cuales fueron soldadas con soldadura E - 6013 - $1/8"$.

5.1.8 Medidor de agua Se han instalado en las tuberías de descarga del sistema con el fin de determinar el caudal de trabajo de las bombas en cualquier punto de operación. Estos medidores están contruidos en

hierro fundido y son para tuberías de 1". Tienen carátula de 3" y consta de tres medidores análogos para tomar medidas en décimas, centésimas y milésimas de metros cúbicos. La marca del medidor es Iberconta.

5.1.9 Tuberías del sistema Un sistema de bombeo con altura de succión positiva debe ser diseñado siguiendo ciertas normas de importancia para lograr la máxima eficiencia y evitar daños en las bombas y tuberías.

En este banco de pruebas, el agua recorre un circuito cerrado que comienza y termina en el tanque. Este sistema se ha dividido en dos secciones: líneas de succión y descarga.

5.1.9.1 Línea de succión de la bomba uno Esta línea es la que lleva el agua del tanque a la succión de la bomba, esta constituida por los siguientes elementos:

- Una unión simple de acero al carbono, de 1¼" de diámetro nominal con 60 mm de longitud, soldada al tanque con soldadura E - 6013 - 1/8".

- Una unión universal de hierro galvanizado de 1¼" de diámetro nominal, roscada a la unión simple anteriormente mencionada.
- Un niple de acero al carbono, de 1¼" de diámetro nominal, roscado a la unión universal anteriormente mencionada.
- Una válvula de bronce, de 1¼" de diámetro nominal, roscado al niple anteriormente mencionada.
- Un adaptador macho de PVC de 1¼" de diámetro nominal, roscado a la válvula de compuerta anteriormente mencionada.
- Un tramo recto de tubería de 400 mm de longitud, de 1¼ de diámetro nominal, soldado al adaptador macho anteriormente mencionado.
- Un adaptador macho de PVC de 1¼ de diámetro nominal soldado a la tubería anteriormente mencionada, y por su otro extremo se encuentra roscado al ojo de succión de la bomba.

5.1.9.2 Línea de descarga de la bomba uno Esta línea es la que conduce el agua que sale de la bomba a el tanque, esta constituida por los siguientes elementos:

- Un adaptador macho de PVC de 1" de diámetro nominal, roscado al ojo de descarga de la bomba uno.

- Un tramo recto de tubería de 10 mm de longitud, 1" de diámetro nominal, soldado al adaptador macho anteriormente mencionado.

- Una te de PVC de 1" de diámetro nominal, soldada al tramo de tubería anteriormente mencionada. Este accesorio se ha instalado con el fin de instalar en él, el manómetro para medir la presión de descarga de la bomba uno.

- Un tramo recto de tubería de 200 mm de longitud, 1" de diámetro nominal, soldado a la te anteriormente mencionado.

- Una te de PVC de 1" de diámetro nominal, soldada al tramo recto de tubería mencionado anteriormente. Esta se te instala con la finalidad de dividir la tubería de descarga de la bomba uno en dos ramales:

a. para descargue del fluido cuando esta en paralelo.

b. Para conectar la bomba uno en serie con la bomba dos.

a. para descargue del fluido cuando esta en paralelo

- Un tramo recto de tubería de 370 mm de longitud, 1" de diámetro nominal, soldado a la te anteriormente mencionada.

- Un codo de PVC de 1" de diámetro nominal de 90°, soldado al tramo recto de tubería anteriormente mencionado.

- Un tramo recto de tubería de 10 mm de longitud, 1" de diámetro nominal, soldado al codo de 90° anteriormente mencionado.

- Un adaptador macho de PVC de 1" de diámetro nominal, soldado a la tubería anteriormente mencionada.

- Una válvula de globo de bronce, de 1" de diámetro nominal, roscada al adaptador macho mencionado anteriormente.

- Un adaptador macho de PVC de 1" de diámetro nominal, roscado a la válvula anteriormente mencionada.

- Un tramo recto de tubería de 10 mm de longitud, 1" de diámetro nominal, soldado al adaptador anteriormente mencionado.

- Un adaptador hembra de PVC de 1" de diámetro nominal, soldado a la tubería anteriormente mencionada.

- Un medidor de agua roscado al adaptador anteriormente mencionado

- Un adaptador hembra de PVC de 1" de diámetro nominal, roscado al medidor anteriormente mencionado.

- Un tramo recto de tubería de 10 mm de longitud, 1" de diámetro nominal, soldado al adaptador anteriormente mencionado.

- Un codo de PVC de 1" de diámetro nominal de 45°, soldado al tramo recto de tubería anteriormente mencionado.

- Un tramo recto de tubería de 380 mm de longitud, 1" de diámetro nominal, soldado al codo de 45° anteriormente mencionado.

- Una yve de PVC de 1" de diámetro nominal, recubierta en material sintético, soldado al tramo recto de tubería mencionado anteriormente.

Este accesorio se instala para unir las dos líneas de descarga de las bombas cuando están en paralelo.

- Un tramo recto de tubería de 70 mm de longitud, 1" de diámetro nominal, soldado a la yve anteriormente mencionado.

- Un adaptador macho de PVC de 1" de diámetro nominal, soldado a la tubería mencionada anteriormente.

- Una válvula de globo de bronce, de 1" de diámetro nominal, roscada al adaptador macho mencionado anteriormente.

- Un adaptador macho de PVC de 1" de diámetro nominal, roscado a la válvula mencionada anteriormente.

- Un tramo de tubería de 500 mm, la cual tiene una forma de un cuarto de circunferencia.

b. Para conectar la bomba uno en serie con la bomba dos

- Un tramo recto de tubería de 10 mm de longitud, 1" de diámetro nominal, soldado a la te que subdivide a la tubería de descarga de la bomba uno en dos ramales.

- Un adaptador macho de PVC de 1" de diámetro nominal soldado al tramo de tubería anteriormente mencionado.

- Una válvula de globo de bronce, de 1" de diámetro nominal, roscada al adaptador macho mencionado anteriormente.

- Un adaptador macho de PVC de 1" de diámetro nominal roscado a la válvula anteriormente mencionada.

- Un tramo recto de tubería de 10 mm de longitud, 1" de diámetro nominal, soldado al adaptador mencionado anteriormente.

- Un codo de PVC de 1" de diámetro nominal de 90°, soldado al tramo recto de tubería anteriormente mencionado.

- Un tramo recto de tubería de 270 mm de longitud, 1" de diámetro nominal soldado al codo de 90° mencionado anteriormente.

- Una unión universal de PVC de 1" de diámetro nominal, soldada al tramo recto de tubería mencionada anteriormente.

- Un tramo recto de tubería de 260 mm de longitud, 1" de diámetro nominal, soldado a la unión universal mencionada anteriormente.

- Un codo de PVC de 1" de diámetro nominal de 90°, soldado al tramo recto de tubería anteriormente mencionado.

- Un tramo recto de tubería de 400 mm de longitud, 1" de diámetro nominal, soldado al codo de 90° mencionada anteriormente.

- Una reducción de 1¼ a 1" la cual está soldada a la tubería anterior y a la te que se encuentra en la línea de succión de la bomba dos.

5.1.9.3 Línea de succión de la bomba dos Esta línea es la que lleva el agua del tanque a la succión de la bomba dos, esta construida por los siguientes elementos:

- Una unión simple de acero al carbono, de 1¼" de diámetro nominal con 60 mm de longitud, soldada al tanque con soldadura E - 6013 - 1/8".

- Una unión universal de hierro galvanizado de 1¼" de diámetro nominal, roscada a la unión simple anteriormente mencionada.

- Un niple de acero al carbono, de 1¼" de diámetro nominal, roscado a la unión universal anteriormente mencionada.

- Una válvula de bronce, de 1¼" de diámetro nominal, roscado al niple anteriormente mencionada.

- Un adaptador macho de PVC de 1¼" de diámetro nominal, roscado a la válvula de compuerta anteriormente mencionada.

- Un tramo recto de tubería de 170 mm de longitud, de 1¼ de diámetro nominal, soldado al adaptador macho anteriormente mencionado.

- Una te de PVC de 1¼" de diámetro nominal, soldada a la tubería anterior.

Este accesorio se ha instalado con el fin de comunicar a las bombas en serie y para comunicar la succión de la bomba dos con el tanque.

- Un tramo recto de tubería de 80 mm de longitud, de 1¼ de diámetro nominal, soldado a la te anteriormente mencionada.

- Un adaptador macho de PVC de 1¼ de diámetro nominal soldado a la tubería anteriormente mencionada, y por su otro extremo se encuentra roscado al ojo de succión de la bomba.

5.1.9.4 Línea de descarga de la bomba dos Esta línea es la que conduce el agua que sale de la bomba al tanque, esta constituida por los siguientes elementos:

- Un adaptador macho de PVC de 1" de diámetro nominal, roscado al ojo de descarga de la bomba dos.

- Un tramo recto de tubería de 10 mm de longitud, 1" de diámetro nominal, soldado al adaptador macho anteriormente mencionado.

- Una te de PVC de 1" de diámetro nominal, soldada al tramo de tubería anteriormente mencionada. Este accesorio se ha instalado con el fin de instalar en él, el manómetro para medir la presión de descarga de la bomba dos.

- Un tramo recto de tubería de 620 mm de longitud, 1" de diámetro nominal, soldado a la te anteriormente mencionado.
- Un codo de PVC de 1" de diámetro nominal de 90°, soldado al tramo recto de tubería anteriormente mencionado.
- Un tramo recto de tubería de 10 mm de longitud, 1" de diámetro nominal, soldado al codo de 90° anteriormente mencionado.
- Un adaptador macho de PVC de 1" de diámetro nominal, soldado a la tubería anteriormente mencionada.
- Una válvula de globo de bronce, de 1" de diámetro nominal, roscada al adaptador macho mencionado anteriormente.
- Un adaptador macho de PVC de 1" de diámetro nominal, roscado a la válvula anteriormente mencionada.

- Un tramo recto de tubería de 10 mm de longitud, 1" de diámetro nominal, soldado al adaptador anteriormente mencionado.

- Un adaptador hembra de PVC de 1" de diámetro nominal, soldado a la tubería anteriormente mencionada.

- Un medidor de agua roscado al adaptador anteriormente mencionado

- Un adaptador hembra de PVC de 1" de diámetro nominal, roscado al medidor anteriormente mencionado.

- Un tramo recto de tubería de 10 mm de longitud, 1" de diámetro nominal, soldado al adaptador anteriormente mencionado.

- Un codo de PVC de 1" de diámetro nominal de 45°, soldado al tramo recto de tubería anteriormente mencionado.

- Un tramo recto de tubería de 380 mm de longitud, 1" de diámetro nominal, soldado al codo de 45° anteriormente mencionado.

- Una yema de PVC de 1" de diámetro nominal, recubierta en material sintético, soldado al tramo recto de tubería mencionado anteriormente.

Este accesorio se instala para unir las dos líneas de descarga de las bombas cuando están en paralelo.

- Un tramo recto de tubería de 70 mm de longitud, 1" de diámetro nominal, soldado a la yema anteriormente mencionada.

- Un adaptador macho de PVC de 1" de diámetro nominal, soldado a la tubería mencionada anteriormente.

- Una válvula de globo de bronce, de 1" de diámetro nominal, roscada al adaptador macho mencionado anteriormente.

- Un adaptador macho de PVC de 1" de diámetro nominal, roscado a la válvula mencionada anteriormente.

- Un tramo de tubería de 500 mm, la cual tiene una forma de un cuarto de circunferencia.

6. OPTIMIZACION DEL BANCO DE PRUEBAS .

6.1 CAMBIOS QUE FUERON NECESARIOS PARA OPTIMIZACION DEL BANCO

6.1.1 Bombas centrífugas.

6.1.1.1 Carcaza Estas se encontraban bastantes obstruidas por el oxido y la herrumbre, las cuales formaron una capa considerable, disminuyendo de esta forma su volumen y capacidad. Para corregir este problema se sometieron las carcazas a un proceso de sandblasting, se rectificaron las roscas en las cuales van enroscadas las tuberías de succión y descarga, y después se procedió a pintarlas con anticorrosivo y esmalte.

6.1.1.2 Impulsores El impulsor de la bomba uno, era diferente a la bomba dos, en cuanto a su tamaño, lo cual dificultaba el estudio de las

bombas en serie y paralelo. Además se encontraban oxidadas y sus roscas las cuales servían para sujetar estos a sus respectivos ejes, estaban deterioradas. Estos impulsores estaban contruidos en fundición gris. Para corregir este problema se fundieron dos nuevos impulsores en bronce los cuales son de iguales características.

6.1.1.3 Ejes como los impulsores se encontraban un poco desalineados, fue necesario alinearlos y balancearlos.

6.1.1.4 Prensaestopas Los prensaestopas se encontraban picados y uno de ellos estaba partido por uno de los agujeros por donde pasa el tornillo, presentándose fugas locales y como consecuencia perdidas en el sistema. Estos eran de fundición gris. Para corregir este problema se cambiaron los prensaestopas por unos de acero al carbono.

6.1.2 Motores eléctricos Los motores eléctricos que tenía el banco se cambiaron por que, estaban bastante viejos, teniendo estos aproximadamente 25 años de uso. Estos motores eran muy grandes y pesados, lo cual dificultaban su desmonte a la hora de realizarles

mantenimiento. Estos estaban sobre diseñados para el sistema en el cual eran utilizados, además para adaptarle un sistema de variación electrónica al banco era necesario que los motores fueran trifásicos y de corriente alterna siendo estos monofásicos y de corriente directa. Los motores viejos eran de 1 Hp y los nuevos de 0.4 Hp.

6.1.3. Tablero de control principal El tablero de control principal estaba conformado básicamente por cuatro reóstatos los cuales eran utilizados para variar las rpm de los motores. Esta forma de variar las velocidades esta obsoleta y además estos reóstatos se encontraban en muy mal estado dificultando así la regulación. Con estos reóstatos se fijaban las velocidades de los motores por medio de tanteo. Los reóstatos fueron remplazados por un Variador de velocidad electrónico el cual nos permite fijar la velocidad de los motores de una forma más cómoda, ya que este es programable.

6.1.4. Medidores de caudal Para determinar el caudal de trabajo de las bombas en cualquiera de sus puntos de operación, se utilizaban placas de orificio en la tubería de descarga de las bombas, las cuales producían

una diferencia de presión entre el punto donde se encontraba ubicada la placa de orificio, donde la presión era menor y el tramo de tubería posterior a esta, donde la presión era mayor. Esta diferencia de presión se medía por medio de un manómetro diferencial de mercurio y posteriormente se utilizaba esta presión para calcular el caudal. Para agilizar este proceso de medición se remplazaron las placas de orificio y sus manómetros, por dos medidores de volumen, los cuales con la ayuda de un cronómetro nos permite medir el caudal directamente.

6.1.5. Sistema de tubería y accesorios correspondientes La mayor parte de la tubería se cambió con sus accesorios. Las válvulas de la tubería de descarga utilizadas para controlar el flujo en el sistema no cerraban completamente debido al tiempo de uso que estas tenían, lo cual hizo necesario cambiarlas todas, ya que causaban pérdidas y lecturas erróneas en el sistema.

6.1.6. Manómetros Los manómetros de mercurio que tenía el banco en la descarga de la bomba fueron remplazados por manómetros bourdon de 15 PSI

6.1.7. Tanque y armadura del banco El tanque y la armadura del banco se encontraban bastante ampollados por la corrosión, lo que hizo necesario lijarlos, pulirlos, pintarlos con anticorrosivo industrial y darles su acabado ya que la herrumbre impide el buen desarrollo en la succión de la bomba. Lo cual trae como consecuencia una baja en la presión de succión.

6.2 CALCULO DE LA POTENCIA REQUERIDA POR EL NUEVO

SISTEMA

Carga estática. Se refiere a la diferencia de elevación. Así la carga estática total de un sistema es la diferencial de elevación entre el nivel del líquido de descarga y el nivel del líquido de succión.

$$h_e = Z_2 - Z_1$$

Carga de elevación correspondiente a la velocidad. Es la energía cinética en un líquido en cualquier punto, expresada en kilogrametros por kilogramos, es decir en metros del líquido en cuestión.

$$h_v = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$$

Carga debido a la diferencia de presión que existe en el líquido. Se refiere a la diferencia de presión a la cual se encuentra el líquido en los puntos de interés.

$$H_p = \frac{P_2 - P_1}{\gamma}$$

Carga de fricción. Es la carga necesaria para vencer las pérdidas de fricción causadas por el flujo del líquido a través de la tubería y sus accesorios.

La carga de fricción varía con:

_ Elcaudal

_ El tamaño, tipo y condiciones de la tubería y accesorios

_ El carácter del líquido bombeado

6.2.1 Sistema de tubería en paralelo

6.2.1.1 Carga estática

$$h_e = Z_2 - Z_1$$

Z_2 = nivel de la descarga del agua

$$Z_2 = 0.86$$

Z_1 = nivel de la succión del agua

$$Z_1 = 0$$

$$h_e = 0.86m$$

6.2.1.2 Carga de elevación correspondiente a la velocidad

$$h_v = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$$

V_2 = Velocidad del agua en la tubería de descarga

$$Q = V_1 * A_1 = V_2 * A_2$$

V_1 = Velocidad del agua en la tubería de succión

$$V_2 = \frac{V_1 * A_1}{A_2} = \frac{V_1 * D_1^2}{D_2^2}$$

D_2 = Diametro de la tubería de descarga

$$D_1 = 0.03175m$$

D_1 = Diametro de la tubería de succión

$$D_2 = 0.0254m$$

$$V_2 = V_1(1.5625)$$

$$h_v = 7.3541 * 10^{-2} * V_1^2$$

6.2.1.3 Carga debido a la diferencia de presión que existe en el líquido

$$h_p = \frac{P_2 - P_1}{\gamma}$$

P_2 = Presión en la descarga del agua

$$P_2 = 0$$

P_1 = Presión en la succión del agua

$$P_1 = 0.3m$$

γ = Peso específico del agua

$$h_p = -0.3m$$

6.2.1.4 Carga de fricción

$$H_F = \frac{f * l * V^2}{2 * D * g}$$

$$H_F = \frac{K * V^2}{2 * g}$$

$$f = \frac{1.325}{\ln\left[\frac{E}{3.7 * D} + \frac{5.74}{R^{0.9}}\right]^2} \quad E = \text{Factor de rugosidad de la tubería}$$

$$R = \frac{V * D}{\nu} \quad \nu = \text{Viscosidad cinemática del agua}$$

$$\nu = 1.007 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad \text{Para el agua a } 20^\circ \text{ C}$$

$$E_{\text{acero}} = 4.6 * 10^{-5} \text{ m}$$

$$E_{\text{pvc}} = 1.524 * 10^{-6} \text{ m}$$

SUCCIÓN BOMBA (1 1/4 in)

-Tubería de acero

$$L = 8.08 * 10^{-2} \text{ m}$$

$$R = \frac{V_1(0.03175)}{1.007 * 10^{-6}} = 31529.2949V_1$$

$$f = \frac{1.325}{\ln\left[\frac{46 * 10^{-6}}{3.7 * 0.03175} + \frac{5.74}{11190.33V_1^{0.9}}\right]^2} = \frac{1.325}{\ln\left[3.915 * 10^{-4} + \frac{5.1294 * 10^{-4}}{\nu_1^{0.9}}\right]^2}$$

$$H_f = \frac{0.1720V_1^2}{\ln\left[3.95 * 10^{-4} + \frac{5.1294 * 10^{-4}}{\nu_1^{0.9}}\right]^2}$$

-Tubería de pvc

$$L = 0.3048m$$

$$R = \frac{V_1(0.03175)}{1.007 * 10^{-6}} = 31529.2949V_1$$

$$f = \frac{1.325}{\ln \left[\frac{1.524 * 10^{-6}}{3.7 * 0.03175} + \frac{5.74}{11190.33V_1^{0.9}} \right]^2} = \frac{1.325}{\ln \left[1.2973 * 10^{-5} + \frac{5.1294 * 10^{-4}}{V_1^{0.9}} \right]^2}$$

$$H_f = \frac{0.6490V_1^2}{\ln \left[1.2973 * 10^{-5} + \frac{5.1294 * 10^{-4}}{V_1^{0.9}} \right]^2}$$

-Uniones simples (2)

$$K = 0.12$$

$$H_f = \frac{0.12V_1^2}{2g} * 2 = 6.1225 * 10^{-3} V_1^2 * 2 = 1.2245 * 10^{-2} V_1^2$$

-Unión doble (1)

$$K = 0.16$$

$$H_f = \frac{0.16V_1^2}{2g} = 8.1633V_1^2$$

-Te (1)

$$K = 0.44$$

$$H_f = \frac{0.44V_1^2}{2g} = 2.2449 * 10^{-2} V_1^2$$

-Válvula de compuerta (1)

$$K = 0.19$$

$$H_f = \frac{0.19V_1^2}{2g} = 9.6939 * 10^{-3} V_1^2$$

-Entrada recta

$$K = 0.5$$

$$H_f = 2.5510 * 10^{-2} V_1^2$$

Entonces las pérdidas en la succión por fricción son:

$$H_f = 7.806 * 10^{-2} V_1^2 + \frac{0.6490V_1^2}{\ln \left[1.2973 * 10^{-5} + \frac{5.1294 * 10^{-4}}{V_1^{0.9}} \right]^2} + \frac{0.1720V_1^2}{\ln \left[3.915 * 10^{-4} + \frac{5.1294 * 10^{-4}}{V_1^{0.9}} \right]^2}$$

DESCARGA DE LA BOMBA (1 in)

$$V_2 = 1.5625V_1$$

-Tubería pvc

$$L = 1.365m$$

$$R = \frac{V_2 * D_2}{v} = \frac{1.5625V_1 * 0.0254}{1.007 * 10^{-6}} = 39411.62V_1$$

$$f = \frac{1.325}{\ln \left[\frac{1.524 * 10^{-6}}{3.7 * 0.0254} + \frac{5.74}{13679.36V_1^{0.9}} \right]^2} = \frac{1.325}{\ln \left[1.6216 * 10^{-5} + \frac{4.1961 * 10^{-4}}{V_1^{0.9}} \right]^2}$$

$$H_f = \frac{8.8694V_1^2}{\ln \left[1.6216 * 10^{-5} + \frac{4.1961 * 10^{-4}}{V_1^{0.9}} \right]^2}$$

-Te (1)

$$K = 0.46$$

$$H_f = \frac{0.46 * 2.4414V_1^2}{2g} = 5.7298 * 10^{-2}V_1^2$$

-Codo 90° (1)

$$K = 0.69$$

$$H_f = \frac{0.69 * 2.4414V_1^2}{2g} = 8.5947 * 10^{-2}V_1^2$$

-Codo 45° (1)

$$K = 0.37$$

$$H_f = \frac{0.37 * 2.4414V_1^2}{2g} = 4.6088 * 10^{-2} V_1^2$$

-Uniones simples (5)

$$K = 0.12$$

$$H_f = \frac{0.12 * 2.4414V_1^2}{2g} * 5 = 7.4736 * 10^{-2} V_1^2$$

-Válvulas de compuertas (2)

$$K = 0.19$$

$$H_f = \frac{0.19 * 2.4414V_1^2}{2g} * 2 = 4.7333 * 10^{-2} V_1^2$$

-Medidor de volumen (1)

$$K = 2$$

$$H_f = \frac{2 * 2.4414V_1^2}{2g} = 0.2491V_1^2$$

-Ye (1)

$$K = 1.27$$

$$H_f = \frac{1.27 * 2.4414V_1^2}{2g} = 0.1582V_1^2$$

Entonces la pérdida en la descarga por fricción es:

$$H_f = 0.7187V_1^2 + \frac{8.8694V_1^2}{\ln\left[1.6216*10^{-5} + \frac{4.1961*10^{-4}}{V_1^{0.9}}\right]^2}$$

La cabeza de la bomba es:

$$\eta w_p = h_{f_{1-2}} + \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + (Z_2 - Z_1)$$

La ecuación del sistema es:

$$\eta w_p = 0.56 + 0.8677V_1^2 + \frac{0.1720V_1^2}{\ln\left[3.915*10^{-4} + \frac{5.1294*10^{-4}}{V_1^{0.9}}\right]^2} + \frac{0.6490V_1^2}{\ln\left[1.2973*10^{-5} + \frac{5.1294*10^{-4}}{V_1^{0.9}}\right]^2} + \frac{8.8694V_1^2}{\ln\left[1.6216*10^{-5} + \frac{4.196*10^{-4}}{V_1^{0.9}}\right]^2}$$

Para nuestra bomba

$Q(m^3/s)$

ηw_p

$1.3169*10^{-4}$

3.892

$$3.9190 \cdot 10^{-4} \quad 3.525$$

$$4.5283 \cdot 10^{-4} \quad 3.307$$

Si $\eta w_p = A Q^2 + B Q + C$ es la ecuación de la bomba

$$3.892 = A(1.3169 \cdot 10^{-4})^2 + B(1.3169 \cdot 10^{-4}) + C$$

$$3.525 = A(3.9190 \cdot 10^{-4})^2 + B(3.9190 \cdot 10^{-4}) + C$$

$$3.307 = A(4.5283 \cdot 10^{-4})^2 + B(4.5283 \cdot 10^{-4}) + C$$

Entonces:

$$A = -6749321.039$$

$$B = 2123.477$$

$$C = 3.729$$

La ecuación de la bomba es:

$$\eta w_p = -6749321.039 Q^2 + 2123.477 Q + 3.729$$

$$Q = V_1 \cdot A_1 = 7.9173 \cdot 10^{-4} V_1$$

$$\eta w_p = -4.2307 V_1^2 + 1.6812 V_1 + 3.7294$$

Iguando V_1 de la ecuación de la bomba y de la ecuación del sistema

hallamos ηw_p

$$\eta w_p = 1.49572m$$

Reemplazando ηw_p en la ecuación de la bomba hallamos Q

$$Q = 7.53712 * 10^{-4} m^3/s = 2.58307 m^3/h$$

La potencia que debe desarrollar la bomba debe ser de:

$$P_{OT} = \eta W_p * Q * \gamma$$

$$P_{ot} = 1.49573m * 9788.4341 N/m^3 * 7.5371m^3/s$$

$$P_{ot} = 11.03498 N * m/s = 1.4798 * 10^{-2} H_p$$

6.2.2 Sistema de tubería en serie

6.2.2.1 Carga estática

$$h_e = Z_2 - Z_1$$

Z_2 = nivel de la descarga del agua

$$Z_2 = 0.86$$

Z_1 = nivel de la succión del agua

$$Z_1 = 0$$

$$h_e = 0.86m$$

6.2.2.2 Carga de elevación correspondiente a la velocidad

$$h_v = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$$

V_2 = Velocidad del agua en la tubería de descarga

$$Q = V_1 * A_1 = V_2 * A_2$$

V_1 = Velocidad del agua en la tubería de succión

$$V_2 = \frac{V_1 * A_1}{A_2} = \frac{V_1 * D_1}{D_2}$$

D_2 = Diametro de la tubería de descarga

$$D_1 = 0.03175m$$

D_1 = Diametro de la tubería de succión

$$D_2 = 0.0254m$$

$$V_2 = V_1(1.5625)$$

$$h_v = 7.3541 * 10^{-2} * V_1^2$$

6.2.2.3 Carga debido a la diferencia de presión que existe en el líquido

$$h_p = \frac{P_2 - P_1}{\gamma}$$

P_2 = Presión en la descarga del agua

$$P_2 = 0$$

P_1 = Presión en la succión del agua

$$P_1 = 0.3m$$

γ = Peso específico del agua

$$h_p = -0.3m$$

6.2.2.4 Carga de fricción

$$H_F = \frac{f * l * V^2}{2 * D * g}$$

$$H_F = \frac{K * V^2}{2 * g}$$

$$f = \frac{1.325}{\ln \left[\frac{E}{3.7 * D} + \frac{5.74}{R^{0.9}} \right]^2}$$

E = Factor de rugosidad de la tubería

$$R = \frac{V * D}{\nu}$$

ν = Viscosidad cinemática del agua

$$\nu = 1.007 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Para el agua a 20°C

$$E_{\text{acero}} = 4.6 * 10^{-5} \text{ m}$$

$$E_{\text{pvc}} = 1.524 * 10^{-6} \text{ m}$$

SUCCIÓN BOMBA # 1 (1 1/4)

-Tubería de acero

$$L = 8.08 * 10^{-2} \text{ m}$$

$$R = \frac{V_1(0.03175)}{1.007 * 10^{-6}} = 31529.2949V_1$$

$$f = \frac{1.325}{\ln \left[\frac{46 * 10^{-6}}{3.7 * 0.03175} + \frac{5.74}{11190.33V_1^{0.9}} \right]^2} = \frac{1.325}{\ln \left[3.915 * 10^{-4} + \frac{5.1294 * 10^{-4}}{v_1^{0.9}} \right]^2}$$

$$H_f = \frac{0.1720V_1^2}{\ln \left[3.95 * 10^{-4} + \frac{5.1294 * 10^{-4}}{v_1^{0.9}} \right]^2}$$

-Tubería de pvc

$$L = 0.4m$$

$$R = \frac{V_1(0.03175)}{1.007 * 10^{-6}} = 31529.2949V_1$$

$$f = \frac{1.325}{\ln \left[\frac{1.524 * 10^{-6}}{3.7 * 0.03175} + \frac{5.74}{11190.33V_1^{0.9}} \right]^2} = \frac{1.325}{\ln \left[1.2973 * 10^{-5} + \frac{5.1294 * 10^{-4}}{V_1^{0.9}} \right]^2}$$

$$H_f = \frac{0.8516V_1^2}{\ln \left[1.2973 * 10^{-5} + \frac{5.1294 * 10^{-4}}{V_1^{0.9}} \right]^2}$$

-Uniones simples (2)

$$K = 0.12$$

$$H_f = \frac{0.12V_1^2}{2g} * 2 = 6.1225 * 10^{-3} V_1^2 * 2 = 1.2245 * 10^{-2} V_1^2$$

-Unión doble (1)

$$K = 0.16$$

$$H_f = \frac{0.16V_1^2}{2g} = 8.1633V_1^2$$

-Válvula de compuerta (1)

$$K = 0.19$$

$$H_f = \frac{0.19V_1^2}{2g} = 9.6939 * 10^{-3} V_1^2$$

-Entrada recta

$$K = 0.5$$

$$H_f = 2.5510 * 10^{-2} V_1^2$$

Entonces las pérdidas en la succión por fricción son:

$$H_f = 5.5612 * 10^{-2} V_1^2 + \frac{0.8516V_1^2}{\ln \left[1.2973 * 10^{-5} + \frac{5.1294 * 10^{-4}}{V_1^{0.9}} \right]^2} + \frac{0.1720V_1^2}{\ln \left[3.915 * 10^{-4} + \frac{5.1294 * 10^{-4}}{V_1^{0.9}} \right]^2}$$

DESCARGA DE LA BOMBA #1 (1 in)

$$V_2 = 1.5625V_1$$

-Tubería pvc

$$L = 1.095m$$

$$R = \frac{V_2 * D_2}{v} = \frac{1.5625V_1 * 0.0254}{1.007 * 10^{-6}} = 39411.62V_1$$

$$f = \frac{1.325}{\ln \left[\frac{1.524 * 10^{-6}}{3.7 * 0.0254} + \frac{5.74}{13679.36V_1^{0.9}} \right]^2} = \frac{1.325}{\ln \left[1.6216 * 10^{-5} + \frac{4.1961 * 10^{-4}}{V_1^{0.9}} \right]^2}$$

$$H_f = \frac{7.1151V_1^2}{\ln \left[1.6216 * 10^{-5} + \frac{4.1961 * 10^{-4}}{V_1^{0.9}} \right]^2}$$

-Te (1)

$$K = 0.46$$

$$H_f = \frac{0.46 * 2.4414V_1^2}{2g} = 5.7298 * 10^{-2}V_1^2$$

-Te (1)

$$K = 1.38$$

$$H_f = \frac{1.38 * 2.4414V_1^2}{2g} = 0.1718V_1^2$$

-Codo 90° (2)

$$K = 0.69$$

$$H_f = \frac{0.69 * 2.4414 V_1^2}{2g} * 2 = 0.1718 V_1^2$$

-Válvula de compuerta (1)

$$K = 0.19$$

$$H_f = \frac{0.19 * 2.4414 V_1^2}{2g} = 2.3666 * 10^{-2} V_1^2$$

-Unión universal

$$K = 0.16$$

$$H_f = \frac{0.16 * 2.4414 V_1^2}{2g} = 1.993 * 10^{-2} V_1^2$$

-Reducción de 1 1/4 in a 1 in (1)

$$k = 0.13$$

$$H_f = \frac{0.13 * 2.4414 V_1^2}{2g} = 1.6192 * 10^{-2} V_1^2$$

Entonces las pérdidas en la descarga de la bomba #1 es:

$$H_f = 0.5030 V_1^2 + \frac{7.115 V_1^2}{\ln \left[1.6216 * 10^{-5} + \frac{4.1961 * 10^{-4}}{V_1^{0.9}} \right]^2}$$

SUCCION BOMBA # 2 (1 1/4)

-Tubería de pvc

$$L = 0.127m$$

$$R = \frac{V_1(0.03175)}{1.007 * 10^{-6}} = 31529.2949V_1$$

$$f = \frac{1.325}{\ln \left[\frac{1.524 * 10^{-6}}{3.7 * 0.03175} + \frac{5.74}{11190.33V_1^{0.9}} \right]^2} = \frac{1.325}{\ln \left[1.2973 * 10^{-5} + \frac{5.1294 * 10^{-4}}{V_1^{0.9}} \right]^2}$$

$$H_f = \frac{0.2704V_1^2}{\ln \left[1.2973 * 10^{-5} + \frac{5.1294 * 10^{-4}}{V_1^{0.9}} \right]^2}$$

-Uniones simples (1)

$$K = 0.12$$

$$H_f = \frac{0.12V_1^2}{2g} = 6.1225 * 10^{-3}V_1^2$$

-Te (1)

$$K = 1.32$$

$$H_f = \frac{1.32V_1^2}{2g} = 6.7346 * 10^{-2}V_1^2$$

Entonces las pérdidas en la succión por fricción de la bomba # 2 son:

$$H_f = 7.3460 * 10^{-2} V_1^2 + \frac{0.2704 V_1^2}{\ln \left[1.2973 * 10^{-5} + \frac{5.1294 * 10^{-4}}{V_1^{0.9}} \right]^2}$$

DESCARGA BOMBA # 2 (1 in)

$$V_2 = 1.5625 V_1$$

-Tubería pvc

$$L = 1.365 m$$

$$R = \frac{V_2 * D_2}{v} = \frac{1.5625 V_1 * 0.0254}{1.007 * 10^{-6}} = 39411.62 V_1$$

$$f = \frac{1.325}{\ln \left[\frac{1.524 * 10^{-6}}{3.7 * 0.0254} + \frac{5.74}{13679.36 V_1^{0.9}} \right]^2} = \frac{1.325}{\ln \left[1.6216 * 10^{-5} + \frac{4.1961 * 10^{-4}}{V_1^{0.9}} \right]^2}$$

$$H_f = \frac{8.8694 V_1^2}{\ln \left[1.6216 * 10^{-5} + \frac{4.1961 * 10^{-4}}{V_1^{0.9}} \right]^2}$$

-Te (1)

$$K = 0.46$$

$$H_f = \frac{0.46 * 2.4414 V_1^2}{2g} = 5.7298 * 10^{-2} V_1^2$$

-Codo 90° (1)

$$K = 0.69$$

$$H_f = \frac{0.69 * 2.4414V_1^2}{2g} = 8.5947 * 10^{-2} V_1^2$$

-Codo 45° (1)

$$K = 0.37$$

$$H_f = \frac{0.37 * 2.4414V_1^2}{2g} = 4.6088 * 10^{-2} V_1^2$$

-Uniones simples (5)

$$K = 0.12$$

$$H_f = \frac{0.12 * 2.4414V_1^2}{2g} * 5 = 7.4736 * 10^{-2} V_1^2$$

-Válvulas de compuertas (2)

$$K = 0.19$$

$$H_f = \frac{0.19 * 2.4414V_1^2}{2g} * 2 = 4.7333 * 10^{-2} V_1^2$$

-Medidor de volumen (1)

$$K = 2$$

$$H_f = \frac{2 * 2.4414V_1^2}{2g} = 0.2491V_1^2$$

-Ye (1)

$$K = 1.27$$

$$H_f = \frac{1.27 * 2.4414V_1^2}{2g} = 0.1582V_1^2$$

Entonces la pérdida en la descarga por fricción es:

$$H_f = 0.7187V_1^2 + \frac{8.8694V_1^2}{\ln\left[1.6216 * 10^{-5} + \frac{4.1961 * 10^{-4}}{V_1^{0.9}}\right]^2}$$

La cabeza de la bomba es:

$$\eta w_p = h_{f_{1-2}} + \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + (Z_2 - Z_1)$$

La ecuación del sistema es:

$$\eta w_p = 0.56 + 1.4243V_1^2 + \frac{0.1720V_1^2}{\ln\left[3.915 * 10^{-4} + \frac{5.1294 * 10^{-4}}{V_1^{0.9}}\right]^2} + \frac{1.122V_1^2}{\ln\left[1.2973 * 10^{-5} + \frac{5.1294 * 10^{-4}}{V_1^{0.9}}\right]^2} +$$

$$\frac{16.009V_1^2}{\ln\left[1.6216*10^{-5} + \frac{4.196*10^{-4}}{V_1^{0.9}}\right]^2}$$

Para nuestra bomba

$Q(m^3/s)$	η_{w_p}
$1.3169*10^{-4}$	3.892
$3.9190*10^{-4}$	3.525
$4.5283*10^{-4}$	3.307

Si $\eta_{w_p} = A Q^2 + B Q + C$ es la ecuacion de la bomba

$$3.892 = A(1.3169*10^{-4})^2 + B(1.3169*10^{-4}) + C$$

$$3.525 = A(3.9190*10^{-4})^2 + B(3.9190*10^{-4}) + C$$

$$3.307 = A(4.5283*10^{-4})^2 + B(4.5283*10^{-4}) + C$$

Entonces:

$$A = -6749321.039$$

$$B = 2123.477$$

$$C = 3.729$$

La ecuación de la bomba es:

$$\eta w_p = -6749321.039Q^2 + 2123.477Q + 3.729$$

$$Q = V_1 * A_1 = 7.9173 * 10^{-4} V_1$$

$$\eta w_p = -4.2307V_1^2 + 1.6812V_1 + 3.7294$$

Iguando V_1 de la ecuación de la bomba y de la ecuación del sistema hallamos ηw_p

$$\eta w_p = 1.9074m$$

Remplazando ηw_p en la ecuación de la bomba hallamos Q

$$Q = 7.00148 * 10^{-4} m^3/s = 2.5205 m^3/h$$

Como teóricamente cuando las bombas son de iguales características y trabajan a igual rpm podemos calcular la potencia que debe desarrollar cada una de las bombas dividiendo la cabeza requerida por el sistema en dos.

$$\eta w_p = \frac{1.9074m}{2} = 0.9537m$$

La potencia que debe desarrollar la bomba debe ser de:

$$P_{OT} = \eta W_p * Q * \gamma$$

$$P_{ot} = 0.9074m * 9788.4341N/m^3 * 7.00148m^3/s$$

$$P_{ot} = 605.93N * m/s = 8.7654 * 10^{-3} H_p$$

6.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.3.1. Resultados Obtenidos en el Banco no optimizado cuando estaba nuevo en el año 1987 (1700 RPM)

	Bomba 1	Bomba 2
Presión S (Psi)	0,58	0,32
Presión D (Psi)	5,24	4,08
Caudal (m ³ /s)	4,53 x 10 ⁻⁴	3,75 x 10 ⁻⁴
Cabeza (m)	3,28	2,64

Porcentajes en los que los resultados de las bombas difieren

Para la presión en la succión 44,8%

Para la presión en la descarga 22,0%

Para los caudales 17,0%

Para las cabezas de las bombas

16,3%

Podemos analizar que el porcentaje en que difieren los resultados de las pruebas es considerable. Esto se debe a que el impulsor de la bomba 2 es más pequeño que el de la bomba 1.

6.3.2. Resultados Obtenidos en el Banco no optimizado en el año

2001 (1700 RPM)

	Bomba 1	Bomba 2
Presión S (Psi)	0,54	0,27
Presión D (Psi)	6,25	3.48
Caudal (m ³ /s)	4,03 x 10 ⁻⁴	3,26 x 10 ⁻⁴
Cabeza (m)	4,02	2,26

Porcentajes en los que los resultados de las bombas difieren

Para la presión en la succión

51,85%

Para la presión en la descarga

44,32%

Para los caudales	19,10%
Para las cabezas de las bombas	43,60%

Comparando los resultados de las pruebas realizadas en el banco no optimizado en el año 1987 y 2001 observamos que:

1. Los resultados de las pruebas realizadas en el año 1987 y en el año 2001 difieren considerablemente aún cuando las dos pruebas se realizaron a las mismas velocidades (1700 RPM). Lo cual nos indica que algo andaba mal.

2. Teniendo en cuenta que el caudal es directamente proporcional a la cabeza de la bomba y observando los resultados de la bomba 1 en el año 1987 y en el año 2001 nos damos cuenta que cuando el banco estaba nuevo el caudal era de $4,53 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ con una cabeza de bomba de 3,28 m y 14 años más tarde el caudal era de $4,03 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ con una cabeza de bomba de 4,02 m, lo cual nos corrobora que algo andaba mal.

Las razones por las cuales se pudieron haber presentado estos resultados en las mediciones fueron:

1. Los manómetros colocados en la descarga de las bombas, estaban un poco descalibrados, arrojando así lecturas que pudiesen estar por encima o por debajo de la presión real en la descarga de las bombas.
2. Las válvulas de corte utilizadas para controlar el flujo, cuando se quiere poner a funcionar el sistema en serie, paralelo o independiente no servían, ya que debido al tiempo de uso no cerraron completamente. Esto traía como consecuencia pérdidas en el sistema que se estuviera implementando (paralelo, serie o independiente).
3. Los manómetros de mercurio que se encontraban ubicados en las placas de orificio utilizadas para calcular el caudal se encontraban dañados. En consecuencia los estudiantes tenían que calcular el caudal tomando el tiempo que el agua demoraba en ocupar cierta cantidad de volumen de un recipiente. Esto lógicamente era una forma incómoda e imprecisa de medir el caudal ya que el agua a medida que caía creaba una

turbulencia en el recipiente que la contenía y formaba picos por encima y por debajo del nivel estimado.

4. El tanque de almacenamiento se encontraba ampollado en la superficie que hacía contacto con el agua debido a la corrosión, lo cual traía como consecuencia que la herrumbre causada por la corrosión entrara en el sistema de tubería y produjera pérdidas en la succión de la bomba.

5. Los reóstatos los cuales eran utilizados para regular las velocidades (RPM) de las bombas estaban en muy mal estado, dificultando la regulación de los motores y en consecuencia las pruebas se hacían con velocidades aproximadas.

6.3.3. Resultados Obtenidos en el Banco de prueba optimizado

(1700 RPM)

	Bomba 1	Bomba 2
Presión S (Psi)	0,220	0,218
Presión D (Psi)	5,25	5,05

Caudal (m³/s)	6,105 x 10⁻⁴	5,86 x 10⁻⁴
Cabeza (m)	3,54	3,40

Porcentajes en los que los resultados de las bombas difieren

Para la presión en la succión 0,909%

Para la presión en la descarga 3,800%

Para los caudales 4,000%

Para las cabezas de las bombas 3,930%

Podemos observar que con la optimización del banco el porcentaje en que difieren los resultados de las bombas es muchísimo menor comparado con los porcentajes en que diferían los resultados en años anteriores.

6.4. ESTUDIO ECONÓMICO

Este estudio se realizó en base a los ingresos anuales, egresos anuales e inversión del proyecto.

6.4.1. Inversión La inversión con la que se realizó el proyecto es la suma de los gastos en los que se incurrió para la optimización del banco.

$$\text{Inversión} = \$ 3.400.000$$

6.4.2. Ingresos Los ingresos que se pueden obtener a través de nuestro proyecto son:

6.4.2.1. Valor Tecnológico Que es el ingreso que obtiene la universidad por contar con un completo laboratorio de máquinas hidráulicas.

$$\text{Valor de la materia (1 - 3 créditos)} = \$ 541.365$$

Promedio de estudiantes que ven la materia en un año = 40 estudiantes

Prácticas (temas comprobados) realizadas en el semestre = 7 prácticas

$$\text{Valor de la práctica} = \text{Valor de la materia} / \text{No. de prácticas} = \$ 77.337,85$$

Valor tecnológico = Valor de la Práctica x Promedio de Estudiantes (año)

$$= \$ 3.093.514,28$$

Interés anual por concepto de matrícula (i) = 10%

6.4.2.2. Ingreso generado por prestar servicio al sector industrial

Este es el ingreso anual que puede recibir la universidad por permitir a algunas empresas del sector industrial (empresas que manejan líquidos como parte de sus procesos o de su producción) realizar pruebas.

Este ingreso fue estimado en \$1.000.000

Interés anual (i) = 10%

6.4.2.3. Ingreso generado por prestar servicios a otras

universidades Este es el ingreso anual que puede recibir la universidad por permitir a otras universidades (facultades de ingeniería civil, mecánica y química) de la ciudad realizar pruebas en este banco.

Este ingreso fue estimado en \$700.000

Interés anual (i) = 10%

6.4.3. Egresos Los egresos en los que se puede incurrir son los

necesarios para el funcionamiento del banco son:

6.4.3.1. Costo de la Energía Este es el costo de la energía que consume el banco en un año.

Kw . consumida por los dos motores = 1,0336 Kw .

Valor del Kw .h para la CUTB = \$ 144,11

Σ Tiempo que permanece encendido el banco en el año = 60 horas

Kw .h consumido en un año = 62,184 Kw .h

Costo de la energía en un año = \$ 8.961,33

Interés (DTF) = 7,79%

6.4.3.2. Salario del Operador Esta es la fracción del salario que la universidad debe pagarle a la persona que opera el banco en un año.

Salario de un Operador = \$ 700.000

Valor del día de trabajo = \$ 23.333,33

Valor de la hora = \$ 2.916,66

Σ Tiempo que permanece encendido el banco en el año = 60 horas

No. de horas que el Operador le dedica al banco = 90 horas Pago

correspondiente al No. de horas de trabajo del Operador = \$ 262.500

Prestaciones sociales que el 45% del Salario = \$ 118.124,73

Fracción de salario que la universidad debe pagarle al Operador =

\$ 380.624

Interés (DTF) = 7,79%

6.4.3.3. Costo de Mantenimiento. Es lo que le cuesta a la universidad realizarle mantenimiento al banco en un año.

Mantenimiento semestral = \$ 100.000

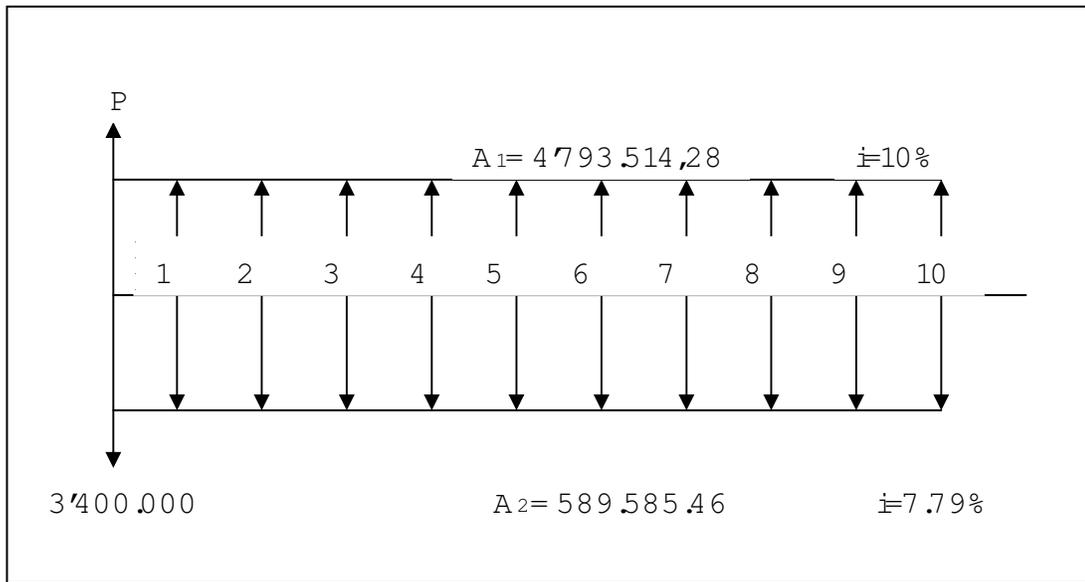
Mantenimiento anual = \$ 200.000

Interés (DTF) = 7,79%

6.4.4. Cálculo del Valor presente del proyecto proyectado a 10 años.

$$A_1 = 3'093.514,28 + 700.000 + 1'000.000 = 4'793.514,28$$

$$A_2 = 200.000 + 380.624,13 + 8961,33 = 589.585,46$$



$$P = 4'793.514,28 (P/A, 10\%, 10) - 589.585,46 (P/A, 7.79\%, 10) -$$

$$3'400.000$$

$$P = \$22'036.508,63$$

Este es el valor presente de las utilidades que nos va a generar el proyecto en un periodo de 10 años

BIBLIOGRAFÍA

FERRERO , José H . M anualde Bombas Centrífugas, Cálculo, Construcción y Aplicación. Barcelona, España. Almbra, 1969. 168 p.

HICKS , Tyler G. Bombas, Selección y Aplicación, undécima edición. México D F. ContinentalS A . 1976. 530 p.

KARASSIK, Igor j. Bombas Centrífugas, Selección, Operación y Mantenimiento, cuarta edición. México D F. ContinentalS A . 1974. 560 p.

KARASSIK, Igor j. M anualde Bombas. M exico D F. M c Graw H ill. 1983. 100 p.

KENNETH, M c Naughton. Bombas, Selección, Uso y Mantenimiento, segunda edición. México D F. M c Graw Hill. 1989. 373 p.

MATAIZ, Claudio. Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas, segunda edición. México D F. Sagitario. 1982. 660 p.

STREETER, Victor L - WYLIE, E Benjamín. Mecánica de Fluidos, novena edición. Santa Fe de Bogota D C. M c Graw Hill. 1999. 740 p.

VIEJO ZUBICARAY, Manuel. Bombas, Teoría, Diseño y Aplicación, segunda edición. México D F. Limusa S A. 1975. 290 p.

YOUNG OKIISHI, Munson. Fundamentos de Mecánica de Fluidos, primera edición. México D F. Limusa S A. 1999. 867 p.